



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ**  
**Государственный научный центр Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение**  
**«Всероссийский научно-исследовательский институт**  
**рыбного хозяйства и океанографии»**  
**Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»**  
**(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»)**

**«РЫБОХОЗЯЙСТВЕННАЯ НАУКА. ИСТОРИЯ,**  
**СОВРЕМЕННОСТЬ, ПЕРСПЕКТИВЫ»**  
Материалы конференции, посвященной 110-летию создания  
«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»  
г. Санкт-Петербург, 23-24 октября 2024 г.

Москва  
Издательство ВНИРО  
2024

УДК 574.5(082)

**Р 93 Рыбохозяйственная наука. История, современность, перспективы**

Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию Санкт-Петербургского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, 23-24 октября 2024 г. / отв. ред. К.В. Колончин [и др.]. М.: Изд-во ВНИРО, 2024. 500 с.

В сборнике представлены материалы Международной научно-практической конференции «Рыбохозяйственная наука. История, современность, перспективы», посвященной 110-летию Санкт-Петербургского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), которые отражают результаты исследования по основным направлениям гидробиологии: структура и функционирование водных экосистем, популяции и сообщества, биологические ресурсы морских и континентальных водоемов, биоразнообразие водных организмов и роль видов-вселенцев, симбиотические и паразитарные взаимоотношения в водных экосистемах, экология рыб, методы оценки антропогенной нагрузки и качества вод.

Сборник предназначен для специалистов, работающих в области гидробиологии, зоологии, экологии, ихтиологии, преподавателей, аспирантов и студентов.

Редакционная коллегия:

К.В. Колончин, д.э.н., доцент, ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»

М.В. Сытова, к.т.н., доцент, ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»

М.М. Мельник, к.б.н. Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»

Ю.А. Малинина, к.б.н., доцент, Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»

Рецензенты: В.А. Румянцев, академик РАН, СПбНЦ РАН

Н.Н. Филатов, член-корр. РАН, КарНЦ РАН

И.Н. Остроумова, д.б.н., проф., Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»

Научное издание

Издание зарегистрировано в Научной электронной библиотеке

© ФГБНУ «ВНИРО», 2024  
К.В. Колончин, М.В. Сытова,  
М.М. Мельник, Ю.А. Малинина

ISBN 978-5-85382-558-1



## **Дорогие друзья!**

Поздравляю Санкт-Петербургский филиал Государственного научного центра Российской Федерации «Всероссийский НИИ рыбного хозяйства и океанографии» (ВНИРО) со 110-летием со дня основания!

Созданная в 1914 году как Петроградская лаборатория специалистов рыбного дела ещё в Российской империи, продолжила работу в качестве научного учреждения СССР, а сегодня выполняет важные задачи современной России, являясь одним из старейших филиалов ключевого научного центра отечественной рыбной отрасли.

В стенах ГосНИОРХа выросла и плодотворно трудилась на благо Родины целая плеяда знаковых для рыбохозяйственной отрасли ученых, исследователей, педагогов и наставников.

Каждый период истории страны тесно вплетен в жизнь и работу филиала. Вместе со страной пройдены сложные годы испытаний. В годы Великой Отечественной войны коллектив и часть научного оборудования были эвакуированы в Тобольск, но в осажденном Ленинграде остались сотрудники, сохранявшие собранные за годы исследований образцы и научную библиотеку.

Работу ученых и сотрудников ГосНИОРХа всегда отличала высокая ответственность и стремление внедрить на практике самые передовые и востребованные в отрасли решения и инновации.

По случаю юбилея хочу поблагодарить ветеранов и коллектив за добросовестный труд и верность своему делу.

Желаю вам крепкого здоровья и профессиональных успехов! Уверен, впереди еще много важной работы, экспедиций и научных открытий!

Руководитель Федерального агентства по рыболовству,  
кандидат экономических наук,  
Илья Васильевич Шестаков



### **Уважаемые друзья, коллеги!**

В 2024 году мы отмечаем 110-й день рождения нашего Санкт-Петербургского филиала — знаменательную дату, которая символизирует успех, развитие и профессионализм отраслевой науки. За прошедшие годы был пройден большой путь, богатый своей историей и достижениями.

«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга» ведёт своё начало от Лаборатории специалистов рыбного дела, организованной в Санкт-Петербурге осенью 1914 года при Отделе рыболовства и охоты Департамента земледелия Министерства земледелия и государственных имуществ Российской империи.

На протяжении более века ГосНИОРХ проводил теоретические и экспериментальные рыбохозяйственные работы на ведущих пресноводных водоемах и большинстве внутренних морей страны.

В настоящее время Санкт-Петербургский филиал Государственного научного центра Российской Федерации Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» - современный научно-исследовательский институт, активный участник крупных национальных и международных проектов в части обеспечения рыбохозяйственного и экологического мониторинга естественных и антропогенно измененных условий природной среды. Его деятельность направлена на изучение сырьевой базы и комплексные исследования водных объектов как основы для разработки новых, индустриальных форм ведения рыбного хозяйства и решения проблем увеличения производства рыбной продукции в Западном и Северном рыбохозяйственных бассейнах, как одного из важных аспектов социально-экономического развития регионов Российской Федерации.

Специалисты Санкт-Петербургского филиала ВНИРО неоднократно становились победителями престижных научных конкурсов федерального и международного уровня. Молодые сотрудники филиала регулярно участвуют в проектах, проводимых под патронажем Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Замечательные результаты, которых мы достигли — это заслуга каждого из нас.

От имени коллектива всего «большого» ВНИРО, раскинувшегося через всю нашу большую Родину, и от себя лично хочу поблагодарить каждого сотрудника филиала за профессионализм и энтузиазм в работе и пожелать нам всем дальнейшего роста и развития нашего института.

Директор ГНЦ РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»  
доктор экономических наук, профессор  
Кирилл Викторович Колончин

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Александров Я.В., Кияшко В.В., Масликов В.П., Домницкий И.Ю., Богачев А.Н.</i> Особенности эмбриогенеза сома европейского ( <i>Silurus glanis</i> L.) при различных условиях выращивания .....	12
<i>Алексеев М.Ю.</i> Особенности распределения молоди сёмги на участках реки с разными гидрологическими характеристиками .....	17
<i>Амелин М.Ю.</i> Прудовые хозяйства как перспективная форма развития аквакультуры в малых формах хозяйствования.....	20
<i>Анохина О.К., Шакирова Ф.М., Валиева Г.Д., Говоркова Л.К.</i> Вылов и биологические показатели леща <i>Abramis brama</i> Нижнекамского водохранилища.....	24
<i>Антипова В.Б.</i> Изучение ихтиофауны малых озёр Псковского региона.....	27
<i>Апаликова О.В., Киселева М.Н., Митрюшкина Д.К., Филатова Т.А., Лукина Ю.Н.</i> Молекулярно-генетические исследования иммунитета рыб .....	31
<i>Арчибасов А.А.</i> Влияние температурного режима на половые циклы стерляди <i>Acipenser ruthenus</i> (Linnaeus, 1758) в промышленных условиях.....	35
<i>Асанов А.Ю., Пастухова Ю.А.</i> Кормовая база основных водных объектов рыбохозяйственного значения Сурского края .....	38
<i>Бабкина И.Б., Бабкин А.М., Симакова А.В., Интересова Е.А.</i> Зараженность линия <i>Tinca tinca</i> метацеркариями <i>Opisthorchis felineus</i> в бассейне реки Томь (Томская область, Россия).....	43
<i>Байталюк А.А.</i> Изменение сырьевой базы рыболовства в прикурильских водах северо-западной части Тихого океана (СЗТО) .....	46
<i>Бандурин К.В., Маслянкин Г.Е., Гербер Е.М., Голубкова Т.А., Гулюгин С.Ю.</i> Историческая роль АтлантНИРО в развитии отечественного прибрежного и океанического рыболовства .....	50
<i>Беляев В.А., Педченко А.П., Седлецкий И.В.</i> Актуальные направления исследований микропластика в морях Российской Арктики .....	55
<i>Беляков В.П.</i> Состав и структурно-функциональные характеристики зообентоса литорали озера Карельского перешейка в зависимости от особенностей ландшафта и антропогенного воздействия.....	62
<i>Березина М.О.</i> Состояние запасов и перспективы использования водорослей Белого моря.....	66
<i>Березина Н.А.</i> Структура прибрежной пищевой сети в эстуарии реки Невы под влиянием эвтрофикации и ракообразных-вселенцев.....	70
<i>Биндюков С.В., Баскакова Ю.А., Гершунская В.В.</i> Влияние минимального уровня ЭПК и ДПК в комбикормах на ростовые показатели и жирнокислотный состав мышечной ткани радужной форели ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ).....	73
<i>Богачев А.Н., Сониная Е.Э., Зотова Е.А., Макаров С.Н., Пудовкина А.С., Гузеева Л.В., Джаяни Е.А., Филинова Е.И., Гашиников М.П.</i> Особенности проведения мониторинга в рамках производственного экологического контроля за влиянием хозяйственной деятельности на состояние водных биологических ресурсов на пресных водных объектах.....	78
<i>Богданов Д.В., Леонов А.Г.</i> Корюшка Финского залива Балтийского моря и Ладожского озера.....	82
<i>Бондарь Е.И., Олейник А.Г., Кухлевский А.Д.</i> Влияние вторичного контакта ледниковых линий и исторической интродукции на формирование разнообразия гольцов рода <i>Salvelinus</i> в Северо-Восточной Азии .....	86
<i>Булатов О.А., Васильев Д.А., Камшуков С.В., Скакун В.А.</i> Оценка запасов рыб и промысел во внутренних водных объектах .....	89

Васильев Ф.В. Первая находка метацеркарий сем. <i>Opisthorchiidae</i> в акватории Ладожского озера .....	94
Вилкова О.Ю., Сухарев Д.С. Балтийский осётр: прошлое, настоящее и будущее .....	99
Виноградов П.А., Голод В.М., Паньков В.Ю., Попов П.А. Ладожская папия – ценный объект воспроизводства рыбных запасов на северо-западе России.....	106
Воробьева О.В., Духова Л.А., Оганесова Е.В. Методологические подходы к разработке региональных нормативов качества воды для водных объектов рыбохозяйственного значения .....	110
Воронин В.Н., Дудин А.С. Отечественная ихтиопаразитология: истоки, современное состояние и перспективы .....	114
Воронина Е.А., Проскура В.В. Цестодозы половозрелых промысловых видов рыб дельты Волги.....	118
Вылка М.М. Гематология сиговых рыб и судака в аквакультуре в эмбриональный и личиночный периоды развития .....	121
Герасимов А.Г., Герасимова А.А., Шарпова Т.А. Водные беспозвоночные зооперифитона рек юга Тюменской области.....	125
Голубкова Т.А. Состояние запасов водных биологических ресурсов Балтийского моря и перспективы их промыслового использования в современных экологических условиях.....	129
Гребенников В.А., Аникина В.В., Крылова Ю.В., Курашов Е.А., Протопопова Е.В. Взаимосвязь между низкомолекулярным метаболитом <i>Potamogeton perfoliatus</i> L. и развитием литорального фитопланктона в Ладожском озере .....	131
Губелит Ю.И. Основные параметры для использования оппортунистических макроводорослей для оценки качества водной среды.....	139
Даринов Е.Н., Шаврин П.В., Бабушкин А.А., Ниязов Н.С., Абышева Л.С. Перспективы внедрения гибридов сиговых видов рыб в аквакультуру Западной Сибири.....	142
Дарсия Н.А. Питание сига в Ладожском озере в 2022 году .....	146
Еремкина Т.В., Корбут Д.Е. К характеристике фитопланктона разнотипных водоемов Курганской области .....	148
Ершов П.Н. Морфо-экологическая изменчивость речной камбалы Белого моря.....	153
Житлухина В.Н., Каралаш А.А. Плодовитость массовых видов рыб в нижнем районе Воткинского водохранилища.....	157
Жукова А.А., Вульф К.В., Белякова Е.О. Генетический полиморфизм сиговых рыб ( <i>Coregonidae</i> ) в области первого транскрибируемого спейсера рДНК .....	162
Зеленников О.В., Косач Е.А., Мякишев М.С., Ворожцова А.А. Роль отолитного маркирования в управлении воспроизводством и промыслом тихоокеанских лососей .....	165
Зинченко А.А. Особенности бициклического созревания самок радужной форели в установке замкнутого водоснабжения .....	170
Зубарева А.А., Лютиков А.А., Скорик Ю.А. Создание прототипов ДНК-вакцин для аквакультуры на основе природных полисахаридов .....	173
Зубченко А.В. Горбуша ( <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (Walbaum)) – новый объект промысла в арктических водах севера России .....	176
Зуйкова Е.И., Бочкарев Н.А. Изменчивость некоторых костей черепа симпатрических сигов <i>Coregonus pidschian</i> (Gmelin) и <i>Coregonus pravdinellus</i> (Dulkeit) с помощью метода геометрической морфометрии .....	180
Ивичева К.Н., Филоненко И.В., Шацкий А.В. Оценка кормности озер и водохранилищ Северо-Двинской и Волго-Балтийской водной систем по зообентосу ....	186
Иешко Е.П., Паршуков А.Н., Мюге Л.Н., Мюге Н.С., Черенков А.В. Паразитологический мониторинг пресноводной аквакультуры: генетический метод E-DNA .....	190

<i>Ильмаст Н.В., Стерлигова О.П., Милянчук Н.П., Кучко Я.А.</i> Ихтиофауна северных пресноводных экосистем в условиях промышленного загрязнения.....	192
<i>Интересова Е.А., Зайцев В.Ф., Абрамов А.Л.</i> Ретроспектива рыбохозяйственных исследований на юге Западной Сибири.....	195
<i>Истомина А.М.</i> Макрозообентос Камского и Воткинского водохранилищ в 2000-2023 гг. ....	199
<i>Казаринов С.Н., Мерзлякова Л.В., Мерзляков И.Н., Михеев П.Б.</i> Изменение трофических взаимоотношений в пресноводных экосистемах в результате расселения чужеродных видов на примере роли тюльки <i>Clupeonella cultriventris</i> в питании судака <i>Sander lucioperca</i> Камского водохранилища .....	204
<i>Калинкина Н.М., Лукина Ю.Н., Здоровеннова Г.Э., Здоровеннов Р.Э., Макарова Е.М., Сластина Ю.Л., Смирнова В.С., Теканова Е.В.</i> Оценка по гидробиологическим показателям состояния озер Карелии в условиях развития аквакультуры .....	208
<i>Каменченко А.В.</i> Анализ криптического разнообразия микроспоридий ( <i>Cnidaria: Мухозоа</i> ) из почек плотвы в пределах ареала хозяина .....	212
<i>Капустина Я.А., Бехтгольд М.В., Перевалова Л.С.</i> Результаты молекулярно-генетических исследований при диагностике заболеваний рыб Байкальского рыбохозяйственного бассейна .....	215
<i>Карабанов Д.П., Перебоев Д.Д., Котов А.А.</i> Применение метабаркодинга для мониторинга биологических инвазий гидробионтов на примере ветвистоусых ракообразных ( <i>Cladocera</i> ): проблемы и перспективы.....	219
<i>Каралаш А.А., Житлухина В.Н.</i> Плодовитость массовых видов рыб (синец, окунь, густера, плотва) в верхнем районе Камского водохранилища.....	223
<i>Карпова Л.Н., Горохова Е.С.</i> История рыбохозяйственной науки Якутии .....	228
<i>Киселева М.Н., Митрюшкина Д.К., Анапикова О.В.</i> Дифференциация сига Куршского и Финского заливов Балтийского моря по изменчивости мтДНК .....	231
<i>Кияшко И.А., Кияшко В.В., Малинина Ю.А.</i> Особенности ихтиоэкоморф Волгоградского водохранилища и его притоков .....	235
<i>Ковалев К.В., Докина О.Б., Пронина Н.Д., Корабельникова О.В., Попов Д.А.</i> Изучение сохранности коллекционных образцов криоконсервированной спермы рыб после хранения в криобанке ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ») .....	241
<i>Колтакова Е.С.</i> Результаты исследований структуры сообществ макрозообентоса северной части акватории озера Гусиное в 2023 году.....	245
<i>Кондакова Е.А., Лютиков А.А., Богданова В.А., Голотин В.А.</i> Гистологическое исследование гонад диплоидной и триплоидной нельмы.....	248
<i>Коновалов А.Ф.</i> Рыболовство на водных объектах Вологодской области .....	252
<i>Королева А.Г., Вахтеева Е.А., Епифанцев А.А., Яхненко В.М., Глызина О.Ю., Толстикова Л.И., Черезова В.М., Суханова Л.В., Сидорова Т.В., Потапов С.А., Кирильчик С.В., Сапожникова Ю.П.</i> Молекулярно-генетические аспекты температурной акклимации сиговых рыб.....	255
<i>Королева И.М., Заботкина Е.А., Терентьев П.М.</i> Оценка современного состояния здоровья сигов озера Имандра по показателям красной крови.....	259
<i>Косач Е.А., Зеленников О.В.</i> Оценка эффективности заводского воспроизводства горбуши на острове Итуруп, выполненная с применением техники отолитного маркирования.....	263
<i>Косова А.Л., Денисов Д.Б.</i> Оценка антропогенного воздействия на горные озера методом диатомового анализа (Мурманская область) .....	267
<i>Костоусов В.Г., Адамович Б.В.</i> О связи ихтиомассы, рыбопродуктивности озер и потенциального улова с их биолимническими показателями.....	270

<i>Красникова М.С., Брюсова М.Б., Козлова А.Д., Горбачева Н.С., Долинская К.Г., Лозовая Е.А., Яценчук С.П.</i> Разработка методики выявления генетического материала пангасиуса в рыбной продукции методом ПЦР в режиме реального времени.....	274
<i>Крупнова Т.Н.</i> Культивирование бурых водорослей в Приморье – история, современное состояние, перспективы развития.....	277
<i>Кузнецов А.Ф., Боркин И.В.</i> История изучения балтийской сельди (салаки).....	281
<i>Кузнецов А.Ф., Чижов Д. М.</i> Отработка методики дифференциации форм (рас) балтийской сельди <i>Clupea harengus tembras</i> по отолитам .....	288
<i>Кузьмина Е.С., Мякишев М.С., Ворожцова А.А., Зеленников О.В.</i> Гаметогенез симы <i>Oncorhynchus masou</i> в условиях заводского воспроизводства в Сахалинской области .....	294
<i>Кулиш А.В., Ротер А.В.</i> Предварительные сведения о биологии рака-отшельника <i>Diogenes pugilator</i> (Roux, 1828) в Керченском проливе (Азовское море) .....	298
<i>Куценко Н.В., Вихло Е.В., Кожурин Е.А., Басько Ю.В.</i> Повышение рыбопродуктивности водохранилищ Волго-Донского судоходного канала путем развития пастбищного рыбоводства .....	301
<i>Левашина Н.В., Барабанов В.В., Мякий Н.А., Калашиников Н.Е.</i> Состояние популяции речных раков в Астраханской области.....	304
<i>Лепская Е.В., Тепнин О.Б., Эльчапаров В.Г.</i> Фитопланктон рекреационных озер Петропавловска-Камчатского, как показатель их экологического состояния.....	309
<i>Лобуничева Е.В., Литвин А.И., Думнич Н.В.</i> Зоопланктон крупных рыбохозяйственных водоемов Вологодской области в разные сезоны года .....	314
<i>Лукина Ю.Н., Зобков М.Б., Белкина Н.А., Калинин Н.М., Здоровеннова Г.Э., Богданов С.Р., Зобкова М.В., Макарова Е.М.</i> Оценка пулов и потоков углерода в водных экосистемах Республики Карелия .....	318
<i>Любина О.С., Гречухина Л.Г.</i> Структура фитопланктона в Куйбышевском и Нижнекамском водохранилищах в период летнего цветения 2018 г.....	322
<i>Лютикова Н.А., Лютиков А.А., Королев А.Е.</i> Модель роста личинок судака в заводских условиях .....	326
<i>Лютиков А.А., Вылка М.М., Турилова В.И., Яковлева Т.К., Филатова Т.А., Костюничев В.В., Голотин В.А.</i> Диагностика плоидности сиговых рыб .....	330
<i>Лютиков А.А., Королев А.Е., Остроумова И.Н.</i> Влияние содержания липидов в корме на рыбоводно-биологические показатели товарного судака.....	335
<i>Ляшенко О.А.</i> Фитопланктон Выборгского залива Балтийского моря в XXI веке.....	339
<i>Ляшенко Г.Ф.</i> Высшая водная растительность реки Луга в районе сброса сточных вод.....	342
<i>Мазникова О.А., Колпаков Н.В., Никитин В.Д., Игнатъев Ю.И.</i> Инструменты оперативного регулирования промысла кеты ( <i>Oncorhynchus keta</i> ) искусственного происхождения в Сахалинской области .....	345
<i>Макарёноква Н.Н.</i> Особенности фитопланктона притоков Средней Сухоны (Вологодская область) .....	350
<i>Макарова Е.М.</i> Применимость микробиологических показателей в оценке качества воды высокогумусных рек.....	355
<i>Макеева О.В., Никитин Ф.И., Пономарев Р.А., Козлова Н.В.</i> Физиолого-биохимические исследования воблы в период нерестовой миграции в дельте р. Волга в 2024 г. ....	359

Максим Е.А., Луговой М.М., Яковлев Е.А., Юрин Д.А., Джалавян З.Г. Изучение замены холин хлорида на бетаиновую мелассу производства РУСАГРО в кормах для годовиков осетровых рыб.....	362
Максимова О.Б. Антропогенное воздействие на фотосинтетические пигменты фитопланктона в восточной части Финского залива.....	365
Мартынова А.С., Зеленников О.В. Современное состояние промыслового стада кеты <i>Oncorhynchus keta</i> в юго-западной части о. Сахалин.....	369
Марченко С.Л. Становление пресноводной ихтиофауны материкового побережья Охотского моря.....	374
Масликов В.П., Кияшко В.В., Домницкий И.Ю., Александров Я.В. Рыбоводно-продукционные характеристики впервые созревающих двух групп самок карпа при проведении их селекции .....	379
Мельник М.М., Зуев Ю.А., Крылова Ю.В., Ляшенко О.А., Максимова О.Б., Тамулёнис А.Ю., Хозяйкин А.А., Трифонов А.Е., Павлова О.А. Качество вод Ладожского озера по материалам исследований 2021 г. ....	382
Мельникова А.В. Донная фауна Нижнекамского водохранилища.....	389
Минин А.Е., Минина Л.М. Результаты вселения молоди белого толстолобика в Чебоксарское водохранилище, его эффективность, промысловое и экологическое значение.....	393
Минин А.Е., Минина Л.М., Катаев Р.К., Мушаков Д.В., Фролова Е.А., Журова Д.А., Самохвалова Т.Р., Вандышева В.В., Воденеева Е.Л., Лаврова Т.В. Пространственное распределение трофности в Горьковском и Чебоксарском водохранилищах .....	398
Митрюшкина Д.К., Киселева М.Н., Аналикова О.В. Генетическая коллекция ГосНИОРХ. Принципы организации и ведение базы генетических данных водных биоресурсов.....	402
Михайлова К.Б. О распространении тростника высочайшего ( <i>Phragmites altissimus</i> (Benth.) Mabilie) в мелководной зоне Чудско-Псковского озёра .....	406
Михалоп С.Г. Использование данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) при изучении нерестилищ внутренних водоемов .....	411
Морева О.А., Клевакин А.А. Рыбное население малых рек Средней Волги на территории Нижегородской области, Республик Марий Эл и Чувашской .....	415
Морозов А.А., Юрченко В.В. Изменение протеома печени <i>Danio rerio</i> под действием глифосата и продукта его деградации.....	419
Мюге Н.С., Сошнина В.А., Мюге Л.Н. Полногеномное секвенирование сиговых рыб сибирских рек и оз. Байкал.....	422
Небесихина Н.А., Алимova А.Ш., Гайдамаченка В.Н., Бельченко Е.Д., Мещанкина В.С., Скрыгин М.П. Первые результаты ДНК штрихкодирования промысловых видов рыб Азово-Черноморского бассейна .....	426
Никулина Л.В. Видовое разнообразие зоопланктона как показатель экологического состояния дельты р. Волги.....	430
Новикова Ю.С., Здоровеннова Г.Э., Здоровеннов Р.Э., Пальшин Н.И. Кислородный режим и режим перемешивания озера Вендюрское в условиях функционирования форелевого хозяйства .....	434
Олейник А.Г., Кухлевский А.Д. Перспективы анализа полных митохондриальных геномов для улучшения оценки биоразнообразия лососевых рыб .....	439
Орлова М.И. Биологические инвазии – современный процесс смешанного генезиса в восточной части Финского залива: причина, предпосылки и перспективы... ..	442
Остроумова И.Н., Лютиков А.А. Эффективность применения белка микробиологического синтеза в стартовых и продукционных кормах для сиговых рыб .....	446

Педченко А.П., Блиновская Я.Ю., Муратов Г.А. Количество и состав микропластика в водах озера Ильмень в 2024 г.: предварительная оценка .....	451
Пестрикова Л.И., Пашкова Т.Е. Из истории рыбохозяйственных исследований северных морей: 1920-1950 гг.....	456
Пильганчук О.А., Муравская У.О., Савенков В.В., Денисенко А.Д., Зикунова О.В., Фадеев Е.С. Генетическая дифференциация нерки ( <i>Oncorhynchus nerka</i> ) в оз. Азабачье по результатам исследования микросателлитной ДНК.....	460
Погосян В.Р., Коваленко В.Н. Оценка состава ихтиофауны Кижских шхер Онежского озера по размерно-возрастным показателям .....	465
Подушка С.Б. Предложения по реорганизации осетрового хозяйства в Азовском бассейне .....	469
Пожинская И.А., Боркин И.В., Тыркин И.А. Промысел и распределение шпрота в Российских водах Финского залива в 2023 году.....	473
Полетаев А.С., Ризевский В.К., Колтунов В.В., Куницкий Д.Ф., Лещенко А.В., Болтуць Ю.Д., Плюта М.В. Видовая структура рыбного населения малых нерестовых водотоков проходной кумжи в Беларуси .....	478
Расторгуева С.В. Питание молоди воблы ( <i>Rutilus rutilus caspicus</i> Jakowlev, 1870) в мелководной зоне западной части Северного Каспия в 2022 г. ....	483
Рахматуллина С.Н., Тропин Н.Ю., Угрюмова Е.В., Воробьев Е.Д., Франк Ю.А. Микропластик в желудочно-кишечном тракте рыб с разными пищевыми стратегиями из рек Лежа и Лундонга в Вологодской области .....	487
Репина О.И., Вишнякова Л.А., Быстрова А.А., Исаченко М.С. Межгодовая и сезонная динамика бактериальной контаминации рыб промысловых видов Ладожского озера .....	490
Романова Н.Н., Головина Н.А., Вишторская А.А., Головин П.П., Сехина О.В. Зараженность окуневых и карповых рыб в водоемах Московской области <i>Aporhallus tuelingi</i> (Trematoda: Opisthorchidae) .....	494
Рузина М.Н., Емельянова О.Р., Савельева С.Ю., Брускин С.А., Мюге Н.С. Опыт геномного редактирования гена миостатина <i>Danio rerio</i> и <i>Cyprinus carpio</i> : создание и доставка редактирующего комплекса в эмбрионы рыб.....	498
Рысакова К.С., Новиков В.Ю., Деревяшкина Ю.А. Биотехнологический способ переработки хитина.....	502
Северов Ю.А., Гранин А.В., Горшков М.А. Основные популяционные характеристики стерляди ( <i>Acipenser ruthenus</i> L.) Нижнекамского водохранилища из учетных уловов 2018-2023 гг. ....	507
Семушин А.В., Фролов С.Б. Биологические ресурсы Белого моря, юго-востока Баренцева и Карского морей, проблемы и перспективы рыболовства.....	512
Сендек Д.С., Бочкарев Н.А., Барабанова М.В., Зуйкова Е.И., Михельсон С.В., Титов С.Ф. Внутривидовое разнообразие обыкновенного сига <i>Coregonus lavaretus sensu lato</i> в восточной части Финского залива Балтийского моря .....	516
Сирота Ю.В. Биоразнообразие некоторых водоемов комплексного назначения юга России (Краснодарского края и Республики Адыгеи) .....	520
Скворцов В.В. Опыт количественной оценки продукции фитопланктона малых озер с применением технологии искусственных нейронных сетей .....	527
Смешливая Н.В., Семенченко С.М. Использование взаимосвязи размеров рыбы и отолита при маркировании молоди сиговых рыб .....	532
Смирнова В.С. Структура и динамика фитопланктона Кондопожской губы Онежского озера в условиях антропогенного воздействия .....	536
Смуров А.О., Плотников И.С., Гонтарь В.И., Аладин Н.В. Антропогенные изменения в фауне гидробионтов и рыб Аральского моря в XX–XXI вв. ....	541

Сонина Е.А., Рудакова С.Л. Анализ данных по филогении вируса геморрагической септицемии (VHS) радужной форели .....	545
Степаненко Е.А., Волкова И.В., Чаплыгин В.А. Особенности накопления железа в организме рыб Каспийского моря .....	548
Сярки М.Т., Сидорова А.И., Сластина Ю.Л. Оценка рыбопродуктивности малых озер Карелии с использованием балансовой модели.....	551
Тарасов Д.В., Соляников В.В., Степанов М.В. Фитопланктон реки 1-я Гуселка (Саратовская область) в осенний период.....	554
Теряева И.Ю., Романенко Г.А., Щербаков В.И. Современное состояние основных промысловых видов рыб озера Телецкое Республики Алтай.....	558
Ткачева Т.Д., Басько Ю.В., Горелов В.П., Куценко Н.В. Бентофауна различных типов водоемов Волго-Ахтубинской поймы.....	562
Торцев А.М., Владыкина Н.С. Атлантический лосось реки Печора: ценный ресурс или исчезающий вид? .....	566
Трифонов А.Е. Зоопланктон Ладожского озера по результатам исследований 2023 года .....	570
Тропин Н. Ю. Особенности внешней криптической окраски окуня ( <i>Perca fluviatilis</i> L., 1758) в разнотипных водоемах Вологодской области .....	475
Трушков А.В., Косенко Ю.В., Баскакова Т.Е., Картамышева Т.Б. Гидрохимический режим реки Миус в районе Донецкой народной республики и Ростовской области (по данным летнего мониторинга 2024 г.).....	579
Тыркин И.А., Картанович А.В., Тыркина А.В. Объёмы товарного выращивания радужной форели в Республике Карелия.....	584
Усов Н.В. Зоопланктон бухты Благополучия (Соловецкий архипелаг) в середине лета .....	588
Филинова Е.И. Макрозообентос Кутулукского водохранилища (Самарская область) в условиях изменения режима эксплуатации .....	593
Фомина С.А. Результаты патоморфологических исследований рыб Братского водохранилища (Иркутская область, Россия) .....	595
Фомина Ю.Ю. Первые находки <i>Kellicottia bostoniensis</i> в озере Сямозеро.....	599
Фрумин Г.Т., Негодина Е.С. Обоснование региональных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водных объектах .....	602
Хасбулатова З.А., Курбанова Д.Г., Ханова З.К. Паразиты бычковых видов рыб Аграханского залива Каспийского моря.....	606
Хренкин Д.В., Живоглядова Л.А., Елфимова Н.С., Бондарев С.В., Заикина П.М., Афанасьев Д.Ф., Мирзоян А.В. Оценка современного состояния кормовой базы водных биологических ресурсов Нижнего Дона в целях определения приемной емкости .....	610
Чугунова Ю.К. Динамика формирования паразитофауны щуки ( <i>Esox lucius</i> L.) и плотвы ( <i>Rutilus rutilus</i> L.) Богучанского водохранилища .....	613
Шашуловская Е.А., Мосияш С.А., Далечина И.Н. Динамика биогенных элементов и фитопланктона в небольшом равнинном водохранилище в современных условиях.....	617
Шейбак А.Ю., Мазникова О.А. О биологии мягкого бычка <i>Malacocottus zonurus</i> (Psychrolutidae) в северной части Охотского моря .....	621
Шульгина Е.В., Леман В.Н., Есин Е.В. Влияние кормов на успешность смолтификации сеголетков чавычи (Камчатка, Малкинский лососевый рыболовный завод).....	625
Zhao X., Dong X. <i>Mytilus coruscus</i> aquaculture and research on fast growth genes in Zhoushan in China .....	629

## ОСОБЕННОСТИ ЭМБРИОГЕНЕЗА СОМА ЕВРОПЕЙСКОГО (*SILURUS GLANIS L.*) ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВЫРАЩИВАНИЯ

Я.В. Александров, В.В. Кияшко, В.П. Масликов, И.Ю. Домницкий,  
А.Н. Богачев

Саратовский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («СаратовНИРО»),  
г. Саратов, [aleksandroviv@saratov.vniro.ru](mailto:aleksandroviv@saratov.vniro.ru)

Аннотация: в статье приведены результаты исследований влияния температурного режима на продолжительность этапов эмбрионального развития *Silurus glanis L.* Особи, выращенные в стабильных температурных условиях (24 °С), показали лучшую скорость развития и выживаемость относительно особей, сформировавшихся в нестабильных температурных условиях. Установлено, что продолжительность эмбрионального развития *S. glanis* напрямую зависит от температуры воды.

Ключевые слова: эмбрионы, *Silurus glanis*, температурный фон, этапы развития, эмбриогенез

Эмбриональный период является наиболее значимым в развитии любого вида рыб, так как именно в этот период через серию определенных этапов формируются биологические особенности развития и наиболее существенные адаптационные изменения к условиям внешней среды (Крыжановский, 1949; Булли, 2024). Важность эмбрионального развития отмечена многими авторами в теории экологических групп и периодичности развития рыб (Крыжановский, 1948; Кауфман, 1990; Черняев, 2013; Архипов, 2015; Пономарева и др., 2020).

Отсутствие современных исследований по эмбриогенезу *S. glanis*, а также перспективность искусственного выращивания этого вида предопределили необходимость детального изучения его эмбрионального развития (Легкодимова и др., 2003, 2019).

Цель работы – изучить и проанализировать продолжительность этапов эмбрионального развития сома европейского (*Silurus glanis* Linnaeus, 1758), определить различия в скорости прохождения стадий эмбриогенеза при разных температурных режимах.

Опытные работы проводили в лабораторных (аквариумы) и производственных условиях Саратовского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО». Исследование осуществляли по общепринятым методикам (Правдин, 1966).

Объектами изучения являлись икра и эмбрионы сома европейского. Инкубацию проводили в аппаратах Вейса объемом 8 л, норма загрузки в один аппарат составила около 65,3 тыс. икринок (по 0,5 кг). Для проведения исследования использовали икру от 1 самки. Инкубацию икры осуществляли в двух вариантах: при постоянном температурном режиме 24 °С и при изменяемом температурном режиме, в диапазоне от 18,9 до 23,4 °С. Поддержание постоянного температурного режима на необходимом уровне было обеспечено за счет системы проточного подогрева воды. Икру оплодотворяли полусухим способом, молоками от одного самца, в течение 2 минут, затем обесклеивали танином. Получение половых продуктов проведено при температуре 23,2 °С.

Пробы просматривали под бинокулярным микроскопом, для этого нефиксированный материал помещали в чашку Петри для определения стадии развития. Измерения температуры проводили 3 раза в день с помощью термооксиметра марки «МАРК302 – Э». Схема эксперимента (опыта) представлена в табл. 1.

Таблица 1. Схема эксперимента

Группа	Температурный режим, °С	Количество инкубируемой икры, тыс. шт.	Интервал взятия проб на этапе, мин					
			I	II	III	IV	V	VI
Контроль	18,9-23,4	65,3	5	20	30	60	90	120
Опыт	24	65,3	5	20	30	60	90	120

Перед началом экспериментальной работы неоплодотворенная икра была исследована под биноклем (рис. 1).



Рисунок 1. Неоплодотворенная икринка *S. glanis*. Увеличение: 1x8

Почти сразу после оплодотворения наблюдали *первый этап* эмбрионального развития *S. glanis*. На этом этапе происходит набухание икринки, образование перивителлинового пространства и бластодиска. В первые минуты после оплодотворения икринка неводненная, вторичная оболочка слизистая, набухшая. Диаметр икринки составил приблизительно 3 мм. Через 2 минуты после оплодотворения икры, между желтком и оболочкой образуется просвет – перивителлиновое пространство. После набухания размер икринки становится примерно в 3 раза больше первоначального. Во время набухания на анимальном полюсе образуется бластодиск, который покрывает поверхность икринки. Продолжительность первого этапа при разных температурах не отличалась и составляла около 20 минут (рис. 2).

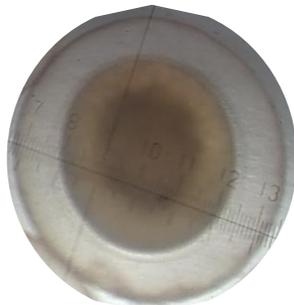


Рисунок 2. Стадия образования бластодиска, вид сверху. Увеличение: 1x8

*Второй этап* эмбрионального развития – дробление бластодиска и образование бластулы. Через три с половиной часа после оплодотворения наблюдение за икринками под биноклем показало стадию 32 бластомеров (рис. 3). Стадия формирования бластомеров продолжалась 7-7,5 часов.

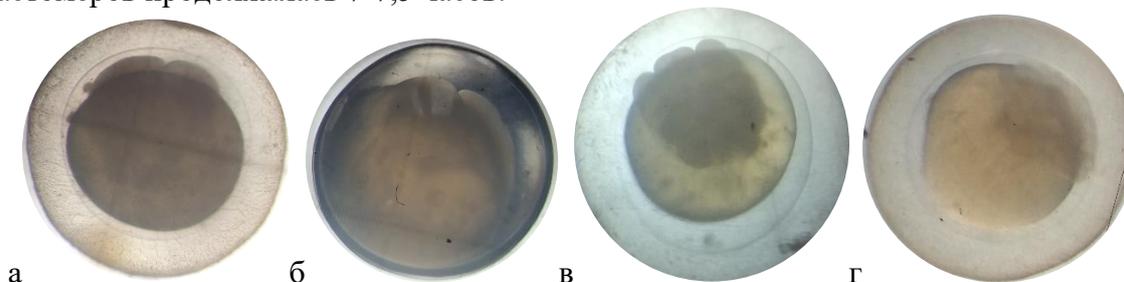


Рисунок 3. Стадия дробления, эмбрион на стадии двух (а), четырех (б), шестнадцати (в) и тридцати двух (г) бластомеров. Увеличение: 1x8

*Третий этап.* На этом этапе происходит гастрюляция и формирование эмбриона. Гастрюляция начинается с обрастания желтка многослойной бластодермой. В исследуемых группах обрастание желтка бластодермой началось через 7,5 часов после оплодотворения (рис. 4, а). В возрасте 15 часов 20 минут после оплодотворения половина желтка оказалась схваченной бластодермой (рис. 4, б).

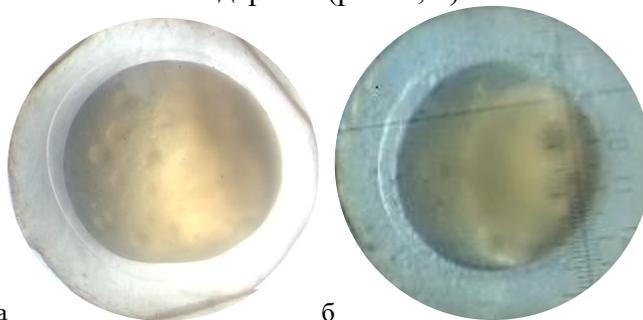


Рисунок 4. Обрастание желтка бластодермой, в начале этапа (а), через 8 часов (б). Увеличение: 1x8

Продолжительность этого этапа в исследуемых группах не отличалась и составляла около 10 часов 30 минут.

*Четвертый этап.* На этом этапе происходит дифференциация головного и туловищного отделов эмбриона. У порядка 70 % исследованных эмбрионов опытной группы отмечено утолщение головного и хвостового отделов (рис. 5, а). Желточный мешок эмбрионов на этом этапе приобретает грушевидную форму и сохраняет её на протяжении всего этапа (рис. 5, б).

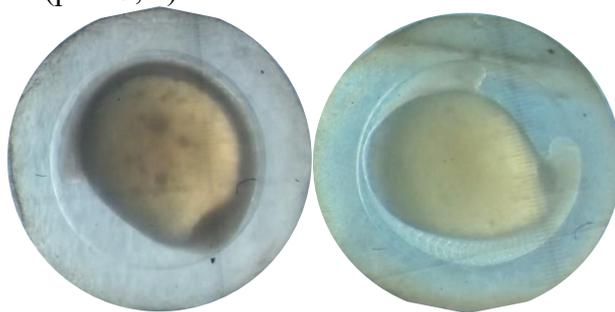


Рисунок 5. Эмбрион внутри оболочки, а) утолщение головного и хвостового отделов; б) эмбрион с 28 миотомами, стадия грушевидной формы желточного мешка. Увеличение: 1x8

На этом этапе отмечено различие в скорости прохождения стадий эмбрионального развития при разных температурных условиях. Образование зачатков глаз, купферова и слуховых пузырьков в опытной группе происходило в возрасте 22 часа 15 минут (от момента оплодотворения), количество миотомов эмбрионов опытной группы насчитывало 16. Для контрольной группы те же изменения регистрировали в возрасте 23 часа 45 минут. Подсчет предварительной выживаемости показал 70,8 % в опытной группе и 55 % в контрольной. Продолжительность этапа при температуре 24 °С (опытная группа) составила 8 ч 15 мин; для исходной температуры в диапазоне 18,9-23,4 °С – 9 ч 45 мин.

*Пятый этап* – обособление хвостового отдела эмбриона и начало движения. У большей части эмбрионов опытной группы (около 43,3 %) отмечено начало движения внутри оболочки, тогда как в контрольной группе отделение хвоста от желточного мешка произошло лишь у единичных особей, а слабое движение заметно лишь в одном случае из 10 полей зрения. Эмбрионы начинают совершать слабые движения внутри оболочки (рис. 6). В возрасте 32 часа 45 минут после оплодотворения 65 % эмбрионов

опытной группы совершали активные движения хвостом. В контроле наблюдалось единичное редкое движение (около 10 %).



Рисунок 6. Дифференциация хвостового отдела эмбриона, слабое движение хвостом внутри оболочки. Увеличение: 1x8

Через 5 часов 45 минут от начала этапа в опытной группе происходило отделение задней половины тела и хвостового отдела от желточного мешка (рис. 7, а). Ещё через 5 часов почти у 70 % эмбрионов опытной группы дифференцировалась голова, а на ней, над глазами, появились железы вылупления (рис. 7, б).

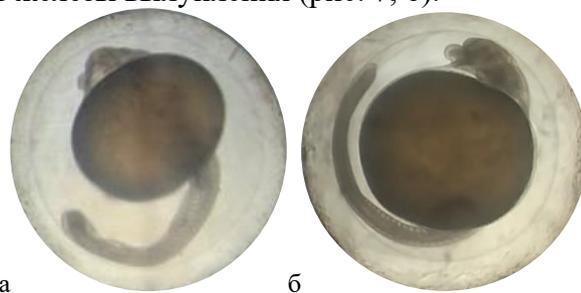


Рисунок 7. Эмбрион опытной группы, а) хвостовой отдел полностью отделен от желточного мешка, зачатки усиков; б) Дифференцировка головного отдела. Увеличение: 1x8

Продолжительность этапа при температуре 24 °С (опытная группа) составила 10 ч 10 мин; для изменяемой температуры в диапазоне 18,9-23,4 °С – 13 ч 20 мин.

*Шестой этап* – выход эмбрионов из оболочки. Массовое вылупление эмбрионов в опытной группе началось через 52 часа 30 минут с момента оплодотворения. В контроле массовый выклев наблюдался в возрасте 60 часов 20 минут. Выход предличинок, выращенных в стабильных температурных условиях, составил 69,1 %, особей, сформировавшихся при изменяющихся условиях – 44,3 %. Время наступления этапов развития при разных температурных условиях представлено в табл. 2.

Таблица 2. Время наступления этапов эмбрионального развития и выживаемость исследуемых групп *S. glanis*

Этап развития	Контроль (18,9-23,4 °С)		Эксперимент (24 °С)	
	Выживаемость, %	Возраст (от момента оплодотворения)	Выживаемость, %	Возраст (от момента оплодотворения)
I	100	2 мин	100	2 мин
II	93	20 мин	93	20 мин
III	83	15 ч 20 мин	83	15 ч 20 мин
IV	55	*23 ч 45 мин	70,8	22 ч 15 мин
V	47,6	34 ч 50 мин	70	32 ч 45 мин
VI	44,3	60 ч 20 мин	69,1	52 ч 30 мин

\* – Отмечено наступление различия в скорости прохождения этапов.

Таким образом, в результате проведенных исследований были получены сведения по эмбриональному развитию *S. glanis* при разных температурных условиях

выращивания. Установлена прямая зависимость между температурным режимом и скоростью эмбрионального развития сома обыкновенного. Время развития эмбрионов внутри оболочек составило 52 ч 30 мин при постоянном температурном режиме (24 °С) и 60 ч 20 мин при изменяющихся условиях (18,9-23,4 °С).

Личинки сома европейского, выращенные в стабильных температурных условиях, показали более высокие показатели выживаемости – 69,1 %, по сравнению с 44,3 % особей, сформировавшихся при изменяющихся условиях. Различия в скорости развития эмбрионов исследуемых групп наблюдались, начиная с IV этапа. Для минимизации потерь молоди *S. glanis* при воспроизводстве важна стабилизация температурных условий на данном этапе.

#### Список литературы

1. Архипов А.Г. Применение результатов изучения раннего онтогенеза морских промысловых рыб в рыбохозяйственной деятельности // Труды ВНИРО. 2015. Т. 156. С. 16-37.
2. Булли Л.И. Экологическая физиология и биохимия гидробионтов / Конспект лекций для студентов направления подготовки 19.04.03 «Продукты питания животного происхождения» очной и заочной форм обучения ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет». Керчь, 2024.
3. Кауфман З.С. Эмбриология рыб. М.: Агропромиздат, 1990. 271 с.
4. Крыжановский С.Г. Экологические группы рыб и закономерности их развития // Изв. Тихоокеан. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. 1948. Т. 27. С. 3-114.
5. Крыжановский С.Г. Эколого-морфологические закономерности развития карповых, вьюновых и сомовых рыб (*Cyprinidae* и *Siluridae*) // Труды Института морфологии животных Академии наук СССР. М.: Издательство АН СССР. 1949. Вып. 1. 362 с.
6. Легкодимова З.И., Сильникова Г.В., Хандожко Г.А., Масликов В.П., Макаров С.Н. Основы заводского воспроизводства сома обыкновенного (*Silurus glanis* L.) // Международная научно-практическая конференция: «Современное состояние рыбоводства на Урале и перспективы его развития» (к 30-летию создания Пермского отделения ГосНИОРХ и 10-летию фирмы «Гидробиология»). Екатеринбург, 2003. С. 35-38.
7. Легкодимова З.И., Сильникова Г.В., Масликов В.П., Кияшко В.В., Александров Я.В., Гашников М.П. Пополнение популяций сома обыкновенного (*Silurus glanis* L.) заводским методом воспроизводства // Международная научная конференция, посвящённая 110-летию СГУ имени Н.Г. Чернышевского «Живые системы: передовые междисциплинарные технологии изучения, управления и сохранения». Саратов: изд-во ООО «Амирит», 2019. С. 182-184.
8. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. 4-е изд. М.: Пищевая промышленность, 1966. 374 с.
9. Пономарева Е.Н., Александрова У.С., Гридина Т.С., Кузов А.А. Особенности развития клариевого сома (*Clarias gariepinus* (Burchell, 1822)) в раннем онтогенезе // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2020. № 2. С. 134-141.
10. Черняев Ж.А. Особенности эмбрионального развития сиговых рыб (*Coregonidae*) как представителей «пагофильной» экологической группы размножения // Журнал общей биологии. 2013. Т. 74, № 2. С. 152–164.

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЛОДИ СЁМГИ НА УЧАСТКАХ РЕКИ С РАЗНЫМИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

М.Ю. Алексеев

*Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ПИНРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича)  
г. Мурманск, [mal@pinro.vniro.ru](mailto:mal@pinro.vniro.ru)*

*Аннотация: определяли плотности расселения и темп роста молоди атлантического лосося на разных участках реки Варзуга. Одновременно были отобраны пробы бентоса и дрефты. Обнаружено, что численность молоди и интенсивность её роста выше на мелководных участках с грунтом, состоящим из камней крупных фракций в несколько слоёв, покрытых водорослевыми обрастаниями. Здесь же наблюдалась и большая концентрация бентоса. Результаты могут служить основой для детальной классификации участков.*

Ключевые слова: атлантический лосось, бентос, нерестово-выростной участок, плотность расселения, темп роста

Площадь репродуктивного ареала атлантического лосося неуклонно сокращается в силу воздействия антропогенного фактора. Основные, наносящие наибольший урон запасам атлантического лосося антропогенные нагрузки, существенно выросли в XX в. Наибольший ущерб среде обитания лосося нанесли гидростроительство в нижнем течении рек без эффективных рыбопропускных сооружений и загрязнение естественной среды обитания лосося в результате промышленной деятельности (Мартынов, Куценко, 1985; Кузьмин и др., 1989; Karlsson, 1994; Джефард, 1998). Уменьшение репродуктивного ареала делает актуальной инвентаризацию сохранившихся лососевых рек и выработку объективных критериев оценки их пригодности для воспроизводства лососей.

К настоящему времени в России частично проведена инвентаризация ряда рек Мурманской области и Республики Карелия с конечной целью определения их репродуктивного потенциала в отношении молоди сёмги (Веселов, 2006). Подобные работы ранее были сделаны в ряде европейских стран (Ranke et al., 1999).

Обычно продуктивность реки оценивают по ряду гидрологических показателей: длине, количеству нерестовых притоков, площади водосбора, общей озёрности, относительному падению русла и площади нерестово-выростных участков (НВУ) (Веселов, 2006). Такой подход к оценке продуктивности лососевых рек можно считать приблизительным, поскольку он не учитывает качество НВУ, судить о котором можно только при их детальном обследовании в ходе маршрутной съёмки.

В результате ежегодных обловов молоди атлантического лосося в реках Мурманской области было замечено, что на разных участках показатели плотности расселения молоди значительно отличаются, и эти различия носят системный характер. Отмечены так же постоянные различия в длине и массе молоди на НВУ разных типов. Эти наблюдения побудили провести углублённые исследования с целью количественной оценки зависимости численности и темпа роста пестряток лосося от качества среды обитания.

Материалом служила молодь атлантического лосося, населяющая реку Варзуга (Мурманская область, бассейн Белого моря). Рыбу отлавливали методом электролова в ходе маршрутных съёмок в августе 2010-2023 гг. в биотопах с разными характеристиками, расположенных в основном течении реки и в ряде притоков (Индель, Пана, Пятка, Кривец, Япома и др.). Плотность расселения определяли методом удаления

(Zippin, 1958). У отловленных пестряток определяли удельную скорость роста (Дгебуадзе, 2001). Одновременно оценивали количественные показатели НВУ: скорость течения, глубину, гранулометрический состав грунта и количество его слоёв, а также степень обрастания камней макрофитами. Помимо абиотических показателей, использовали количественные оценки бентоса и дрейфта: общую численность и общую биомассу беспозвоночных в пробе.

Для выявления факторов, способствующих развитию молоди, применён регрессионный анализ. В качестве зависимых переменных использовали показатель плотности молоди на НВУ и показатель удельной скорости роста пестряток. Независимыми переменными выступали перечисленные абиотические и биотические показатели.

Обнаружено, что скорость роста пестряток сёмги имеет обратную связь с глубиной реки на участке, а также положительные связи с интенсивностью обрастания и количеством слоёв камней на дне. Показатель плотности расселения молоди имеет обратную зависимость от глубины, прямые зависимости от интенсивности обрастаний и количества слоёв грунта. Наиболее высокий темп роста и плотность расселения молоди выявлены в притоках I порядка – реках Япома, Ареньга и Кривец. Эти притоки обладают наиболее подходящими для развития молоди характеристиками.

Исследование показало, что молодь сёмги предпочитает селиться и быстрее растёт на мелководных участках с дном, состоящим из нескольких слоёв камней, с сильным обрастанием. Кроме того, оказалось, что общая масса организмов, составляющих бентос, связана с теми же характеристиками среды, что и плотность расселения молоди. Показатель численности зообентоса не коррелировал с зависимыми переменными, как и количественный показатель дрейфта. В то же время, плотность молоди оказалась тесно связана с общей массой зообентоса в пробе.

По-видимому, молодь сёмги предпочитает обитать на участках, где гидрологические условия позволяют найти много надёжных укрытий в завалах камней и среди обрастаний, а которые также изобилуют кормовыми организмами, для которых обилие камней и обрастания являются оптимальным субстратом. Обнаруженные зависимости укладываются в рамки представлений о стратегии молоди сёмги, которая выражается в стремлении получить максимум корма при минимальных затратах энергии на его добычу.

Похожие результаты были получены норвежскими специалистами: плотность расселения пестряток демонстрировала положительную связь с плотностью бентоса в потоке и долей субстрата, покрытого мхом (Johansen et al., 2005). По мнению финских учёных, скорость роста пестряток выше в ручьях, обладающих хорошей кормовой базой, чем в основном русле (Erkinaro, Niemelä, 1995). Отечественные учёные связывают более высокий уровень энергетического метаболизма и темпа роста у молоди сёмги, обитающей в притоке, по сравнению с молодьёю из основного русла реки, с многочисленностью мелких кормовых организмов, более доступных сеголеткам лосося (Павлов и др., 2007).

Результаты проведённого исследования могут быть применены для более детальной классификации НВУ и расчёта репродукционного потенциала реки. Кроме того, показана возможность увеличения численности атлантического лосося за счёт искусственного создания НВУ с оптимальными для развития молоди характеристиками в рамках компенсации вреда, наносимого окружающей среде хозяйствующими субъектами.

#### Список литературы

1. Веселов А.Е. Инвентаризация и систематизация нерестовых рек атлантического лосося Мурманской области и Карелии // Доклады Академии Наук. 2006. Т. 407, № 3. С. 421-425.

2. Дгебуадзе Ю.Ю. Экологические закономерности изменчивости роста рыб. М.: Наука, 2001. 276 с.
3. Джефард С.Р. Атлантический лосось в Соединенных Штатах Америки // Атлантический лосось. СПб.: Наука, 1998. С. 396-413.
4. Кузьмин О.Г., Яковенко М.Я., Щуров И.Л., Шустов Ю.А., Маслов С.Е. Семга *Salmo salar* р. Умба. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1989. С. 37-40.
5. Мартынов В.Г., Куценко В.С. О влиянии Нижнетуломской ГЭС на скат молоди семги (*Salmo salar* L.) // Исследования популяционной биологии и экологии лососевых рыб водоёмов Севера. Л.: Зоол. ин-т АН СССР, 1985. С. 17-25.
6. Павлов Д.С., Мещерякова О.В., Веселов А.Е., Немова Н.Н., Лупандин А.И. Показатели энергетического обмена у молоди атлантического лосося *Salmo salar*, обитающей в главном русле и в притоке реки Варзуга (Кольский полуостров) // Вопросы ихтиологии. 2007. Т. 47, № 6. С. 819-126.
7. Ranke W., Rappe C., Soler T. Baltic Salmon Rivers – Status in the Late 1990 as Reported by the Countries in the Baltic Region // Eds. Göteborg: Göteborgs Länstryckeri AB. 1999. 69 p.
8. Erkinaro J., Niemelä E. Growth differences between the Atlantic salmon parr, *Salmo salar*, of nursery brooks and natal rivers in the River Teno watercourse in northern Finland // Environmental Biology of Fishes. 1995. Vol. 42(3). P. 277-287.
9. Johansen M., Elliott J.M., Klemetsen A. Relationships between juvenile salmon, *Salmo salar* L., and invertebrate densities in the river Tana, Norway // Ecology of freshwater fish. 2005. Vol. 14, Iss. 4. P. 331-343. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2005.00107.x>
10. Karlsson A. Luonnenlohen on saatava hengandysaika // Suomen luonto. 1994. Vol. 53, № 8. P. 14-17.
11. Zippin C. The removal method of population estimation // Journal of Wildlife Management. 1958. Vol. 22, № 1. P. 82-90.

## **ПРУДОВЫЕ ХОЗЯЙСТВА КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ ФОРМА РАЗВИТИЯ АКВАКУЛЬТУРЫ В МАЛЫХ ФОРМАХ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ**

М.Ю. Амелин

*Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ВНИИПРХ»), [amelin@vniiprh.vniro.ru](mailto:amelin@vniiprh.vniro.ru)*

*Аннотация: статья посвящена проблемам малых форм хозяйствования в рыбной отрасли в рамках развития прудового рыбоводства. Определены основные категории и понятия, а также выявлены характерные особенности малых форм прудового хозяйствования при взаимодействии с внешней средой. Ключевые слова: аквакультура, прудовые хозяйства, малые формы хозяйствования, рыбохозяйственный комплекс, прудовое рыбоводство*

В условиях реформирования экономики страны одной из важнейших задач является создание принципиально новой системы хозяйствования на всех уровнях иерархии. Она должна быть адекватной основным принципам рыночного функционирования и обладать высокой степенью эффективности. Главным ориентиром ее реформирования должны стать возрастающие потребности населения в разнообразных и качественных продуктах питания, что связано с социальной направленностью экономики.

В решении вопроса обеспечения населения страны продуктами питания, их наиболее существенной и пока еще ничем не заменимой составной частью – белком животного происхождения, важная роль отводится рыбному хозяйству России.

Являясь составной частью единой системы управления рыбным хозяйством страны, рыбохозяйственный комплекс региона должен развиваться, в первую очередь исходя из состояния и возможных направлений развития собственного производственного потенциала, с учетом развития экономики данного региона и страны в целом, экономики рыбного хозяйства России и других смежных отраслей народного хозяйства (Черданцев, 2022; Тронина и др., 2023; Черданцев и др., 2023).

В качестве одной из важнейших проблем, необходимость, решения которой возникает на региональном уровне, является развитие малых форм хозяйствования. В странах с рыночной экономикой малое предпринимательство выполняет двуединую экономико-социальную роль. Будучи «встроенным» в систему рыночных отношений, оно не только является катализатором, предпосылкой экономического развития, но и, создавая новые рабочие места, способствует снижению социальной напряженности в периоды безработицы, благодаря чему и пользуется покровительством государства. Однако в современных условиях государственная поддержка предпринимательства как экономическая политика скорее декларируется. На региональном уровне как «явление» рыночных отношений малых форм хозяйствования не нашло еще достаточного числа исследователей, проявления его форм и различий нуждаются в теоретическом осмыслении и выработке практических рекомендаций в направлении создания экономико-организационного механизма, адекватного задачам развития экономики мезоуровня.

Таким образом, «малые формы хозяйствования» в рыбохозяйственном секторе экономики, представляют собой самостоятельные физические и юридические лица (дачные и домашние производства, личные подсобные хозяйства, индивидуальные предприниматели, крестьянские (фермерские) хозяйства, малые сельскохозяйственные организации, потребительские кооперативы) с региональными ограничениями размеров хозяйствования по реализационной выручке до 60,0 млн руб., при численности

работников до 15 чел., ведущие на свой риск экономическую деятельность с целью производства продукции для собственного потребления, получения относительно малого постоянного или сезонного дохода от реализации продукции, выполнения работ или оказания услуг, отличающихся от других определений положениями об отнесении дачных и домашних хозяйств (производств) к МФХ, указаниями на локальность, самостоятельность несения рисков, высокую адаптацию, экономико-правовую привязку, спектр присущего им производства.

В 2022 г. уровень потребления рыбы и рыбных продуктов, по данным Росстата по обследованию домашних хозяйств Российской Федерации, сохранил позиции и в среднем на потребителя в год составил 21,9 кг. По оценке Минсельхоза России, в 2023 г. потребление составило порядка 22 кг в год (рис.).

Прудовое рыбоводство по своей структуре и содержанию мало чем отличается от животноводства. Пруд – та же ферма. Единственное, что отличает животноводческую ферму от рыбной – среда.

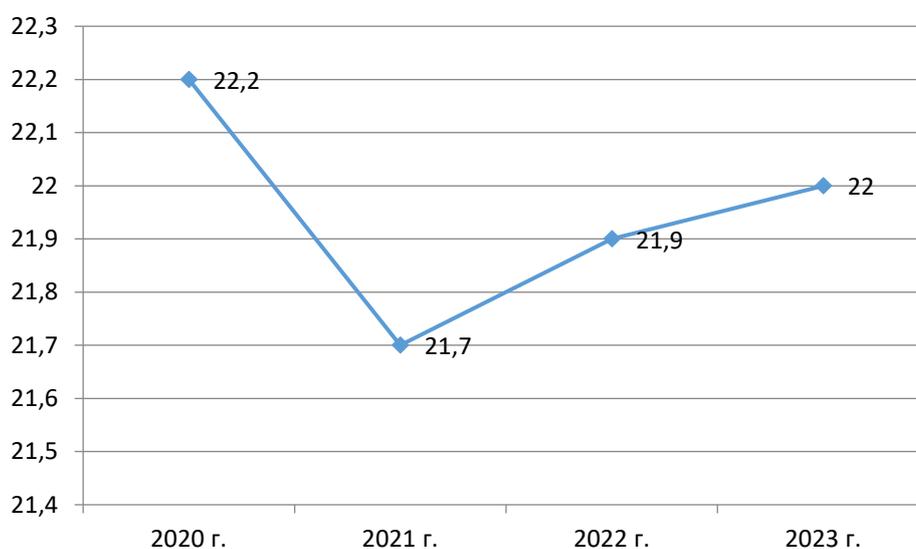


Рисунок. Потребление рыбы и рыбных продуктов в домашних хозяйствах Российской Федерации в среднем на потребителя в год, кг

Прудовое рыбоводство как традиционная форма ведения рыбного хозяйства – один из источников поступления товарной продукции в виде живой и парной рыбы. Дальнейшему развитию прудового рыбоводства способствует его высокая экономическая эффективность. Увеличение производства рыбы может быть достигнуто не только за счет дальнейшей интенсификации прудового рыбоводства на действующих площадях, но и за счет строительства новых водоемов на малых реках.

Известно, что прудовая рыба, имеющая низкую себестоимость, но не уступающая по качеству морской и океанической, сможет заменить последних, что дополнительно создаст условия для улучшения структуры питания для населения.

С учетом тенденции к здоровому образу жизни и спроса на экологически чистые продукты существуют перспективы именно у рыбы, выращиваемой в прудах, поскольку при ее кормлении не используются никаких сомнительных добавок и стимуляторов, а зачастую рыбоводы и вовсе обходятся обычным зерном.

На конец 2023 г. 106 тыс. т товарной рыбы (31%) выращивают в прудовых хозяйствах, расположенных в сельской местности. Прудовым рыбоводством занимаются более 2 тыс. предприятий. Основное производство прудовой рыбы сосредоточено в Южном, Северо-Кавказском, Центральном и Поволжском федеральных округах, где выращивается 75% прудовой рыбы, производимой в России. Прудовое рыбоводство

базируется в основном на поликультурном выращивании карпа и растительноядных рыб, культивируются также линь, карась, белый амур, толстолобик, щука, судак.

Общий фонд рыбноводных прудовых площадей инженерного типа составляет 150 тыс. га. Для выращивания рыбы используется 135 тыс. га, 15 тыс. га прудовых площадей необходимо восстановить.

2022 г. был провозглашен Международным годом кустарного рыболовства и аквакультуры. Под «кустарным рыболовством» подразумеваются не государственные, не холдинговые, а фермерские и семейные хозяйства, то есть малый бизнес, который помогает сохранять традиционные виды рыболовства в разных регионах.

Развитие прудового рыбноводства не лимитируется количественным и качественным составом рыбных запасов и может стать при известных условиях устойчивым, все возрастающим источником снабжения населения рыбой.

Сегодня в России есть большое количество невостребованных водоемов, из которых можно сделать настоящее рыбное хозяйство.

Самым сложным в организации подобного бизнеса являются административные барьеры. Для получения пруда в аренду нужно пройти череду согласований, бумажной волокиты и конкурсные торги на право арендовать конкретный водоем. Обращаться по вопросу аренды водного объекта необходимо в местную администрацию.

Важно знать, что не каждый водоем можно взять в аренду. Ограничение по закону накладывается, прежде всего, на водоемы, имеющие статус памятника природы. Сложно взять в аренду и пруды, которые расположены вблизи дачных территорий и городов, так как жалобы населения в адрес арендатора пойдут незамедлительно.

Стратегию развития и регулирования субъектов малых форм хозяйствования в рыбохозяйственном комплексе следует строить с учетом местных особенностей и проблем их роста. Особенности функционирования, развития и регулирования субъектов прудовых хозяйств могут оказывать как положительное (стимулирующее), так и отрицательное (сдерживающее) влияние. Проведенные исследования позволили выявить, что характерные особенности малых форм прудового хозяйствования при взаимодействии с внешней средой, проявляются в следующем:

- повышенная автономность, возможность саморазвития, самостоятельность, ответственность и самозащита, от факторов внешней среды основанная на частно-семейной собственности;
- рост численности участников малых форм производства в сельской местности снижает социальную напряженность;
- создание рабочих мест позволяет оперативно повышать уровень занятости, снижать избыточность трудовых ресурсов, предотвращает «вымывание» из села квалифицированных кадров;
- смягчаются проблемы демографии, развития сельских территорий, целостности государства, особенно в малонаселенной местности приграничных районах;
- работа в условиях совершенной конкуренции, при отсутствии рыночной власти и равных условий (по сравнению с другими участниками рынка) доступности и реализации продукции на мелкооптовых и розничных рынках;
- малые размеры хозяйствования по численности работающих, величине активов, объемам производства, доходам при большом многообразии организационно-правовых форм хозяйствования;
- относительно низкие расходы на труд, низкая стоимость создания рабочих мест и вхождения на рынок продукции, обусловленные малыми постоянными издержками на начальное и последующее хозяйствование;
- институциональная ограниченность возможностей создания и ведения деятельности, доступа к финансовым, материальным и информационным ресурсам;

- инфраструктурная неразвитость препятствует росту технологического уровня, показателю (числу) переделов рыбохозяйственного сырья;
- высокая вероятность необоснованного вмешательства, контроля со стороны местной бюрократии и теневых структур с негативным влиянием на себестоимость и возможности реализации;
- высокая чувствительность к инструментам государственного регулирования;
- низкий уровень легитимности, доверия к бюрократическим решениям создает трудности на пути принятия типовых, модельных управленческих решений по поддержке и государственному регулированию;
- низкий уровень развития инфраструктуры и объемов финансовой поддержки препятствует повышению конкурентоспособности и эффективности хозяйствования;
- специфика формирования факторов производства приводит к частому нарушению норм трудового законодательства;
- зависимость от местных условий ведения производства, емкости и конъюнктуры локальных рынков;
- малая величина собственного капитала, частое отсутствие залоговой базы, нехватка финансовых средств формируют высокую стоимость кредитования, создают перманентно-высокую вероятность банкротства;
- низкий уровень взаимодействия субъектов малых форм хозяйствования с другими участниками рынка рыбохозяйственного сырья, значительная ограниченность числа каналов реализации продукции, высокая волатильность рыночных цен, говорят о растущей необходимости потребительского кооперирования;
- преобладание неформального характера системы управления, высокая взаимозаменяемость функций исполнения, совмещение в одном лице статуса собственника и менеджера.

#### **Список литературы**

1. Тренина М.В., Давлетов И.И., Имайкин Д.Т., Криницын И.В. Необходимость решения проблемы насыщения регионального рынка рыбной продукцией и продукцией аквакультуры // Теория и практика мировой науки. 2023. № 5. С. 30-34.
2. Черданцев В.П. Важность правового механизма при определении стратегических целей развития малых форм агробизнеса // Электронное сетевое издание «Международный правовой курьер». 2022. № 9. С. 97-106.
3. Черданцев В.П. Тренина М.В., Криницын И.В. Роль малых форм хозяйствования в развитии государства // Электронное сетевое издание «Международный правовой курьер». 2023. № 24. С. 37-41.

## ВЫЛОВ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛЕЩА *ABRAMIS BRAMA* НИЖНЕКАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

О.К. Анохина\*, Ф.М. Шакирова\*, Г.Д. Валиева\*\*,  
Л.К. Говоркова\*\*\*

\* Государственный комитет Республики Татарстан по биологическим ресурсам, г. Казань, [ananohin@mil.ru](mailto:ananohin@mil.ru)

\*\* Татарский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТатарстанНИРО»), г. Казань  
\*\*\* Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

Аннотация: приведен анализ уловов и биологических показателей леща Нижнекамского водохранилища. Показаны изменения, произошедшие за 2001-2022 гг. в популяции леща этого водоёма.

Ключевые слова: лещ, Нижнекамское водохранилище, вылов, возраст, длина, масса

Нижнекамское водохранилище было образовано и начало заполняться в 1979 г, после перекрытия плотиной Нижнекамской ГЭС р. Кама.–Создание этого водоёма в значительной степени изменило условия обитания, состав и структуру популяций рыб, ранее обитавших в реках Волга и Кама – исходных водных системах водохранилищ (Шакирова и др., 2018).

В первые годы формирования ихтиоценоза водохранилища преимущественное развитие получили лимнофильные виды: лещ *Abramis brama* (Linnaeus, 1758), плотва *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758), чехонь *Pelecus cultratus* (Linnaeus, 1758), щука *Esox lucius* (Linnaeus, 1758), речной окунь *Perca fluviatilis* (Linnaeus, 1758), синец *Abramis ballerus* (Linnaeus, 1758) и др.

Целью данной статьи является рассмотрение динамики уловов и биологических показателей леща Нижнекамского водохранилища за период 2001-2022 гг.

Рыба отлавливалась в 2001-2022 гг. в Нижнекамском водохранилище в весенне-летний и осенний периоды ставными сетями с ячеей 18-120 мм. В исследованиях применялись общепринятые методики (Чугунова, 1959; Правдин, 1966). Всего обработано 9380 экз. леща.

Для создания благоприятных условий формирования сырьевой базы рассматриваемого водоема с 1979 по 1983 гг. в нем был объявлен запрет на промышленный и любительский лов рыбы (Махотин, 1985, 1988; Бартош, 2006). Затем, в 1984-1985 гг., в водохранилище был разрешен мелиоративный отлов крупной щуки и неохранных рыб, а с 1986 г. эксплуатация водных биоресурсов в водоёме ведется в промысловом режиме. При этом, если в 1987 г. основу уловов в водохранилище составляла щука, занимавшая 53 % от всего объема выловленной рыбы, а лещ занимал второе место – 14 %, то в 1988 г. вылов щуки был равен уже 47 %, а леща – 16 %, и затем с каждым годом доля леща в уловах повышалась. С 1992 г. изменения, произошедшие в экосистеме при зарегулировании стока рек Волги и Камы, завершились и водоем перешел в стационарное состояние.

С 1995 г. лещ стал занимать первое место в промысле, максимальный годовой вылов его достигал в этот период 147,4 т, или 46 % от всего вылова. В последующие годы он продолжал доминировать в уловах Нижнекамского водохранилища и составлял 36 % среднегодового официального вылова.

В настоящее время лещ – самый многочисленный и доминирующий промысловый вид Нижнекамского водохранилища, как и расположенного рядом Куйбышевского водохранилища (Шакирова и др., 2021). Анализ его биологических характеристик показал, что научные и промысловые уловы в водоеме состояли из рыб в

возрасте 4+ – 16+ лет, единично встречались особи в возрасте 17+ – 21+ лет. Промысел, в первую очередь, изымает рыб в возрасте от 7 до 12 лет.

Половое созревание леща Нижнекамского водохранилища наступает у самцов в возрасте 6-7 лет, при длине тела равной 26 см, массе – 405 г. Самки, как правило, начинают созревать в возрасте 8-9 лет, при длине тела 27 см и массе – 330 г. По данным Н.А. Бартош (2006), ранее, в 1988-2002 гг., массовое созревание самцов отмечалось в 9-10 годовалом возрасте, самок – в 10-11 лет.

Такая же тенденция более раннего созревания в водохранилище, чем в реке, послужившей его основой, отмечена и для леща, обитающего в расположенном неподалёку Куйбышевском водохранилище. До создания этого водохранилища в р. Волга половая зрелость у самок леща наступала в возрасте 6-9 лет, у самцов на год раньше. Позже в Куйбышевском водохранилище самцы леща стали созревать в возрасте 4-5 лет, самки – в 5-6 лет (Шакирова и др., 2021).

В научно-исследовательских уловах в Нижнекамском водохранилище лещ встречался с длиной тела от 12 до 50 см, численно преобладали рыбы от 22 до 30 см (70 %), размер которых в среднем составлял 25,3 см. Масса тела изменялась от 195 до 1750 г, в среднем – 395 г. При этом промысел леща последних лет базируется на рыбах в возрасте от 6 до 11 лет. Вылов его на водохранилище колебался от 62 т (2001 г.) до 217 т (2020 г.), находясь в 2019-2022 гг. на достаточно высоком уровне (рис.). Таким образом, на Нижнекамском водохранилище не отмечено значительных изменений биологических показателей и падения уловов этого объекта промысла.

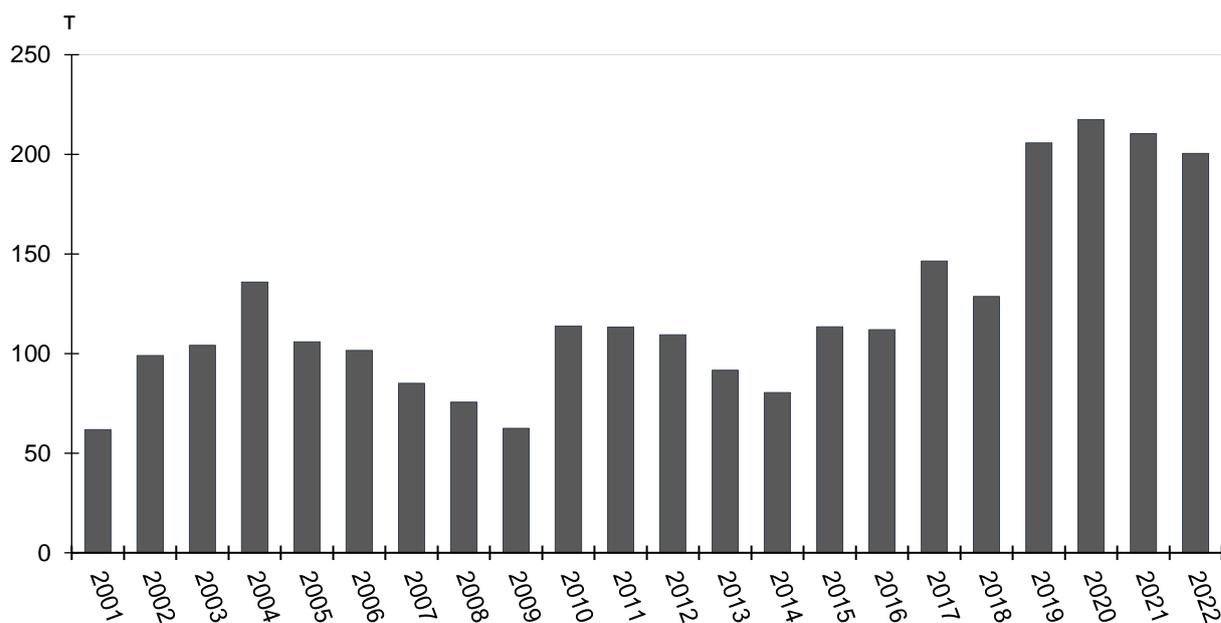


Рисунок. Динамика вылова леща Нижнекамского водохранилища, т

Анализ проведенных исследований подтверждает, что в настоящее время состояние популяции леща в Нижнекамском водохранилище стабильно по ряду вышеназванных биологических показателей.

Сложившиеся условия его обитания в водохранилище за последние 20 лет (обеспеченность кормовой базой и устойчивое пополнение) способствуют сохранению популяции леща на уровне среднесезонных значений.

Авторы выражают искреннюю признательность сотрудникам «ТатарстанНИРО», которые принимали участие в сборе и обработке первичного материала по лещу Нижнекамского водохранилища.

### Список литературы

1. Бартош Н.А. Состояние рыбных ресурсов в Нижнекамском и Куйбышевском водохранилищах в начале XXI столетия. Казань: Отечество, 2006. 181 с.
2. Махотин Ю.М. Промысел рыбы и промысловые возможности Нижнекамского водохранилища // Рыбное хозяйство Среднего Поволжья : Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1988. Вып. 280. С. 11-16.
3. Махотин Ю.М., Браславская Л.М. Размножение рыб в Нижнекамском водохранилище // Формирование кормовой базы и ихтиофауны во вновь созданных водохранилищах Волжско-Камского каскада : Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1985. Вып. 240. С. 130-133.
4. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М., 1966. 246 с.
5. Шакирова Ф.М., Анохина О.К., Ахтямова Р.К., Валиева Г.Д. Современное состояние водных биоресурсов Нижнекамского водохранилища и среды их обитания // Современное состояние Нижнекамского водохранилища : Сб. науч. трудов. 2018. Вып. 15. С. 77-94.
6. Шакирова Ф.М., Смирнов А.А., Анохина О.К., Валиева Г.Д. Современная биологическая характеристика леща *Abramis brama* (L) Куйбышевского водохранилища // Вопросы рыболовства. 2021. Т. 22. № 3. С. 40-50.
7. Чугунова Н.И. Руководство по изучению возраста и роста рыб (методическое пособие по ихтиологии). М.: Изд-во АН СССР. 1959. 165 с.

**ИЗУЧЕНИЕ ИХТИОФАУНЫ МАЛЫХ ОЗЁР ПСКОВСКОГО РЕГИОНА**

В.Б. Антипова

*Псковский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Псков, [v.antipova@pskov.vniro.ru](mailto:v.antipova@pskov.vniro.ru)*

Аннотация: выделены этапы и основные достижения в истории исследований ихтиофауны региона, показана ключевая роль Псковского отделения ГосНИОРХ в её изучении.

Ключевые слова: изучение ихтиофауны, Псковская область, малые озёра, Псковское отделение ГосНИОРХ, ПсковНИРО

На территории Псковской области расположено более 3700 озёр, включая Чудско-Псковское озеро, четвёртое по величине в Европе. Многие из них богаты рыбными ресурсами, что диктует необходимость изучения их рыбного населения.

До середины XIX в. в литературе можно найти только некоторые упоминания о рыбах малых озёр Псковской губернии (Бутырский, 1839; Военно-статистическое обозрение..., 1852). Даже во второй половине XIX в., характеризовавшейся в России увеличением сведений о биологии рыб, постепенным выделением ихтиологии в самостоятельную отрасль знаний, внимания малым озёрам Псковской губернии практически не уделялось. Проводившиеся исследования в Псковской губернии в XIX столетии касались исключительно Чудско-Псковского озера. В значительной степени это было связано с тем, что рыболовство в них было нерентабельно. «Псковская губерния прорезана большим количеством рек и речек и имеет значительное число озёр; но все они в отношении рыбного промысла мало заслуживают внимания, доставляя рыболовством только небольшое количество рыбы для потребления местными жителями; в случае же её продажи – денежный доход, получаемый от этого промысла, редко равняется ценности рабочего времени» (Рыбный промысел, 1858). Местные издания (Статистическо-географический словарь..., 1896; Словарь рек..., 1899) по-прежнему содержали только единичные сведения о рыбах малых озёр, в первую очередь, их видовом составе.

Тенденцию к более внимательному изучению малых водоёмов можно проследить с конца XIX в. В местной печати стали появляться публикации о необходимости изучения озёр губернии, уездные и губернские земства всё чаще рассматривали эти вопросы на собраниях. В 1898 г. на одном из заседаний экономического совета губернского земства графом П.А. Гейденом был поднят вопрос о сокращении запасов рыбы в малых озёрах. Он сослался на пример своего Опочецкого уезда, отметив, что там «есть много рыбных озёр, причем замечено, что в последние годы количество рыбы в них, судя по уловам, уменьшается» (Журнал заседания..., 1898). В 1900 г. в уезд Обществом рыбоводства и рыболовства был командирован Б.А. Гейнеман, специалист Министерства земледелия, который в течение почти двух месяцев изучал местные озёра. Результатом его работы стал доклад общему собранию Общества, в котором были представлены сведения о 51 озере, включавшие данные о числе владельцев, физико-географических особенностях, способах и орудиях рыболовства, видах рыб (Гейнеман, 1900). В докладе перечислялось двадцать три вида рыб, тринадцать из которых являлись объектами промысла.

Началом целенаправленного изучения ихтиофауны малых водоёмов Псковской губернии можно считать кадастровое обследование озёр, проведённое во всех уездах Псковской губернии в 1907-1908 гг. Поводом для неё послужил закон 1893 г., в силу которого необходимо было найти основания для оценки рыбных ловель как подлежащих

земскому обложению оброчных статей. В программу изучения были включены вопросы, касающиеся физико-географических и гидрологических характеристик озёр, а также определения видового состава рыб (Кисляков, 1908). В результате был составлен кадастр, включивший описание 1650 озёр губернии. Итоги этой работы были обобщены в книге О.А. Шкапского (1912), одна из глав которой полностью посвящена ихтиофауне. Отмечая, что рыбная фауна псковских малых озёр не отличается богатством и разнообразием, автор включил в список рыб 30 видов. Анализируя распространение видов, Шкапский распределил их по типам озёр, обращая при этом внимание на проточность, особенности берегов и донных грунтов, глубину водоёмов, как характеристик, влияющих на структуру и качество рыбного населения. Это было первое исследование, в котором не только делалась попытка составить список видов рыб, обитающих в озёрах губернии, но и связать их распространение с лимнологическими характеристиками водоёмов.

После гражданской войны рыбному делу в губернии уделялось значительное внимание (Антипова, Михалап, 2021), однако о возобновлении научных исследований можно говорить только, начиная с первой половины тридцатых годов. В 1932 г. Всесоюзный научно-исследовательский институт озёрного рыбного хозяйства (ВНИОРХ) выполнил широкое рыбохозяйственное обследование малых озёр Ленинградской области, куда входил и Псковский округ (Опыт кадастра..., 1933). Главными целями этой работы было определение путей построения рационального рыбного хозяйства, составление плана акклиматизационных мероприятий. В числе задач проекта было и определение состояния рыбных запасов озёр. На основе обследования был подготовлен план рыбоводно-мелиоративных и акклиматизационных мероприятий.

В 1934-1935 гг. комплексная экспедиция ВНИОРХ под руководством П.А. Дрягина обследовала шесть малых озёр Пустошкинского района, где участники экспедиции изучали особенности биологии массовых видов рыб. Итогом экспедиции стали рекомендации по организации рационального рыбного хозяйства, включавшие необходимость проведения мелиоративных мероприятий (Озера..., 1935).

В послевоенные годы в СССР значительно возрос интерес к ихтиофауне пресноводных водоёмов как одному из важных ресурсов повышения благосостояния общества. Началось более глубокое исследование рыбного населения озёр в целях поиска путей увеличения рыбных запасов, приведшее в итоге к окончательному обоснованию необходимости реконструкции их ихтиофауны. Эти процессы затронули и территории современной Псковской области. В 1948 г., после образования Великолукской и Псковской областей, было организовано Великолукское отделение ВНИОРХ, приступившее к изучению малых озёр Великолукской области. Создание отделения ознаменовало новый этап в изучении ихтиофауны региона. Его сотрудники проделали большую работу по составлению кадастра озёр: ими было учтено 1255 озёр, на 869 из них составлены кадастровые анкеты, в которых перечислялись виды рыб и указывался профиль рыбоводной эксплуатации (Абросов, 1950). В ходе исследований состояния сырьевой базы и рыбного промысла на озёрах Невельского и Себежского районов изучались особенности биологии основных промысловых рыб. Работа проводилась под руководством научного сотрудника филиала В.Н. Абросова, внесшего значительный вклад в изучение ихтиофауны, гидробиологии, лимнологии, гидробиологии и рыбного хозяйства региона.

После объединения Псковской и Великолукской областей, с переименованием отделения и его переездом в Псков, расширился не только ареал исследований, но и направления работы. Сотрудники отделения искали пути увеличения запасов ценных видов в озёрах региона, уделяя особое внимание изучению питания и пищевых взаимоотношений рыб, исследованию состояния кормовой базы. На протяжении шестидесятых – восьмидесятых годов XX в. изучались особенности питания, роста,

нереста рыб малых озёр, проводились исследования влияния орудий и методов рыболовства на ихтиофауну. В связи с широкими работами по рыбохозяйственной акклиматизации новых видов, в первую очередь, пеляди, велась значительная работа по изучению её экологии (Антипова, Михалап, 2022).

Накопленные данные позволили приступить к масштабному кадастровому обследованию малых озёр, проведенному специалистами Псковского отделения в конце девяностых – начале двухтысячных годов, охватившему водоёмы всех районов области. На его основе была создана в 2007 г. электронная база данных малых озёр Псковской области (Создание электронной..., 2007), в которой учтено 3554 озера площадью более 0,25 га, для каждого из которых был определён состав ихтиофауны и ихтиологический тип. Руководителем этого проекта был научный сотрудник Псковского отделения ГосНИОРХ Ю.В. Александров. Особо отметим составление видовых аннотированных списков ихтиофауны национальных парков и заказников Псковской области, выявление особенностей популяции угря себежских водоёмов, уточнение и описание биологии и ареалов обитания ряпушки и судака в малых озёрах области.

Со второго десятилетия XXI в. промысловый лов на малых озёрах области практически не ведётся, однако получило распространение создание рыбоводных хозяйств по выращиванию ценных видов рыб. Сегодня одним из направлений деятельности Псковского филиала ВНИРО является изучение возможностей создания рыбоводных хозяйств и определение их влияния на экологию водоёмов.

Таким образом можно выделить следующие этапы и ключевые события в истории изучения ихтиофауны региона:

1900-е – 1940-е гг.: начало изучения ихтиофауны Псковской губернии. Ключевым событием явилось кадастровое обследование озёр 1907-1908 гг., в ходе которого был определён видовой состав рыб, сделана попытка связать распространение рыб с лимнологическими характеристиками водоёмов.

1948 – 1980-е гг.: изучение особенностей биологии промысловых рыб малых озёр в связи с попытками реконструкции их ихтиофауны. Ключевым событием стало создание Великолуцкого, а затем Псковского отделения ГосНИОРХ. Были уточнены особенности биологии промысловых видов, проведены многочисленные попытки акклиматизации видов рыб, определено влияние промысловых орудий на состояние запасов.

1990-е – 2000-е гг.: изучение особенностей биологии рыб в связи с нарастающим антропогенным влиянием на водоёмы. Ключевым событием явилось составление кадастра малых озёр Псковской области. Был уточнён и дополнен видовой состав рыб, выделены особенности экологии ценных промысловых видов: судака, ряпушки, угря.

2010-е гг. – настоящее время: выборочное рыбохозяйственное изучение озёр. Ключевым событием стало преобразование Псковского отделения ГосНИОРХ в Псковский филиал ФГБНУ «ВНИРО», одним из направлений работы которого является изучение влияния рыбоводных хозяйств на экологию малых озёр.

В заключение отметим, что изучение рыб и круглоротых в регионе являлось и является составной частью прикладных рыбохозяйственных исследований, главные результаты были получены в ходе работы комплексных экспедиций. Важнейшую роль в развитии изучения ихтиофауны области сыграло Псковское отделение ГосНИОРХ, исследования которого оказали влияние на развитие рыбного хозяйства региона, заложив основы рационального рыболовства и позволив перейти к более широким экспериментам в области рыбоводства.

#### Список литературы

1. Абросов В.Н. Рыбное хозяйство Великолуцкой области и пути его рационального развития / Великолуцкое отд. ВНИОРХ. Торопец, 1950. 89 с. (Архив ПсковНИРО)

2. Антипова В.Б., Михалап С.Г. Акклиматизация пеляди *Coregonus peled* (Gmelin, 1789) в малых озерах Псковской области // Актуальные вопросы пресноводной аквакультуры : Сб. науч. трудов. Вып. 93. М.: Астрахань: ИП Сорокин, 2022. С. 209-231.
3. Антипова В.Б., Михалап С.Г. Из истории становления псковского рыбоводства (1917-1941 гг.) // Псков. Научно-практический, историко-краеведческий журнал. 2021. № 55. С. 118-129.
4. Бутырский И.П. О реках и озёрах Псковской губернии // Псковские губ. ведомости. 1839. № 36. С. 302-307.
5. Военно-статистическое обозрение Российской империи, издаваемое по Высочайшему повелению при 1-м отделении Департамента Генерального Штаба. Т.3, ч. 2. Псковская губерния. СПб.: Типогр. Ген. Штаба, 1852. 407 с.
6. Гейнеман Б.А. Исследования озёр Опочецкого уезда Псковской губернии в рыболовном отношении // Вестник рыбопромышленности. 1900. № 4. С. 205-232.
7. Журнал заседания экономического совета, состоящего при Губернской земской управе. 16 мая 1898 года. Псков, 1989. С. 7.
8. Кисляков Н. К вопросу об изучении озёр в Псковской губернии: доклад Псковскому губернскому земскому собранию // Вестник рыбопромышленности. 1908. Т. 23, № 4. С. 204-215.
9. Озера Пустошкинского района Калининской области: по материалам Пустошкинской экспедиции ВНИОРХ 1934-1935 гг. Л., 1935. 192 с. (Архив ПсковНИРО).
10. Опыт кадастра озёр Ленинградской области с рыбохозяйственной целью: исследования Института Озёрного и Речного Рыбного Хозяйства 1932 г. // IV Гидрологич. конф. Балтийских стран: сент. 1933, Ленинград. Т.1. Л.: Изд. гос. гидрол. ин-та, 1933. С. 10-24.
11. Рыбный промысел // Памятная книжка Псковской губернии на 1858 год. Псков, 1858. С. 162-167.
12. Словарь рек и озёр, орошающих Псковскую губернию // Памятная книжка Псковской губернии на 1899 год. Псков, 1899. Паг. 5. Отд. 4. С. 1-209.
13. Создание электронной базы данных для ведения реестра рыбопромысловых участков малых озёр Псковской области: Отчет о НИР / Псковское отд. ГосНИОРХ; Ю.В. Александров. Псков, 2007. 8 с. (Архив ПсковНИРО).
14. Статистическо-географический словарь Порховского уезда Псковской губернии. 4. Псков, 1896. С. VI.
15. Шкапский О.А. Озёра Псковской губернии / под ред. [и с предисл.] Н.М. Кислякова. Псков, 1912. 286 с.

## МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИММУНИТЕТА РЫБ

О.В. Апаликова\*, М.Н. Киселева\*, Д.К. Митрюшкина\*,  
Т.А. Филатова\*, Ю.Н. Лукина\*\*

\*Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), г. Санкт-Петербург, [apalikova@niorh.vniro.ru](mailto:apalikova@niorh.vniro.ru)

\*\*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

*Аннотация: новейшие данные по широкому спектру белков в каскадах иммунных реакций, определяющих функционирование иммунной системы рыб, помогают в разработке новых биотехнологических подходов для целей защиты рыб от инфекций. Результаты подобных исследований могут быть использованы для контроля противовирусных иммунных реакций, изучения зависимости иммунных реакций от различных биодобавок в кормах, в том числе жирных кислот, оценки состояния вирусной нагрузки, реакции на вакцины и лекарственные препараты в аквакультуре.*

Ключевые слова: аквакультура, иммуногеномика, цитокин, интерферон, экспрессия, мРНК, врожденный и адаптивный иммунитет

Внедрение интенсивных методов культивирования и новые биотехнологические достижения обеспечивают быстрые темпы развития аквакультуры. В условиях бурного роста отрасли возрастают риски, связанные с инфекционными заболеваниями объектов выращивания.

В индустриальной аквакультуре применение антибиотиков и химических препаратов для профилактики и лечения болезней рыб достигает значительных объемов. Избыточное использование антибиотиков нежелательно и для водных экосистем в целом, и для микрофлоры человека в связи с поступлением в организм с рыбной продукцией не нужных здоровому человеку антибиотиков. Один из рисков вследствие избыточного применения антибиотиков связан с повышением пороговых значений устойчивости патогенов к лекарственным препаратам и, как следствие, появлением супербактерий.

Наряду с усилением контроля за интродукцией посадочного материала, качеством кормов и составом лекарственных препаратов, важным ресурсом укрепления защитной системы рыб можно рассматривать применение иммуномодуляторов, пробиотиков и пребиотиков, а также разработку противовирусных вакцин. С начала нынешнего века множество исследований было направлено на изучение генетического контроля взаимосвязанных биохимических звеньев в системе иммунных процессов рыб (Zheng, 2015; Muge, 2019; Yerramalla, 2000).

Иммунная система рыб и других позвоночных животных включает врожденные и приобретенные (адаптивные) иммунные реакции и основана на общих принципах – противодействие чужеродным патогенным организмам, защита от токсинов и злокачественных клеток посредством активизации неспецифических и специфических механизмов.

*Врожденный иммунитет рыб.*

Система врожденного иммунитета является первой линией защиты иммунной системы рыб посредством фагоцитоза макрофагами и дендритными клетками, а также через синтез антимикробных агентов (Uribe, 2011), она включает три компонента: физические или поверхностные, гуморальные и клеточные факторы. Поверхностные факторы включают чешую, слой слизи и эпителиальные клетки, выстилающие жабры, кожу и желудочно-кишечный тракт. В верхнем слое эпидермиса в больших количествах присутствуют макрофаги, эозинофильные гранулоциты и

лимфоциты. Целостность этих клеток играет ключевую роль в сохранении осмотического баланса и уничтожении микроорганизмов (Plouffe, 2005).

Признавая высокое сходство во врожденных иммунных реакциях костистых рыб и млекопитающих, многие исследования были направлены на выявление особенностей, характерных для рыб. Так, было показано, что врожденные иммунные реакции могут запускаться посредством механизма распознавания вирусных патогенов или молекулярных паттернов, ассоциированных с патогеном (PAMP) рецепторами распознавания образов (PRR) (Cawai, 2006; Bonjardim, 2009). Экспериментальное применение в качестве молекулярных паттернов, ассоциированных с патогеном, нашли такие вещества, как синтетическая двухцепочечная РНК (dsRNA) полирибоинозиновая полирибозитидиловая кислота (polyI:C) и одноцепочечная РНК (ssRNA), которые имитируют запуск противовирусных реакций на dsRNA- и ssRNA-вирусы, соответственно (Kumar, 2009a; Kumar, 2009b). Было показано, что эти вещества применимы для оценки противовирусных иммунных реакций различных видов рыб. Так, с помощью микрочипов и секвенирования были идентифицированы мРНК генов, экспрессируемых в ответ на введение polyI:C в селезенку атлантической трески (Booman, 2014).

#### *Приобретенный (адаптивный) иммунитет рыб.*

Адаптивные иммунные реакции основаны на распознавании антигенов, структурных элементов патогена. Каскад реакций адаптивного иммунитета запускается в результате взаимодействия антигенов с антигенспецифическими рецепторами, расположенными на поверхности Т- и В-лимфоцитов (Pancer, 2006).

Хотя клетки некоторых органов, отвечающие за иммунитет у рыб (тимус и селезенка), и клетки (моноциты, лимфоциты и нейтрофилы) функционально сходны с иммунными клетками млекопитающих, иммунная система и иммунные реакции рыб имеют некоторые отличия от высших позвоночных. Например, в иммунной системе рыб отсутствуют зародышевые центры. Было показано, что иммуноглобулины костистых рыб обладают более низким сродством к антителам по сравнению с иммунной системой млекопитающих, а некоторые из иммуноглобулинов – IgG, IgE и IgA у рыб не синтезируются (Tort, 2003; Rauta, 2012).

Многочисленные водорастворимые белковые молекулы, функции которых направлены на разрушение целостности или подавление роста патогенных микроорганизмов, на нейтрализацию жизненно важных для патогена ферментов, составляют гуморальный компонент иммунной системы. К группе неспецифических защитных веществ рыб относятся трансферрин, лектины, лизоцим, антимикробные пептиды, цитокины в частности, интерлейкины IL1 $\beta$  и IL8, и компоненты системы комплемента. Как белок острой фазы воспаления, трансферрин является жизненно важным элементом для роста микроорганизмов. В процессе воспалительной реакции трансферрин принимает на себя функцию удаления железа из поврежденных тканей, а также является активатором макрофагов (Stafford, 2003).

#### *Функции цитокинов и иммуноглобулинов у рыб*

У костистых рыб и других челюстных позвоночных адаптивная иммунная система основана на функционировании В- и Т-клеток, на разнообразии их антигенспецифичных рецепторов – иммуноглобулинов (IG) или антител и Т-клеточных рецепторов, соответственно (Cooper, 2006). Было показано, что в В-клетках костистых рыб экспрессируются гены трёх изотипов иммуноглобулинов (Ig): IgD, IgM и IgT/Z. В соответствии с этими различиями были охарактеризованы три основные линии В-клеток. Преобладающим и наиболее древним иммуноглобулином у рыб является тетрамер класса IgM, который содержит восемь сайтов, объединяющих антигены (Acton, 1971). У радужной форели был выявлен иммуноглобулин, получивший название IgT, который представлен в её организме тремя подклассами: синтез IgT1 происходит в

лимфоидных тканях; IgT2 преимущественно экспрессируется в лимфоидных органах, тогда как IgT3 был обнаружен в сыворотке крови радужной форели (Zhang, 2017).

Важную регуляторную роль в механизмах иммунного ответа рыб играют цитокины, которые взаимодействуют с клеточной мембраной через специфические рецепторы, тем самым обеспечивая каскадную индукцию, стимуляцию или подавление экспрессии определенных ядерных генов. У костистых рыб обнаружены такие цитокины, как фактор некроза опухоли –  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ), интерлейкин –  $1\beta$  (IL- $1\beta$ ), трансформирующий фактор роста –  $\beta$  (TGF- $\beta$ ), интерфероны (IFN) и разнообразные хемокины (Laing, 2004; Zou, 2005). Интерфероны являются ключевыми цитокинами челюстных позвоночных, участвующими в противовирусном иммунитете. В клетках-хозяевах позвоночных роль интерферонов в защите от вирусной инфекции определяется секрецией INF $\alpha/\beta$  при распознавании вирусной нуклеиновой кислоты. Защитная функция интерферонов основана на их связывании с различными рецепторами, что приводит к активации множества генов, часть которых кодирует противовирусные белки. Интерфероны выделены в три большие группы, где молекулы I и III типа обеспечивают в первую очередь противовирусную защиту, тогда как интерфероны II типа выполняют у рыб более разнообразные функции, принимая участие в клеточно-опосредованном иммунитете в ходе адаптивных иммунных реакций в ответ на различные патогены (Redmond, 2019).

Интерфероны I и/или II типов были идентифицированы и структурно охарактеризованы у нескольких видов костистых рыб (атлантической трески, атлантического лосося, радужной форели и данио рерио) (Robertsen, 2003, 2006; Furnes, 2009). Представители I группы интерферонов характерны для всех позвоночных, тогда как гены, отнесенные ко второй группе, были идентифицированы только у лососевых и карповых, что позволяет предположить, что они являются интерферонами, специфичными для костистых рыб (Zou, 2024).

Современные сведения о функциях основных компонентов иммунитета рыб получены прежде всего благодаря возможностям интенсивно развивающихся методов иммуногеномики. Разработка новых биотехнологических подходов для целей защиты рыб от инфекций проводится на основе новейших данных по широкому спектру маркеров, прежде всего, иммунных белков, участвующих в каскадах биохимических реакций, которыми определяется функционирование иммунной системы рыб.

Полномасштабный анализ экспрессии генов позволяет охарактеризовать сигнальные пути, активируемые противовирусными и противобактериальными реакциями, которые сохраняются у изучаемых видов рыб. Кроме того, молекулярные методы исследования динамики экспрессии генов отдельных иммунных белков позволяют разрабатывать модельные эксперименты под частные задачи укрепления иммунитета и защиты от инфекций у объектов аквакультуры.

Работа выполнена за счёт средств гранта РФФИ № 23-26-00258.

#### Список литературы

1. Acton R.T., Weinheimer P.F., Hall S.J., Niedermeier W., Shelton E., Bennett J.C. Tetrameric immune macroglobulins in three orders of bony fishes // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1971. N 68. P. 107-111.
2. Bonjardim C.A., Ferreira P.C., Kroon E.G. Interferons: signaling, antiviral and viral evasion // Immunol. Lett. 2009. N 122. P. 1-11.
3. Booman M., Xu Q., Rise M.L. Evaluation of the impact of camelina oil-containing diets on the expression of genes involved in the innate anti-viral immune response in Atlantic cod (*Gadus morhua*) // Fish Shellfish Immunol. 2014. N 41. P. 52-63.
4. Cooper M.D., Alder M.N. The evolution of adaptive immune systems // Cell. 2006. N 124. P. 815-822.
5. Zheng F., Asim M., Jiangfeng Lan, Lijuan Zhao, Shun Wei, Nan Chen, Xiaoling Liu, Yang Zhou, Li Lin. Molecular Cloning and Functional Characterization of Mannose Receptor in Zebra Fish (*Danio rerio*) during Infection with *Aeromonas sobria* // Int. J. Mol. Sci. 2015. N 16. P. 10997-11012.

6. Furnes C., Seppola M., Robertsen B. Molecular characterisation and expression analysis of interferon gamma in Atlantic cod (*Gadus morhua*) // Fish Shellfish Immunol. 2009. N 26. P. 285-292.
7. Kawai T., Akira S. Innate immune recognition of viral infection // Nat. Immunol. 2006. N 7. P. 131-137.
8. Kumar H., Kawai T., Akira S. Pathogen recognition in the innate immune response // Biochem. J. 2009a. N 420. P. 1-16.
9. Kumar H., Kawai T., Akira S. Toll-like receptors and innate immunity // Biochem. Biophys. Res. Commun. 2009b. N 388. P. 621-625.
10. Laing K.J., Secombes C.J. Chemokines // Dev. Comp. Immunol. 2004. N 28. P. 443-460
11. Mogue N., Terekhanova N., Afanasyev S., Krasnov A. Transcriptome sequencing of hybrid bester sturgeon: Responses to poly (I:C) in the context of comparative immunogenomics // Fish and Shellfish Immunology. 2019. N 93. P. 888-894.
12. Pancer Z., Cooper M.D. The evolution of adaptive immunity // Annu. Rev. Immunol. 2006. N 24. P. 497-518.
13. Plouffe D.A., Hanington P.C., Walsh J.G., Wilson E.C., Belosevic M. Comparison of select innate immune mechanisms of fish and mammals // Xenotransplantation 2005. N 12. P. 266-277.
14. Rauta P.R., Nayak B., Das S. Immune system and immune responses in fish and their role in comparative immunity study: A model for higher organisms // Immunol. Lett. 2012. N 148. P. 23-33.
15. Redmond A.K., Zou J., Secombes C.J., Macqueen D.J., Dooley H. Discovery of all three types in cartilaginous fishes enables phylogenetic resolution of the origins and evolution of interferons // Front. Immunol. 2019. N 10. P. 1558. DOI: 10.3389/fimmu. 2019.01558.
16. Robertsen B. The interferon system of teleost fish // Fish Shellfish Immunol. 2006. N 20. P. 172-191.
17. Robertsen B., Bergan V., Røkenes T., Larsen R., Albuquerque A. Atlantic salmon interferon genes: cloning, sequence analysis, expression, and biological activity // J. Interferon Cytokine Res. 2003. N 23. P. 601-612.
18. Stafford J.L., Belosevic M. Transferrin and the innate immune response of fish: Identification of a novel mechanism of macrophage activation // Dev. Comp. Immunol. 2003. N 27. P. 539-554.
19. Tort L., Balasch J., Mackenzie S. Fish immune system. A crossroads between innate and adaptive responses // Immunologia 2003. N 22. P. 277-286.
20. Udaya Lakshmi Yerramalla, Siva Kumar Nadimpalli, Peter Schu, Kurt von Figura, Annette Hille-Rehfeld Conserved cassette structure of vertebrate Mr 300 kDa mannose 6-phosphate receptors: partial cDNA sequence of fish MPR 300 // Comparative Biochemistry and Physiology. Part B. 2000. N 127. P. 433-441.
21. Uribe C., Folch H., Enriquez R., Moran G. Innate and adaptive immunity in teleost fish: a review // Veterinarni Medicina 2011. N 56. P. 486-503.
22. Zhang N., Zhang X.J., Chen D.D., Sunyer J.O., Zhang Y.A. Molecular characterization and expression analysis of three subclasses of IgT in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Dev. Comp. Immunol. 2017. N 70. P. 94-105.
23. Zou J., Carrington A., Collet B., Dijkstra J.M., Yoshiura Y., Bols N., Secombes C. Identification and bioactivities of IFN-  $\gamma$  in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*: The first Th1- type cytokine characterized functionally in fish // J. Immunol. 2005. N 175. P. 2484-2494.
24. Zou J., Secombes C.J. Teleost fish interferons and their role in immunity // Dev. Comp. Immunol. 2011. N 35. P. 1376-1387.

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА ПОЛОВЫЕ ЦИКЛЫ СТЕРЛЯДИ *ACIPENSER RUTHENUS (LINNAEUS, 1758)* В ИНДУСТРИАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

А.А. Арчибасов

*Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ»), Московская область, пос. Рыбное, [Microinsectum@gmail.com](mailto:Microinsectum@gmail.com)*

*Аннотация: в данной статье рассматривается влияние температурных условий на процесс формирования половых продуктов у стерляди при индустриальном разведении. В ходе эксперимента были определены оптимальные температурные показатели, способствующие своевременному развитию половых клеток, а также крайние значения температур, которые могут привести к нарушению половых циклов.*

Ключевые слова: стерлядь, икра, гаметогенез, резорбция, температура

Технологии искусственного разведения осетровых рыб должны основываться на глубоких знаниях и комплексном исследовании разных этапов репродуктивного процесса, начиная с ранних стадий развития половых клеток и заканчивая анализом процессов оогенеза, полового созревания и получения зрелых половых продуктов. Температура является одним из основных факторов среды при выращивании осетровых в условиях тепловодных хозяйств, а благоприятный температурный режим положительно сказывается на процессах гаметогенеза (Кривошеин, Дайлиденок, 2006; Мелехова, Чертихина, 2009). Стерлядь, в виду своих видовых и генетических особенностей, сохраняя общие для осетровых рыб принципы формирования половых продуктов в межнерестовый интервал, обладает индивидуальными особенностями, касающихся требований, предъявляемых к температурному режиму водной среды в период созревания. В естественных водоёмах половая зрелость у самцов наступает в возрасте 3-7 (преимущественно 4-5) лет, а у самок в 5-12 лет (преимущественно от 7 до 9. Нерест проходит в весенний период при оптимальной температуре 10-15 °С (Волосников, 2017).

Целью исследования является определение влияния температурного фактора на процессы, протекающие в гонадах самок стерляди и выявление температурного оптимума для формирования новой генерации половых продуктов.

Работы выполнялись на базах отдела «Конаковский» филиала ФГБНУ ВНИРО ВНИИПРХ и опытном селекционно-племенном хозяйстве «Якоть». После осенней бонитировки была отобрано 40 самок стерляди с метками, одного возраста, одинаковой массы и степени зрелости.

Состояние гонад оценивалось прижизненным методом биопсии. Материалы биопсийных проб ооцитов фиксировали в 70% спирте для дальнейшей гистологической проводки.

На начальном этапе 40 самок стерляди было распределено на 4 группы – одна контрольная и три экспериментальных. Контрольная группа состояла из 10 особей и использовалась в процессе воспроизводства и в последствие размещена в бетонных бассейнах прямоточного цеха отдела «Конаковский».

От оставшихся 30 самок были отобраны пробы икры биопсийным методом, икру фиксировали от каждой самки отдельно, нумеровали в соответствии с номером самки. Было сформировано 3 экспериментальных группы:

– первую экспериментальную группу из 10 самок размещали в условиях идентичных контрольной группе – в бетонных бассейнах прямоточного цеха отдела «Конаковский»;

– вторую экспериментальную группу из 10 самок размещали в бассейне длительного выдерживания УЗВ отдела «Конаковский»;

– третью группу из 10 самок размещали в пруду на ОСПХ «Якоть». В последствие эту группу вновь переводили в условия контрольной группы.

При дальнейшем содержании этих групп рыб 1 раз в два месяца оценивали состояние гонад прижизненным методом биопсии.

На втором и третьем этапе эксперимента все самки, сформировавшие новую генерацию икры, принимали участие в процессе воспроизводства следующих лет.

Группы рыб, которые не сформировали новую генерацию икры или имели ооциты на II и III стадиях развития, были помещены в идентичные условия прямоточного бассейнового хозяйства с целью выявления влияния температурного режима на дальнейший процесс гаметогенеза.

После нереста у самок начинается формирование новой генерации икры. У самок стерляди контрольной группы при сумме тепла не менее 4200 градусо-дней оогенез в межнерестовый интервал проходит синхронно, созревают практически все самки. При этом самки первой экспериментальной группы, пропустившие нерест, успевают пройти процесс резорбции и за счёт сокращения времени прохождения II стадии сформировать новую генерацию икры за тот же период. На снижение суммы тепла самки реагируют по-разному – часть самок (около 50%) успевает сформировать новую генерацию икры, другая половина самок пропускает нерест, процесс оогенеза затягивается до следующего нерестового периода.

Изменение температурных условий содержания в преднерестовый период при прохождении годичных половых циклов меняет ритм развития и формирования половых желез. Наблюдаются заметные изменения в длительности прохождения процесса резорбции, роста оогоний, периодов протоплазматического и трофоплазматического роста.

Сумма тепла ниже оптимального уровня (4200 градусо-дней) у самок второй экспериментальной группы рыб вызывает изменения прохождения процесса оогенеза. По-видимому, сказываются индивидуальные особенности самок. После прохождения резорбции они генерируют новую порцию икры в течение вегетационного периода 240 суток при сумме тепла 3026 градусо-дней.

У самок, пропустивших нерест, в межнерестовый интервал проходит процесс резорбции ооцитов и на формирование новой генерации икры требуется 180 суток и сумма тепла не менее 3800 градусо-дней. При сумме тепла 3400 градусо-дней проявляются индивидуальные особенности, часть самок (около 50 %) формирует новую генерацию икры, другая часть самок пропускает нерест и для окончательного созревания половых продуктов им дополнительно требуется не менее 5000 градусо-дней.

Снижение температуры до 7 °С у самок третьей экспериментальной группы и их выдерживание при этой температуре позволяет сохранить ооциты на IV стадии зрелости более чем на 90 суток, но после этого процесс резорбции продолжается в течение 210 суток (2447 градусо-дней), а на формирование новой генерации икры требуется 150 суток (2655 градусо-дней).

Среднегодовая сумма тепла 2741 градусо-дней, набранная самками, вызывает сдвиг процесса гаметогенеза и формирования новой генерации икры более, чем на 360 суток.

При сумме тепла 4910 градусо-дней при комбинированном содержании (вторая экспериментальная группа) у самок наблюдается разница в продолжительности прохождения половых циклов. Одни самки хорошо адаптируются к изменившимся

условиям среды, сохраняют высокие воспроизводительные способности и продуцируют новую генерацию икры в те же сроки, что и самки, набравшие годовую сумму тепла более 5000 градусо-дней. У других самок данные качества менее выражены и длительность формирования новой генерации икры занимает более 400 суток.

На основании полученных данных составлена таблица (табл.), отражающая необходимую сумму тепла для формирования половых продуктов и скорость прохождения стадий зрелости в течение вегетативного периода.

Таблица. Влияние температуры на процессы гаметогенеза самок стерляди

Биологические показатели	Результат
При годовой сумме тепла более 4500 градусо-дней созревает самок, %	95
При годовой сумме тепла до 3443 градусо-дней, созревает самок, %	50
Годовая сумма тепла 2741 градусо-дней, вызывает сдвиг окончания процесса оогенеза, сут.	360 и более
Для формирования новой генерации икры самкам требуется:	
- период времени, сут.	210
- сумма тепла, градусо-дней	не менее 4240
Продолжительность стадий зрелости в межнерестовый интервал, сутки/градусо-дней:	
II	30/380 – 60/622
II-III	30/490 – 30/725
III	60/1308 – 270/3565
IV	60/556 – 150/2504
VI-II	30/242 – 300/3032

Изменение температурного фактора существенно влияет на ритм размножения рыб, вызывая значительные колебания. Это проявляется в изменении продолжительности развития половых клеток и скорости прохождения различных стадий зрелости половых желез в течение полового цикла, что может повлечь за собой пропуски нерестовых сезонов.

При рассмотрении возможностей повышения производительности самок и эффективности эксплуатации маточных стад важно отметить значимость фактора смещения половых циклов в более удобные для рыбоводства периоды времени с сохранением высокого качества половых продуктов.

Исследование процессов резорбции в яичниках стерляди показывает, что они в значительной степени зависят от абиотических условий среды, особенно от температуры воды. При повышении температуры и увеличении получаемой рыбой тепловой нагрузки скорость этих процессов увеличивается, и наоборот, при снижении температуры - уменьшается. Этот фактор дает возможность управления процессом созревания рыбы, особенно при регулировании температурного режима на рыбоводных предприятиях.

#### Список литературы

1. Волосников Г.И. Обзор данных по биологии стерляди *Acipenser ruthenus* (Linnaeus, 1758) // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2017. № 2 (64). С. 67-72.
2. Кривошеин В.В., Дайлиденок А.А. Рост и развитие стерляди в условиях тепловодной аквакультуры // Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова. 2006. № 3. С. 22-23
3. Мелехова О.П., Чертихина Е.А. Асинхронность в развитии ооцитов у стерляди в индустриальных условиях // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. 2009. № 4. С. 29-31.

## КОРМОВАЯ БАЗА ОСНОВНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ СУРСКОГО КРАЯ

А.Ю. Асанов\*, Ю.А. Пастухова\*\*

*\*Приволжский научный центр аквакультуры и водных биоресурсов  
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет»,  
г. Пенза, [kfvniro-as@list.ru](mailto:kfvniro-as@list.ru)*

*\*\*МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, [yuliya.pastukhova.98@mail.ru](mailto:yuliya.pastukhova.98@mail.ru)*

*Аннотация: приводятся результаты многолетних сырьевых исследований на основных водных объектах рыбохозяйственного значения Сурского края – Пензенской области и Республики Мордовия. Представлены материалы по компонентам кормовой базы: макрофитам, фитопланктону, зоопланктону, зообентосу. Водохранилища Сурского края обладают высокой биомассой кормовых организмов в сравнении с водохранилищами средней Волги, что может отчасти объясняться их небольшими площадями и глубинами.*

Ключевые слова: водные объекты, Пензенская область, Республика Мордовия, кормовая база, зообентос, зоопланктон

Благодаря созданию лаборатории Краснодарского филиала ВНИРО г. Пензе и включению Росрыболовством Пензенской области (2007 г.) и Республики Мордовия (2009 г.) в план государственного мониторинга во внутренних водах Российской Федерации в Сурском крае (Пензенской области и Мордовии, расположенных на западном склоне Приволжской возвышенности) впервые стала проводиться оценка запасов водных биологических ресурсов и состояния их кормовой базы в основных водных объектах рыбохозяйственного значения. К данным объектам, на которых ранее осуществлялся промысловый лов и возможно его восстановление отнесены: Пензенская область – Сурское водохранилище, Городское водохранилище, р. Сура; Мордовия – р. Мокша, р. Сура, Тургеневское водохранилище. По результатам многолетних и сезонных исследований (2007-2019 гг.) лаборатории Краснодарского филиала ВНИРО и, позднее, Приволжского научного центра аквакультуры и водных биоресурсов ПГАУ получено представление о состоянии кормовой базы, колебаниях видового состава, численности, биомассы зоопланктона и зообентоса. Методика отбора и обработки проб, объемы собранного материала подробно изложены в наших публикациях (Асанов, 2015, 2020а, б, 2021; Асанов, Сенкевич, 2020; Асанов, Носов, 2021). Для выявления сходства сообществ зоопланктона и зообентоса по видовому составу и структуре использован кластерный анализ методом среднего присоединения на основе матриц индексов сходства Брея-Кертис. Для сравнительной базы данных, показатели Городского водохранилища и р. Сура в пределах Пензенской области объединены. Данные обрабатывали с помощью программ MS Excel 2010 и Past 2.15 (Hammer et al., 2001).

Общая площадь исследуемых водных объектов составляет около 16 тыс. га. При этом, протяженность рассматриваемых естественных участков рек Суры и Мокши – 600 км. Общая длина русловых водохранилищ, расположенных на реках: Сурского (р. Сура), Городского (р. Сура) и Тургеневского (р. Алатырь) – 84 км.

Для данных водных объектов в целом характерна зарастаемость типичными представителями высшей водной, погруженной и плавающей растительности. Наиболее часто встречаются порядка 20-22 видов. Зарастаемость русел на некоторых участках р. Суры в Пензенской области и р. Мокши (РМ) может достигать 50 %. Однако в целом по водным объектам зарастаемость акваторий составляет около 10%, на р. Суре (РМ) – 5%.

Фитопланктон в рассматриваемых водных объектах представлен шестью отделами водорослей: цианопрокариоты, диатомовые, зеленые, динофитовые, желто-зеленые, жгутиковые. Наибольшим количеством видов отличаются диатомовые и зеленые водоросли, также постоянно в пробах отмечались сине-зеленые водоросли. Остальные встречаются периодически и представлены единичными видами. Всего отмечено 89 наиболее распространенных видов водорослей. Наибольшие концентрации фитопланктона на грани «цветения» водоема отмечались в Сурском водохранилище и за счет его выноса – в меньших объемах эпизодически в Городском водохранилище.

На акватории водных объектов было зафиксировано 183 вида и формы зоопланктонных организмов: коловраток – 111, ветвистоусых ракообразных – 46, веслоногих ракообразных – 26.

По результатам многолетних наблюдений за сообществами зоопланктона на основе структурных параметров (индекс Брея-Кертиса) и анализа главных компонент выделяются три группы водных объектов: первая состоит из одной – Сурское водохранилище, вторая – р. Сура (с Городским водохранилищем) (Пенз.), третья объединяет три водных объекта – р. Мокша (РМ), р. Сура (РМ) и Тургеневское водохранилище (РМ) (рис. 1, 2). Первая группа отличается от остальных на 55 %, вторая и третья между собой различаются на 45 %.

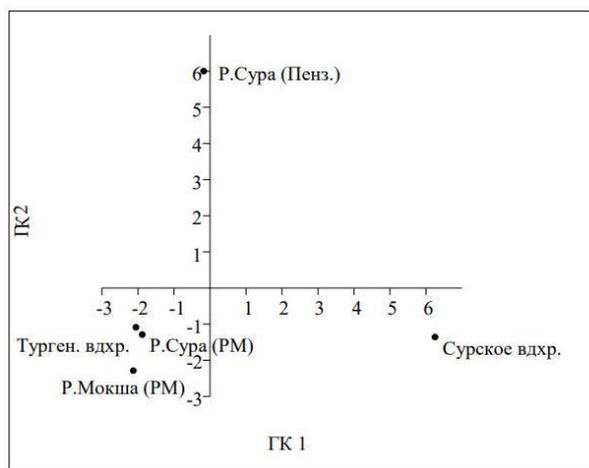


Рисунок 1. Результаты ординации пространственно-временных вариантов сообществ зоопланктона методом главных компонент на основе относительных обилий доминирующих видов

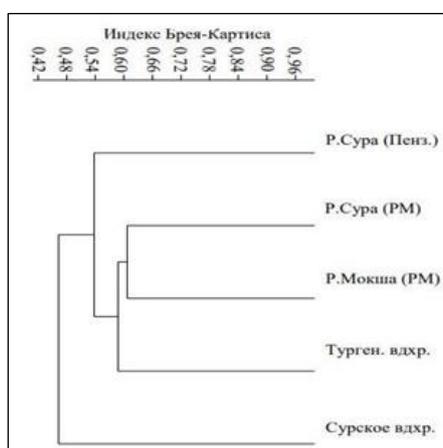


Рисунок 2. Сходство структурных параметров (индекс Брея-Кёртиса) сообществ зоопланктона в водных объектах

Наибольший вклад по биомассе среди групп организмов по водным объектам вносили: в Сурском, Городском водохранилищах и р. Мокша (РМ) – ветвистоусые, в р. Сура (Пензенская область) – веслоногие, в р. Сура (РМ) и Тургеневском водохранилище – коловратки. Также необходимо отметить, что во всех водных объектах в отдельные годы могли по биомассе преобладать представители коловраток, ветвистоусых или веслоногих.

В акватории исследуемых водных объектов зафиксировано 165 видов и форм массовых представителей зообентоса, относящихся к таксономическим группам: олигохеты – 7, хирономиды – 60, моллюски – 57 (брюхоногие – 29 и двустворчатые – 28), болотницы – 1, поденки – 7, перепончатокрылые – 1, клопы – 1, стрекозы – 4, слепни – 2, мокрецы – 2, веснянки – 1, вислокрылки – 1, жуки – 7, ручейники – 4, водяные клещи – 1, пиявки – 5, ракообразные – 2, нематоды – 1, гидры – 1.

По результатам многолетних наблюдений за сообществами зообентоса на основе структурных параметров (индекс Брея-Кертиса) и анализа главных компонент выделяются три группы водных объектов: первая – р. Сура (с Городским водохранилищем) (Пенз.), вторая – р. Сура (РМ), а третья объединяет – р. Мокша, Тургеневское и Сурское водохранилище (рис. 3, 4). Первая группа значительно отличается от остальных, на 80 %, вторая и третья между собой отличаются на 60 %.

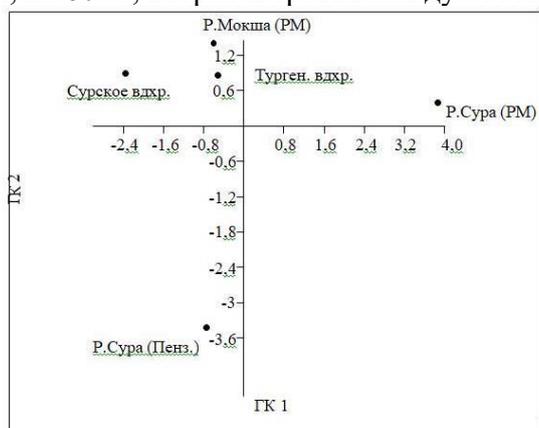


Рисунок 3. Результаты ординации пространственно-временных вариантов сообществ зообентоса методом главных компонент на основе относительных обилий доминирующих видов

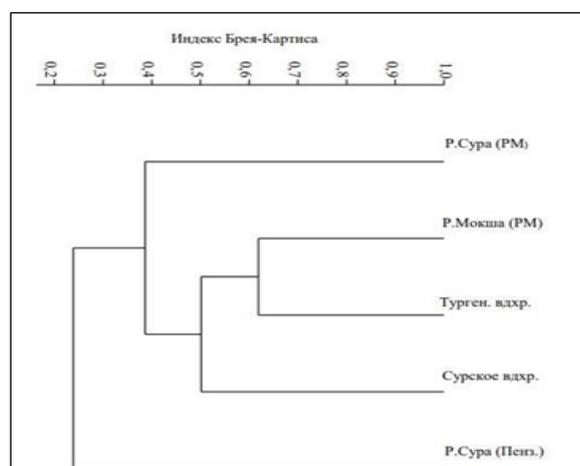


Рисунок 4. Сходство структурных параметров (индекс Брея-Кёртиса) сообществ зообентоса в водных объектах

Наибольшей биомассой среди групп организмов по водным объектам отличаются моллюски, как крупные двустворчатые, так и мелкие формы – «кормовые». Исключение

составляет Сурское водохранилище, где преобладают хирономиды и также велика доля олигохет. Однако, необходимо отметить, что при переводе в рыбопродуктивность моллюски значительно уступают «мягкому» зообентосу. Представители прочего зообентоса, как правило, составляют небольшой процент в кормовой базе рыб.

В таблице (табл.) представлены показатели компонентов кормовой базы рассматриваемых водных объектов. В сравнении с волжскими водохранилищами: Горьковским, Чебоксарским, Куйбышевским, Саратовским при меньшем видовом составе биомасса зоопланктона в Сурском и Городском выше, в Тургеневском – на их уровне (Минин, 2012; Курина, 2013; Постнов, 2013; Кузьмина, 2018). Общая биомасса зообентоса здесь ниже, однако, наши данные приведены без крупных моллюсков, средняя биомасса которых, например, в Сурском водохранилище составляет – 249 г/м<sup>2</sup>, а в Тургеневском – 222 г/м<sup>2</sup>.

Таблица. Среднегодовые показатели биомассы компонентов кормовой базы (г/м<sup>2</sup>, г/м<sup>3</sup>)

Водные объекты	Компоненты кормовой базы			
	Фитопланктон	Зоопланктон	Зообентос, «мягкий»	Зообентос*, моллюски
Сурское вод-ще	2,90	2,02	9,80	4,79
Городское вод-ще	2,50	2,99	4,51	8,18
Река Сура (Пенз.)	2,00	0,07	1,89	44,76
Река Сура (РМ)	2,00	0,03	8,47	23,83
Река Мокша (РМ)	1,80	0,04	10,79	25,42
Тургеневское вод-ще	2,00	0,94	21,86	53,26

\* – без учета крупных моллюсков.

В заключении можно отметить, что главные рыбохозяйственные водоемы Сурского края обладают высокой свободной кормовой базой, что отчасти объясняется их меньшими площадями и глубинами в сравнении с водохранилищами средней Волги. Подобное очевидно характерно и для рассмотренных рек за исключением низких показателей биомассы зоопланктона.

*Благодарности. В честь 110-летия ГосНИОРХ выражаю благодарность близким мне руководителям и коллегам системы ГосНИОРХ, как ушедшим из жизни, так работающим и здравствующим ныне. Особую благодарность выражаю директору ГосНИОРХ (1966-1994) и моему научному руководителю Кудерскому Л.А.; зав. аспирантурой Алексеевой И.Н. и Дементьевой М.А., выпустивших нашу плеяду молодых ученых, последующая деятельность которых вызывает искреннее чувство гордости и уважения. Коллегам–руководителям филиалов в 1990-х гг., на чью долю пришлось полное отсутствие бюджетного финансирования, но отстоявших свои подразделения. Сотрудникам ГосНИОРХ: Аршанице Н.М., Щацаеву Ю.А., Шурухину А.С. Всем сотрудникам и работникам Новгородской лаборатории (филиала) ГосНИОРХ. Искренне желаю руководителю Санкт-Петербургского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга») М.М. Мельник, сотрудникам и всем филиалам системы ВНИРО – процветания института, успехов в научной работе, личного благополучия.*

#### Список литературы

1. Асанов А.Ю. Водные биологические ресурсы Пензенской области. Сурское водохранилище // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. Рыбное хоз-во. 2015. № 1. С. 14-25.

2. Асанов А.Ю., Сенкевич В.А. Мониторинг продуктивности зоопланктона на зарегулированном участке реки Суры в Пензенской области // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2020. № 1 (29). С. 66-76. DOI: 10.21685/2307-9150-2020-1-7.
3. Асанов А.Ю. Мониторинг продуктивности зообентоса на зарегулированном участке реки Суры в Пензенской области // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2020. № 2 (30). С. 100-110. DOI 10.21685/2307-9150-2020-2-9.
4. Асанов А.Ю. Динамика видового состава и биомассы зоопланктона реки Мокша в Мордовии за ряд лет // Сурский вестник. 2020. № 3 (11). С. 9-15.
5. Асанов А.Ю., Носов А.В. Водные биологические ресурсы искусственных водоемов Республики Мордовия на примере водохранилища Тургеневское // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. Рыбное хозяйство. 2021. № 4. С. 7-16. DOI: 10.24143/2073-5529-2021-4-7-16.
6. Асанов А.Ю. Динамика видового состава и биомассы зообентоса реки Сура на территории Мордовии за ряд лет // Сурский вестник. 2021. №3 (15). С. 3-8. DOI: 10.36461/2619-1202\_2021\_03\_001.
7. Hammer Ø, Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Palaeontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontologica electronica. 2001. Vol. 4, Iss. 1. Art. 4. 9 p.
8. Минин А.Е. Формирование рыбных запасов и перспективы развития промысла на Чебоксарском водохранилище: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Калининград, 2012. 24 с.
9. Постнов Д.И. Закономерности формирования и рациональное использование биологических ресурсов Горьковского водохранилища: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Калининград, 2013. 24 с.
10. Кузьмина К.А. Оценка современного экологического состояния различных участков Волжского плеса Куйбышевского водохранилища: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2018. 24 с.
11. Курина Е.М. Чужеродные виды донных сообществ Куйбышевского и Саратовского водохранилищ: состав, распространение и биология массовых видов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Калининград, 2013. 24 с.

## ЗАРАЖЕННОСТЬ ЛИНЯ *TINCA TINCA* МЕТАЦЕРКАРИЯМИ *OPISTHORCHIS FELINEUS* В БАССЕЙНЕ РЕКИ ТОМЬ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ)

И.Б. Бабкина, А.М. Бабкин, А.В. Симакова, Е.А. Интересова

Томский государственный университет, г. Томск, [bibsphera@gmail.com](mailto:bibsphera@gmail.com)

Аннотация: средняя экстенсивность инвазии метацеркариями *Opisthorchis felineus* у линя из пойменного озера бассейна реки Томь (Томская область, Россия) составила 89,3%, интенсивность инвазии – 11,4 экз./особь. С возрастом наблюдалось увеличение зараженности рыб (ЭИ от 75 до 100%, ИИ – от 3,8 до 21,5 экз./особь) ( $r = 0,42$ ,  $p < 0,05$ ). Не выявлено различий по зараженности самцов и самок. Линь в бассейне р. Томи может играть одну из ключевых ролей в циркуляции описторхоза в Сибири.

Ключевые слова: Линь *Tinca tinca*, метацеркарии *Opisthorchis felineus*, экстенсивность инвазии, интенсивность инвазии, бассейн реки Томь

Линь *Tinca tinca* (Linnaeus, 1758) – вид рыб семейства карповых (Cyprinidae), подсемейства линевые Tincinae Kryzhanovsky, 1947, единственный представитель рода лини *Tinca* Cuvier, 1816. Это довольно крупная рыба, но в связи с невысокой численностью не входит в статистику промысла, однако является объектом любительского лова. Обитает преимущественно в материковых и пойменных озерах, иногда в реках с медленным течением.

Литературные данные по зараженности линя личинками *Opisthorchis felineus* Rivolta, 1884 крайне скудны и в основном касаются Европейской части России. Так зараженные особи линя отмечены в бассейне р. Волга, экстенсивность инвазии (ЭИ) – от 4,2 до 5 % при интенсивности инвазии (ИИ) от 1 до 3 экз./особь (Ларцева и др., 2012; Ларцева, Володина, 2016); в бассейне р. Дон (Воронежская область) (ЭИ – 33,3 %) (Ромашова, 2015) и в р. Припять (бассейн Дона, Республика Беларусь) (ЭИ – 49,6 % при ИИ от 1 до 16 экз./особь) (Юрченко и др., 2018); в разных водоемах Западно-Казахстанской области (ЭИ – от 7,1 % до 50 % при ИИ 2-3 экз./особь) (Кармалиев, Кереев, 2013; Сидихов и др., 2017).

На территории Сибири в Тюменской области в водоемах бассейна Иртыша линь был свободен от инвазии (Пельгунов, 2010, 2012). До настоящего времени отсутствовали данные по зараженности линя метацеркариями кошачьей двуустки в бассейне Средней Оби. Его участие в распространении описторхоза не известно.

Цель исследования – оценка зараженности линя метацеркариями *O. felineus* в Томской области и его роли в циркуляции описторхоза.

Исследование проведено в период 2020-2021 гг. Всего исследовано 28 экз. линей. Линь отловлен в весенне-летний период в пойменном озере высокого уровня залития без названия (б/н) в окрестностях г. Томска (56°19'17" с.ш., 84°54'29" в.д.). В период половодья озеро, не ежегодно, имеет связь с водотоком. Отлов рыб производили с использованием набора сетей с длиной 75 м и ячеей 40 мм, время сетного лова составляло до 12 часов.

В лаборатории осуществляли замеры стандартной длины (SL, см), массы тела (W, г), определяли пол и возраст (по чешуе) (Романов и др., 2012). Зараженность рыб метацеркариями описторхиса исследовали общепринятым компрессорным методом, мышцы рыб просматривали полностью с обеих сторон тела (Бауер и др., 1981; Беэр и др., 1987; Беэр, 2005). Идентификацию метацеркарий проводили по морфологии (Воронин и др., 2019). Морфологическая идентификация *O. felineus* подтверждена молекулярно-генетическими методами – ПЦР-диагностикой на основе генетического маркера ITS2 (Internal Transcribed Spacer 2) (Simakova et al., 2022).

Так же озеро было обследовано на наличие в нем моллюсков р. *Bithynia*, оценена их зараженность церкариями описторхид. Использован ручной сбор с зарослей высшей

водной растительности (телорез, стрелолоист, кувшинка белая). Выделение церкарий проводили методом компрессории, идентифицировали по морфологическим признакам. Статистический анализ проведен с использованием программной среды R 4.0.2 (R Core Team, 2021).

Исследован линь в возрасте от 4+ до 7+ лет, с длиной тела 17,6–25,5 см (в среднем 19,9) и массой тела 150–588 г (в среднем 223 г). Соотношение самцов и самок 2 : 1.

Средняя экстенсивность инвазии линя составила 89,3 %, выявлено увеличение уровня зараженности с возрастом (коэффициент корреляции 0,42,  $p < 0,05$ ): 75 % – в возрасте 4+; 92 % – в возрасте 5+ и 100 % – в возрасте 6+ и старше. Средняя интенсивность инвазии составила 11,4 экз./особь, в целом варьировала от 1 до 36 экз./особь, однако одна рыба в возрасте 4+ имела более высокую зараженность (63 экз./особь). Интенсивность инвазии линя так же увеличивалась с возрастом: в 4+ лет – 3,8; в 5+ – 6,2; в 6+ – 15,4; в 7+ – 21,5 экз./особь (табл. 1).

Таблица 1. Основные размерно-возрастные характеристики и показатели зараженности линя (оз. б/н, левобережная пойма р. Томи, 2020-2021 гг.)

Возраст, лет	Длина тела (SL), мм		Масса тела (W), г		ЭИ, %	ИИ, экз./особь		ИО, экз./особь	п, экз.
	М	min-max	М	min-max	М	М	min-max	М	
4+	188,5	176-202	169,5	150-205	75,0	14,3	1-67	10,7	8
5+	194,5	186-211	179,2	150-241	92,3	6,25	1-20	5,8	13
6+	209,4	203-218	231,6	205-291	100,0	15,4	1-33	15,4	5
7+	253	251-255	528,5	499-558	100,0	21,5	1-36	21,5	2
Итого	199,6	176-255	210,7	150-558	89,3	11,4	1-67	10,0	28

Примечание: М – среднее, min-max – минимальное – максимальное значение, п – количество экземпляров

Средняя зараженность самок выше (94,4 %), чем у самцов (77,8 %), однако при сравнении одновозрастных рыб различий не выявлено (табл. 2).

Таблица 2. Зараженность линя с учетом пола и возраста рыб (оз. б/н, левобережная пойма р. Томи, 2020-2021 гг.)

Возраст, лет	Самки						Самцы					
	ЭИ, %	ИИ, экз./особь			ИО, экз./особь	п, экз.	ЭИ, %	ИИ, экз./особь			ИО, экз./особь	п, экз.
		М	min	max	М			М	min	max	М	
4+	100,0	3,8	1	6	3,8	4	33,3	4	4	4	1,3	3
5+	88,9	5,8	1	20	5,1	9	100,0	7,3	1	15	7,3	4
6+	100,0	14,3	10	20	14,3	3	100,0	17	1	33	17,0	2
7+	100,0	21,5	7	36	21,5	2	–	–	–	–	–	–
Среднее	94,4	8,6	1	36	8,2	18	77,8	9,6	1	33	7,4	9

Примечание: М – среднее, min – минимальное, max – максимальное значение, п – количество экземпляров

В исследованном озере отмечено наличие моллюсков р. *Bithynia* с большой численностью – 110 экз./м<sup>2</sup> и не высокой зараженностью церкариями *O. felineus* 0,95 % (Симакова и др., 2023).

Таким образом, линь при обитании в водоемах совместно с моллюсками р. *Bithynia* обладает высокой степенью восприимчивости к заражению метацеркариями *O. felineus*. Не наблюдается зависимости зараженности от пола, с возрастом показатели

зараженности увеличиваются, так как происходит накопление метацеркарий в мышцах рыб.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWM-2020-0019).

#### Список литературы

1. Бауер О.Н. Болезни прудовых рыб. М.: Легкая пищевая промышленность, 1981. 320 с.
2. Беэр С.А. Биология возбудителя описторхоза. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. 336 с.
3. Беэр С.А. Методы изучения промежуточных хозяев возбудителя описторхоза. Алма-Ата : Наука, 1987. 83 с.
4. Воронин В.Н. Методика прижизненной дифференциальной диагностики метацеркарий описторхидных сосальщиков. 2019. Пат. 2708990: С1 А61D 99/00 (2006/01).
5. Кармалиев Р.С. Описторхоз рыб в Западно-Казахстанской области // Российский паразитологический журнал. 2013. № 3. С. 11-15.
6. Ларцева Л.В., Володина В.В. Зараженность промысловых видов рыб Волго-Каспийского бассейна личинками гельминтов, опасных для здоровья человека // Фауна и экология паразитов / Труды Центра паразитологии Ин-та проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН. М.: Наука, 2016. С. 59-60.
7. Ларцева Л.В., Проскурина В.В., Воробьев В.И. Паразиты рыб, опасные для человека // Естественные науки. 2012. № 1. С. 74-81.
8. Пельгунов А.Н. Возрастная динамика зараженности карповых рыб метацеркариями *Opisthorchis felineus* (Rivolta, 1884) // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2010. № 11. С. 356-359.
9. Пельгунов А.Н. Проблемы описторхоза и дифиллоботриоза в нижнем течении Иртыша // Российский паразитологический журнал. 2012. № 3. С. 68-73.
10. Романов В.И., Петлина А.П., Бабкина И.Б. Методы исследования пресноводных рыб Сибири : Учебное пособие, Томск: Издательство Томского государственного университета, 2012. 252 с.
11. Ромашова Е.Н. Карповые рыбы как источник заражения человека и домашних животных описторхозом в Воронежской области // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2015. № 3. С. 81-88.
12. Сидихов Б.М., Саденов М.М., Душаева Л.Ж. и др. Зараженность рыб семейства карповых метацеркариями описторхиса в водоемах Западно-Казахстанской области // Integration of the Scientific Community to the Global Challenges of Our Time. 2017. С. 288-294.
13. Симакова А.В., Бабкина И.Б., Катохин А.В. Зараженность моллюсков рода *Bithynia* церкариями трематод сем. Opisthorchiidae в водоемах бассейна реки Обь (Томская область, Россия) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2023. № 62. С. 79-93.
14. Юрченко И.С., Анисимова Е.И., Надина Н.Г., Шатило Д.О. Оценка зараженности рыб сем. Cyprinidae эпидемически значимыми гельминтами в водоемах Полесского государственного радиационно-экологического заповедника // Актуальные проблемы экологии : Сб. науч. ст. по материалам XIII Междунар. науч.-практ. конф. Гродно, Республика Беларусь, 03-05 октября 2018 г. Гродно, 2018. С. 91-93.
15. R Core Team. R: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. 2021. Available from: <https://www.R-project.org/> [Accessed 21st August 2023].
16. Simakova A.V., Babkin A.M., Chitnis N. et al. The role of non-commercial cyprinids in maintenance and spread of the opisthorchiasis focus in the middle Ob River basin (Tomsk Region, Russia) // Food and Waterborne Parasitology. 2022. Vol. 26. P. 1-9.

## ИЗМЕНЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РЫБОЛОВСТВА В ПРИКУРИЛЬСКИХ ВОДАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА (СЗТО)

А.А. Байталюк

Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»)  
г. Владивосток, [aleksei.baitaliuk@tinro.vniro.ru](mailto:aleksei.baitaliuk@tinro.vniro.ru)

*Аннотация: состояние ресурсной базы отечественного рыболовства в отношении массовых пелагических рыб, мигрирующих в российские воды и прилегающие районы северо-западной части Тихого океана, в настоящее время определяются новой волной численности дальневосточной сардины. На основе рекомендаций рыбохозяйственной науки, её промысел успешно развивается, начиная с 2014 г., вылов в 2023 г. достиг 543,6 тыс. т. В путину 2024 г. нарастающий вылов сардины составил 204,8 тыс. т на 1 сентября (160% от вылова прошлого года на этот период). Вылов других массовых пелагических рыб в последние годы снизился. На динамику запасов японской скумбрии и тихоокеанской сайры влияет комплекс факторов, среди которых следует учитывать изменчивую в зависимости от океанографической обстановки схему миграции и формирования скоплений. Сохраняющийся интерес внутреннего рынка к традиционной продукции из этих видов рыб служит дополнительным стимулом для решения задачи достижения рентабельного уровня вылова.*

Ключевые слова: сырьевая база, Тихий океан, динамика вылова, сардина, сайра, скумбрия

В 2014-2015 гг. регулярные экосистемные исследования, выполняемые Тихоокеанским филиалом ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» (ТИНРО) в прикурильских водах Тихого океана в июне-июле, зафиксировали значимые изменения в составе рыбных сообществ пелагиали. Массовые миграции дальневосточной сардины *Sardinops melanostictus* обозначили наступление очередной волны её численности. Это событие соответствовало долгосрочным прогнозам рыбохозяйственной науки, включающим представления о значительности миграций сардины в российские воды в периоды её высокой численности и продолжительности этих периодов около 15-17 лет. Для подготовки обоснованных рекомендаций промышленности Тихоокеанский филиал «ВНИРО» (ТИНРО) усилил научно-исследовательские работы в этом районе экспедициями в позднелетний и осенний периоды с выполнением гидроакустических съемок мигрирующих скоплений. Также был продолжен регулярный мониторинг расстановки флота и успешности промысла, отличающегося высокими темпами межгодового роста вылова сардины.

Еще в начале 1980-х гг. была обоснована точка зрения, что изменения численности северотихоокеанских сардин носят циклический характер, обусловленный изменчивостью океанологических условий в районах воспроизводства. Критическим фактором считается формирование хорошей кормовой базы для личинок сардины и молоди сразу после метаморфоза, что обеспечивает высокий уровень выживаемости (Oozeki, 2000). В результате формируются плотные нагульные скопления сардины, мигрирующие в теплые сезоны года в северном направлении, в том числе в прикурильские воды океана и в Охотское море. Считается, что биомасса дальневосточной сардины при вспышках численности увеличивается более чем в 400 раз.

Динамика вылова дальневосточной сардины в течение девяти лет текущего увеличения её численности в российских водах продемонстрировала прогрессирующий рост до сходной с периодом предыдущей вспышки величины – 461 тыс. т в 1981 г. и 543,6 тыс. т в 2023 г. Совершенно одинаковых циклов динамики обилия у морских рыб не наблюдается, так как на них влияют различающиеся условия среды и виды биологического окружения на разных этапах жизненного цикла. Тем не менее, несколько

установленных особенностей развития новой волны подходов сардины позволяют предположить, что в основных чертах промысловый запас сардины будет вести себя сходным образом.

Первая особенность связана с размерным составом облавливаемых скоплений. В последние годы в уловах съемки увеличивается доля мелких рыб, и средняя масса сардины в 97-112 г в 2014-2017 гг. сменилась средней массой 68-72 г в 2022-2023 гг. В июне-июле 2024 г. облавливали сардину средней длиной 18,7 см средней массой 63 г. Согласно имеющимся представлениям, уменьшение длины отражает либо уменьшение темпов роста сардины под воздействием фактора плотности (Великанов и др., 2017, разделяя взгляды японских ученых – Niyama et al., 1995; Yatsu et al., 2005), либо замещение её быстрорастущей морфы, размножающейся на северных нерестилищах, тугорослой морфой (Дударев, Галеев, 2021). В.А. Дударев (2012) утверждал, что максимальное по урожайности поколение тугорослой сардины появилось в 1980 г. После этого активное промысловое освоение мигрирующих скоплений сардины продолжалось ещё 12 лет, а в наблюдаемой сейчас ситуации процесс уменьшения средней массы еще не закончен. В Японском же море подходы дальневосточной сардины в российские воды и вовсе ещё не начались.

Сравнение результатов традиционных траловых съемок в начале лета и поздних съемок в конце лета – начале осени позволило оценить количественно темпы проникновения мигрирующих скоплений в экономическую зону России. В июне – начале июля учтенная в прикурильских водах биомасса сардины еще не достигает своего годового максимума и к концу августа – сентябрю за счет продолжения подходов за два месяца возрастает в среднем в 2,3 раза. А плотность распределения – ещё более значительно, поскольку июньские съемки охватывают более значительную акваторию. Абсолютная оценка биомассы сардины, полученная в конце лета 2021 г. гидроакустическим методом, дала величину запаса в 4,73 млн т. Это примерно равно оценке общей величины запаса сардины, полученной для 2021 г. японскими специалистами по данным когортного анализа (4914 тыс. т в 2022 г.). Возможно, что обе эти оценки несколько занижены, поскольку полного охвата ареала вида при съемках не достигается. В то же время, они позволяют судить о масштабе роста биомассы сардины в течение наблюдающейся вспышки численности. По мнению цитируемых японских ученых, в конце 1970-х – 1980-х гг. общий промысловый запас сардины превышал 10 млн т. Сейчас же он едва достигает половины этого значения.

Третья особенность – в статистике отечественного промысла дальневосточной сардины. Несмотря на то, что в последние четыре года ресурс привлек внимание рыбаков, и к его освоению прилагаются значительные промысловые усилия, вылов продолжает нарастать год от года, примерно совпадая с динамикой в период предыдущего цикла роста численности сардины. Так, в 1975-1982 гг. ежегодный прирост вылова составлял примерно 83 тыс. т и в 2016-2023 гг. – около 89,5 т. В путину 2024 г. нарастающий вылов сардины на 1 октября составлял 135 % от вылова прошлого года на этот период или 307,9 тыс. т.

Оптимизм вселяют и оценки специалистов соседних стран, тоже активно добывающих сардину. Так, по сообщениям японской прессы (<https://www.minato-yamaguchi.co.jp/minato/e-minato/articles/136765>), в Японии общий допустимый улов сардины Цусимской популяции в 2024 г. увеличили на 55 % по отношению к прошлому году, до 222 тыс. т. Вылов сардины в Республике Корея нарастает в последние годы: 90 т в 2021 г., 1 030 т – в 2022 г. и 48027 т – в 2023 г. (газета «Новости Пусана», <https://mobile.busan.com/view/busan/view.php?code=2024061012372041506>).

Скопления скумбрии в северо-западной части Тихого океана после их обнаружения в 1961 г. эффективно осваивались отечественным промыслом. С 1969 по 1972 г. величина вылова ежегодно удваивалась – 15, 30, 60, 122 тыс. т. В 1974 г.

отечественный вылов скумбрии достиг своего максимума в 245,19 тыс. т. Но это был год введения 200-мильных экономических зон. Уловы скумбрии в учрежденной экономической зоне Японии, где в основном велся её промысел, начали снижаться. Это определялось, как и снижением величины запаса, так и дополнительными мерами ограничения промысла, вводимыми Японией. В 1977 г. были обнаружены скопления скумбрии за пределами экономических зон, но промысловая обстановка здесь оказалась неустойчивой, и вылов здесь крупнотоннажным флотом не превышал 5,5 тыс. т. Соответственно, снижался и общий отечественный вылов, до 1,9 тыс. т в 1989 г. После этого скумбрия в статистике отечественного вылова отражалась исключительно величинами прилова при промысле сайры и других пелагических рыб.

С 2016 г., по мере развития тралового промысла дальневосточной сардины, участвующие в путине суда стали добывать и скумбрию, как в качестве прилова, так и переходя в зону Японии по завершении промысла сардины. Дополнительный стимул промыслу скумбрии дало появление высокоурожайного поколения в 2013 г. Российские суда быстро нарастили вылов и в 2017-2021 гг. добывали от 53 до 98 тыс. т скумбрии. В 2019-2021 гг. российскими судами был возобновлен специализированный лов скумбрии в ИЭЗ Японии по квотам в рамках межправительственного соглашения. Но в результате снижения запасов и введения Японией дополнительных мер ограничения промысла вылов снизился до 50 тыс. т в 2022 г. и 15 тыс. т – в 2023 г. В текущем году обстановка на промысле скумбрии плохая. Ограничительные меры Японии не позволили эффективно освоить квоты в японской зоне в начале года. В ИЭЗ России скумбрия скоплений не образует, в уловах встречается как прилов к сардине. На 5 сентября 2024 г. нарастающий вылов скумбрии составил 2,3 тыс. т, это около четвертой части от вылова прошлого года на это время.

Величина запаса тихоокеанской популяции скумбрии остается довольно высокой. По оценкам когортным методом составляла 5,07 млн. т в 2022 г. Нерестовый запас в 2022 г. оценен в 1,86 млн т. Биомасса скоплений, подошедших в прикурильские воды в 2015-2021 гг., оценивалась в 1,5-6 млн. т. Но если у сардины на картах распределения в августе – начале сентября хорошо выделяются зоны максимальных концентраций, на которых в основном и базируется промысел, то скумбрия в пределах российских вод распределена довольно дискретно. Этот фактор, как и более высокая подвижность данного объекта промысла, несомненно, мешает эффективному освоению ресурсов тихоокеанской популяции японской скумбрии.

Сходную с промыслом скумбрии динамику имеет отечественный промысел сайры, быстрое развитие которого определили два фактора – успешное применение, начиная с конца 1940-х гг., нового способа лова бортовой ловушкой с привлечением скоплений на свет и обнаружение значительных промысловых скоплений данного вида в экспедициях ТИНРО и ИО РАН СССР 1954-1955 гг. За первые пять лет отечественного промысла уровень ежегодного вылова сайры достиг 44,8 тыс. т в 1962 г. и с небольшими межгодовыми отклонениями сохранялся в течение 13 лет вплоть до 1974 г. включительно.

В дальнейшем отечественный промысел сайры испытал три периода резкого падения вылова, из которых первый был в основном связан с последствиями крупномасштабной смены климато-океанологического режима, затронувшей все промысловые экосистемы и запасы всех основных промысловых видов гидробионтов. Второй – с экономическими трудностями начала 1990-х гг. при перестройке социалистической экономики, а последний – со смещением районов промысла в океан, которое хорошо иллюстрирует схема распределения её уловов в августе 2002-2022 гг., по данным Комиссии СТО. Так, в 2018 г. промысел у средней части Курильской гряды еще имел место. После 2019 г. промысел сайры практически полностью ушел за пределы

российской экономической зоны, достигнув, в том числе, промыслового района над северной частью подводного Императорского хребта.

Отечественный вылов сайры за путину в 2020 и 2021 гг. составил 710 и 653 т. Причиной этого стало перенаправление добывающих судов на другие виды промысла при снижении эффективности промысла сайры в удаленных районах за границы рентабельности. Если в 2016 г. на промысел было выставлено 27 российских судов, то в 2018 г. это количество снизилось до 11 единиц, годом позднее – до пяти, в 2020-2024 гг. – до 1-3 единиц. В 2022 г. в российской экономической зоне сайру не добывали вовсе. Основные районы лова в августе не только вышли из пределов ИЭЗ России и Японии, но еще и удалились мористее примерно на 150-200 миль. К побережью скопления начинали смещаться только в сентябре-октябре. В 2023 г. на промысле сайры работало одно российское судно в течение ограниченного времени (ноябрь-начало декабря) с итоговым выловом чуть больше 50 т, в текущем году два судна на начало октября выловили 137,8 т.

Смещение районов промысла сайры далеко в океан, по-видимому, является кумулятивным следствием нескольких имеющих место процессов, среди которых снижение величины и изменение структуры (соотношения зимней и весенней генераций) её запасов, а также внедренные в последние годы принципы управления рыболовством и экономические причины. Частично это смещение определяется увеличением в составе добывающего флота доли судов с автономной переработкой сырья, которые начинают промысел раньше, особенно в условиях снижения величины запаса, предполагающего обострение конкуренции за ресурс, добыча которого в открытых водах ведется до достижения уровня, согласованного странами-участницами СТО.

В целом состояние запасов японской скумбрии и сайры позволяет вести их эффективный промысел. Так нерестовый запас скумбрии представлен несколькими поколениями, включая большую долю рыб старших возрастов, что делает возможным устойчивое воспроизводство вида. Ситуация осложняется тем, что в пределах российских вод скопления скумбрии и сайры нестабильны, а добывающий флот в основном занят на промысле сардины, который в настоящее время более экономически эффективен. Тем не менее, промысловые ресурсы имеются, представления о их величине постоянно обновляются как в ходе съемок, так и в ходе обмена материалами с зарубежными коллегами. Сохраняющийся интерес внутреннего рынка к традиционной продукции из этих видов рыб служит дополнительным стимулом для решения задачи достижения рентабельного уровня вылова.

#### Список литературы

1. Великанов А.Я., Ким Сен Ток, Цхай Ж.Р., Пометеев Е.В., Полтев Ю.Н., Заварзина Н.К. О миграциях, распространении и численности дальневосточной сардины (*Sardinops melanostictus*) у западного побережья Сахалина в 2015 г. // Вестник Сахалинского музея. ГБУК «Сахалинский областной краеведческий музей». 2017. № 24. С. 291-304.
2. Дударев В.А. Дальневосточная сардина – история и перспективы промысла. [Электронный ресурс]. 2012. URL: <https://fishnews.ru/rubric/krupnyim-planom/5110>. Дата обращения 12.11.2024 г.
3. Дударев В.А., Галеев А.И. Межгодовая динамика размерного, возрастного состава и характеристик роста дальневосточной сардины *Sardinops melanostictus* в периоды высокой численности в северо-западной части Тихого океана // Известия ТИНРО. 2021. Т. 201(3). С. 561-576. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2021-201-561-576>
4. Hiyama Y., Nishida H., Goto T. Interannual fluctuations in recruitment and growth of the sardine, *Sardinops melanostictus*, in the Sea of Japan and adjacent waters // Res. Popul. Ecol. 1995. Vol. 37. P. 177-183.
5. Oozeki Y. Mechanism causing the variability of the Japanese sardine population: Achievements of the Bio-Cosmos Project in Japan // PICES Press. 2000. Vol. 8, No. 1. P. 20–23.
6. Yatsu A., Watanabe T., Ishida M., Sugisaki H., Jacobson L.D. Environmental effects on recruitment and productivity of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* and chub mackerel *Scomber japonicus* with recommendations for management // Fish Oceanogr. 2005. Vol. 14. P. 263–278.

## ИСТОРИЧЕСКАЯ РОЛЬ АТЛАНТНИРО В РАЗВИТИИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРИБРЕЖНОГО И ОКЕАНИЧЕСКОГО РЫБОЛОВСТВА

К.В. Бандурин, Г.Е. Маслянкин, Е.М. Гербер, Т.А. Голубкова,  
С.Ю. Гулюгин

*Атлантический филиал ГКН ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»),  
г. Калининград, [atlantniro@vniro.ru](mailto:atlantniro@vniro.ru)*

*Аннотация: в 2024 г. Атлантическому филиалу ВНИРО исполнилось 75 лет. Основанный как Балтийский филиал ВНИРО (БалтНИРО), с развитием отечественного рыболовства в Мировом океане филиал получил приставку Атлантический. На сегодняшний день задачами института являются сопровождение промысла в Атлантическом и Тихом океанах, сохранение устойчивого рыболовства в Балтийском море и водоемах Калининградской области, участие в соответствующих международных организациях, разработка и контроль качества продуктов питания из водных биологических ресурсов.*

*Ключевые слова: АтлантНИРО, БалтНИРО, Атлантический океан, Тихий океан, Балтийское море, рыболовство*

В 1947-1949 гг. под руководством Министра рыбной промышленности западных районов СССР Александра Акимовича Ишкова сформировалось первое комплексное видение развития рыбной промышленности в Калининградской области, направленное на освоение ресурсов Балтийского моря и Северо-Западной Атлантики (Рыбная..., 2009). Это решение было изложено в ряде документов, направленных на организацию структуры рыбохозяйственного комплекса на территории бывшей Восточной Пруссии и включении его в единую систему рыбохозяйственной отрасли западной части Советского Союза.

Научное сопровождение промысла рассматривалось как одно из обязательных составляющих этого комплекса, поэтому в одном из пунктов Постановления Совета Министров СССР «О мероприятиях по развитию и укреплению рыбной промышленности Калининградской области в 1949-1950 гг.» от 05.11.1948 № 4123 значилось формирование в 1949 г. на территории Калининградской области Балтийского филиала Всесоюзного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (БФ ВНИРО). Задачами новой научной организации на первом этапе ставилось исследование биологических параметров и изучение возможности эксплуатации водных биологических ресурсов Балтийского и Северного морей (История развития..., 1999; Рыбохозяйственной..., 2011).

Уже в сентябре 1950 г. состоялась первая научно-исследовательская сельдяная экспедиция в Северное море на СРТ «Алазань» под руководством начальника экспедиции – директора филиала В.А. Мурина (История развития..., 1999; Рыбохозяйственной..., 2011; История АтлантНИРО..., 2012).

В 1950-е гг. руководству рыбной отрасли СССР стало ясно, что ресурсов внутренних водоемов и прибрежных морских вод недостаточно для обеспечения растущего населения страны рыбными продуктами. Решить эту проблему можно было только путем развития океанического рыболовства. Особенно актуальным этот вопрос был для рыбной промышленности Западного бассейна (Калининградская и Ленинградская области, прибалтийские республики) в связи с ограниченностью водных биоресурсов Балтийского моря.

Перед филиалом встали новые задачи по расширению исследований в удаленных районах, поэтому для повышения качества и объема научных работ Министерство рыбной промышленности СССР в 1956 г. преобразовало Балтийский филиал ВНИРО в

самостоятельный рыбохозяйственный научный центр – Балтийский научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии (БалтНИРО) (История развития..., 1999; Рыбохозяйственной..., 2011; История АтлантНИРО..., 2012).

Первая африканская научно-промысловая экспедиция состоялась в 1957 г. Для нее выделили БМРТ (Большой морозильный рыболовный траулер) «Казань», судно нового типа с большой автономностью, специально предназначенное для экспедиционного промысла. Этот год стал годом начала активного сотрудничества отечественной рыбохозяйственной отрасли с африканскими странами (История развития..., 1999; Саускан, 2009; Рыбохозяйственной..., 2011; История АтлантНИРО..., 2012; Кухоренко, 2018; АтлантНИРО., 2019).

В конце 1950-х – начале 1960-х гг. экспедиции научных групп на научно-исследовательских и промысловых судах в удаленные районы Мирового океана стали регулярными. При непосредственном участии БалтНИРО были обнаружены и вовлечены в промысловую эксплуатацию массовые запасы рыб и беспозвоночных в районах Северо-Западной, Центрально-Восточной и Юго-Восточной Атлантики. Эти районы на многие годы стали основными районами отечественного промысла. В 1962 г. экспедиция АтлантНИРО на РТ «Муксун» обнаружила в Антарктике массовые скопления криля, что позволило на несколько десятилетий организовать один из основных отечественных промыслов.

При этом продолжалась активная реорганизация калининградской рыбохозяйственной науки. В 1958 г. в БалтНИРО была создана Атлантическая научно-исследовательская промысловая перспективная разведка (АНИППР), в составе которой сосредотачивается научно-исследовательский и научно-поисковый флот, а в 1963 г. создается специальное экспериментальное конструкторское бюро промышленного рыболовства (СЭКБ промрыболовства) для разработки новых орудий лова и промыслового вооружения (История развития..., 1999; Саускан, 2009; Рыбохозяйственной..., 2011; История АтлантНИРО..., 2012; Кухоренко, 2018; АтлантНИРО., 2019; Кухоренко, Маслянкин, 2020).

Основой научного обеспечения отечественного рыболовства стали экспедиционные исследования в перспективных районах промысла, выявление состава промысловой ихтиофауны, оценка запасов основных промысловых рыб, установление периодов и условий образования промысловых скоплений. В ходе экспедиций разрабатывались методы поиска, добычи и обработки объектов промысла.

Во второй половине 70-х гг. прошлого столетия произошли существенные изменения в международно-правовых условиях рыболовства. Началось повсеместное установление прибрежными государствами 200-мильных исключительных экономических зон. Это осложнило доступ отечественному флоту к эксплуатации промысловых биоресурсов в шельфовых районах и даже привело к прекращению работы в ряде традиционных промысловых районах (История развития..., 1999; Саускан, 2009; Рыбная..., 2009; Рыбохозяйственной..., 2011; История АтлантНИРО..., 2012; Кухоренко, 2018; АтлантНИРО..., 2019; Кухоренко, Маслянкин, 2020).

Институтами рыбохозяйственной отрасли были активизированы исследования по выявлению сырьевой базы в открытой части Мирового океана за пределами ИЭЗ. Эпохальным событием стало открытие отечественными учеными и рыбаками нового района промысла в южной части Тихого океана, где были обнаружены крупномасштабные скопления ставриды и других пелагических рыб на обширной акватории открытого океана за пределами 200-мильных экономических зон Перу и Чили. Были открыты для промысла запасы пелагического окуня-клювача в море Ирмингера, путассу и скумбрии в Норвежском море и в районе к западу от Британских островов, аргентинского кальмара на Патагонском шельфе (История развития..., 1999; Саускан, 2009;

Рыбохозяйственной..., 2011; История АтлантНИРО..., 2012; Кухоренко, 2018; АтлантНИРО..., 2019; Кухоренко, Маслянкин, 2020).

Другим направлением сохранения масштабов отечественного рыболовства в Мировом океане стало расширение международного сотрудничества СССР с прибрежными странами на основе заключаемых межправительственных соглашений в области рыболовства.

Период 1970-990 гг. был самым благоприятным и плодотворным как в истории АтлантНИРО, так и всего отечественного рыболовства. Институт ежегодно организовывал до 15 экспедиций на научно-исследовательских судах в различные районы океана, активно работали научные наблюдатели на промысловых судах. Были разработаны и внедрены различные методы прямого учета биомассы рыб и беспозвоночных, в том числе, тралово-акустические и донные траловые съемки. Широко использовались передовые методы математического моделирования для оценки запасов и ОДУ, причем многие из них были усовершенствованы специалистами института. Все исследования рыбных запасов проводились в комплексе с изучением океанологических условий, ихтиопланктона, кормовой базы и продуктивности экосистем. Были разработаны технологии переработки различных гидробионтов, которые позволили быстро вовлекать в эксплуатацию новые объекты. Институт приобрел высокий авторитет в международных рыбохозяйственных организациях (ИКЕС, АНТКОМ, ИККАТ, НАФО) и у партнеров по межправительственным соглашениям в области морского рыболовства.

Благодаря предпринимаемым усилиям удалось сохранить обеспеченность рыбной промышленности СССР сырьевой базой, необходимой для дальнейшего успешного развития. В середине 1980-х гг., несмотря на усложнившиеся условия промысла СССР вышел на 1-2 место в мире по объемам вылова морепродуктов, добывая ежегодно 10-11 млн т. При этом уловы в Атлантическом океане превышали половину общего вылова, в районах исследований АтлантНИРО достигали 3,5-4,0 млн т в год (История развития..., 1999; Саускан, 2009; Рыбохозяйственной..., 2011; История АтлантНИРО..., 2012; Кухоренко, 2018; АтлантНИРО..., 2019; Кухоренко, Маслянкин, 2020).

1990-е гг. стали периодом радикальных изменений в политической и экономической ситуации. Кризисные явления, в том числе в рыбной отрасли, негативно отразились и на деятельности АтлантНИРО, поскольку в сферу ответственности института входило большинство океанических районов, где начал сворачиваться российский промысел. Сократились масштабы научно-исследовательских экспедиционных работ, почти в два раза уменьшилась численность сотрудников института. Однако, в эти сложные годы АтлантНИРО сумел не только сохранить свой научно-технический и интеллектуальный потенциал, но и добиться определённого прогресса в проведении исследований.

В начале 1999 г. на баланс АтлантНИРО были приняты два научно-исследовательских судна – СТМ «Атлантниро» и СТМ «Атлантида», а также катер «Орленок» для работы в заливах. Осуществление непосредственного управления работой научного флота положительно сказалось на качестве выполнения задач, решаемых в морских экспедициях.

В настоящее время АтлантНИРО продолжает, хотя и в меньшем объеме, исследования в океанических районах. Всего с 2000 по 2023 гг. выполнено 47 научно-исследовательских экспедиций в разных районах Атлантики и ЮВТО. Проводятся регулярные экспедиционные исследования в районах Центрально-Восточной Атлантики, Северо-Восточную Атлантики, где работает российский рыболовный флот, на подводные возвышенности Срединно-Атлантического хребта и подводные горы Азорского комплекса. Состоялись экспедиции в Юго-Восточную часть Тихого океана

(ЮВТО) и в Антарктическую часть Атлантики (АчА). Помимо экспедиционных исследований на научных судах научные наблюдатели АтлантНИРО регулярно ведут мониторинг биологического состояния основных объектов рыболовного промысла на российских рыбопромысловых судах.

Современное международное научное сотрудничество осуществляется главным образом с учеными Марокко и Мавритании в рамках межправительственных соглашений по рыболовству, стало более активным участие сотрудников АтлантНИРО в работе международных организаций.

Свою историю имеют и исследования в Балтийском море. С 1949 по 1972 гг. исследования по экологии и состоянию рыбных ресурсов Балтики проводились в АтлантНИРО. В 1973 г. было принято решение о передаче указанного направления в Балтийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства (БалтНИИРХ) в г. Рига (Латвия), работы в котором осуществлялись по 1991 г. Начиная с 1992 г., в «АтлантНИРО» были возобновлены комплексные научно-исследовательские работы в Балтийском море. Актуальность научного сопровождения отечественного рыболовства особенно возрастает в современных условиях. Как и много лет назад добыча ресурсов в Балтийском море является важным источником снабжения рыбой населения как минимум трёх субъектов Российской Федерации (Калининградской области, г. Санкт-Петербург и Ленинградской области). Современную основу сырьевых ресурсов Балтики составляют шпрот, сельдь, треска, камбала с максимальным объёмом суммарного вылова порядка 80 тыс. т.

В настоящее время на регулярной основе проводятся ресурсные исследования в Балтийском море, Куршском и Вислинском заливах, внутренних водоемах Калининградской области. Кроме того, АтлантНИРО в Балтийском регионе осуществляет экологическое сопровождение хозяйственной деятельности по нефти и газодобычи, строительным работам в порту и на морском побережье.

В последние годы в Учреждении активно развивается направление аквакультуры, основной задачей которого является проведения прикладных научно-исследовательских работ в области искусственного воспроизводства ценных видов гидробионтов бассейна Балтийского моря и его заливов – это сиг, камбала тюрбо, угорь и кумжа.

С января 2019 г. в соответствии с приказами Министерства сельского хозяйства Российской Федерации и Росрыболовства АтлантНИРО вошел в состав ФГБНУ «ВНИРО» в качестве его Атлантического филиала.

Руководством и ведущими сотрудниками Атлантического филиала подготовлена и передана в Центральный институт и Росрыболовство стратегия развития океанических экспедиционных исследований в районах ответственности АтлантНИРО. Выделены три основных района, в которых по результатам работ могут быть расширены масштабы российского промысла: Центрально-Восточная Атлантика, Антарктическая часть Атлантики, Южная часть Тихого океана. Оптимальная периодичность выполнения экспедиций в каждый район определена в три года.

Осуществление данной стратегии становится реальным. Расширенные исследования в Центрально-Восточной Атлантике будут выполнены в рамках Большой африканской экспедиции, которая проходит в настоящее время.

Развитию рыбоперерабатывающей промышленности в значительной степени способствуют технологические исследования института. Результаты исследований используются не только в регионе, но и за его пределами. Технологами института была изучена пищевая ценность более 500 видов гидробионтов и продуктов из них, более 150 видов рекомендованы к пищевому употреблению. В настоящее время около 1000 предприятий России и ближнего зарубежья успешно используют технологии института в своей деятельности.

Таким образом, можно констатировать, что основным результатом 75-летней деятельности АтлантНИРО стало обеспечение сырьевой базой океанического рыбопромыслового флота нашей страны, суммарный вылов которого за период 1958-2022 гг. составил 77 млн. т.

Сотрудниками внесен существенный вклад в отечественную и мировую науку об океанах. Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» продолжает выполнять возложенные на него функции по научно-информационному обеспечению российского рыболовства, прилагает и будет прилагать все усилия для решения сложных задач, стоящих перед рыбной отраслью нашей страны.

#### **Список литературы**

1. Рыбная промышленность Калининградской области: Страницы истории. Калининград: Янтарный сказ, 2009. 464 с.
2. История развития рыбохозяйственных исследований АтлантНИРО. Калининград: Изд. АтлантНИРО, 1999. 222 с.
3. Рыбохозяйственной науке России 130 лет. М.: ВНИРО, 2011. 488 с.
4. История АтлантНИРО в лицах и ситуациях. Книга 1. Материалы к изучению истории исследований и развития промысла. Персоналии. Калининград: АтлантНИРО, 2012. 235 с.
5. Саускан В.И. О роли калининградского рыбохозяйственного комплекса в развитии отечественного океанического рыболовства (К 60-летию АтлантНИРО) // Известия КГТУ. 2009. № 16. С.9-17.
6. АтлантНИРО – 70 лет с рыбной промышленностью страны. Калининград: АтлантНИРО, 2019. 176 с.
7. Кухоренко К.Г. История научного сотрудничества АтлантНИРО с прибрежными странами Атлантического океана. Калининград, 2018. 236 с.
8. Кухоренко К.Г., Маслянкин Г.Е. Промысловая разведка АтлантНИРО. Калининград, 2020. 168 с.

## АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ МИКРОПЛАСТИКА В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

В.А. Беляев, А.П. Педченко, И.В. Седлецкий

ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва, [belyaev@vniro.ru](mailto:belyaev@vniro.ru)

*Аннотация: в современных условиях развитие арктического региона РФ невозможно без учета экологических рисков и антропогенного воздействия на биотопы природных экосистем. Важные результаты по этим направлениям получены в последние годы в ходе масштабных экосистемных исследований ГНЦ ФГБНУ «ВНИРО», включая исследования загрязнения микропластиком поверхностных вод Арктических и Дальневосточных морей. На их основе разработана Программа мониторинга загрязнения микропластиком вод и водных биологических ресурсов в районах отечественного рыболовства.*

Ключевые слова: микропластик, антропогенное загрязнение, промысловые биоресурсы, пищевая безопасность, моря Российской Арктики

В настоящее время развитие арктического региона Российской Федерации, включая район Северного морского пути, имеет для нашей страны стратегическое значение. Экономический и, отчасти, экологический компоненты такого развития, включают в себя особое внимание к рыбохозяйственному комплексу арктической зоны, который насчитывая более 150 арктических и субарктических видов рыб, уже сегодня обеспечивает до 15 % вылова водных биоресурсов и производимой в Российской Федерации рыбной продукции (Беляев, Ридигер, Согрина, 2020; Ридигер, 2022; Колончин, Педченко, Беляев, 2023).

Арктический регион долгое время считался нетронутой природной средой, в котором минимальна деятельность человека. Однако, современные исследования климатических изменений и антропогенного воздействия на экосистемы Арктики (Макаров и др., 2020; Alabia, et al., 2023) выявили высокую уязвимость биотопов морей и значительные их изменения. Помимо ранее выявленных антропогенных факторов ученые отметили значительное увеличение загрязнения вод морским мусором и микропластиком (МП) (Morgana et al., 2018; РАМЕ, 2019; Педченко, Беляев 2021; Bergmann et al., 2022). Исследования (Педченко, Блиновская, 2020; Kvamsdal et al., 2022; Pedchenko, Belyaev, 2023; Педченко и др., 2024;) показали, что пластиковый мусор обнаружен в водах, донных отложениях, морских льдах Арктических морей, а также в организмах гидробионтов, включая рыб, обитающих в них.

Начиная с 2019 г., учеными ФГБНУ «ВНИРО» собирались, анализировались и публиковались новые данные о реальном уровне антропогенного загрязнения МП морской среды арктических морей России (рис. 1), а также формулировались предметные предложения по дальнейшему развитию исследований загрязнения МП вод и водных биологических ресурсов в районах российского рыболовства (Колончин, Педченко, Беляев, 2023). Это показывает, что несмотря на имеющиеся спорные сообщения ряда зарубежных исследователей о том, что «уровни загрязнения биоты пластиком почти полностью неизвестны в Российской Арктике или, по крайней мере, недоступны для международного научного сообщества» (Collard, Ask 2021), картина исследований не соответствует действительности.

В связи с этим, авторы считают необходимым представить важные результаты, полученные в экспедициях ФГБНУ «ВНИРО» к настоящему времени:

1) новые количественные оценки содержания МП в поверхностных водах с использованием нейстонных сетей Манта 335 мкм показали, что наибольшие его концентрации в Арктических морях в 2019-2022 гг. не превышали 0,15 ед./м<sup>3</sup> (Чукотское

– 0,02 ед./м<sup>3</sup>; Восточно-Сибирское – 0,05 ед./м<sup>3</sup>; Лаптевых – 0,02 ед./м<sup>3</sup>; Карское – 0,15 ед./м<sup>3</sup>; восточная часть Баренцева – 0,06 ед./м<sup>3</sup>) и были ниже, чем в других районах Мирового океана (табл. 1);

2) сформулирована рабочая гипотеза об источниках поступления МП в российскую Арктическую зону, согласно которой перенос его фрагментов осуществляется: течениями из сопредельных районов северо-восточной Атлантики и Берингова моря, в результате таяния дрейфующего льда, атмосферными переносами и водами речного стока;

3) зафиксировано вовлечение МП в трофические системы через беспозвоночных, рыб (выявлено наличие его фрагментов и волокон в желудочно-кишечном трактом (ЖКТ) целого ряда рыб в местах их обитания).

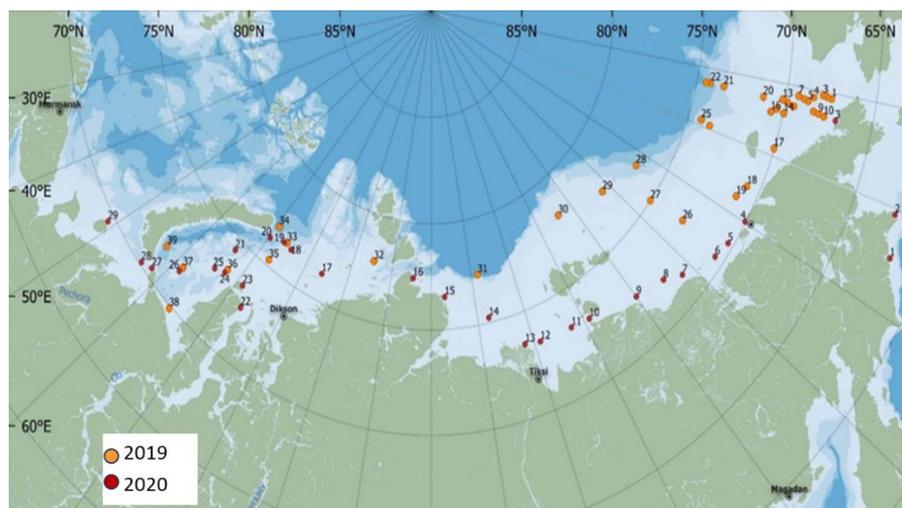


Рисунок 1. Районы наблюдений и места отбора проб микропластика в морской и прибрежной части шельфа восточного сектора российской Арктики в августе-сентябре 2019 (НИС «Профессор Леванидов») и сентябре-октябре 2020 (УПС барк «Седов») гг.

Таблица 1. Количество МП на поверхности в соответствии с данными, полученными с помощью сетей Manta

Зона исследований	Концентрация МП, шт./м <sup>3</sup>	Источник информации
Западная часть Баренцева моря	0,3-23,9	Kanhai, et al., 2018; Mu, et al.; Hänninen, et al., 2021; Ross, et al., 2021;
Норвежское море	0,3-6,0	Lusher et al., 2015; Morgana, et al., 2018
Северо-западная Атлантика	3,9-6,0	Lattin et al, 2004; Di Mauro, et al., 2017
Северо-восточная Атлантика	1,7-66,7	Reisser, et al., 2015; Courtene-Jones, et al., 2017
Северная часть Тихого океана	0,2-1,2	Goldstein, et al., 2012; Mu, et al., 2019; Egger, et al., 2020; Liu et al., 2019
Средиземное море	0,2-3,0	Guyen, et al., 2017; Lefebvre, et al., 2019
Балтийское море	до 11,1	Zobkov, et al., 2019
Индийский океан	до 1,4	Li et al., 2020

Оценки загрязнения микропластиком вод Арктических морей, полученные на текущий момент в ходе исследований ФГБНУ «ВНИРО», можно условно принять за «начальные» или «нулевые» показатели, что актуально в преддверии активной фазы развития судоходства и эксплуатации трассы Северного морского пути, расширения рыбного промысла и возможных перспектив развития марикультуры, в условиях

потепления Арктики и реализации крупных инфраструктурных проектов в Арктическом регионе.

Неоднократно отмечалось, что загрязнение вод МП может оказывать негативное воздействие на их обитателей. В обзоре, подготовленном по материалам этих исследований (Kögel et al., 2022), представлены данные анализа содержания МП в арктической рыбе (треска, сайда, атлантический лосось, мойва, скумбрия, путассу) и подчеркивается важность расширения мониторинга загрязнения МП рыб региона. При этом отмечено, что исследования различались по методологии, подходами в выделении, идентификации частиц МП и их количественной оценке, в описании сведений о размерах, формах и химической принадлежности образцов МП. Эти факторы ограничивают возможность сопоставления немногочисленных данных о встречаемости и количестве зарегистрированных МП в водных биологических ресурсах, что затрудняет комплексный анализ проведенных исследований.

С учетом важности этого аспекта исследований, помимо расширения исследований *in situ* загрязнения МП вод в окраинных морях и континентальных водоемах, с 2023 г. учеными ФГБНУ «ВНИРО» реализуется масштабное исследование загрязнения МП ЖКТ промысловых рыб в районах отечественного рыболовства. Наблюдения за пластиковым загрязнением входят в спектр задач экосистемных рыбохозяйственных исследований и направлены на оценку его накопления в биотопах основных промысловых районов морей. В 2023-2024 гг. собрано около 2000 проб ЖКТ промысловых рыб Дальневосточных морей (кета, нерка, горбуша, минтай, морской окунь), Баренцева моря (сельдь, сайка, мойва), Азовского и Черного морей (мерланг, шпрот, сингиль, сельдь, хамса) (табл. 2, рис. 2). Сбор, обобщение и систематизация этой информации крайне необходимы для оценки воздействия загрязнения МП на экосистемы в условиях растущего производства пластмасс для предотвращения возможных экологических, социальных и экономических последствий.

Эти исследования будут иметь важное практическое значение, поскольку установлено, что загрязнение организма промысловых рыб МП находится в четкой зависимости от их пищевого трофического поведения (Bastidas et al., 2024). Очевидно, что попадание и загрязнение ЖКТ рыб МП напрямую связано как с физическим его поглощением/заглатыванием и состоянием среды их обитания, так и с видовыми особенностями (включая морфологию) рыб и их поведением. Процесс заглатывания МП связан с его соразмерностью с кормовыми объектами и может происходить как случайным образом, так и совместно с кормовыми организмами, в то же время находясь в них или попадая в ЖКТ попутно (Horton et al., 2018). В результате исследований установлена положительная корреляция между фактическим количеством МП в кишечнике и размерами рыб, частности более крупные рыбы проглатывали максимально возможное количество частиц, чем более мелкие рыбы.

Уже имеются убедительные доказательства (Jovanovic, 2017), что проглатывание микро- и нанопластиков может повлиять на здоровье рыб. Эффекты такого потребления МП вызывали закупорку кишечника, физическое повреждение, гистопатологические изменения в кишечнике, изменение поведения, изменение липидного обмена и попадание в печень.

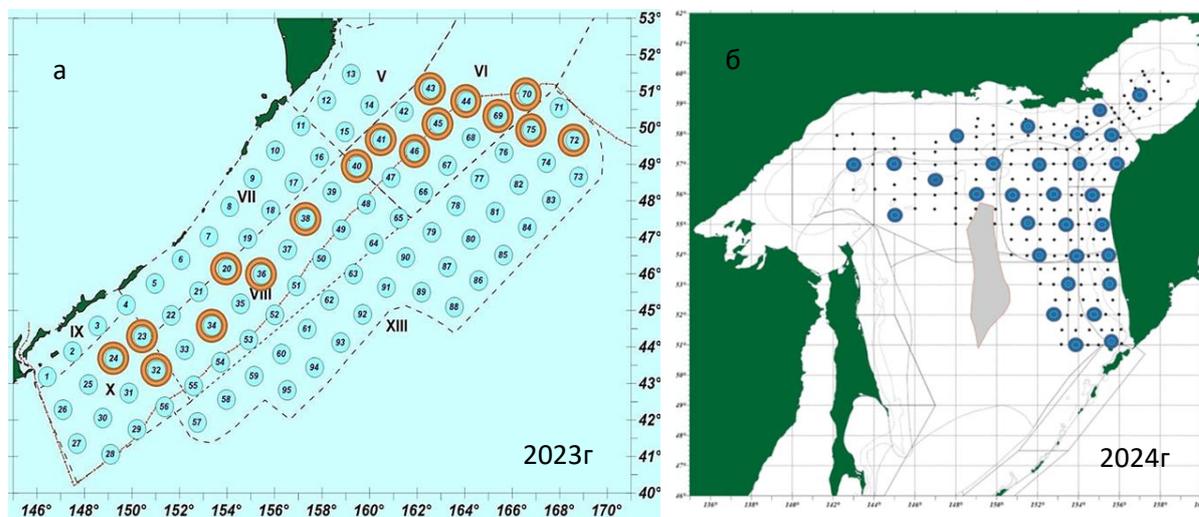
Кроме того, исследования в дикой природе и *in vitro* по воздействию частиц МП были проведены на нескольких отобранных рыбах и показали, что их скопления в различных тканях, включая мозг, проникают через гематоэнцефалический барьер, что может изменять поведение и вызывать различные неврологические проблемы (Singh et al., 2024). Установлено, что различные МП оказывают различное воздействие и влияют на поведение объектов рыбного промысла, процессы пищеварения у рыб, вызывают окислительный стресс, подавляют иммунные гены и т.д.

Таблица 2. Количество проб воды/ЖКТ, отобранных для оценки содержания МП в 2019-2024 гг.

Год	Зона исследований								
	Баренцево море (вост. часть)	Карское море	Море Лаптева	Восточно-Сибирское море	Чукотское море	Моря сев. части Тихого океана	Азовское и Черное моря	Озеро Ильмень	Всего
2019		8/0	1/0	7/0	23/0				36/0
2020	2/0	11/0	6/0	6/0	1/0	2/0			28/0
2021	43/0								43/0
2022	33/0						7/0		40/0
2023	47/297	36/0				0/80	0/202		83/579
2024	94/540	19/0				27/330	0/182	15/80	155/1132
<b>Всего</b>	<b>219/837</b>	<b>74/0</b>	<b>7/0</b>	<b>13/0</b>	<b>24/0</b>	<b>29/410</b>	<b>7/384</b>	<b>15/80</b>	<b>385/1711</b>

Вызывают беспокойство результаты, которые были получены в части воздействия МП на поведение рыб внутри их сообществ (Hasan et al., 2024). Выявлено, что они вызывают ряд поведенческих нарушений у рыб, влияют на социальные взаимодействия и когнитивные функции как отдельных особей, так и их групп.

Зарубежными учеными отмечалось, что арктическая ихтиофауна в ближайшие годы и десятилетия будет все больше подвергаться угрозе загрязнения МП. С учетом высказанных предположений о том, что МП загрязнители могут привести к неожиданной и резкой деградации водных экосистем (Qian et al., 2023), на фоне проводимого мониторинга необходим предметный переход к экспериментальным работам по изучению воздействия МП на рыб для того, чтобы предупредить экологические риски и обеспечить высокий уровень продовольственной безопасности.



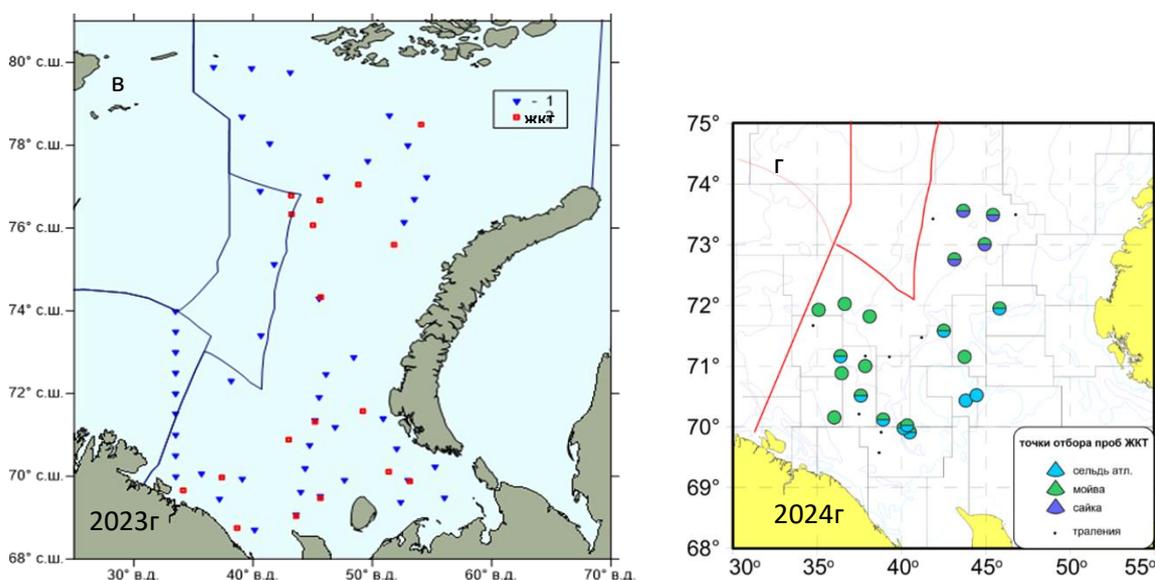


Рисунок 2. Расположение станций отбора проб микропластика в ЖКТ рыб в районах промысла к западу от Курильских о-вов (а), Охотском море (б) и Баренцевом море (в, г) в 2023-2024 гг.

В связи с получением новых данных по загрязнению ЖКТ арктической ихтиофауны МП и началом последовательных работ с морскими видами-биондикаторами, важно детально проработать направления исследований о влиянии МП на общее здоровье и физиологию как морских, так и пресноводных рыб в экспериментальных условиях, включая бассейны и аквариумы. Такие методики для оценки поведения пресноводных рыб в лабораторных условиях уже отработаны ранее (Седлецкий, 1993). Можно предположить, что развитие этих экспериментальных работ позволит получить новую информацию для количественной оценки потребления рыбами частиц МП и понимания процессов антропогенного загрязнения биотопов экосистем морей Российской Арктики.

Наблюдения специалистов ФГБНУ «ВНИРО» и материалы современных исследований по данной проблеме (Lusher, 2017; Primpke et al., 2023) стали основой для разработки Программы мониторинга загрязнения микропластиком вод и водных биоресурсов в районах отечественного рыболовства. Основной целью научных исследований по загрязнению морской среды и рыб МП является его влияние на водные биоресурсы окраинных морей Арктики.

Эта программа предусматривает следующие актуальные направления исследований:

1. Расширение временного и пространственного мониторинга загрязнения пластиком Арктических морей с целью выявления источников загрязнения, особенностей переноса и условий накопления синтетических фрагментов и волокон;

2. Переход к количественным методам оценки загрязнения вод пластиком для повышения их точности и возможности сравнения результатов выполняемых исследований;

3. Согласование межведомственных научных программ исследований загрязнения вод пластиком для обеспечения перехода к масштабному и комплексному мониторингу, улучшению дизайна исследований, отчётности и совершенствованию методов оценок;

4. Проведение комплексных исследований загрязнения микропластиком водных биологических ресурсов для получения актуальных оценок его влияния на промысловые гидробионты и кормовые организмы в целях обеспечения пищевой безопасности;

5. Оценка возможных рисков от воздействия микропластика и пластикового мусора на экосистему Арктики с экологической, экономической и социальной точек зрения.

#### Список литературы

1. Беляев В.А., Ридигер А.В., Согрина А.В. Наука – для рыбохозяйственной отрасли в Арктической зоне: сотрудничество, основные задачи отрасли и научные пути их решения // Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. 2020. № 2 (2). С. 23-29.
2. Колончин К.В., Педченко А.П., Беляев В.А. Исследования содержания микропластика в воде и промысловых рыбах: от научного поиска к масштабному мониторингу // Труды ВНИРО. 2023. Т. 193. С. 162-173.
3. Макаров М.В., Матишов Г.Г., Моисеев Д.В., Малавенда С.В., Дворецкий А.Г., Дружкова Е.И., Ежов А.В., Ильин Г.В., Карамушко О.В., Бердников С.В. Биоресурсы арктических морей: современное состояние, влияние климатических и антропогенных воздействий // Труды Кольского научного центра РАН. 2020. № 4-7. С. 7-28.
4. Педченко А.П., Блиновская Я.Ю. Трансарктическая экспедиция ВНИРО: Результаты исследований микропластика в Арктических морях в 2019 г. // Инновационные научные исследования: теория, методология, практика // Сборник статей Международной научно-практической конференции. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2020. Ч. 1. С. 203- 205.
5. Педченко А.П., Согрина А.В., Ведищева Е.В., Гордеев И.И., Старовойтов А.Н., Новокрещенных С.В., Кантаков Г.А., Беляев П.С. О встречаемости микропластика в желудочно-кишечном тракте рыб Дальневосточных морей // Рыбохозяйственный комплекс России: 300 лет российской академической науке : Сб. трудов II Междунар. научно-практ. конф. М.: Изд-во ВНИРО, 2024. С. 282-290.
6. Педченко А.П., Беляев В.А. Особенности загрязнения морским мусором и пластиком морей западной Арктики. // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2021. № 3 (167). С. 65-70.
7. Ридигер А.В. Арктика как источник водных биологических ресурсов // Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. 2021. № 4 (8). С. 65-73.
8. Седлецкий И.В. О методологической целесообразности изучения этологии размножения рыб на лабораторных цикловых // Лабораторные животные. 1993. Т III, № 4. С. 225-229.
9. Alabia, I.D., García Molinos, J., Hirata, T. et al. Pan-Arctic marine biodiversity and species co-occurrence patterns under recent climate // Sci. Rep. 2023. Vol. 13. P. 4076.
10. Bastidas J.J.C. et al. Impact of contamination due to ingestion of microplastics on commercial fish in relation to their trophic habits // Res. Square. 2024. N 6. 26 p.
11. Bergmann M., Collard F., Fabres J., Gabrielsen W., Provencher J., Rochman C., Sebille E., Tekman M. Plastic pollution in the Arctic // Nat. Rev. Earth Environ. 2022. Vol. 3. С. 323-337.
12. Collard F., Ask A. Plastic ingestion by Arctic fauna: A review // The Science of The Total Environment. 2021. Vol. 786, 147462. 14 p.
13. Hasan A.K.M. et al. A review of the neurobehavioural, physiological, and reproductive toxicity of microplastics in fishes // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2024. Vol. 282 (116712).
14. Horton A. et al. The influence of exposure and physiology on microplastic ingestion by the freshwater fish *Rutilus rutilus* (roach) in the River Thames, UK // Environmental Pollution. 2018. Vol. 236. P. 188-194.
15. Jovanovic B. Ingestion of microplastics by fish and its potential consequences from a physical perspective: Potential Consequences of Fish Ingestion of Microplastic // Integr. Env. Assesm. & Mngm. 2017. Vol. 13(3). P. 510-515.
16. Kögel, T., Hamilton B., Granberg M., Provencher J.F., Hammer S., Gomiero A., Magnusson K., Lusher, A. Current efforts on microplastic monitoring in Arctic fish and how to proceed // Arctic Science. 2022. P. 9-10.
17. Kvamsdal S.F., Dankel D., Ekerhovd N.A., Hoel A.H., Renner A.H., Sandø A.B., Steinshamn S.I. Multidisciplinary perspectives on living marine resources in the Arctic // Polar Research. 2022. Vol. 41. С. 7766.
18. Lusher A.L., Hollman P.C.H., Mendoza-Hill J.J. Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety // FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. 2017. No. 615. Rome, Italy.
19. Morgana S., Ghigliotti L., Estévez-Calvar N., Stifanese R., Wieckzorek A., Doyle T., Christiansen J.S., Faimali M., Garaventa F. Microplastics in the Arctic: A case study with sub-surface water and fish samples off Northeast Greenland. Environ // Pollut. 2018. Vol. 242. P. 1078-1086.
20. PAME. Desktop Study on Marine Litter including Microplastics in the Arctic. 2019.
21. Pedchenko A.P., Belyaev V.A. Monitoring of microplastics in water and commercial fish in transboundary fisheries areas // Practice Oriented Science: UAE – RUSSIA – INDIA. Proceedings of the International University Scientific Forum. UAE, 2023. P. 188-197.
22. Primpke S., Booth A.M., Gerdtz G., Gomiero A., Kögel T., Lusher A., Strand J., Scholz-Böttcher B.M., Galgani F., Provencher J., Aliani S., Patankar S., and Vorkamp K. Monitoring of microplastic pollution in

- the Arctic: recent developments in polymer identification, quality assurance and control, and data reporting // *Arctic Science*. 2023. Vol. 9(1). P. 176-197. doi:10.1139/as-2022-0006.
23. Qian G., Zhang L., Chen Y., Xu C. Fish microplastic ingestion may induce tipping points of aquatic ecosystems // *J. Anim. Ecol.* 2023. Vol. 93 (1). P. 45-55.
24. Singh A., Ranjan S., Sati P.C. et al. Effects of Microplastics in Aquatic Organisms and the Current Status of Microplastics Pollution in Indian Aquatic Bodies // *Bulletin of Pure & Applied Sciences – Zoology*. 2024. Vol. 43(1). P. 78-98.

## СОСТАВ И СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗООБЕНТОСА ЛИТОРАЛИ ОЗЕР КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛАНДШАФТА И АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В.П. Беляков

*ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет  
им. А.И. Герцена» (РГПУ), г. Санкт-Петербург, [victor\\_beliakov@mail.ru](mailto:victor_beliakov@mail.ru)*

*Аннотация: проведены исследования зообентоса озер, в 4-х ландшафтах Карельского перешейка. На основе сборов 2012-23 гг получены данные по массовым видам, видовой и трофической структуре, количественному развитию и их отличию в типичных литоральных биотопах, в зависимости от ландшафта, трофности и антропогенной нагрузки. Усиление последней нивелирует природные различия, обедняет состав и структуру и снижает деструкцию органического вещества зообентосом на литорали.*

Ключевые слова: зообентос литорали озер, видовая и трофическая структура, продукционно-деструкционные характеристики, влияние ландшафта

Литоральная зона озер характеризуется более разнообразными условиями для развития сообществ зообентоса и хотя в большинстве водоемов ее относительная площадь невелика, но интенсивность процессов прироста биомассы популяций и скорости трансформации веществ в бентосе здесь существенно выше, чем в профундали. Зону литорали можно рассматривать как экотон между сушей и водой и как природный фильтр для проникновения с прибрежных территорий различных веществ. Кроме того, именно в литоральной зоне пересекаются трофические потоки пелагиали и бентали. Здесь же зарождаются многие популяции беспозвоночных и рыб, которые расселяются по всей акватории. Прибрежная зона озер является важной кормовой территорией для младших возрастов рыб.

Зообентос в силу большей, чем у планктона длительности жизненных циклов своих популяций является надежным индикатором существенных изменений качества водной среды. Природные характеристики озер диктуются особенностями окружающего ландшафта и стадией сукцессии их экосистем, что в совокупности определяет состав, структуру и количественное развитие сообществ зообентоса. На фоне этого могут действовать антропогенные факторы. Сравнение показателей зообентоса в озерах с различным комплексом этих факторов дает возможность прогнозировать количественный уровень развития сообществ, как потенциальную кормовую базу для рыбного населения, а также оценить вклад зообентоса в процесс самоочищения в литоральной зоне, что и являлось задачей данного исследования.

Данные по зообентосу были получены в период 2012-2023 гг. в ряде озер Карельского перешейка, расположенных в 4 типах ландшафтов, на основе не менее 3-х кратного исследования сообществ в весенний, летний и осенний периоды, с использованием стандартных методов сбора и обработки проб. Для расчетов суточных значений продукции и деструкции популяций зообентоса использовали «физиологический» метод, т.е. уравнений зависимости дыхания от массы тела для разных групп организмов (Методические..., 1983).

Для узкой литорали озер сельгового ландшафта характерны скальные и песчаные подстилающие грунты с незначительным заилением. В таких озерах как Белокаменное, Б.Заветное, Бородинское и др. в прибрежье зообентос развит незначительно: 440-840 экз./м<sup>2</sup> и 0,16-0,56 г/м<sup>2</sup>; доминирование не выражено, обильнее представлены

детритофаги-собиратели личинки *Tanytarsus holochlorus*, *Dicrotendipes nervosus*, реже – *Stictochironomus crassiforceps* или *Microtendipes pedellus*, а также и разные хищники – гидракарини, личинки хирономид, или ручейников. Наличие последних, а также поденок говорит о «чистоте» вод. Напротив, в оз. Лесково, подверженном антропогенному воздействию, зообентос литоральной зоны демонстрировал признаки эвтрофности водоема: увеличение количественных показателей до 3680 экз./м<sup>2</sup> и 25,63 г/м<sup>2</sup>, усиление доминирования, появление в составе фильтраторов: двустворчатых моллюсков и фитофильных личинок *Synendotendipes impar*.

Большая группа исследованных озер, расположенных в центральной части перешейка, характеризуется очень большим разнообразием условий для формирования литоральных сообществ зообентоса, численность и биомасса зообентоса на литорали зависят не от уровня продуктивности, а от других факторов. В озерах, расположенных в понижениях рельефа, в болотистом ландшафте, и имеющих повышенную цветность вод, отмечено минимальное разнообразие состава и преобладание *Asellus aquaticus*, или личинок *Microtendipes pedellus* и *Psectrocladius sp.* В разных озерах этого типа отличалась только последовательность доминирования указанных видов, а суммарные численность и биомасса были либо крайне низкими: 20-200 экз./м<sup>2</sup> и 0,02-0,42 г/м<sup>2</sup>, (оз. М. Лозовое, Затишье, Охотничье), либо средними 340-1840 экз./м<sup>2</sup> и 0,66-1,43 г/м<sup>2</sup>. Литораль не всегда выражена, часто перекрыта сплавиной (Затишье, Охотничье). В этом случае в прибрежье были встречены только некоторые характерные для болот формы. В литоральной зоне остальных озер, при разных биотопических условиях (грунт, макрофиты, водная динамика, антропогенная нагрузка и т.д.) бентофауна в целом более разнообразна, среди доминантов отмечены личинки разных видов родов *Polypedilum*, *Glyptotendipes*, *Procladius* и трибы *Tanytarsini*, а также *Pagastiella orophila*, в качестве субдоминантов присутствуют преобладавшие в предыдущей группе озер раки *Asellus aquaticus* и личинки *Microtendipes pedellus*. В озерах с более высоким уровнем трофности на литорали появляются личинки *Chironomus* и *Endochironomus*, там же, как правило, выше и количественные показатели. В целом численность и биомасса зообентоса литорали в этой группе озер изменялось в пределах: 800-4000 экз./м<sup>2</sup> и 0,46-7,64 г/м<sup>2</sup>. Из ряда озер выбивается оз. Мичуринское, где на литорали отмечена существенная перестройка в результате инвазии рачков *Gmelinoides fasciatus*, которые там составляли до 80-90 % от всего зообентоса. Довольно высокое количественное развитие литорального зообентоса в некоторых озерах в этой зоне может быть последствием ранее проведенных в 1970-80-х гг. мероприятий по их удобрению, этому способствует их малая проточность.

В соседнем Привуоксинском ландшафте исследованы 4 озера, которые значительно различаются по морфологическим характеристикам и уровню трофии. На литорали в оз. Правдинском – бентос количественно развит слабо (500 экз./м<sup>2</sup> и 1,40 г/м<sup>2</sup>), доминируют личинки *Dicrotendipes*. На литорали оз. Красного зообентос обильнее, до 6900 экз./м<sup>2</sup> и 31,96 г/м<sup>2</sup>, доминируют разные виды, но чаще *Cladotanytarsus mancus*, *Polypedilum bicrenatum*, *Microtendipes pedellus* или *Stictochironomus crassiforceps*. Кроме того, там значительны популяции крупных двустворчатых моллюсков *Unio* и *Anadonta*. Многолетние наблюдения этого озера продемонстрировали чередующуюся смену доминантов на литорали, связанную с колебанием уровня режима, кроме того в 1970-80 гг. в озере отмечалось заметное заиление прибрежных биотопов, сопровождавшееся доминированием пелофильных организмов – личинок рода *Chironomus* и червей тубифицид (Беляков, 2008). В мелких озерах этой группы – Вишневоком и Волочаевском, более эвтрофных, литоральный бентос количественно примерно одинаков (1080-1640 экз./м<sup>2</sup> и 1,5-2,21 г/м<sup>2</sup>), с доминированием пелофилов: личинок хирономид *Einfeldia pagana* или *Chironomus spp.*, олигохет *Limnodrilus hoffmeister*.

В озерах Приморского ландшафта на литорали встречается, как правило, от 3 до 15 видов зообентоса. Численность и биомасса изменялась в широких пределах: 280-5000

экз./м<sup>2</sup> и 0,16-36,75 г/м<sup>2</sup>. Почти всегда доминировали личинки хирономид *Cladotanytarsus mancus* и черви *Limnodrilus hoffmeisteri*, что говорит о заметном заилении грунтов. Среди субдоминантов – *Procladius choreus*, *Synendotendipes impar*, *Heterotrissocladius marcidus* и *Helobdella stagnalis*. В гипертрофных мелководных озерах М. Ладога и Балаково на литорали доминировали *Chironomus plumosus* и *Glyptotendipes gripekoveni*, а в оз. М.Симагинском – моллюски *Euglesa* sp. Большая рекреационная и хозяйственная нагрузка существенно влияет на развитие зообентоса в этих озерах, подтверждением может служить обнаружение личинок хирономид видов *Microtendipes pedellus* и *Glyptotendipes glaucus* с морфологическими отклонениями ротового аппарата (Беляков, Сотников, 2014).

Сложность видовой структуры литоральных сообществ зообентоса в озерах зависит от разнообразия биотопических условий, которые были характерны для озер с пологой широкой и зарастающей макрофитами литорали, но без существенного антропогенного воздействия, что свойственно центральным ландшафтными районам. Приморский ландшафт характеризуется наибольшими нагрузками на озерные экосистемы, это приводит к снижению разнообразия. В трофической структуре с севера на юг, а также с ростом антропогенной нагрузки растет доля трофических группировок детритофагов-глотателей, собирателей мелкодисперсного детрита и фильтраторов. В том же направлении, в целом, растут продукционные характеристики зообентоса, но снижается относительная доля деструкционных процессов в суммарной ассимиляции органических веществ зообентосом (табл. 1).

Таким образом, в озерах разных ландшафтных районов Карельского перешейка видовой состав основного ядра сообщества зообентоса довольно сходен, наличие отдельных специфических видов носит случайный характер, то есть требует проведения более длительных и подробных исследований. Тем не менее, структура сообщества зообентоса существенно отличается в озерах разного ландшафта. Эти изменения структуры, выражающиеся в смене доминантов и субдоминантов, перестройке трофической иерархии являются следствием как влияния изменений гидрохимического и гидрологического режимов, так и трофического уровня, формирующихся при действии внешних по отношению к озеру факторов среды (климатические особенности, природные ландшафты, антропогенное воздействие).

Таблица 1. Структурные и функциональные характеристики сообществ зообентоса литорали озер 4-х ландшафтов Карельского перешейка

Озерный ландшафт	Число озер	Характеристики			
		Индекс Шеннона, бит/экз	Сут.продукция, кал/м <sup>2</sup> сут	Сут.деструкция, кал/м <sup>2</sup> сут	Доминирующие трофические группы
сельговый	9	1,69-3,51	11-180	44-680	детритофаги собиратели и разгрызатели
центральный (лемболовский)	17	1,81-4,15	22-136	62-398	фитодетрито-фаги фильтраторы, фитофаги
привуоксинский	4	1,58-3,59	7-200	66-514	детритофаги-фильтраторы+собиратели
приморский	16	1,3-3,41	3-32	16-394	детритофаги-глотатели, фитодетрито-фаги собиратели+фильтраторы

Независимо от ландшафтной расположенности в исследованных озерах, при повышении уровня трофности озера отмечается увеличение количественного развития зообентоса, его продукционных характеристик, а при повышении цветности воды - снижение его численности, биомассы и деструкционной активности, сопровождаемое упрощением структуры, такая же картина наблюдается и при максимальных антропогенных нагрузках.

Индикаторами отклика зообентоса на особенности окружающего ландшафта и геохимических характеристик могут служить не конкретные виды, а видовые ансамбли с изменяемой структурой доминирования видов. Функциональные и структурные характеристики литоральных сообществ зообентоса согласовано откликаются на состояние природных и антропогенно нарушенных ландшафтов.

#### **Список литературы**

1. Беляков В.П. Многолетние изменения макробентоса оз. Красного // Многолетние изменения биологических сообществ мезотрофного озера в условиях климатических флуктуаций и эвтрофирования. СПб., 2008. С. 167-184.
2. Беляков В.П., Сотников И.В. Морфологические деформации личинок хирономид как показатель загрязненности водоемов Санкт-Петербурга // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы : Матер. V Всерос. конф. по водной экотоксикологии с зарубежным участием, посв. памяти Б.А. Флерова, Т. 2. Борок, 2014. С. 13-16.
3. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. Л., 1983. 52 с.

## СОСТОЯНИЕ ЗАПАСОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРΟΣЛЕЙ БЕЛОГО МОРЕЯ

М.О. Березина

Северный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («Северный»),  
г. Архангельск, [berezina@severniro.vniro.ru](mailto:berezina@severniro.vniro.ru)

Аннотация: история изучения и освоения водорослевых ресурсов Белого моря насчитывает более 100 лет. В первой половине XX в. запасы водорослей находились в стабильном состоянии, в 60-е гг. XX в. наблюдалось их сокращение под воздействием естественных факторов среды и в результате нерационального ведения промысла. В настоящее время состояние ламинариевых и фукусовых водорослей Белого моря оценивается как стабильное, однако запасы промыслом недоосваиваются. Полноценное использование водорослевых ресурсов возможно только при улучшении технической оснащенности промысла и совершенствовании технологии переработки.

Ключевые слова: ламинариевые водоросли, фукоиды, анфельция, Белое море, ретроспектива состояния запасов, промысел

Установление величины запасов и закономерностей распределения морских бентосных водорослей, образующих промысловые скопления, является одним из важнейших направлений рыбохозяйственных исследований.

В Белом море к промысловым видам водорослей относятся два представителя ламинариевых водорослей (*Saccharina latissima* (L.) Lane, Mayes, Druehl et Saunders, *Laminaria digitata* (Hudson) Lam.), четыре вида фукоидов (*Fucus vesiculosus* L., *F. distichus* L., *F. serratus* L., *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis) и один вид красных водорослей – анфельция складчатая (*Ahnfeltia plicata* Huds. Fries).

Начало исследования сырьевой базы водорослей Белого моря связано с увеличением потребления йода в период Первой Мировой войны и настоятельной необходимостью освободиться от импорта дорогостоящего йода, производимого Германией, поскольку в России йодного производства не существовало (Мейер, 1933). Основанием для организации водорослевого производства на Белом море послужили результаты разведочной экспедиции, проведенной под руководством профессора В.Е. Тищенко в 1915 г., и показавшие, что объемы выбрасываемых водорослей на побережья Белого моря достаточны для организации перерабатывающего производства. В 1918 г. в Архангельске был введен в эксплуатацию завод по производству йода из штормовых выбросов ламинарии (Пронина, Мельник, 2007).

В 30-е гг. XX в. был выдвинут вопрос о добыче водорослей со дна Белого моря, поскольку было очевидно, что перерабатывающее производство не может развиваться только на ресурсах штормовых выбросов В 1931 г. Государственный океанографический институт провел масштабную экспедицию по выяснению запасов, распространению и распределению основного промыслового объекта – ламинариевых водорослей. В результате исследований общий запас ламинариевых водорослей в Белом море был оценен в 1,5 млн т сырца (Мейер, 1933). В дальнейшем, запасы ламинариевых водорослей, а также фукоидов и анфельции многократно обследовались и уточнялись Архангельским водорослевым научно-исследовательским институтом, который в 1963 г. вошел в состав Северного отделения ПИНРО (в настоящее время Северный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»).

По оценкам специалистов состояние растительных ресурсов в Белом море оставалось стабильным вплоть до второй половины 50-х гг. XX в., что объяснялось небольшой промысловой нагрузкой, затем стало наблюдаться снижение запасов макрофитов (рис. 1). Наибольшие изменения произошли в 60-е гг. XX в. по причине

нерационального ведения промысла с использованием драгирующих орудий лова, а также под воздействием естественных факторов среды.

Драгировки больших площадей донной поверхности на одних и тех же местах привели к тому, что участки дна, лишённые водорослевой растительности, заносило песком и илом (Гемп, 1967). Изменения в донной альгофлоре также объяснялись естественным снижением динамики вод в Белом море вследствие пониженного поступления вод из Атлантики в окраинные моря Северного Ледовитого океана. В 1960 г. практически повсеместно в Белом море произошла гибель zostеры, произрастающей на песчано-илистом дне. Это в свою очередь обусловило усиление процесса переноса подвижных грунтов, зарывающих каменистый субстрат, необходимый для развития водорослей. В результате изменения гидрологического режима и активизации процесса осадконакопления произошло смещение границ распространения промысловых видов водорослей и сокращение их площадей и запасов в Лумбовском и Двинском заливах, в крупных губах Кандалакшского залива и шхерных районах Онежского залива (Коренников, 1982).



Рисунок 1. Динамика запасов промысловых макрофитов (тыс. т сырой массы) в Белом море в XX в.

Однако, сокращение запасов водорослей мало отразилось на объемах добычи водорослей. На 60-70-е гг. XX в. пришелся максимум заготовок фукусовых водорослей, которые перерабатывались на кормовую крупку, а затем на технический альгинат (Экономическое обоснование..., 1969). Постепенно увеличивались объемы добычи ламинариевых водорослей (рис. 2).

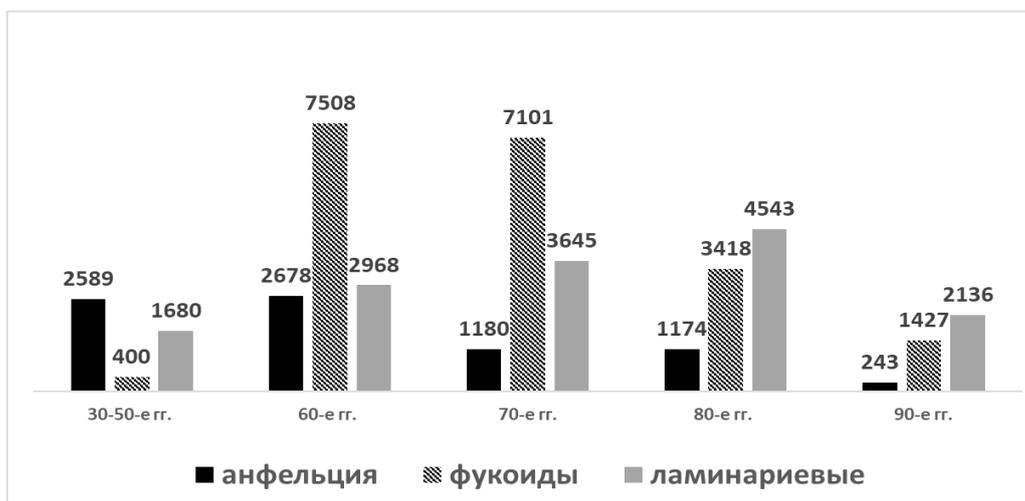


Рисунок 2. Среднегодовые показатели добычи водорослей (т сырой массы) в Белом море в XX в.

На 80-е гг. XX в. пришелся пик промысла ламинариевых водорослей. Ежегодные объемы заготовок в Белом море составляли от 4000 до 7000 т сырой массы. В связи с продолжающимся сокращением зарослей анфельции и возникшими опасениями по поводу возможного подрыва запасов фукусковых водорослей ввиду предполагаемой интенсификацией их промысла в 1986 г. был введен запрет на добычу этих видов водорослей из зарослей, разрешался только из штормовых выбросов.

Во второй половине 90-х гг. XX в. после проведения экологической экспертизы был введен запрет на использование в промысле ламинариевых водорослей полумеханических драг в ряде районов Белого моря. В связи с этим, а также на фоне общего спада в развитии отрасли, объем заготовок ламинариевых водорослей снизился по сравнению с 80-ми гг. XX в. в 2 раза. Падение уровня заготовок фукоидов произошло в связи с закрытием завода по производству крупки в г. Беломорск. Существенно сократились объемы сборов штормовой анфельции. При этом, состояние запасов водорослей (за исключением, анфельции) в тот период оценивалось как удовлетворительное (Пронина, Мельник, 2007).

Результаты современных обследований зарослей промысловых водорослей (2000-2016, 2020 гг.) свидетельствуют о благополучном состоянии их запасов в большинстве районов Белого моря. Лишь запасы анфельции остаются довольно ограниченными (1,1 тыс. т сырца согласно исследованиям Северного филиала, выполненных в 2001-2002, 2005-2011 гг. в 8 районах Белого моря).

В период 2000-2010 гг. ресурсы ламинариевых водорослей в Белом море оценивались в 350,0-542,8 тыс. т сырца. Нижний предел расчётной величины запаса ламинариевых водорослей был установлен в период с 2003 по 2007 гг., в связи с существенным сокращением продуктивной зоны ламинариевых водорослей в Лумбовском заливе (с 316,2 тыс. т – в 2003 г. до 167,9 тыс. т сырца – в 2007 г.). В 2008 г. расчётная величина запаса ламинариевых водорослей в Белом море вновь была скорректирована на основании данных, полученных при ревизии промысловых скоплений водорослей в прибрежных районах Онежского и Кандалакшского заливов (Евсеева и др., 2024). В настоящее время, величина запаса ламинариевых водорослей Белого моря установлена на уровне 294,9 тыс. т, то есть без учета ресурсов Лумбовского залива, поскольку данный район закрыт для судоходства. Запасы фукусковых водорослей в Белом море оценены в 151,0 тыс. т сырца (Евсеева и др., 2024; Состояние сырьевых биологических..., 2024).

Таким образом, добыча водорослей (за исключением анфельции) в настоящее время зависит в наибольшей степени не от уровня запасов, а от организации заготовок,

климатических условий и современного уровня технической оснащенности предприятий отрасли.

За последние десятилетия отмечено снижение фактического изъятия ламинариевых водорослей в Белом море (среднегодовая добыча в период 2000-2009 гг. составила 1981 т сырой массы (освоение – 9,0 % от рекомендованного вылова), в период 2010-2019 гг. – 1088 т (освоение – 3 %), 2020-2023 гг. – 1106 т (освоение – 3 %)). Добыча ламинариевых водорослей ведется в основном ручным способом (косой, якорем-кошкой), в ряде районов республики Карелия до 2014 г. местные рыболовецкие колхозы осуществляли промысел с использованием механических драг пластинчатого типа.

Значительную часть биомассы фукоидов (70-100 % всех заготовок) собирали из штормовых выбросов, хотя с 2002 г. наукой выделялись лимиты для скашивания. Начиная с 2014 г., промысловая стратегия изменилась, объем добытых из зарослей фукоидов, стал увеличиваться и к настоящему времени достиг 100 % всех заготовок. При этом отмечено увеличение среднегодовых показателей заготовок фукоидов (за период 2000-2009 гг. – 677 т (освоение – 2,0 % от рекомендованного вылова), 2010-2019 гг. – 539 т (освоение – 2,4 %), 2020-2023 гг. – 791 т (освоение – 5,3 %)).

Следует признать, что полноценное освоение запасов водорослей возможно только при улучшении технической оснащенности промысла и совершенствования технологии переработки. При организации промысла бурых водорослей с использованием специализированных судов, оборудованных эффективными добывающими механизмами необходимо разработать четкий регламент по режиму эксплуатации промысловых скоплений, установить районы, пригодные для механизированного промысла, использовать секторную систему промысла (разработана Северным филиалом ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО») и внести соответствующие изменения в Правила рыболовства.

#### Список литературы

1. Мейер К.И. О штормовых выбросах // Труды государственного океанографического института. Т. 3. Вып. 3. 1933. С. 25-26.
2. Пронина О.А., Мельник Р.А. Промысловые водоросли Соловецких островов: состояние сырьевой базы и промысла, перспективы развития // Материалы отчетной сессии Северного филиала ПИНРО по итогам научно-исследовательских работ 2003-2004 гг. Архангельск: Сев. отд-ние ПИНРО, 2007. С. 201-216.
3. Гемп К.П. Запасы Промысловых водорослей в Белом море: сводка. Архангельск: СевПИНРО, 1967. 131 с.
4. Коренников С.П. Промысловые водоросли сублиторали Двинского, Онежского и Кандалакшского заливов Белого моря: вопросы биологии, распределения и запасы : Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Архангельск, 1982. 188 с.
5. Экономическое обоснование рационального развития предприятий Архангельского территориального управления рыбной промышленности (водорослевой промышленности). Мурманск: ПИНРО, 1969. 269 с.
6. Евсеева Н. В., Матюшкин В.Б., Березина М.О. Состояние ресурсов и промысел водорослей и морских трав в морях России в 2000-2020 гг. // Труды ВНИРО. 2024. Т. 195. С. 232-248. DOI 10.36038/2307-3497-2024-195-232-248. – EDN WTUMVM.
7. Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева, Белого и Карского морей и Северной Атлантики в 2024 г. / Амелькина А.С., Анциферов М.Ю., Бакай Ю.И. [и др.]; науч. ред. К.М. Соколов; отв. за подготовку Пестрикова Л.И.; Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича). Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2024. 168 с.

## СТРУКТУРА ПРИБРЕЖНОЙ ПИЩЕВОЙ СЕТИ В ЭСТУАРИИ РЕКИ НЕВЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЭВТРОФИКАЦИИ И РАКООБРАЗНЫХ-ВСЕЛЕНЦЕВ

Н.А. Березина

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, [nadezhda.berezina@zin.ru](mailto:nadezhda.berezina@zin.ru)

Аннотация: изучалось влияние эвтрофикации и инвазивных амфипод на прибрежные пищевые сети в эстуарии реки Нева Балтийского моря. Результаты анализа стабильных изотопов углерода и азота показали, что автохтонные органические источники от водорослей *Cladophora* могут вносить до 89% в пищевую сеть, поддерживая продукцию зообентоса. Исследование также оценило потенциальное воздействие инвазивных ракообразных на местные сообщества беспозвоночных через хищничество.

Ключевые слова: прибрежные сообщества, кладофора, инвазивные ракообразные, трофические связи, уровень хищничества, изотопный анализ, Северо-Запад России

Высокие объемы поступающих питательных веществ (азота и фосфора) способствуют эвтрофированию прибрежной зоны эстуария реки Невы (Балтийское море), что выражается в цветении цианобактерий и макроводорослей (включая рода *Cladophora*) и дезоксигенации придонных биотопов во время разложения масс этих продуцентов. Гипоксия приводит к дестабилизации структуры сообществ донных животных, к снижению численности и обилия многих видов. Сообщества в этих стрессовых местообитаниях состоят в основном из эврибионтных таксонов (хирономид, кольчатых червей и инвазивных амфипод и моллюсков), которые устойчивы к временным неблагоприятным условиям и способны быстро воспроизводить свою биомассу при улучшении.

Инвазивные высшие ракообразные (Amphipoda, Isopoda, Mysida, Decapoda), представляющие различные функциональные группы, стали многочисленными таксонами в этой части эстуария (Berezina et al., 2011). Они составляют 3 % от общего видового богатства, 50 % от общего ксеноразнообразия, при этом могут составлять до 80 % от общей биомассы зообентоса в эстуарии. Виды понто-азово-каспийской фауны являются самыми разнообразными и многочисленными среди ракообразных. Их таксономическое и экологическое доминирование можно объяснить комбинацией факторов, включая некоторое сходство между Балтикой и предковыми водоемами, а также постоянную прямую связь с нативными регионами. В конечном счете, высокая уязвимость Балтийского моря к вторжению новых видов может быть следствием низкого природного биоразнообразия и влияния ряда средовых факторов, приводящих к слабой связанности и низкой конкуренции внутри местных сообществ.

Всего восемь видов амфипод из понто-каспийского комплекса вторглись на северо-запад и юго-запад Балтийского моря России: *Chaetogammarus ischnus* (Stebbing 1899), *Chaetogammarus warpachowskyi* (Sars 1894), *Chelicorophium curvispinum* (Sars 1895), *Obesogammarus crassus* (Sars 1894), *Pontogammarus robustoides* (Sars 1894), *Dikerogammarus haemobaphes* (Eichwald 1841). Кроме того, в этом регионе активно расселяются несколько видов амфипод байкальского происхождения: *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing 1899), *Micruropus possolskii* Sowinsky 1915 и *M. wohlii* (Dybowsky 1874) и один вид с североатлантического побережья Северной Америки *Gammarus tigrinus* Sexton 1939 (Березина, 2024).

Из декапод в Финском заливе был зарегистрирован в 1933 г. китайский мохнаторукий краб *Eriocheir sinensis* (Milne-Edwards, 1853), который происходит из западной части Тихого океана. Он распространился в северо-западный регион с

балластными водами судов. С 1980-х гг. этот краб зарегистрирован в Вислинском заливе (Калининградской области). В восточной части Финского залива, около Санкт-Петербурга, *E. sinensis* был впервые обнаружен в 1982 г. После 2000 г. его присутствие многократно подтверждалось в эстуарии р. Невы (участок Зеленогорск-Ушково), в городском порту и разных точках реки Нева (Berezina et al., 2011).

Креветка *Palaemon elegans* Rathke, 1837 широко распространена в европейских прибрежных водах от Черного моря, Средиземного моря, Северного моря до западных атлантических берегов Норвегии. В 1950-х гг. она была случайно завезена в Аральское и Каспийское моря, а в 2003 г. была обнаружена в Финском заливе. В настоящее время *P. elegans* встречается в Лужской губе и Выборгском заливе (Berezina et al., 2011).

Целью работы было изучение структуры донных сообществ беспозвоночных и роли ракообразных-вселенцев в прибрежных пищевых цепях в условиях эвтрофикации (цветения макроводорослей и гипоксии) в эстуарии реки Невы (в период 2019-2021 гг.).

В состав зообентосного сообщества входят оппортунистические таксоны (как правило, *r*-стратегии), то есть это виды с коротким жизненным циклом, быстрым размножением и широким спектром питания, на многих участках эстуария высок вклад в биомассу моллюсков и ракообразных (амфипод). Беспозвоночные, относящиеся к консументам первого порядка, были представлены в основном ракообразными (амфиподы *G. tigrinus*, *G. zaddachi*, *G. fasciatus*, *P. robustoides* и изоподы *Asellus aquaticus*), брюхоногими моллюсками (в основном *Theodoxus fluviatilis*, *Bythinia tentaculata*, *Radix balthica*) и различными видами водных насекомых (Chironomidae, Trichoptera и Ephemeroptera). Была выявлена значимая положительная корреляция между биомассами макрзообентоса и кладофоры, а также соленостью воды и отрицательная – с органическим углеродом в донных осадках.

Среди потребителей преобладают виды нескольких групп питания: измельчители (личинки насекомых), травоядные-скребатели (брюхоногие моллюски) и собиратели-собиратели (ракообразные). Некоторые виды гаммаридовых амфипод (*Gammarus* spp., *P. robustoides*) относятся к потребителям со смешанной пищевой стратегией (всеядные), и они потенциально способны потреблять нитчатые макроводоросли и растительный материал (действуя как травоядные), мелкий детрит (действуя как детритофаги) и беспозвоночных (действуя как хищники).

Для прибрежной пищевой сети применялось моделирование смешивания (Berezina et al., 2022), что показало тесные трофические связи между макроводорослями и представителями Ephemeroptera и Gastropoda. Моллюски могли получать не менее 46 % энергии из органического вещества, поставляемого кладофорой, и 26 % — рдестами (*Potamogeton*). Потенциально высокий вклад кладофоры в качестве источника пищи был показан для личинок поденок (до 89 %) и амфипод (46 %). Рдест был важным источником в рационе амфипод (до 96 %). Макроводоросль *Ulva* и детрит, происходящий из всех макроводорослей, вносили до 18 % в рацион амфипод и незначительный вклад (< 5 %) в рацион брюхоногих и личинок поденок. Некоторое снижение содержания азота в дрейфующих матах кладофоры (первая стадия разложения) свидетельствует, что этот источник пищи более ценен для первичных потребителей, чем живые водоросли. Соотношение углерода к азоту было выше в разлагающихся водорослях, вероятно, из-за их эпифитной и бактериальной колонизации.

Было оценено потенциальное влияние на различные пищевые цепи видов-вселенцев (*G. fasciatus*, *G. tigrinus*, *P. robustoides*), которые способны хищничать. Крупные особи этих видов способны охотиться на других беспозвоночных (хируномид, изопод, олигохет). Индекс хищничества (ИХ) представляет собой отношение скорости потребления животной пищи ( $C_i$ ) целой популяцией амфипод к суммарной продукции ( $P_j$ ) их жертв за определенный период. Хищническое воздействие амфипод на сообщество оценивалось как высокое ( $ИХ > 1$ ), среднее ( $0,5 < ИХ < 1$ ) и низкое ( $0 < ИХ <$

0,5). Спектры питания и доля различных пищевых объектов в рационе амфипод в зависимости от длины их тела были проанализированы микроскопически, а скорости потребления вселенцами измерены экспериментально. Олигохеты, изоподы, молодь амфипод (1,5-6 мм) и личинки хирономид, поденок, ручейников и других насекомых выявлены как потенциальная добыча этих амфипод. Скорость продукции этих таксонов определяли по скорости их соматического роста или удельной скорости продукции ( $ps$ ) и биомассе ( $P_j = ps \times V_j$ ).

Доля животной пищи в рационе группы амфипод  $i$ -го размера ( $K_i$ , %) была рассчитана с использованием степенных функций:

$K_i = 0,01 \times L^{3,22}$  для *Pontogammarus robustoides*,

$K_i = 0,9 \times L^{1,50}$  для *Gmelinoides fasciatus* и видов рода *Gammarus*.

Скорость потребления ( $C_i$ , %) амфипод была рассчитана как:

$C_i = 2,72 \times W^{-0,79}$ ;  $W = 0,027 \times L^{2,75}$  для *P. robustoides*,

$C_i = 1,265 \times W^{-0,75}$ ,  $W = 0,026 \times L^{2,85}$  для *G. fasciatus*,

где  $L$  — длина тела (мм), а  $W$  — сырая масса особей  $i$ -го размера.

Скорость потребления хищничающей части популяции амфипод рассчитывали с учетом ее биомассы:  $C = \sum K_i \times C_i \times V_i$ , где  $V_i$  — биомасса всех групп  $i$ -го размера в местообитаниях.

Индекс ИХ варьировался между датами отбора проб, достигая максимума в начале лета и осенью и значительно снижаясь в середине лета. В пресноводной Невской губе, где эти амфиподы достигали высокой плотности, их хищническое воздействие было самым высоким (до 2 в случае *P. robustoides* и до 1 – в случае *G. fasciatus* и *G. tigrinus*). В открытой части эстуария этот индекс снижался, показывая слабое воздействие амфипод на местные сообщества мелких беспозвоночных. Пресс хищничества *P. robustoides* был наиболее сильным в июне и низким ( $< 1$ ) в августе, когда в популяции преобладала молодь. Осенью индекс опять возрастал (1,2-1,9), свидетельствуя о увеличении хищного влияния на сообщество беспозвоночных. Оценка этого индекса в разные годы показала, что влияние инвазионных амфипод на макрофауну литоральной зоны усиливалось в 2005-2006 гг. (то есть вскоре после вселения), а затем снижалось, показав в целом слабый уровень хищничества в последние годы (2021-2023 гг.).

Таким образом, трофическая структура прибрежных сообществ эстуария р. Невы пространственно различна и определяется не только обилием того или иного вида и особенностями его питания, но и иерархической сложностью сообщества, доступностью пищевых ресурсов и степенью нарушенности биотопа под влиянием эвтрофикации и других неблагоприятных факторов.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по госзаданию №122031100274-7.

#### Список литературы

1. Березина Н.А. Анализ фауны амфипод континентальных водоемов северо-запада европейской части России // Зоологический журнал. 2023. Т. 102, No 10. С. 1104–1117. <https://doi.org/10.31857/S0044513423090039>.
2. Berezina N.A., Petryashev V.V., Razinkovas A., Lesutiene J. Alien malacostraca in the eastern Baltic Sea: pathways and consequences / Galil B.S., Clark P. F., Carlton J.T. (eds) // Wrong Place – Alien Marine Crustaceans: Distribution, Biology and Impacts Invading Nature – Springer Series in Invasion Ecology. 2011. Vol. 6, Part 3. P. 301-322.
3. Berezina N.A., Tiunov A.V., Petukhov V.A., Gubelit Y.I. Benthic invertebrates abundance and trophic links in the coastal zone during *Cladophora* blooms // Diversity. 2022. Vol. 14. 1053. <https://doi.org/10.3390/d14121053>.

## **ВЛИЯНИЕ МИНИМАЛЬНОГО УРОВНЯ ЭПК И ДГК В КОМБИКОРМАХ НА РОСТОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ (*ONCORHYNCHUS MYKISS*)**

С.В. Биндюков, Ю.А. Баскакова, В.В. Гершунская

ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва, [bindyukov@vniro.ru](mailto:bindyukov@vniro.ru)

*Аннотация: в работе приведены краткие результаты исследований по полной замене рыбьего жира растительными маслами в высокоэнергетических комбикормах для радужной форели, выращиваемой в системе УЗВ. Показано, что содержание всего 1 % полиненасыщенных жирных кислот ЭПК и ДГК при высоком уровне АЛК не оказывает негативного влияния на рыбоводно-биологические и морфофизиологические показатели форели, а также её жирнокислотный состав.*

**Ключевые слова:** радужная форель, питание рыб, комбикорм, замена рыбьего жира, омега-3, ЭПК, ДГК, ростовые показатели

За последние несколько десятилетий индустрия товарного рыбоводства значительно выросла и стала одним из наиболее важных секторов производства продуктов питания. В настоящее время аквакультура обеспечивает более половины потребляемой во всем мире рыбной продукции и превышает вылов дикой рыбы (FAO, 2023). Такое быстрое развитие привело к увеличению количества исследований в области кормления и метаболизма рыб, которые в основном сосредоточены на повышении продуктивности при одновременном сокращении использования морских ингредиентов в рыбных кормах. Ученые достигли значительных успехов в понимании эффективности частичной замены рыбьего жира на различные масла растительного происхождения в комбикормах для лососевых видов рыб (Гладышев, 2021; Биндюков и др., 2022; Остроумова и др., 2024). Как результат, некоторые производители снизили количество рыбьего жира в рецептах с 24 до 5-10 % (Torstensen et al., 2005; Aas et al., 2019) и при этом декларируют сохранение качества лосося и форели, выращенных с использованием подобных кормов.

Альтернативные источники липидов лишены важных для физиологии рыб полиненасыщенных жирных кислот: эйкозапентаеновой (ЭПК) и докозагексаеновой (ДГК) (Sprague et al., 2016; Гладышев и др., 2019; Dernekbaşı et al., 2021). Однако возникающий дефицит теоретически можно компенсировать за счет определенных компонентов, так как у лососевых видов рыб наблюдается высокий уровень экспрессии генов, отвечающих за превращение альфа-линоленовой (АЛК) и линоленовой (ЛК) кислот в длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты путем чередующейся последовательности десатурации и элонгации в ходе цикла Шпрехера.

В связи с этим целью исследований была оценка возможности выращивания товарной радужной форели на комбикормах с полной заменой рыбьего жира на растительные масла с высоким уровнем АЛК и ЛК.

В качестве объекта исследования использовали радужную форель (*Oncorhynchus mykiss*) породы стальноголовый лосось. Форель выращивали в течение 150 суток в системе УЗВ цеха инкубации и выращивания рыбы Филиала по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ») в четырех прямоугольных бассейнах объемом 1,3 м<sup>3</sup>, по 160 экземпляров в каждом. Температура воды в течение эксперимента варьировала от 15,8 до 16,7 °С. Гидрохимические параметры среды такие как pH, содержание нитритов, кислорода, измеряли и фиксировали 2 раза в сутки, они соответствовали норме (Рекомендации по выращиванию..., 2016) на протяжении всего периода выращивания.

Моделирование рецептов комбикормов происходило на основе современных представлений о потребностях рыб, с учетом специфики метаболизма радужной форели и данных по питательной ценности всех компонентов. Разработано четыре рецепта комбикормов, один контрольный, где в качестве липидной составляющей выступал только рыбий жир, и три экспериментальных, где рыбий жир был полностью заменен рапсовым и льняным маслом в определенных количествах (табл. 1). За счет такого подбора масел в рецептах варьировали соотношением ЛК и АЛК от 1/1 до 1/3, а расчетная сумма ЭПК и ДГК составляла около 1 % от суммы жирных кислот или 0,3 г/100 г корма.

Согласно результатам анализа питательной ценности полученных комбикормов (табл. 1) содержание белка и жира составило около 45-46 и 20,5-21,7% соответственно. По результатам исследований жирнокислотного состава содержание ЭПК и ДГК во всех кормах для опытных групп составило от 1,18 до 1,46 % от суммы всех жирных кислот корма. Этот минимальный уровень обеспечен присутствием этих кислот в рыбной муке, которую полностью исключать из рецепта нецелесообразно.

Таблица 1. Рецепты, питательная ценность и содержание некоторых жирных кислот в комбикормах для радужной форели

Показатели		КРФР 1/1	КРФР 1/2	КРФР 1/3	КРФР РЖ (контроль)
Основной компонентный состав комбикормов		Мука рыбная, пшеница, белки растительного происхождения, белки животного происхождения, монокальцийфосфат, премикс, масложировая смесь			
Содержание, %	Льняное масло	4,5	11,8	17,4	0
	Рапсовое масло	16,3	9,0	3,4	0
	Рыбий жир	0	0	0	20,8
Содержание, %					
Сырой протеин		45,20±0,64	44,90±0,12	46,32±0,49	45,57±0,25
Сырой жир		21,39±0,32	21,69±0,18	20,48±0,98	21,65±0,11
Сырая зола		5,90±0,07	6,35±0,03	6,35±0,15	6,47±0,36
ЛК от суммы жирных кислот		18,8	17,1	15,7	4,9
АЛК от суммы жирных кислот		21,4	35,0	41,4	3,7
ЭПК от суммы жирных кислот		0,41	0,51	0,55	9,3
ДГК от суммы жирных кислот		0,77	0,74	0,91	15,2
ЭПК+ДГК		1,18	1,25	1,46	24,5

Результаты рыбоводно-биологических испытаний на радужной форели продукционных комбикормов с полной заменой рыбьего жира на масла растительного происхождения представлены в табл. 2.

Таблица 2. Рыбоводно-биологические показатели радужной форели при выращивании на комбикормах с заменой рыбьего жира растительными маслами

Шифр корма	Средняя начальная масса, г	Средняя конечная масса, г	Абсолютный прирост, г	Относительный прирост, %	Выживаемость, %	Затраты корма
КРФР 1/1	90,8±2,4	599,0±7,9	508,2	560	96,9	1,1
КРФР 1/2	94,5±2,2	542,8±16,2	448,3	475	98,7	1,2
КРФР 1/3	93,6±3,6	554,7±8,32	461,1	493	97,5	1,1
КРФР РЖ	92,4±2,5	596,1±10,1	513,7	504	95,6	1,1

Средняя конечная масса в экспериментальных группах радужной форели составила 542-599 г, что сопоставимо с контрольной группой. В процессе статистической обработки данных массы 50 рыб из каждой группы, полученных в

результате контрольного облова в конце эксперимента, были выявлены достоверные различия между группами КРФР 1/1 и КРФР 1/3, КРФР 1/3 и КРФР РЖ ( $p < 0,05$ ) (рис.).

Выживаемость в процессе эксперимента составила от 95,6 до 98,7 % и была выше в экспериментальных группах. Кормовые затраты были сопоставимы и варьировали от 1,1 в экспериментальных и контрольной группе до 1,2 в группе КРФР 1/2.

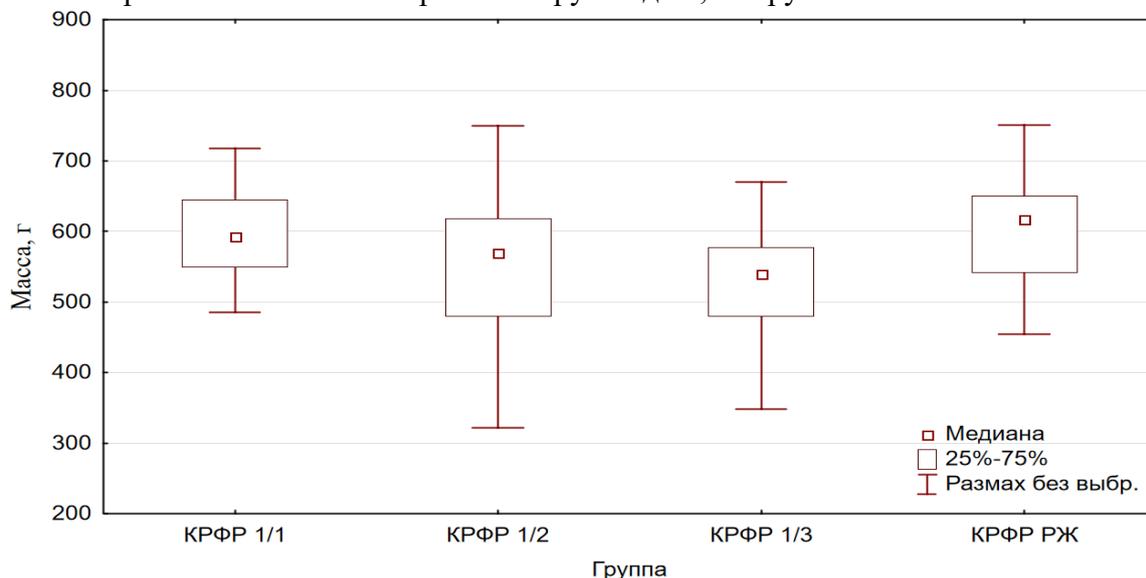


Рисунок. Диаграмма распределения конечной массы радужной форели

В работе оценивали некоторые морфометрические показатели рыбы, такие как коэффициент упитанности по Фультону, а также индекс печени, индекс селезенки, индекс сердца. Результаты измерений приведены в табл. 3.

По результатам исследований морфофизиологических показателей не было обнаружено значительных различий между экспериментальными и контрольными группами рыб. Коэффициенты упитанности молоди форели оставались стабильными и характерными для данной возрастной группы, что указывает на то, что они не зависели от типа корма.

Таблица 3. Морфофизиологические индексы радужной форели при выращивании на комбикормах с заменой рыбьего жира растительными маслами

Шифр комбикормов	Коэффициент упитанности	Индекс печени, %	Индекс, селезенки, %	Индекс сердца, %
КРФР 1/1	1,58±0,46	1,40±0,26	0,10±0,03	0,15±0,06
КРФР 1/2	1,77±0,52	1,34±0,32	0,09±0,01	0,16±0,03
КРФР 1/3	1,60±0,38	1,28±0,18	0,10±0,03	0,18±0,03
КРФР РЖ	1,59±0,60	1,25±0,22	0,12±0,05	0,15±0,03

Завершающим этапом исследований была оценка жирнокислотного состава мышечной ткани радужной форели. Результаты показали, что замена рыбьего жира на растительные масла значительно повлияла на содержание и соотношение жирных кислот в мышечной ткани форели. Если у рыб, получавших корм КРФР 1/1 преобладали мононенасыщенные жирные кислоты, то в группе КРФР 1/2 соотношение моно-и полиненасыщенных жирных кислот было примерно одинаковым, а форель, выращенная с использованием корма КРФР 1/3, отличалась повышенным уровнем ПНЖК. Содержание АЛК в рыбе варьировало от 12 до 21% от суммы жирных кислот, что было в 2 раза меньше чем в корме. При содержании ЭПК в кормах от 0,4 до 0,55 % (табл. 4), количество этой жирной кислоты в мышечной ткани форели составило от 0,6 до 0,9 %.

Сумма ЭПК и ДГК в экспериментальных группах была значительно ниже, чем в контрольной. Наибольшее количество ЭПК и ДГК было в группе КРФР 1/3 – 5,5 % от суммы жирных кислот, в то время как в контрольной группе КРФР РЖ этот показатель составил 19,7 %.

Таблица 4. Состав жирных кислот мышечной ткани форели в начале и конце эксперимента, % от суммы жирных кислот

Жирная кислота	В начале кормления	КРФР 1/1	КРФР 1/2	КРФР 1/3	КРФР РЖ
С 14:0 Миристиновая	3,7	1,1	1,2	1,6	7,8
С 16:0 Пальмитиновая	17,3	12,6	12,7	14,2	19,8
С 16:1 Пальмитолеиновая	5,6	2,3	2,4	2,2	5,4
С 18:0 Стеариновая	3,5	3,6	4,0	4,8	3,5
С 18:1 Олеиновая	32,5	44,3	35,9	31,0	19,2
С 18:2 Линолевая	11,8	15,8	14,5	14,0	7,7
С 18:3 Альфа-линоленовая	3,2	12,1	18,8	21,3	2,9
С 20:1 Гондоиновая	4,1	2,1	2,2	2,2	8,6
С 20:4 Арахидоновая	0,3	0,3	1,1	1,4	0,4
С 22:1 Эруковая	0,6	0,2	0,3	0,2	0,7
С 20:5 Эйкозапентаеновая	3,2	0,6	0,7	0,9	4,7
С 22:6 Докозагексаеновая	9,1	3,1	4,0	4,5	15,1
НЖК	26,1	18,0	18,7	21,3	32,1
МНЖК	45,4	49,1	41,2	36,1	36,6
ПНЖК	28,3	33,1	39,7	42,7	30,8
омега-3	15,8	16,4	22,6	26,3	22,7
омега-6	12,4	16,7	16,1	15,8	8,0
ЭПК+ДГК	12,3	3,8	4,7	5,5	19,7

Таким образом, исследование показало, что радужную форель можно эффективно выращивать на кормах с низким содержанием длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот (ЭПК и ДГК), заменив их на линолевую и альфа-линоленовую кислоты полученную из растительных льняного и рапсового масла. Повышенное содержание льняного масла в корме КРФР 1/3, привело к высокому содержанию АЛК, которая в определенных условиях может участвовать процессе синтеза жирных кислот с длинной цепью и делает рыбу выращенной на этом корме более богатой омега-3 кислотами, чем рыба выращенная на контрольном корме КРФР РЖ.

#### Список литературы

1. Биндюков С.В., Бурлаченко И.В., Баскакова Ю.А. и др. Опыт замены рыбьего жира растительными маслами в комбикормах для радужной форели // Труды ВНИРО. 2022. Т. 187. С. 138-148.
2. Гладышев М. И. Наземные источники полиненасыщенных жирных кислот для аквакультуры // Вопросы ихтиологии. 2021. Т. 61, №. 4. С. 471-485.
3. Гладышев М.И., Глущенко Л.А., Махутова О.Н. и др. Сравнительный анализ содержания омега-3 полиненасыщенных жирных кислот в пище и мышечной ткани рыб из аквакультуры и природных местообитаний // Сибирский экологический журнал. 2018. Т. 25, № 3. С. 325-339.
4. Остроумова И.Н., Лютиков А.А., Костюничев В.В. и др. Влияние заменителей рыбьего жира в кормах сиговых рыб (*Coregonidae*) на рост, физиологические показатели и жирнокислотный состав липидов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2024. № 1. С. 95-105.
5. Барулин Н.В. и др. Рекомендации по выращиванию рыбопосадочного материала радужной форели в рыбоводных промышленных комплексах (с временными нормативами). Горки: БГСХА, 2016. 180 с.
6. Aas T.S., Ytrestøyl T., Åsgård T. Utilization of feed resources in the production of Atlantic salmon (*Salmo*

*salar*) in Norway: an update for 2016 // Aquac Rep. 2019. Vol. 15, 100216.

7. Dernekbaşı S. & Parlak A., Ayşe & Karayücel, İsmihan. Effects of total replacement of dietary fish oil by vegetable oils on growth performance, nutritional quality and fatty acid profiles of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) at optimum and high temperature conditions // Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2021. Vol. 38. P. 237-246. 10.12714/egejfas.38.2.14.

8. FAO (2023) The State of World Fisheries and Aquaculture 2023. Rome: FAO.

9. Sprague M., Dick J.R., Tocher D.R. Impact of sustainable feeds on n-3 long-chain fatty acid levels in farmed Atlantic salmon, 2006-2015 // Sci Rep. 2016. Vol. 6. P. 1-9.

10. Torstensen B.E., Bell J.G., Rosenund G. Tailoring of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) flesh lipid composition and sensory quality by replacing fish oil with a vegetable oil blend // J. Agric Food Chem. 2005. Vol. 53. P. 10166-10178.

**ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА В РАМКАХ  
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЗА ВЛИЯНИЕМ  
ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ  
БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ПРЕСНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ**

А.Н. Богачев, Е.Э. Сони́на, Е.А. Зотова, С.Н. Макаров, А.С. Пудовкина, Л.В. Гузеева,  
Е.А. Джаяни, Е.И. Филинова, М.П. Гашников

*Саратовский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («СаратовНИРО»),  
г. Саратов, [soninaee@saratov.vniro.ru](mailto:soninaee@saratov.vniro.ru)*

*Аннотация: на основании проведенных натурных наблюдений в рамках осуществления производственного экологического контроля за влиянием хозяйственной деятельности на состояние водных биоресурсов и среды их обитания даны предложения к разработке нормативного документа, определяющего состав, сроки проведения исследований на пресных водных объектах.*

Ключевые слова: мониторинг, производственный экологический контроль, водные биологические ресурсы

Хозяйственная деятельность человека оказывает разнообразное негативное воздействие на компоненты окружающей среды, поэтому действующим природоохранным законодательством предусматривается осуществление производственно-экологического контроля (ПЭК) за обеспечением выполнения мероприятий по охране, рациональному использованию, восстановлению нарушенных компонентов окружающей среды при осуществлении хозяйственной или иной деятельности (ГОСТ Р 56062-2014; ГОСТ Р 56061-2014; ГОСТ Р 56059-2014; Приказ Миинтерства..., 2022; Федеральный закон..., 2024).

Производственно-экологический контроль за влиянием хозяйственной деятельности на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания является одной из мер по сохранению водных биоресурсов (Постановление..., 2013). Однако, в связи с отсутствием нормативных документов, определяющих состав, объем, сроки проведения, порядок оформления отчетности и предоставления результатов, ряд хозяйствующих субъектов в проектных материалах не включают наблюдения за водными биоресурсами в программу ПЭК, а реализация данной меры вызывает у них ряд вопросов: обязательно ли проведение натурных наблюдений с отбором проб или достаточно присутствия соответствующего специалиста на участке работ в период их проведения; обязательно ли производить лов рыбы, или достаточно только наблюдений за кормовой базой; необходимо ли проводить наблюдения до начала осуществления проекта и после окончания работ или достаточно контролировать только состояние биоресурсов в периоды работ на водном объекте и иное

Саратовским филиалом ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («СаратовНИРО») в течение последних лет был выполнен ряд работ по проведению натурных наблюдений за ихтиофауной и кормовыми организмами в рамках ПЭК за влиянием хозяйственной и иной деятельности на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания на различных водных объектах на территории Пензенской, Самарской, Саратовской и Волгоградской областей (Волгоградское водохранилище). Как правило, данные работы были необходимы для контроля за влиянием деятельности по разведке месторождений, транспортировке или обеспечению процессов переработки углеводородов на водные биоресурсы и среду их обитания.

Исходя из опыта проведённых работ, можно утверждать, что наиболее важным этапом является составление программы исследований. В нормативных актах не закреплено, кто разрабатывает программу исследований: её разработчиком может выступить не только специалист, изучающий водные биоресурсы, но и эколог предприятия, сторонний разработчик оценки воздействия на водные биоресурсы и среду их обитания и т.д. Поэтому в составе программы могут быть предложены к определению и контролю показатели, не относящиеся к планируемой деятельности или даже к водным биоресурсам: например, для работ связанных с разработкой русловых траншей, предлагается контролировать санитарные показатели (количество патогенных бактерий) или показатели, характерные для питьевой, а не природной воды (определение привкусов), или наоборот, программа может содержать требования обязательных наблюдений за редко изучаемыми группами гидробионтов (состояние фитобентоса в пресных водоёмах), исследования питания рыб, требующие значительных временных затрат и работы узких профильных специалистов-ихтиологов.

Так, например, по программе, составленной и утверждённой заказчиком, специалистами «СаратовНИРО» были осуществлены наблюдения в рамках ПЭК на 10 водных объектах в Пензенской области. Исследования компонентов кормовой базы рыб и ихтиофауны проводились в июне, октябре и мае (следующего года) всего в одной точке на каждом водном объекте. В результате были получены разрозненные сведения о состоянии планктона, бентоса и рыбного населения водных объектов, характеризующие состояние сообществ на момент отбора проб и не позволяющие выделить или оценить влияние хозяйственной деятельности на водные биоресурсы, отследить её влияние на важные этапы развития биоресурсов.

По программе, разработанной специалистами «СаратовНИРО», были проведены исследования на Саратовском водохранилище в Самарской области. Негативное воздействие на водные биоресурсы и среду их обитания выражалось в заборе воды стационарным водозабором и сбросе очищенных сточных вод. Исследования включали определение параметров окружающей среды, влияющих на развитие биоресурсов: температуры воды, глубины водного объекта, прозрачности воды, скорости течения, типов и характера грунтов, содержания кислорода, контролировался ряд гидрохимических показателей: минерализация, жёсткость, содержание органического вещества, железа, биогенов и т.д. Пробы отбирались в разных горизонтах, с учётом придонного расположения источников негативного воздействия. Грамотное планирование и проведение необходимого объёма исследований, позволили охарактеризовать влияние хозяйственной деятельности на важные этапы развития водных биоресурсов в течение биологической весны, лета и осени.

Вторым важным моментом для планирования работ в рамках ПЭК считаем определение сроков и периодов проведения наблюдений. Контроль, как правило, предлагается осуществлять в периоды «до начала работ», «в момент проведения работ» и «после окончания работ». Для значительной части контролируемых параметров окружающей среды (гидрохимические показатели качества водной среды, состав атмосферного воздуха и т.д.) разработаны и утверждены нормативы или контрольные показатели, абсолютная величина которых закреплена в соответствующих документах. Способ определения или величина этих параметров не зависят от времени года, температуры воды, они не имеют сезонных особенностей, поэтому их контроль логично проводить именно в вышеуказанные периоды. Водные биологические ресурсы, сообщества живых организмов толщи воды или донной поверхности в пресных водных объектах отличаются изменчивостью, качественный и количественный уровень их развития тесно связан с климатическими характеристиками, особенностями грунтов, температурой воды, скоростью течения и пр. Другими словами, кроме антропогенного воздействия, значительное количество внешних факторов естественного происхождения

вливают на водные биоресурсы, что не позволяет нормировать уровень их развития или разработать какие-либо оценочные критерии. Поэтому для определения наличия или отсутствия влияния осуществляемой хозяйственной деятельности на состояние водных биологических ресурсов считаем, что целесообразнее периоды исследования привязывать к определенным сезонам развития (для компонентов кормовой базы рыб – вегетационный сезон, биологические весна, лето, осень) или этапам жизненного цикла (для рыбного населения - зимовка, нерест, нагул, миграция и т.д.), естественно, с учетом периодов «начала» или «окончания» хозяйственной деятельности.

В рамках ПЭК планируются наблюдения за сроками и качеством восстановления нарушаемых хозяйственной деятельностью компонентов среды обитания водных биоресурсов (биотопы обитания зообентоса, поверхность водосбора, состояние нерестовых субстратов рыб-фитофилов и т.д.), особенно, если это восстановление не происходит сразу после окончания негативного воздействия или в течение одного (текущего) сезона. В расчетной методике (Методика определения..., 2021) определены периоды восстановления ряда нарушаемых компонентов, они могут составлять от 1 года до 30 лет. Логично, что и наблюдения планируется проводить спустя указанные сроки после окончания работ. На практике реализация мониторинговых работ в рамках ПЭК спустя значительный промежуток времени после окончания работ практически невозможна: финансирование проекта заканчивается с его реализацией.

Серьезным вопросом представляется дальнейшее применение и использование полученных в рамках ПЭК результатов мониторинговых исследований влияния хозяйственной деятельности на состояние водных биоресурсов. В случае, если контролируемая деятельность осуществляется ежегодно (стационарные заборы воды, сброс сточных вод, ежегодные разработки участков русловых месторождений нерудных строительных материалов и т.д.), результаты исследований можно применять в расчетах ущербов водным биоресурсам от планируемой продолжаемой деятельности, для корректировки технологии и сроков производства работ в целях уменьшения негативного воздействия. Но при реализации разовых проектов, результаты исследований состояния водных биоресурсов не предусматривается использовать ни для корректировки рассчитанного планируемого ущерба или компенсационных мероприятий, ни для изменения проектных решений, что вызывает дополнительное сопротивление соблюдения данной меры хозяйствующими субъектами.

Таким образом, с одной стороны, для получения достоверных и статистически обрабатываемых результатов исследований на предмет наличия или отсутствия влияния хозяйственной деятельности на состояние водных биоресурсов требуется значительное количество отбираемых проб, проведение исследований в различные сезоны в период вегетации или этапы жизненного цикла водных биоресурсов, контроль за состоянием среды обитания и восстановлением сообществ спустя значительное время после окончания реализации проекта, что удорожает работы по проведению мониторинговых наблюдений за водными биоресурсами в рамках ПЭК, с другой стороны, полученные в результате таких исследований данные не влияют ни на качество проводимых хозяйственных работ, ни на величину компенсации. Поэтому реализация данной меры по сохранению водных биоресурсов должна осуществляться дифференцированно, в зависимости от продолжительности осуществления хозяйственной деятельности и величины ожидаемого ущерба. В связи с этим, в нормативных документах необходимо определить факторы негативного воздействия или величину ущерба, которые требуют обязательного проведения масштабных натуральных мониторинговых наблюдений, а для значительного количества проектов, не затрагивающих акватории водных объектов, нерестилища рыб, рекомендовать проведение ПЭК в виде контроля соблюдения проектных решений. Подобный подход будет понятен и хозяйствующим субъектам, и

будет направлен на изменение технологий производства работ в целях уменьшения планируемого ущерба водным биоресурсам.

#### **Список литературы**

1. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «Об охране окружающей среды» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024)
2. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 18 февраля 2022 г. № 109 «Об утверждении требований к содержанию программы производственного экологического контроля, порядка и сроков представления отчета об организации и о результатах осуществления производственного экологического контроля» (с изменениями и дополнениями)
3. ГОСТ Р 56062-2014. Производственный экологический контроль. Общие положения.
4. ГОСТ Р 56061-2014. Производственный экологический контроль. Требования к программе производственного экологического контроля
5. ГОСТ Р 56059-2014. Производственный экологический мониторинг. Общие положения.
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 29 апреля 2013 г. № 380 «Об утверждении Положения о мерах по сохранению водных биологических ресурсов и среды их обитания».
7. Методика определения последствий негативного воздействия при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, внедрении новых технологических процессов и осуществлении иной деятельности на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания и разработки мероприятий по устранению последствий негативного воздействия на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания, направленных на восстановление их нарушенного состояния (приказ Федерального агентства по рыболовству от 06.05.2020 № 238; зарегистрировано в Минюсте России 05.03.2021, регистрационный № 62667).

## КОРЮШКА ФИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Д.В. Богданов, А.Г. Леонов

Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), г. Санкт-Петербург, [fishbiolab@niorh.vniro.ru](mailto:fishbiolab@niorh.vniro.ru)

Аннотация: как в Финском заливе, так и в Ладожском озере корюшка является самой массовой рыбой и соответственно основным объектом промысла. В Финском заливе корюшка составляет 35% годового улова, в Ладожском озере - почти 40%. Основные орудия лова в обоих водоемах - мережи. В промысловых уловах преобладают двух-четырёхгодовики. Средняя масса финской корюшки почти в два раза больше, чем ладожской. Запасы корюшки в обоих водоемах в последние годы находятся на уровне, близком к оптимальному.

Ключевые слова: корюшка, Финский залив, Ладожское озеро, уловы, мережи, промысловый запас

Основным промысловым видом Ленинградской области является корюшка. Ближайшими к г. Санкт-Петербургу местами обитания корюшки являются Финский залив Балтийского моря и Ладожское озеро. Населяющая эти водоёмы корюшка хоть и относится к одному виду *Osmerus eperlanus* (Linnaeus, 1758), но имеет ряд биологических особенностей. Так корюшка Финского залива живёт в солёной морской воде и лишь весной для размножения заходит в Невскую губу и низовья некоторых рек (Смирнов, 1977). Ладожская корюшка постоянно обитает в пресной воде, нагуливаясь в открытых участках озера, а в нерестовый период концентрируется в приустьевых районах и губах (губы Волховская, Свирская), заходя на нерест в основные притоки (Волхов, Сясь, Свирь, Бурная) (Архипцева, 1975; Леонов и др., 2013).

Как в Финском заливе на прибрежном промысле, так и в Ладожском озере корюшка является самой массовой рыбой. Её роль, как основного объекта промысла на протяжении десятков лет, подтверждена промысловой статистикой. В среднем в новом тысячелетии корюшка даёт 35 % всего годового улова рыбы на прибрежном промысле в Финском заливе (без учёта салаки) и почти 40 % на Ладожском озере (рис. 1) (Леонов, Тесля, 2009).

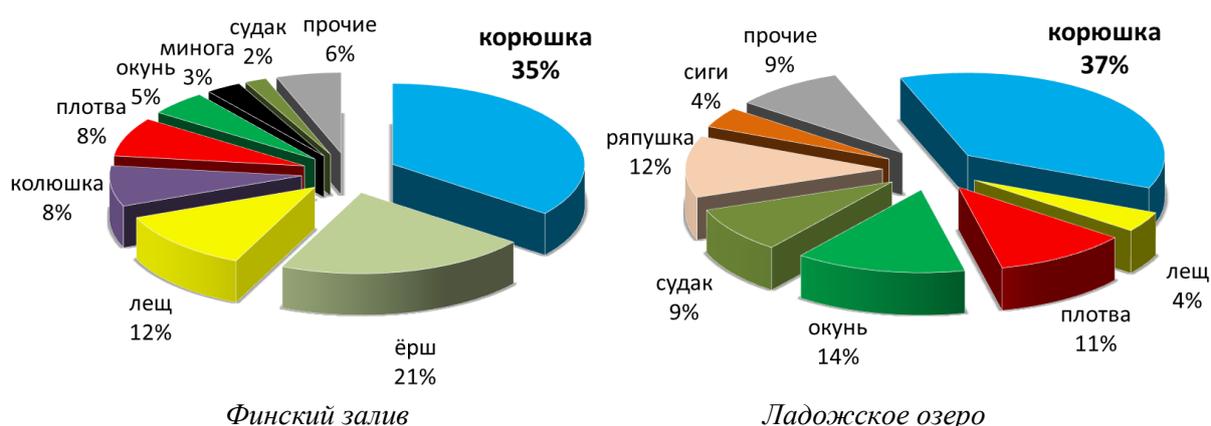


Рисунок 1. Удельный вес основных промысловых видов рыб в уловах на Финском заливе и Ладожском озере (средние данные за 2000-2023 гг.)

Успешность ежегодного промысла корюшки зависит как от численности её нерестового стада, так и от погодных условий во время путины, а также от промысловой базы – количества и вида орудий лова, применяемых рыбаками.

На Финском заливе в первом десятилетии XXI в. наблюдалось существенное падение уловов, когда с 2003 по 2010 гг. средний ежегодный промысловый вылов составлял всего 140 т (рис. 2). В последующие годы наметилась тенденция к постепенному восстановлению запасов корюшки, и в 2021 г. отмечен её наибольший промышленный вылов за последние 30 лет – 1006 т. Однако, по сравнению с периодом 1982-1992 гг., когда среднегодовой вылов нерестовой корюшки составлял 2662 т (минимальный – 1532 т, максимальный – 3675 т) (Попов, 2006), уровень уловов пока остается низким.

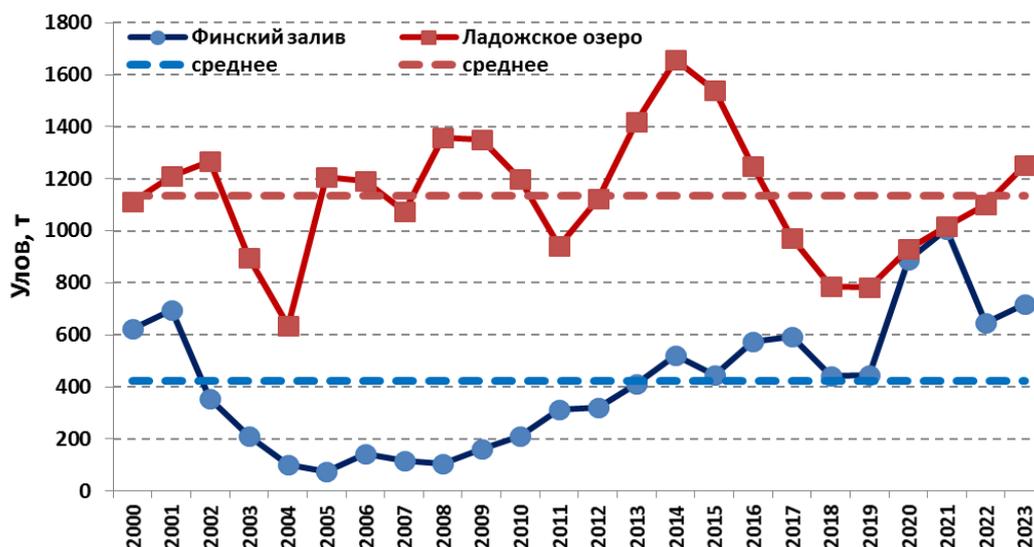


Рисунок 2. Динамика уловов корюшки (т) в восточной части Финского залива Балтийского моря и в Ладожском озере в XXI в.

На Ладожском озере не было столь серьёзного и продолжительного падения уловов корюшки, как на Финском заливе, и средний вылов за период 2000-2023 гг. здесь значительно выше: 1136 т против 370 т на заливе. В XXI в. на Ладоге минимальный улов наблюдался в 2004 г. – 634 т, а максимум отмечен в 2014 г. – 1656 т (рис. 2).

Промысел корюшки ведётся главным образом весной (апрель-май) в период нерестового хода, когда добывается более 90 % её годового улова. На Финском заливе корюшку ловят в прибрежной зоне – Невская губа, район Сестрорецка, Выборгский залив, а также в р. Неве. Основными добывающими орудиями лова в прибрежье являются корюшковые заколы и ставные невода, в р. Неве корюшку ловят мережами и закидным неводом. Зимой и в начале весны активно используются корюшковые сети. На Ладоге основная масса рыбы вылавливается в устьевых участках и низовьях рр. Волхов и Сясь, в остальных реках (Свирь, Вуокса и др.) уловы на порядок меньше. Ловят корюшку на нерестилищах мережами разных типов и закидными неводами.

Корюшка в промысловых уловах встречается в возрасте от года до восьми лет, но основные промысловые группы включают двух–четырёхгодовиков, доля которых составляет свыше 80 % (рис. 3). Значение особей старших возрастов в промысловых уловах в целом незначительно.

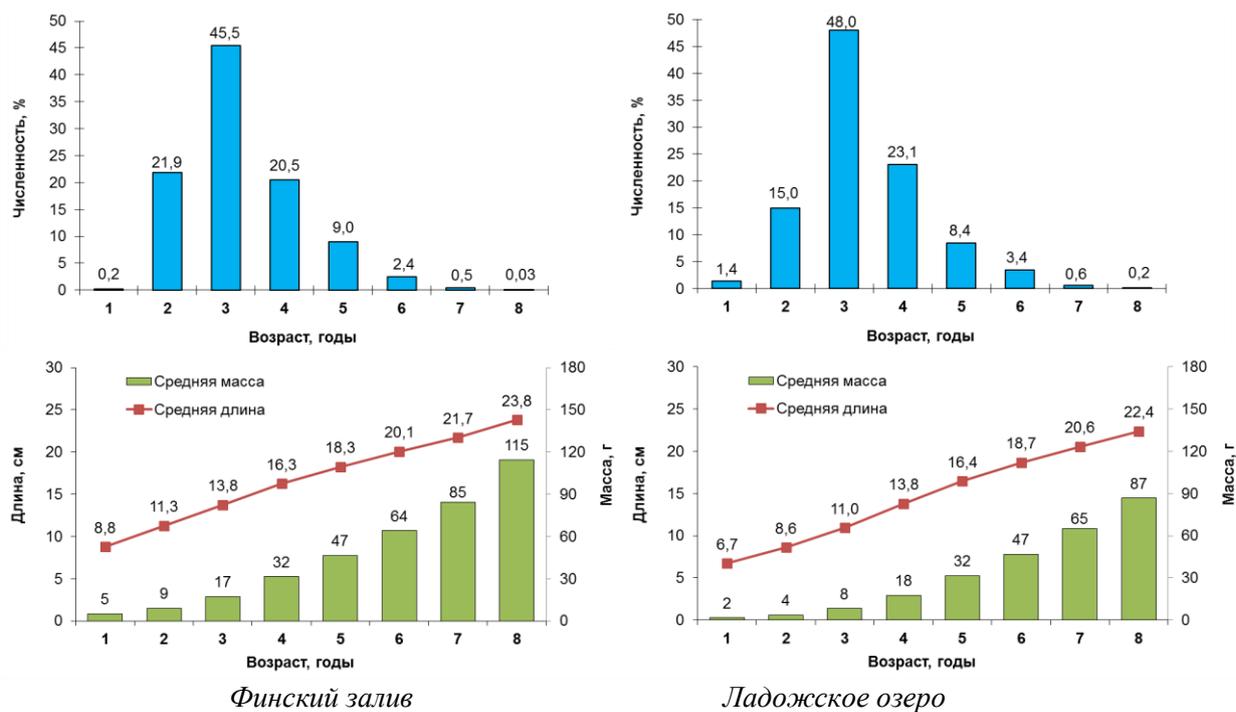


Рисунок 3. Размерно-возрастная структура промысловых уловов корюшки на Финском заливе и Ладожском озере (средние данные за 2000 - 2023 гг.)

Средняя масса корюшки из промысловых уловов на Финском заливе почти в 2 раза превышает этот показатель у ладожской корюшки: 24,0 г против 13,6 г. Средняя длина балтийской корюшки составляет 14,6 см, что на 2,5 см больше, чем у ладожской (12,1 см). Это связано с тем, что корюшка, нагуливающаяся в солоноватой воде Балтики, быстрее растёт и набирает вес, чем её пресноводная «сестра».

Материал для исследований собирали в 2000-2022 гг. на рыбоприемных пунктах на Финском заливе и на Ладожском озере ежегодно в период весенней путины, а также из уловов 24-метрового трала конструкции ГосНИОРХ (Сечин, 1990) на борту научно-исследовательских судов. Рыбу измеряли (ас), взвешивали. Для определения возраста брали отоциты (Чугунова, 1959; Правдин, 1966).

При определении численности запасов корюшки использована расчетная методика на основе когортной модели в интерпретации Поупа (Pore, 1972; Шibaев, 2014).

Колебания численности и биомассы корюшки зависят от промысловой нагрузки (незначительной в отдельные годы по экономическим причинам), биологических особенностей рыб со сравнительно коротким жизненным циклом и гидрометеорологических условий в период нереста и инкубации икры.

Биомасса промыслового запаса корюшки Финского залива снижалась с начала века, достигнув минимума (0,5 тыс. т) в 2006 г. (рис. 4). В последующие годы этот показатель начал постепенно расти, в 2013 г. превысил среднемноголетнее значение за последние 23 года (1,3 тыс. т) и к 2021 г. достиг наибольшего в XXI в. уровня в 2,5 тыс. т.

Промысловый запас корюшки Ладожского озера в XXI в. находится на близком к оптимальному уровню. Средняя за этот период биомасса стада почти в три раза выше, чем аналогичный показатель ее «финской родственницы» и составляет 3,5 тыс. т. Промысловая ихтиомасса ладожской корюшки в новом тысячелетии изменялась в пределах от 2,7 тыс. т (2003 г.) до 4,3 тыс. т (2023 г.). Такие изменения запаса корюшки связаны с различной урожайностью поколений и изменяющимся прессом промысла и хищников (рис. 4).

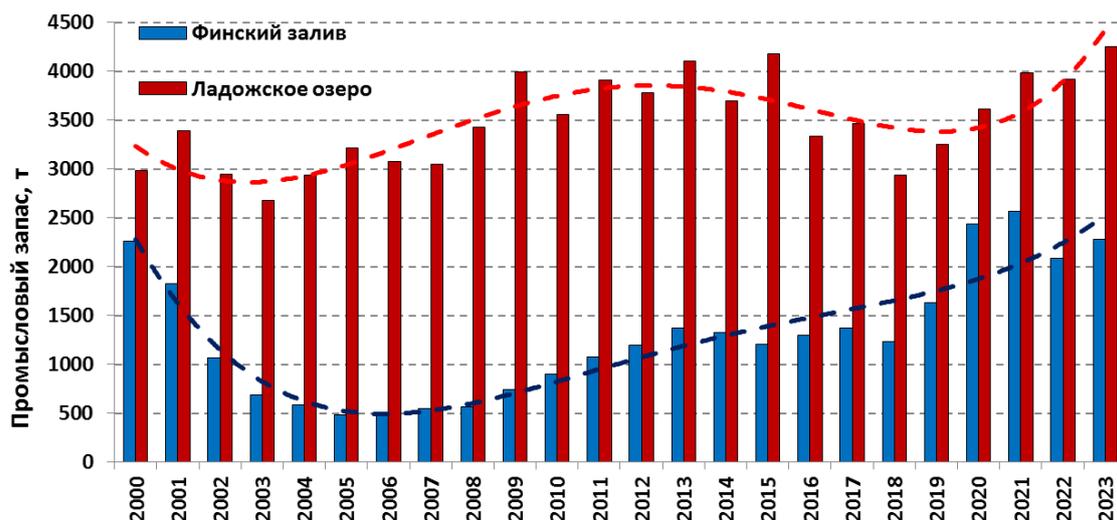


Рисунок 4. Динамика промысловых запасов корюшки на Финском заливе и Ладожском озере, т

Состояние запасов корюшки на современном этапе вполне удовлетворительное, так как на этот вид со сравнительно коротким жизненным циклом антропогенное давление сказывается в меньшей степени. Корюшка быстрее реагирует на изменения продукционного потенциала водоемов, после экстремальных воздействий ее численность быстро восстанавливается. Кроме того, корюшка как полупроходная рыба находится в наиболее загрязненных прибрежных участках в течение короткого периода времени. В эти зоны она подходит весной во время нереста и сразу после откладывания икры вновь возвращается в открытые участки водоёмов, которые менее подвержены загрязнению.

#### Список литературы

1. Смирнов А.Н. Распределение некоторых видов рыб в восточной части Финского залива // Известия ГосНИОРХ. 1977. Т. 123. С. 138-157.
2. Архипцева Н.Т. Особенности размножения корюшки Ладожского озера // Рыбохозяйственное изучение внутренних водоёмов. Л., 1975. Вып. 16. С. 20-23.
3. Леонов А.Г., Мохов Г.М., Тесля А.Я., Кузнецов А.Ф. Современное состояние популяции корюшки *Osmerus eperlanus* (L.) южной части Ладожского озера // Рыбное хоз-во. 2013. № 5. С. 98–103.
4. Леонов А.Г., Тесля А.Я. Рыбные ресурсы Ладожского озера и их использование в начале XXI века. Сб. научн.тр. ГосНИОРХ, вып. 334. 2009. с. 121–138.
5. Попов А. Н. Биология и воспроизводство запасов корюшки (*Osmerus eperlanus* L.) восточной части Финского залива // Сб. науч. тр. ФГНУ «ГосНИОРХ», вып. 331, т. 2. 2006. С. 92-118.
6. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
7. Сечин Ю.Т. Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоемах. Изд. 2-е, доп. М.: ВНИИПРХ, 1990. 50 с.
8. Чугунова И.И. Руководство по изучению возраста и роста рыб // (методическое пособие по ихтиологии). М.: АН СССР, 1959. 164 с.
9. Шibaев С.В. Промысловая ихтиология // Калининград: ООО «Аксиос», 2014. 535 с.
10. Pope J. G. An investigation of the accuracy of Virtual Population Analysis // Int. Comm. Northwest Atl. Fish.Res.Bull. N. 9, 1972. P. 65-74.

## ВЛИЯНИЕ ВТОРИЧНОГО КОНТАКТА ЛЕДНИКОВЫХ ЛИНИЙ И ИСТОРИЧЕСКОЙ ИНТРОГРЕССИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ РАЗНООБРАЗИЯ ГОЛЬЦОВ РОДА *SALVELINUS* В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ

Е.И. Бондарь, А.Г. Олейник, А.Д. Кухлевский

*Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского  
Дальневосточного отделения Российской академии наук  
[jaja@list.ru](mailto:jaja@list.ru), [alla\\_oleinik@mail.ru](mailto:alla_oleinik@mail.ru), [ad.kukhlevskiy@gmail.com](mailto:ad.kukhlevskiy@gmail.com)*

*Аннотация: плейстоценовые оледенения сыграли важную роль в формировании биоразнообразия пресноводных рыб арктических регионов Северо-Восточной Азии. В популяциях гольцов рода *Salvelinus* из бассейнов Колымы и Анадыря выявлены следы интрогрессивной гибридизации, что подтверждается данными мтДНК и микросателлитных локусов. Результаты исследования вносят существенный вклад в реконструкцию исторических ареалов и границ распространения трех филогенетических линий гольцов. Ключевые слова: *Salvelinus*, интрогрессивная гибридизация, мтДНК, микросателлитные локусы, биоразнообразие, ледниковые линии*

Важную роль в формировании биоразнообразия многих пресноводных рыб арктических регионов Северо-Восточной Азии сыграли Плейстоценовые оледенения (Bernatchez, Wilson, 1998; Hewitt, 2004). Климатические циклы, проходившие в четвертичный период, существенно повлияли как на распространение, так и на общее разнообразие ихтиофауны высокоширотных пресных вод. Множественные ледниковые щиты привели к фрагментации и/или резкому сокращению ареалов многих видов, и под влиянием дифференциальной селекции и генетического дрейфа в изолированных популяциях сформировались генетически отдаленные линии. Последующее таяние ледников и потепление вызвали глобальные гидрологические изменения, что сделало возможным активную колонизацию новых экосистем и создало широкие возможности для вторичных контактов разных ледниковых линий. Подобные вторичные контакты в границах новых ареалов могли привести к различным результатам, варьирующим от строгой репродуктивной изоляции до полной фиксации интрогрессированной мтДНК (митохондриального захвата) одного вида в популяциях другого. Особенно интересны случаи, когда один из видов, участвовавших в гибридизации, не представлен в месте современного обитания (Esin et al., 2017; Oleinik et al., 2021), и только идентификация расположения гибридных зон может служить основой для изучения границ распространения видов и реконструкции их исторических ареалов.

Для большинства северных пресноводных рыб характерно наличие нескольких ледниковых линий митохондриальной ДНК (мтДНК). Контактные зоны чаще всего формировались вдоль основных путей расселения видов, а так как многочисленные пресноводные рыбы расселялись из рефугиумов по одним и тем же водным путям, зоны вторичного контакта оказались схожи у разных видов. Так, Чукотка является ключевым районом для реконструкции дивергенции и распространения гольцов рода *Salvelinus*, населяющих высокоширотные пресные воды Северо-Восточной Азии, поскольку эти регионы относятся к древней Берингии, где когда-то существовал сухопутный мост, соединявший два континента. Регион Чукотки можно считать Берингийским ледниковым рефугиумом (Черешнев, 1996) – крупной свободной ото льда территорией, где в периоды оледенения обитали многие современные рыбы из Азии и арктической части Северной Америки.

До сих пор нет четкого представления о том, какие виды населяют Чукотку и значительную часть побережья Охотского моря. Однако для данных территорий описано

много небольших озерных популяций с неясным таксономическим положением. Зачастую подобные исследования используют только один тип маркеров, что ведет к некорректному определению видовой принадлежности отдельных популяций и, как результат, к неправильным топологиям деревьев и филогенетическим ошибкам. Чтобы решить эту проблему, был использован контрольный регион мтДНК (CR мтДНК) и микросателлитные локусы гольцов рода *Salvelinus* из нескольких крупных нетронутых озерных систем, а также нескольких мест за пределами этих систем. Микросателлитные локусы дают возможность понять роль микроэволюционных процессов в формировании генетической структуры послеледниковых популяций; с другой стороны, мтДНК может улавливать сигналы прошлых эволюционных процессов, повлиявших на генетическое разнообразие и структуру популяций.

В бассейне реки Колымы пересекаются три ледниковые линии гольцов, что делает ее важным центром филогеографии для представителей рода *Salvelinus*. В ходе исследования была документирована широкая зона контакта Арктической и Берингийской ледниковых филогенетических линий на западе Чукотки, которая связана с зоной контакта этих же линий вдоль побережья Охотского моря (Oleinik et al., 2021). Гибридные особи, обнаруженные в озерах, не имели идентичных гаплотипов с соседними популяциями, что позволяет предположить, что интрогрессивная гибридизация была историческим событием. Наконец, в чукотских выборках не были выявлены особи с гаплотипами Атлантической и Сибирской линий. Анализ неустановленных озерных гольцов показал, что все особи из Чукотского региона обладали мтДНК Берингийской или Арктической линий, и эта смесь митохондриальных гаплотипов еще раз подтверждает гипотезу интрогрессии.

Анализ филогенетических связей на основе CR мтДНК показал, что гольцы из бассейна реки Колымы группировались с Берингийской линией, а из бассейна реки Анадырь с Арктической линией. Хотя эти результаты согласуются с литературными данными (Osinov et al., 2018), тем не менее, это не является общей тенденцией. В нескольких популяциях были выявлены гаплотипы двух разных линий гольцов, однако байесовский анализ с использованием ядерной ДНК не подтвердил кластеризацию гольцов в соответствии с данными мтДНК. Так же сравнительный анализ генетической изменчивости CR мтДНК показал отсутствие современного потока генов между аллопатрическими и симпатрическими гольцами из бассейна реки Амгуэма ( $p < 0,001$ ).

Учитывая новые и опубликованные данные (Алексеев и др., 2021), уточненный ареал Сибирской линии ограничивается континентальными водоемами Восточной Сибири и Якутии. Арктический голец *Salvelinus alpinus* из чукотской части ареала и Сибири участвовал в гибридизации с северной мальмой *Salvelinus malma malma* и гольцом Таранца *Salvelinus taranetzi*. Интрогрессивная гибридизация могла происходить во время одного из ледниковых максимумов в рефугиумах, в зоне перекрытия ареалов трех предковых видов гольцов. Отсюда *S. alpinus* с интрогрессированными Берингийскими или Арктическими гаплотипами мог расселиться вдоль побережья Северного Ледовитого океана во внутренние воды при последующем потеплении климата. Можно также предположить распространение *S. malma malma* и *S. taranetzi* и их гибридизацию с *S. alpinus* в арктических регионах Чукотки, Якутии и Сибири с последующим их исчезновением на данных территориях. Однако на данный момент наиболее вероятной представляется первая филогеографическая гипотеза.

Объединив закономерности распространения, топологию филогенетической сети и современные знания об истории оледенения региона, авторы предложили возможные места рефугиумов на Чукотке. Берингийский рефугиум был важнейшим свободным ото льда регионом, где многие виды сохранялись во время плейстоценовых оледенений (Harris, Taylor, 2010; Campbell et al., 2015; Markevich et al., 2023; и др.). В то же время, по данным Черешнева (1996), Палео-Амгуэмский бассейн был основным рефугиумом для

пресноводной ихтиофауны Берингии. Полученные результаты свидетельствуют о реколонизации из двух северных ледниковых рефугиумов, один из которых находился в бассейне Палео-Амгуэмы, а другой, возможно, в бассейне реки Раучува в Берингии, что может свидетельствовать о криптических рефугиумах, которые ранее не были обнаружены в данном регионе. Дополнительные генетические данные и расширение географического охвата выборок позволили бы получить более веские доказательства данного предположения. В то же время, полученные результаты с использованием как микросателлитных локусов, так и мтДНК, внесли существенное уточнение в распространение трех филогенетических линий гольцов рода *Salvelinus* в Северо-Восточной Азии, и подтвердили широкое историческое расселение Арктической линии *Salvelinus taranetzi* по побережью Охотского моря.

#### Список литературы

1. Алексеев С.С., Андреев Р.С., Вокин А.И., Гордеева Н.В., Коростелев Н.Б., Матвеев А.Н., Пичугин М.Ю., Самусенок В.П., Самусенок И.В., Хлыстов В.С., Юрьев А.Л. Исследования арктического гольца *Salvelinus alpinus* (L.) в Забайкалье: итоги 25-летних работ. Сообщение 1. Распространение, симпатрические формы, морфология, генетика // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2021. Т. 38. С. 3-56. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2021.38.3>
2. Черешнев И.А. Биологическое разнообразие пресноводной ихтиофауны северо-востока России. Владивосток: Издательство Дальнаука, 1996. 197 с.
3. Bernatchez L., Wilson C.C. Comparative phylogeography of Nearctic and Palearctic fishes // Molecular ecology. 1998. Vol. 7, №. 4. С. 431-452.
4. Brunner P.C., Douglas M.R., Osinov A., Wilson C.C, Bernatchez L. Holarctic phylogeography of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) inferred from mitochondrial DNA sequences // Evolution. 2001. Vol. 55, №. 3. С. 573-586.
5. Campbell M.A., Takebayashi N., López J.A. Beringian sub-refugia revealed in blackfish (*Dallia*): implications for understanding the effects of Pleistocene glaciations on Beringian taxa and other Arctic aquatic fauna // BMC Evolutionary Biology. 2015. Vol. 15. С. 144. <https://doi.org/10.1186/s12862-015-0413-2>.
6. Esin E.V., Bocharova E.S., Mague N.S., Markevich G.N. Occurrence of sympatric charr groups, *Salvelinus*, Salmonidae, in the lakes of Kamchatka: a legacy of the last glaciations // Journal of Fish Biology. 2017. Vol. 91, №. 3. С. 573-586.
7. Harris L.N., Taylor E.B. Pleistocene glaciations and contemporary genetic diversity in a Beringian fish, the broad whitefish, *Coregonus nasus* (Pallas): inferences from microsatellite DNA variation // Journal of Evolutionary Biology. 2010. Vol. 23, № 1. С. 72-86.
8. Hewitt G.M. Genetic consequences of climatic oscillations in the Quaternary // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences. 2004. Vol. 359, № 1442. С. 183-195.
9. Markevich G.N. Solovyev M.M., Vlasenko P.G., Izotova G.V., Kashinskaya E.N., Bochkarev N.A., Politov D.V., Melnik N.O., Esin E.V. Phylogeny, distribution, and biology of Pygmy whitefish (*Prosopium coulterii*) in the Beringia Region (Chukotka) // Diversity. 2023. Vol. 15, № 4. С. 547.
10. Oleinik A.G., Bondar E.I., Kukhlevsky A.D., Skurikhina L.A., Kovpak, N.E. Introgressive hybridization between two phylogenetic lineages of charrs (*Salvelinus*, Salmonidae) in northeastern Asia // Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research. 2021. Vol. 59, № 8. P. 2119-2133.
11. Osinov A.G., Pavlov D.A., Volkov A.A. On the origin of the lacustrine charr *Salvelinus alpinus* complex from the Kolyma and Sea of Okhotsk basins // Journal of Ichthyology. 2018. Vol. 58. P. 353-370.

## ОЦЕНКА ЗАПАСОВ РЫБ И ПРОМЫСЕЛ ВО ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

О.А. Булатов, Д.А. Васильев, С.В. Камшуков, В.А. Скакун  
ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва, [obulatov@vniro.ru](mailto:obulatov@vniro.ru)

*Аннотация: Освоение промыслом рекомендуемых рыбохозяйственной наукой объемов вылова «тормозится» тем, что перечень видов (единиц запасов), в отношении которых предусмотрена процедура ОДУ, нуждается в сокращении. Это в полной мере относится к карасю, толстолобику, пеляди, окуню, и в большинстве рыбохозяйственных бассейнов, к щуке и лещу. Предварительные данные об объемах вылова рыбаками-любителями свидетельствуют о значимости этого процесса не только с точки зрения социальной, но и с точки зрения официальной статистики. Разработку метода оценки масштабов этого явления для всех рыбохозяйственных бассейнов необходимо ускорить. Применение математических моделей в условиях дефицита информации позволит получать объективную оценку о состоянии запасов.*

Ключевые слова: запасы, вылов, рыбаки-любители, единицы запасов

Специалисты ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» и его филиалов ежегодно выполняют большой объем работы, связанный с оценкой запасов водных биоресурсов во внутренних водных объектах. По состоянию на 2024 г. в общей сложности количество единиц запасов, по которым формировались рекомендации по прогнозу общего допустимого улова (ОДУ) и рекомендуемого вылова (РВ) составили 2660 (табл. 1).

Таблица 1. Количество единиц запасов рыб во внутренних водных объектах по рыбохозяйственным бассейнам в 2024 г.

Рыбохозяйственный бассейн	Рекомендуемый вылов	Общий допустимый улов	Всего
Азово-Черноморский	189	3	192
Волжско-Каспийский	530	127	657
Западный	162	27	189
Северный	314	10	324
Восточно-Сибирский	21	52	73
Западно-Сибирский	635	157	792
Байкальский	116	4	120
Дальневосточный	273	40	313
Итого	2240	420	2660

Значительную долю (84,3 %) составляют единицы запасов, для которых процедура установления ОДУ не предусмотрена. Процесс перехода единиц запасов из ОДУ в РВ характеризуется динамичностью, и зависит от эффективности промысла в течение 3 летнего периода. В случае, если вылов не достигает 70 % уровня, данную единицу запаса рекомендуется вывести из перечня ОДУ, и наоборот.

Анализ материалов, обосновывающих прогноз ОДУ на 2025 г. показал, что в перечень видов, в отношении которых устанавливается ОДУ попали: карась, толстолобик, пелядь. Причем объемы в Нижне-Бурейском и Богучанском водохранилищах составляли от 30 до 210 кг, а в Чудском и Теплом озерах – 100 кг. Значительна доля в прогнозах ОДУ плотвы, окуня, леща. С учетом того, что в пресноводных водоемах отсутствует специализированный промысел, а видовой состав уловов достаточно широк, необходимо снимать административные барьеры в виде

ограничений через ОДУ для многих видов, ограничиваясь перечнем ценных и особо ценных видов.

Необходимо отметить еще одну деталь. У специалистов и рыбаков вызывает недоумение, когда биологическая секция Ученого совета, основываясь на предложениях филиалов, закрывает промысел в феврале-марте тех видов, которые являются неизбежным приловом при многовидовом промысле. Таким образом, создается еще один административный барьер, который «тормозит» более полное освоение рекомендованных объемов вылова.

В период 2000-2023 гг. рекомендации по объемам ОДУ и РВ неуклонно росли. Если в 2000 г. они суммарно составляли 116 тыс. т, то в 2023 г. достигли 250 тыс. т (рис. 1). Динамика вылова характеризовалась восходящим трендом до 2017 г., после чего наступила фаза стагнации и в течение 2017-2023 гг. вылов изменялся от 120 до 131 тыс. т. Освоение рекомендованных наукой объемов вылова балансировало на уровне 50 %.

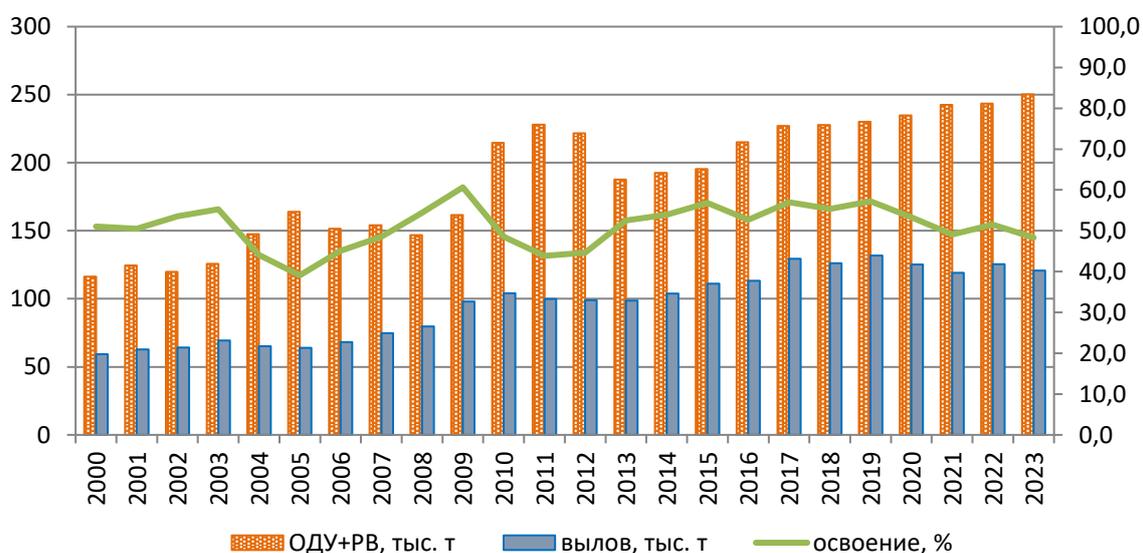


Рисунок 1. Динамика ОДУ, РВ, вылова и промыслового освоения в 2000-2023 гг.

Основные принципы оценки состояния запасов одинаковы для морских и пресноводных видов. Методология определяется в первую очередь доступной информацией. Информационное обеспечение делится на три уровня.

К первому уровню информационного обеспечения относятся запасы, для которых известен возрастной состав уловов. Такая информация доступна для ключевых запасов крупных водохранилищ и озер и позволяет применять когортные методы: TISVPA, Синтез и другие.

Ко второму уровню информационного обеспечения относятся запасы, для которых известен непрерывный ряд уловов. Индексы численности возможны с лагунами за отдельные годы. В этом случае предпочтительно использование производственных моделей, например, Combi. Это позволяет оценить ориентиры управления и состояние запаса на основе динамической изменчивости параметров модели. Указанная модель хорошо проявила себя применительно к большинству промышленно облавливаемых запасов.

Если обнаружен дефицит информационного обеспечения и информации недостаточно для настройки даже производственной модели, то рекомендуется использовать методы DLM.

Таким образом, необходимо отметить, что для внутренних водоемов нет оснований при оценке состояния запасов отходить от рекомендаций Приказа № 104 Росрыболовства от 06.02.2015 (Росрыболовство, 2015) и «Методических рекомендаций по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов» (Бабаян и др., 2018).

Известно, что в 2024 г. рыбаки столкнулись с тем, что в бассейне р. Волга резко уменьшилось количество судака. Мы попробовали оценить, насколько значим пресс промысла, на запасы судака в Волго-Каспийском рыбохозяйственном подрайоне. Расчеты выполнены по модели TISVPA на основании данных Волжско-Каспийского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» по возрастному составу уловов, навескам, долям половозрелости по возрастным группам и уловам на усилие за 2019-2023 гг. На рис. 2 представлены полученные оценки биомассы нерестового запаса, а также общего запаса в возрасте 1 год и старше в сравнении с объемами вылова. Динамика общего запаса характеризовалась ростом в период с 2019 по 2022 гг., который сменился в 2023 г. снижением биомассы. Негативные тенденции пока не сказались на биомассе нерестового запаса, которая характеризовалась небольшим ростом и достижением максимального уровня в 2023 г. – 6,0 тыс. т.

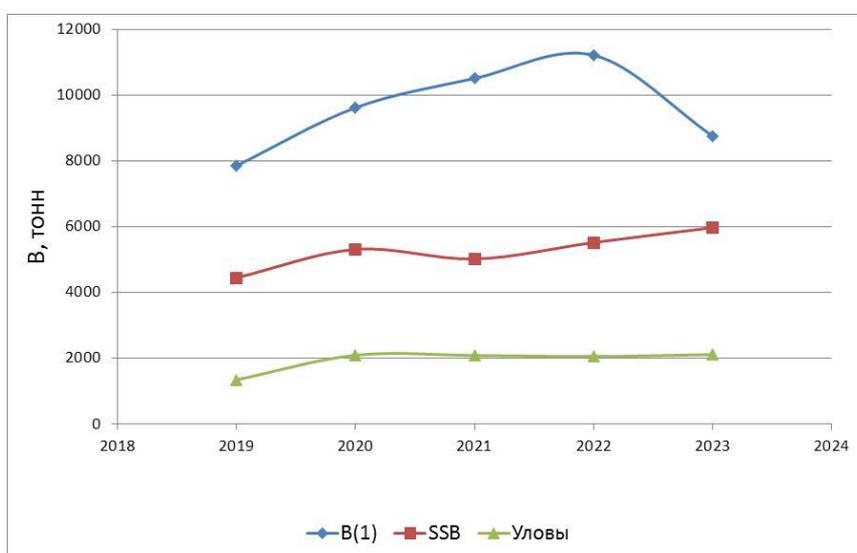


Рисунок 2. Оценки биомассы общего (B1+) и нерестового (SSB) запасов и уловов судака Волго-Каспийского рыбохозяйственного подрайона

Для того, чтобы судить о балансе запаса и промысла и получить представление о возможном потенциале его расширения, или наоборот, снижения пресса вылова, сравним полученные для данного интервала лет оценки промысловой смертности с рассчитанной величиной промысловой смертности, обеспечивающей максимальный вылов на единицу пополнения ( $F_{max}$ ). Динамика изменения биомассы нерестового запаса на единицу пополнения ( $SSB/R$ ) и потенциального улова на единицу пополнения ( $Y/R$ ) в зависимости от среднего для возрастных групп 1-7 значения мгновенного коэффициента промысловой смертности показала, что  $F_{max} = 0,57$ .

Таким образом, фактические значения промысловой смертности на рассмотренном интервале лет были в 2-4 раза выше «оптимального» значения (рис. 3), если принять за него значение  $F_{max}$ .

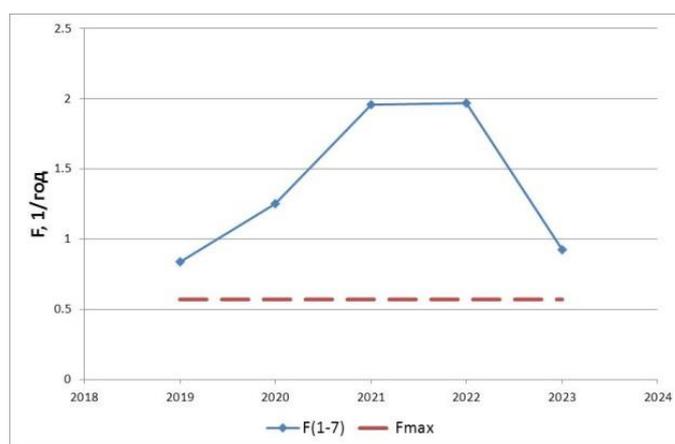


Рисунок 3. Оценки фактических (F1-7) и расчетных (Fmax) значений промысловой смертности

Таким образом, можно заключить, что для запаса судака Волго-Каспийского рыбохозяйственного подрайона потенциал к расширению промысла в настоящее время отсутствует. В связи с этим интенсивность промысла необходимо снизить.

Одной из «больных» тем в исследованиях во внутренних водных объектах является оценка вылова рыбаками-любителями. Любительское рыболовство является одним из самых массовых видов отдыха населения на водных объектах общего пользования и несет в себе значительный социальный элемент. В связи с развитием внутреннего туризма и возросшей технической оснащённостью рыбаков, использующих автотранспорт и современные плавсредства, количество рыбаков на водоемах увеличилось.

Специалистами ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» в рамках государственного мониторинга водных биоресурсов проводилась оценка объемов любительского рыболовства. Оценка численности рыбаков-любителей основана на визуальных наблюдениях и анкетировании рыбаков на местах лова, учета видового состава уловов и их веса. Кроме того, специалисты ФГБНУ «ВНИРО» использовали данные, предоставленные территориальными управлениями Росрыболовства и филиалов ФГБНУ «Главрыбвод». Кроме того, дополнительно выполнен анализ нарушений на водоёмах, зафиксированных контрольно-надзорными органами исполнительной власти.

Наблюдения показали, что максимальное посещение водоемов наблюдается в зимний и весенне-летний период, в период нерестовых миграций и нереста. Согласно полученным в 2023 г. данным, среднесуточный улов рыбаков-любителей на обследованных водных объектах не превышал норм, установленных правилами рыболовства. Показатели варьировали от 2,5 до 8,1 кг вылова в сутки на 1 рыбака-любителя. Согласно выполненным расчетам, наиболее значительные объемы вылова отмечены в Волжско-Каспийском рыбохозяйственном бассейне – более 15 тыс. т. (табл. 2), что сопоставимо с рекомендуемой величиной промыслового изъятия – 34 тыс. т., но не учитывается как в прогнозах науки, так и в статистической отчетности уловов. Однако, с учетом рекомендованной величины уловов – 56 тыс. т, ситуация не выглядит драматичной.

Таким образом, исследования, выполненные в 3 рыбохозяйственных бассейнах, позволили установить ориентировочный объем вылова рыбаками-любителями на уровне 25 тыс. т, что является весьма существенной цифрой. Безусловно, продолжение данных работ позволит оценить объемы вылова рыбаками-любителями и в дальнейшем включить этот показатель в статистическую отчетность.

Таблица 2. Среднесуточный улов рыбаков-любителей и общий вылов в 2023 г.

Рыбохозяйственный бассейн	Водные объекты	Среднесуточный улов рыбака любителя, кг/сут.	Вылов общий, т
Волжско-Каспийский	р. Волга и ее водотоки в пределах Астраханской области	4,2	15 442
	Чебоксарское водохранилище (Нижегородская обл.)	2,6	203
Западно-Сибирский	Водоемы ЯНАО и ХМАО	4,4	7 978
	река Обь (Республика Алтай)	2,2	44
	река Томь в пределах Кемеровской области	0,8	15
	водные объекты Новосибирской области	8,1	412
	река Иртыш и крупные озера Омской области	2,5	250
Западный	Озеро Ильмень	3,5	108
	Псковско-Чудское озеро	4,5	260
Всего			24 721

Освоение промыслом рекомендуемых рыбохозяйственной наукой объемов вылова «тормозится» тем, что перечень видов (единиц запасов), в отношении которых предусмотрена процедура ОДУ, нуждается в сокращении. Это в полной мере относится к карасю, толстолобику, пеляди, окуню, и в большинстве рыбохозяйственных бассейнов, к щуке и лещу.

Предварительные данные об объемах вылова рыбаками-любителями свидетельствуют о значимости этого процесса не только с точки зрения социальной, но и с точки зрения официальной статистики. Разработку метода оценки масштабов этого явления для всех рыбохозяйственных бассейнов необходимо ускорить.

Применение математических моделей в условиях дефицита информации позволит получать объективную информацию о состоянии запасов.

#### Список литературы

1. Росрыболовство. Приказ № 104 от 06.02.2015 «О представлении материалов, обосновывающих общие допустимые уловы водных биологических ресурсов во внутренних водах Российской Федерации, в том числе во внутренних морских водах Российской Федерации, а также в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации и в исключительной экономической зоне Российской Федерации, в Азовском и Каспийском морях, а также внесения в них изменений». <https://normacs.net/Doclist/doc/6054H.html>
2. Бабаян В.К., Бобырев А.Е., Булгакова Т.И., Васильев Д.А., Ильин О.И., Ковалев Ю.А., Михайлов А.И., Михеев А.А., Петухова Н.Г., Сафаралиев И.А. Четыркин А.А., Шереметьев А.Д. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. М.: ВНИРО, 2018. 313 с. [http://vniro.ru/files/publish/metod\\_rek\\_ocenka\\_zapasov\\_babayan.pdf](http://vniro.ru/files/publish/metod_rek_ocenka_zapasov_babayan.pdf)

## ПЕРВАЯ НАХОДКА МЕТАЦЕРКАРИЙ СЕМ. OPISTHORCHIIDAE В АКВАТОРИИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Ф.В. Васильев

Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), г. Санкт-Петербург, [vasilevfedor72@gmail.com](mailto:vasilevfedor72@gmail.com)

Аннотация: при паразитологическом исследовании карповых рыб в акватории Ладожского озера впервые были обнаружены метацеркарии сем. *Opisthorchiidae*. Проведенное исследование выявило частую встречаемость личинок описторхид разных видов у густеры, красноперки и язя, в то время как плотва практически не заражена.

Ключевые слова: метацеркарии сем. *Opisthorchiidae*, Ладожское озеро, Новолadoжский канал, карповые рыбы, очаг описторхиидоза

Дигенеи сем. *Opisthorchiidae* Looss, 1899 – широко распространенные паразиты животных различных систематических групп. Отдельные виды описторхид имеют эпизоотическое и эпидемиологическое значение. В фауне России в качестве опасных для человека указывается 4 вида описторхид – *Opisthorchis felinus* (Rivolta, 1884), *Clonorchis sinensis* (Coddold, 1875), *Pseudamphistomum truncatum* (Rudolphi, 1819) и *Metorchis bilis* (Braun, 1790). Заражение происходит при употреблении в пищу сырой или плохо обработанной рыбы, содержащей метацеркарии перечисленных дигеней. В первое время инвазия зачастую протекает бессимптомно или со слабовыраженными и неспецифическими симптомами, однако гельминты поражают гепатобилиарную систему организма и в некоторых случаях могут приводить к образованию холангиокарциномы (Pakharukova, Mordvinov, 2016).

Сравнительно недавно на территории Ленинградской области в Выборгском заливе впервые был обнаружен очаг псевдоамфистомоза (Воронин и др., 2017). Дальнейшие исследования распространения метацеркарий описторхид на территории Северо-Запада России затронули как другие части Финского залива, так и озера Ильмень, Ладожское и Псковско-Чудское (Кудрявцева, 2020). Автором установлено, что в мышцах карповых рыб в озере Ильмень и Финском заливе, помимо выявленного ранее *P. truncatum*, также спорадически встречается и *M. bilis*. Несмотря на многочисленные исследования, в Псковско-Чудском и Ладожском озерах метацеркарий описторхид до сих пор не было обнаружено (Барышева, Бауер, 1957; Когтева, 1957; Лебедева, 2005; Румянцев, 2007).

При паразитологическом исследовании молоди язя из Новолadoжского канала впервые были обнаружены метацеркарии сем. *Opisthorchiidae*, идентифицированные по наличию крупного экскреторного пузыря, приобретающего черный цвет в проходящем свете. Данная находка обусловила цель настоящей работы – установление видовой принадлежности обнаруженных в рыбах метацеркарий сем. *Opisthorchiidae* и оценка степени инвазии рыб в районе обнаружения.

В период с июля по август 2024 г. исследовали на зараженность метацеркариями описторхид 77 экз. карповых рыб разных видов, в числе которых 34 экз. плотвы, 21 экз. густеры, 16 экз. красноперки и 6 язей. Рыб вылавливали ручными удочками в месте пересечения Новолadoжского канала и реки Кобона (рис. 1). Выловленных рыб взвешивали, измеряли их абсолютную (L) и промысловую (l) длины. Средние значения измеренных величин приведены в табл. 1.

Мышечную ткань на наличие метацеркарий описторхид исследовали компрессионным методом под микроскопом МБС-10. Независимо от размеров рыбы,

всю мышечную ткань, включая спинную и брюшную скелетную мускулатуру, а также мышцы плавников, исследовали полностью. Обнаруженных метацеркарий относили к сем. *Opisthorchiidae* по наличию у них крупного экскреторного пузыря черного цвета в проходящем свете. Дифференциальную диагностику метацеркарий проводили с учетом ранее опубликованных работ (Ромашов и др., 2005; Жохов, 2019; Кудрявцева, 2020).

Таблица 1 – Средние значения размерно-весовых характеристик исследованных рыб

Вид рыбы	L, см	l, см	Масса, гр
Плотва <i>Rutilus rutilus</i>	$\frac{11,42 \pm 2,4}{7,3-16,1}$	$\frac{9,21 \pm 1,99}{6-13}$	$\frac{14,51 \pm 10,08}{3,44-43,47}$
Густера <i>Blicca bjoerkna</i>	$\frac{12,48 \pm 1,77}{10,6-17,5}$	$\frac{9,68 \pm 1,43}{7,8-13,5}$	$\frac{17,96 \pm 10,27}{7,9-48,9}$
Красноперка <i>Scardinius erythrophthalmus</i>	$\frac{13,3 \pm 3,73}{9,2-18,5}$	$\frac{10,66 \pm 3,03}{7,2-15,3}$	$\frac{33,6 \pm 28,44}{7,12-81,02}$
Язь <i>Leuciscus idus</i>	$\frac{14,53 \pm 3,3}{10,5-17,8}$	$\frac{12,2 \pm 2,44}{9-14,6}$	$\frac{31,77 \pm 20}{11,6-55,11}$

Примечание: над чертой – среднее значение и стандартное отклонение, под чертой – диапазон варьирования показателя.

Выделенных из мышц инцистированных метацеркарий исследовали под разными увеличениями микроскопа Микромед 3-20, фотографировали при помощи цифровой камеры LevenhukC510 NG 5M и измеряли размеры цист при помощи программного обеспечения TourView. Затем при помощи тонких препаровальных игл личинок извлекали из цист и фиксировали в 70° и 96° спирте для хранения и дальнейшей обработки.

Статистическую обработку материала проводили с использованием общепринятых в паразитологии показателей — экстенсивности (ЭИ) и интенсивности инвазии (ИИ), а также индекса обилия (ИО). Значения показателя экстенсивности инвазии приведены в расчете на весь объем мышц каждой исследованной рыбы. Расчеты проведены с использованием программного обеспечения MS Excel 2021.

Проведенное исследование выявило сравнительно низкую зараженность рыб метацеркариями сем. *Opisthorchiidae* (табл. 2). Как правило, обнаруживались лишь единичные описторхидные личинки. Этот факт можно было бы объяснить тем, что рыбы младших возрастных групп еще не аккумулировали в себе большое количество метацеркарий, однако наиболее крупные особи каждого вида также не отличались высокой зараженностью.

Нетипичной является очень слабая зараженность плотвы и сравнительно высокая — густеры, с учетом их близких размеров и вылове из одного места. Согласно литературным данным (Кудрявцева, 2020), плотва, наряду с язем, ельцом, красноперкой и линем, указывается в числе рыб, наиболее подверженных инвазии личинками сем. *Opisthorchiidae* ввиду их приуроченности к прибрежным биотопам, в то время как густера, как правило, заражена слабее.

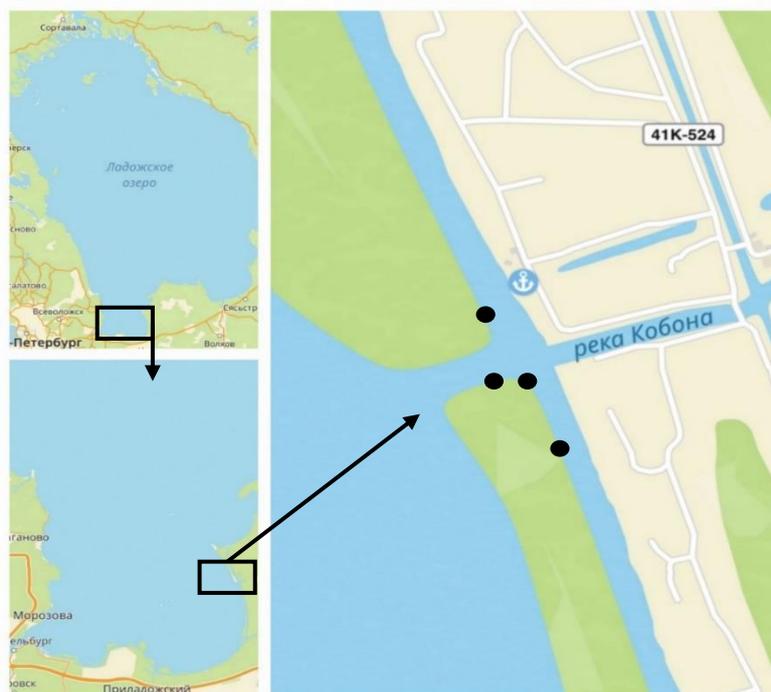


Рисунок 1 – Карта-схема района исследования, черными точками обозначены места лова рыбы

Таблица 2 – Зараженность исследованных рыб метацеркариями сем. *Opisthorchiidae*

Вид рыбы	ЭИ	ИИ, экз	ИО, экз
Плотва <i>Rutilus rutilus</i>	3%	1	0,03
Густера <i>Blicca bjoerkna</i>	48%	$\frac{3,5}{1-10}$	1,67
Красноперка <i>Scardinius erythrophthalmus</i>	56%	$\frac{2,22}{1-4}$	1,25
Язь <i>Leuciscus idus</i>	3 из 6 экз.	$\frac{4,67}{1-8}$	2,33

Примечание: над чертой – среднее значение и стандартное отклонение, под чертой – диапазон варьирования показателя.

В процессе исследования нами обнаружено три различных морфологических типа описторхидных метацеркарий (рис. 2). Два из них не вызывают проблем в идентификации, поскольку обладают характерными морфологическими признаками, позволяющими проводить дифференциальную видовую диагностику на уровне инцистированной личинки. Так, *Metorchis xanthosomus* (№1, рис. 2) – наиболее мелкая метацеркария из представленных, заключена в круглую цисту и окружена толстой гиалиновой оболочкой. Данный вид не имеет эпидемиологической значимости, поскольку заканчивает жизненный цикл в рыбоядных птицах. *P. truncatum* (№ 3, рис. 2), напротив, являются наиболее крупными метацеркариями, имеющими характерный морфологический признак в виде светонепроницаемого экскреторного пузыря.

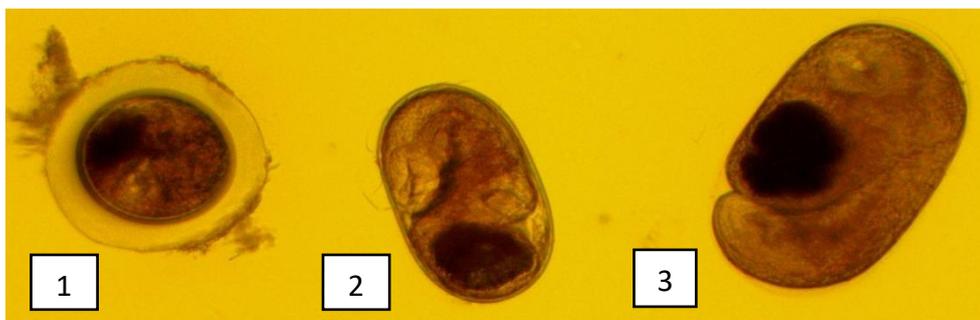


Рисунок 2 – Морфологические типы метацеркарий сем. Opisthorchiidae из мышц рыб Новолодожского канала, 1 – *M. xanthosomus*, 2 – неидентифицированная описторхидная личинка, 3 – *P. truncatum*

Наибольшие затруднения в видовой идентификации были связаны с метацеркариями второго типа. Ко второму типу относили описторхид с характерными морфологическими признаками, отличавшими их от *P. truncatum*: у одних обнаруживали сильную пигментацию тела, что является диагностическим признаком *M. bilis* (Жохов, 2019), у других – светопроницаемый экскреторный пузырь, что соответствует *O. felineus* (Кудрявцева, 2020). Таким образом, в пределах второго типа метацеркарии также отличались между собой (рис. 3).



Рисунок 3 – Метацеркарии второго типа. Слева, предположительно, *O. felineus*, справа – *M. bilis*

Впервые выявленное в акватории Ладожского озера заражение рыб метацеркариями сем. Opisthorchiidae, а также их видовое разнообразие требуют проведения более глубоких и тщательных исследований, а именно: выявление границы природного очага описторхозов, определение круга первых промежуточных хозяев-моллюсков и оценки степени инвазии рыб данными дигениями, проведение молекулярно-генетических исследований для точной видовой идентификации паразитов, а также установление четких морфологических критериев для их дифференциальной диагностики.

#### Список литературы

1. Барышева А.Ф., Бауер О.Н. Паразиты рыб Ладожского озера // Известия ВНИОРХ. 1957. Т. 42. С. 175-226.
2. Воронин В.Н., Белова Л.М., Кудрявцева Т.М., Кротов В.И., Портнова Е.И., Баева Е.В. О зараженности карповых рыб метацеркариями *Pseudamphistomum truncatum* (Rudolphi, 1819) в Выборгском заливе Ленинградской // Ветеринария. 2017. № 3. С. 38-42.
3. Жохов А.Е., Пугачева М.Н. Очаг «описторхоза» в Ярославской области // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. Вып. 87 (90). С. 31-40.
4. Когтева Е.П. Паразиты рыб Псковско-Чудского водоёма // Известия ВНИОРХ. 1957. Т. 42. С. 243-269.

5. Кудрявцева Т.М. Распространение метацеркарий сем. *Opisthorchiidae* в рыбах водоемов Северо-Запада России : Дис. ... канд. вет. наук: 03.02.11 / Кудрявцева Татьяна Михайловна. Санкт-Петербург, 2020. 143 с.
6. Лебедева Д.И. Трематоды рыб Ладожского озера // Труды КарНЦ РАН. Серия «Б». Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. Вып.7. С. 151-156.
7. Ромашов Б.В., Ромашов В.А., Семёнов В.А., Филимонова Л.В. Описаторхоз в бассейне Верхнего Дона (Воронежская область): фауна описаторхид, эколого-биологические закономерности циркуляции и очаговость описаторхидозов. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2005. 201 с.
8. Румянцев Е.А. Паразиты рыб в озёрах Европейского Севера: фауна, экология, эволюция // Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2007. 252 с.
9. Pakharukova M.Y., Mordvinov V.A. The liver fluke *Opisthorchis felineus*: biology, epidemiology and carcinogenic potential // Transactions of The Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene. 2016. Vol. 110. P. 28-36.

## БАЛТИЙСКИЙ ОСЁТР: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

О.Ю. Вилкова, Д.С. Сухарев

ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва, [ovilk@mail.ru](mailto:ovilk@mail.ru), [fucus@mail.ru](mailto:fucus@mail.ru)

Аннотация: аборигенная популяция осетра в Балтийском море на протяжении нескольких столетий до начала XX в. имела промысловое значение, но к 1930-м гг. её численность резко сократилась, и в 2019 г. атлантический осётр в Балтийском бассейне был признан исчезнувшим на региональном уровне. На базе ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» была разработана Научно-производственная программа по восстановлению балтийского осетра в России.

Ключевые слова: *Acipenser sturio*, *Acipenser oxyrinchus*, распределение, восстановление, Балтийское море, Ладожское озеро

До начала 2000-х гг. предполагалось, что балтийскую акваторию населяет единственный аборигенный вид – *A. sturio*, а его ближайший родственник *A. oxyrinchus* обитает только в реках Северной Америки (Paaver, 1996, Artyukhin, Vecsei, 1999). Однако в 2002 г. было отмечено существенное молекулярно-генетическое сходство аборигенного осетра Балтики (балтийского осетра) с северными популяциями атлантического осетра (Ludwig et al., 2002). На основании этих данных была выдвинута гипотеза о проникновении канадских мигрантов *A. oxyrinchus* в Балтийское море от 800 до 1200 лет назад с последующей натурализацией (Ludwig et al., 2008; Kolman et al., 2011). В настоящее время признаётся симпатрическое обитание обоих видов в течение нескольких сотен лет в Северном и Балтийском морях со времен Средневековья или даже раньше (Porovic et al., 2014). Предполагается, что *A. oxyrinchus* присутствовал в этих водах с конца ледникового периода и был заменен экспансией европейского осетра из Средиземноморья и Пиренейского полуострова (Nikulina, Schmölcke, 2017). Таким образом, по современным представлениям, длиннорылый осётр повсеместно обитал в исторический промежуток времени в бассейне Балтийского моря

Независимо от названия для населения прибрежных районов водоёмов бассейна Балтийского моря осётр на протяжении тысячелетий, как минимум, с эпохи неолита до конца XIX в. был значимым объектом промысла, на что указывают как археологические находки костных частей осетра (Лебедев, 1960; Makowiecki, 2003; Nikulina, Schmölcke, 2016), так и относительно современные упоминания о кухонных остатках, поимках осетра и торговле, начиная с первого тысячелетия нашей эры (Sloka, 1979, 2000; Benecke, 1986; Lampen, 1997) и до конца XX в.

Объемы промысла в Балтике на порядок уступали уловам осетровых рыб на Каспии и Азове. В период благополучного состояния популяции осетра в Балтике с XIII по начало XX вв. его улов составлял в среднем 200 т в год, в то время как улов на Каспии до XVII столетия достигал 50 тыс. т в год, сократившись к концу XIX в. в среднем до 30 тыс. т (Державин, 1947), а экспорт икры из Азовского бассейна в 1760 г. составил 177 т (<https://starcheolog.livejournal.com/217834.html>). При этом осетровый промысел и экспорт ещё при Петре I были «взяты в казну», и лимиты на вылов осетровых рыб отдавали на откуп с торгов. В середине XIII века Тевтонские рыцари, захватившие территорию языческой Пруссии (в настоящее время Калининградская область), установили государственную монополию на ловлю осетра. Были выстроены орденские осетровые избы, где принимали осетров: рыбаки обязаны были свой улов осетра сдавать ордену. Ежегодный улов осетров достигал здесь 1000 экз. В XVIII в. с ростом населения прибрежных европейских городов осетр уже стал более доступен простому народу, хотя эту рыбу, прежде всего, подавали на королевский стол. Кроме того, был значительный

объём экспорта осетра, преимущественно в Англию (Debus, 1996; Gessner, 2000; Довыденко, 2004). Относительная простота поимки осетра, доступность мест его обитания, крупные размеры рыбы делали добычу несложным и выгодным делом. Уже в раннем средневековье было заметно снижение численности популяции балтийских осетров. В начале двадцатого века балтийский осетр в Европе все еще имел существенное промысловое значение: его уловы превышали 200 т в год, причем половина этого улова поступала из Гданского залива и реки Висла (Kolman et al., 2011). В 1933-1934 гг. вылов осетра в Европейской Атлантике (не включая Средиземноморский бассейн) составил чуть больше 13 т (Державин, 1947). При возросшем прессе рыболовства, а также последующих инженерно-гидрологических преобразованиях мест обитания этот ресурс быстро иссяк.

Запас балтийского осетра подвергался коммерческой эксплуатации до 1930-х годов. В 1932 г. польским правительством был инициирован полный запрет на промысел осетра (Witkowski, 1992).

Первые сведения об осетре в Российской части бассейна Балтики относятся к дописьменному периоду истории. При раскопках Старо-Ладожского городища, располагавшегося в VII-X вв. в нижнем течении р. Волхов, были найдены многочисленные остатки костей осетра. По этим остаткам были определены размеры добывавшихся тогда рыб 130-360 см (Лебедев, 1960). Древнерусские летописи указывают осетров, как обычный объект дани, поставляемой новгородским князьям (Ульянов, 2010). В XVIII-XIX вв. балтийский осётр считался обычной промысловой рыбой и вылавливался главным образом в р. Неве и бассейне Ладожского озера. Предполагается, что в Ладожском и Онежском озерах, помимо заходящей проходной, обитала автохтонная жилая популяция (Берг, 1948; Vladykov, Greeley, 1963). В Ладоге крупные особи промыслились у западного побережья озера и вблизи устьев рек Бурная, Видлица, Олонка, Сясь, а также Волхов, где предположительно были нерестилища осетра (Кудерский, 1996). В 1851 г. близ Петербурга, «был вытащен неводом осетр более чем в 210 кг, включавший в себе до 80 кг икры» (Сабанеев, 1982).

Российские уловы осетра в Балтийском бассейне никогда не отличались большими объёмами. Отечественные исследователи рыболовства в России середины XIX в. К.Ф. Бэр, Н.Я. Данилевский (Исследования о состоянии..., 1860, 1875) лишь вскользь упоминали о незначительном лове осетра в северо-западном бассейне. Л.П. Сабанеев в 1875 г. в своём труде о рыболовном деле отметил, что осётр в Балтийском, «Немецком», Средиземном морях и в Атлантическом океане «уже давно сделался большой редкостью» (Сабанеев, 1982). В начале XX в. осетр в реке Волхов был отнесён к категории редких и непромысловых рыб (Домрачев, Правдин, 1926). Однако популяция осетра дольше всех сохранялась в восточной части Балтийского моря. Вероятно, её сохранность обеспечивалась малой рыночной ценностью местного осетра, конкуренцию которому составлял осетровый промысел в бассейнах Каспийского и Азовского морей. В 1930-х гг. ежегодный улов осетра в российской части Балтики составлял около 6 тонн (Чаликов, 1949). Впоследствии уловы осетра измерялись не тоннами, а экземплярами. После Второй Мировой войны поимки осетров почти прекратились. После поимки в 1996 г. самки осетра весом 135 кг и длиной тела 2,7 м в территориальных водах Эстонии недалеко от острова Саарема (Paaver, 1996) достоверных данных о последующих поимках не поступало, и было выдвинуто предположение, что осетр в Балтийском бассейне – исчезнувший вид.

Тем не менее, восточно-атлантические воды не лишились осетра. Есть данные о присутствии в настоящее время отдельных особей осетра в Северном море. В частности, в 2006 г. около города Северн (Великобритания) был выловлен осетр, его отнесли к виду *A. oxyrinchus* (Gessner et al., 2011). У берегов Астурии (Испания) в 2010 г. была поймана 120-килограммовая самка осетра, также отнесенная к виду *A. oxyrinchus* (Тренклер,

2016). В 1996 г. на акватории от Испании до Англии количество осетров в прилове оценивалось ежегодно до 450 особей; в конце 1990-х гг. – от 100 до 400 особей ежегодно. В 2000-х годах приловы осетров существенно снизились (Geßner et al., 2010). Предполагается, что эти особи добрались до берегов Европы от побережья Канады. Во Франции сохранилась популяция осетра *A. sturio* с доказанным воспроизводством в р. Жиронде и ее притоках (Elvira et al., 2000).

Драматичный спад численности популяции осетра в конечном итоге привёл к внесению его в Красную книгу Европейского Союза. С принятием Вашингтонской Конвенции о торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения, в 1973 г. он был включен в Приложение I списков СИТЕС. Кроме того, ЕС предпринял попытку защитить не только вид, но и обеспечить меры по защите его среды обитания в соответствии с Директивой ЕЭС о Среде обитания от 21 мая 1992 г. 92/43/ЕЕС (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A01992L0043-20130701>). В 1998 г. осётр был включён в Приложения Конвенции о сохранении дикой природы Европы и естественных местообитаний (Бернская конвенция, Берн, 19 сентября 1979 г.) (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A01992L0043-20130701>), что наложило запрет на вылов осетровых рыб в международных водах. Однако, на фоне загрязнения среды обитания и нерестилищ, а также гидростроительства и спрямления русел рек все эти меры не имели успеха.

Указанные выше мероприятия относились к осетру, отнесённому к виду *Acipenser sturio*. Таким образом, международное сообщество, в том числе и научное, до недавних пор не принимало во внимание возможность существования в бассейне Балтийского моря близкородственного вида *A. oxyrinchus*, который не включен ни в Приложения Бернской конвенции, ни в Директиву 92/43/ЕЕС. Этот вид также не включён в Приложение I «Вымершие и находящиеся под угрозой исчезновения пресноводные рыбы на уровне Европы и ЕС» Красного списка Евросоюза. В настоящее время европейские популяции атлантического осетра *A. oxyrinchus* имеют статус «исчезнувших на региональном уровне» (ICES, 2019). В 2020 г. «исчезнувший» балтийский осётр «аборигенной популяции» *A. oxyrinchus* был занесён в Красную книгу Российской Федерации со статусом редкости «вероятно исчезнувший» и статусом угрозы исчезновения «исчезнувший в Российской Федерации».

Ещё в XIX в., в 1886 и 1891 гг., в Германии для сохранения осетра были предприняты попытки его искусственного оплодотворения в целях воспроизводства, но разовые мероприятия не увенчались дальнейшим успехом из-за отсутствия одновременной доступности зрелых самцов и самок. Подобные попытки были позднее осуществлены в районе р. Вислы в 1906 г., в р. Айдере в 1953 г., но также безуспешно (Gessner, 2000).

В 2018 г. Хельсинской комиссией по защите морской среды Балтийского моря (ХЕЛКОМ) был разработан и принят на 40-й сессии в марте 2019 г. План действий для защиты и восстановления балтийского осетра *Acipenser oxyrinchus* на период 2019-2029 гг. (HELCOM-Action Plan..., 2019). Основанием для реинтродукции атлантического (длиннорылого) осетра *A. oxyrinchus* из северо-американского ареала в бассейн Балтийского моря послужили молекулярно-генетические исследования, показывающие заселение этим видом северных европейских морей и рек, как тысячелетия назад, так и в исторический период.

Наибольшим генетическим сходством (общим гаплотипом) с балтийским осетром обладает его североамериканский собрат, населяющий р. Гудзон и реки севера Канады до р. Святого Лаврентия (Wirgin et al., 2000).

В настоящее время практически всеми странами Балтики и Северного моря разработаны и выполняются Планы по восстановлению *A. oxyrinchus* в своих бассейнах. Генетический материал для реинтродукции этого вида получают в Канаде. Так, в Польше

Программа сохранения атлантического осетра проводится уже в течение более 20 лет. Оплодотворённая икра осетра транспортируется из Канады для создания маточного стада этого вида. Часть мальков выпускается в местные реки (Kolman et al., 2014; Forr-Bayat et al., 2015). В Литовской Республике программа по восстановлению осетра в р. Неман была начата в 2010 г., с тех пор было выпущено более 100 тыс. особей, которые встречаются в Куршском заливе (Гущин и др., 2018). В 2012 г. к Программе реинтродукции *A. oxyrinchus* присоединилась Латвия: с 2013 по 2015 г. Институт безопасности пищевых продуктов, здоровья животных и окружающей среды (БИОР) выпустил 4500 шт. молоди осетра в возрасте 1+ и 2+ массой 160-605 г, длиной 36-52 см. Основная часть выпущенной молоди осетров была снабжена метками и обнаружена впоследствии в Рижском и Пярнуском заливах. Почти весь выпущенный осетр показал хорошие рост, упитанность и отсутствие патологий (Purvina, Medne, 2018). В Эстонии выпуск мальков осетровых рыб начался в 2013 г., когда самолетом из Канады была доставлена первая партия молоди. Позже в эстонские воды было запущено потомство племенных осетров, воспроизводимых в Германии. В последние годы в р. Нарву было запущено 100 тыс. молодых особей *A. oxyrinchus* разного возраста. Около полутора тысяч рыб были снабжены внешними метками и двадцать пять – метками-передатчиками. Вознаграждение рыбаку, сообщившему о метке, составляет 5-6 евро. Недавние исследования и отчеты рыбаков показывают, что осетры активно распространились вдоль побережья Финского залива, эстонскую рыбу находили и у берегов Финляндии ([http://www.idafishing.ee/news/zaselennye\\_v\\_reku\\_narva\\_osetry\\_chuvstvujut\\_sebja\\_khorosho/2021-09-14-2726](http://www.idafishing.ee/news/zaselennye_v_reku_narva_osetry_chuvstvujut_sebja_khorosho/2021-09-14-2726)). В прибрежной зоне Калининградской области на глубинах до 20 м также фиксируются поимки *A. oxyrinchus* в ставные сети (Шибаяев и др., 2024).

В Российской Федерации по инициативе Межведомственной ихтиологической комиссии и в соответствии с поручением руководителя Федерального агентства по рыболовству И.В. Шестакова на базе ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» в 2021 г. была разработана и утверждена Научно-производственная программа по восстановлению балтийского осетра в России. В мае 2021 г. ВНИРО был подписан контракт на поставку оплодотворённой икры с осетровой фермы Северной Канады. Было получено разрешение Россельхознадзора на ввоз оплодотворённой икры атлантического осетра. Со стороны канадских фермеров отказа не было, но ввоз икры был остановлен Канадской ветеринарной инспекцией под предлогом необходимости пройти двухлетний карантин на территории Канады. В марте 2022 г. партнёры в ХЕЛКОМ предложили оказать содействие ВНИРО в получении оплодотворённой икры. Однако вскоре от них пришёл отказ по причине обострения политических событий. Исполнителями Программы восстановления балтийского осетра было принято непростое решение об изъятии необходимого количества особей осетра в Российских территориальных водах Балтики и отправить на осетровый рыбоводный завод для формирования маточного стада с дальнейшим получением зрелых половых продуктов. Но неоднократные обращения в Росприроднадзор за разрешением изъятия осетра из дикой природы в зоне российской юрисдикции в Балтике получали отказ. Таким образом, Росприроднадзор, внося исчезнувший вид *A. oxyrinchus* в Красную книгу России, своим запретом поставило под угрозу восстановление популяции осетра в Российских водах Балтики. Заметим, что, согласно Красной книге России, этот вид имеет приоритетный природоохранный статус, при котором «требуется незамедлительное принятие комплексных мер, включая разработку и реализацию стратегии по сохранения и/или программы по восстановлению (интродукции)» (Приказ Минприроды..., 2020).

Восстановление популяции осетра в бассейне Балтийского моря – не только важное природоохранное мероприятие, вклад в сохранение биоразнообразия, но и перспектива возобновить, пусть и небольшой, коммерческий промысел этого вида. Как показывают многочисленные поимки подросших экземпляров длиннорылого осетра в

бассейне Балтийского моря, этот реаклиматизант способен приспособиться и существовать в этой части своего исторического ареала.

Воссоздать самовоспроизводящуюся популяцию осетра в бассейне Балтики при современном состоянии зарегулирования рек и разрушения нерестилищ едва ли возможно. Тем не менее, представляется возможным создать и поддерживать за счёт искусственного воспроизводства устойчивое стадо жилого осетра, например, в бассейне Ладоги на основе пастбищного рыбоводства. Мероприятия по восстановлению и пополнению запаса балтийского осетра значимы не только с точки зрения биологического разнообразия, но и для пополнения списка объектов рыболовства особо ценным видом водного биоресурса. Разработчики Программы, её кураторы и последователи не теряют надежды на её реализацию.

Работа выполнена в соответствии с Государственным заданием.

#### Список литературы

1. Берг Л.С. Балтийский осетр // Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Ч. 1. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1948. С. 93–95.
2. Гуцин А.В., Лысанский И.Н., Кольман Р. Распределение и питание остроносого осетра *Acipenser oxyrinchus* в Куршском заливе // Региональная экология. 2018. № 1 (51). С. 90-95. DOI: 10.30694/1026-5600-2018-1-90-95
3. Державин А.Н. Воспроизводство запасов осетровых рыб. Баку: Изд-во АН Азерб. ССР, 1947. 247 с.
4. Довыденко Л.В. Тайны Пиллау. Очерки из истории города. Калининград: Изд-во «Терра Балтика», 2004. 120 с.
5. Домрачев П.Ф., Правдин И.Ф. Рыбы оз. Ильменя и реки Волхова и их хозяйственное значение // Материалы по исследованию реки Волхова и его бассейна. Вып. 10. Первый полутом. Под общей редакцией В.М. Родевича. Исследования рыбных промыслов оз. Ильменя и р. Волхова. – Издание строительства Государственной Волховской гидроэлектрической силовой установки. Л., 1926. С. 1-294.
6. Исследования о состоянии рыболовства в России. Том I. Рыболовство в Псковском и Чудском озёрах и в Балтийском море. Отчёты начальника Комиссии К.М. Бэра. Санкт-Петербург, 1860.
7. Исследования о состоянии рыболовства в России. Том IX. Описание рыболовства в северо-западных озёрах. Составитель Н.Я. Данилевский. С.-Петербург, 1875. 151 с.
8. Кудерский Л.А. Осетровые рыбы Онежского и Ладожского озёр / Рыбы Онежского озера и их хозяйственное использование : Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. 1983. Вып. 205. С. 128-149.
9. Кудерский Л.А. Промысел осетра в Ладожском озере: история и финал // Рыбоводство и рыболовство. 1996. № 2. С. 13-14.
10. Лебедев В.Д. Пресноводная четвертичная ихтиофауна европейской части СССР. М.: Изд-во МГУ, 1960. С. 39-44.
11. Приказ Минприроды России от 24.03.2020 № 162 «Об утверждении Перечня объектов животного мира, занесённых в Красную книгу Российской Федерации» (Зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 02.04.2020).
12. Сабанеев Л.П. Рыбы России. Жизнь и ловля (уженье) наших пресноводных рыб. В 2 томах. Т. 2-й. М.: Физкультура и спорт, 1982. 575 с.
13. Тренклер И.В. Европейский осетр *Acipenser sturio* L.: II. Балтийская популяция, дискуссии о систематическом статусе, попытки интродукции *Acipenser oxyrinchus* в Балтийское море. Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2016. № 7. С. 43–54.
14. Ульянов А.Г. История промысла и возможности восстановления балтийского осетра в Юго-Восточной Балтике / Рыба и морепродукты. 2010. № 2 (50). С. 30-33.
15. Чаликов Б.Г. Атлантический осетр – *Acipenser sturio* L. / ред. Расс Т.С. // Промысловые рыбы СССР. М.: Пищепромиздат, 1949. С. 69-71.
16. Шибасев С.В., Новожилов О.А., Алдушин А.В., Бурбах А.С., Алдушина Ю.К., Гулина Т.С., Барановский П.Н., Федоров Л.С. Исследование видового состава прибрежного ихтиоценоза Балтийского моря в пределах Калининградской области // Вопросы рыболовства. 2024. Том 25. № 1. С. 49-59. DOI: 10.36038/0234-2774-2024-25-1-49-58
17. Artyukhin E., Vecsei P. On the status of Atlantic sturgeon: conspecificity of European *Acipenser sturio* and North American *Acipenser oxyrinchus* // Journal of Applied Ichthyology. 1999. Vol. 15. P. 35-37.
18. Benecke N. Some remarks on sturgeon fishing in the southern Baltic region in medieval times // Fish and Archaeology (ed. by D.C. Brinkhuizen & A.T. Clason). Oxford: Archaeopress, 1986. P. 9-17.

19. Debus L. The decline of the European sturgeon *Acipenser sturio* in the Baltic and North Sea // Conservation of endangered freshwater fish in Europe (ed. by A. Kirchofer and D.R. Müller). Basel^ Birkhäuser, 1996. P. 147-156.
20. Elvira B. (ed.). Symposium on Conservation of the Atlantic Sturgeon *Acipenser sturio* L., 1758 in Europe // Boletín. Instituto Español de Oceanografía. 2000. Vol. 16 (1-4). 254 p.
21. Fopp-Bayat D, Kuciński M., Liszewski T., Teodorowicz T., Łączyńska B., Lebeda I. Genetic protocol of Atlantic sturgeon *Acipenser oxyrinchus* (L.) fry for restocking the Vistula river, Poland // Journal of Survey in Fisheries Sciences. 2015. Vol. 2. Issue 1. P. 1-10.
22. Kirschbaum F., Williot P., Fredrich F., Tiedemann R. & Gessner J. Restoration of the European Sturgeon *Acipenser sturio* in Germany / Biology and Conservation of the European Sturgeon *Acipenser sturio* L. 1758. The Reunion of the European and Atlantic Sturgeons. 2011. P 309–333.
23. Kirschbaum F., Wuertz S., Williot P., Tiedemann R., Arndt G-M., Anders E., Krüger A., Bartel R., Gessner J. Prerequisites for the Restoration of the European Atlantic Sturgeon, *Acipenser sturio* and the Baltic Sturgeon (*A. oxyrinchus* × *A. sturio*) in Germany // Biology. Conservation and Sustainable Development of Sturgeons. Springer Science + Business Media B.V., 2009. P. 385-401.
24. Gessner J. Reasons for the decline of *Acipenser sturio* L., 1758 in central Europe, and attempts at its restoration // Boletín-Instituto Español de Oceanografía. 2000. Vol. 16. P. 117-126.
25. Gessner J., Arndt G-M., Fredrich .F, Ludwig A., Kirschbaum F., Bartel R., von Nordheim H. Remediation of Atlantic Sturgeon *Acipenser oxyrinchus* in the Oder River: Background and First Results. // In: Williot P., Rochard E., Desse-Berset N., Kirschbaum F., Gessner J. Biology and Conservation of the European Sturgeon *Acipenser sturio* L. 1758 Springer, Heidelberg, Dordrecht, London. 2011. P. 539-560.
26. Geßner J., Tautenhahn M., von Nordheim H., Borchers T. Nationaler Aktionsplan zum Schutz und zur Erhaltung des europäischen Störs (*Acipenser sturio*). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), Bonn. 2010. 84 p.
27. HELCOM-Action Plan for the protection and recovery of the Baltic sturgeon *Acipenser oxyrinchus* // HELCOM 40. 2019. Vol. 3-4. 93 p.
28. ICES. Baltic Sea Ecoregion – Ecosystem overview. Version 2: 21 January 2019, 25.
29. Kolman R., Kapusta A., Morzuch Z. History of the sturgeon in the Baltic sea and lake Ladoga. // In: Biology and Conservation of the European Sturgeon *Acipenser sturio* L. 1758 // Ed. By P. Williot E. Rochard N. Desse-Berset F. Kirschbaum J. Gessner – Springer. 2011. P. 221-226.
30. Lampen, A. Fischerei und Fischhandel im Mittelalter: Wirtschafts-und sozialgeschichtliche Untersuchungen nach urkundlichen und archäologischen Quellen des 6. bis 14. Jahrhunderts im Gebiet des Deutschen Reiches. Matthiessen, Husum, 1997.
31. Ludwig A., Debus L., Lieckfeldt D., Wirgin I., Benecke N., Jenneckens I., Williot P., Waldman J., Pitra C. When the American sea sturgeon swam east. Nature. 2002. Vol. 419. P. 447-448.
32. Ludwig A., Arndt U., Lippold S., Benecke N., Debus L., King T.L., Mitsumara S. Tracing the first steps of American sturgeon pioneers in Europe // BMC Evolutionary Biology. 2008. Vol. 8. P. 214-221. DOI: 10.1186/1471-2148-8-221
33. Makowiecki D. History of fish from the Holocene period in Polish lowlands as seen through archeological studies. – Wyd. Instytut Archeologii i Etnologii PAN, Poznan. 2003.
34. Nikulina E.A., Sehmölcke U. Reconstruction of the historical distribution of sturgeons (Acipenseridae) in the eastern North Atlantic based on ancient DNA and bone morphology of archaeological remains: implications for conservation and restoration programmes // Diversity and Distributions. 2016. Vol. 22, Iss. 10. P.1036-1044. DOI: (10.1111/ddi.12461)
35. Paaver T. A common or atlantic sturgeon, *Acipenser sturio* was caught in Estonian water of Baltic Sea // Sturgeon Quartely. 1996. Vol. 4. P. 3-7.
36. Popović D., Panagiotopoulou H., Baca M., Stefaniak K., Mackiewicz P., Makowiecki D., Stankovic A. The history of sturgeon in the Baltic Sea // Journal of Biogeography. 2014. Vol. 41(8). P. 1590-1602.
37. Purvina S., Medne R. Reintroduction of sturgeon, *Acipenser oxyrinchus*, in the Gulf of Riga, East-Central Baltic Sea // Fisheries & Aquatic Life. Archives of Polish Fisheries. 2018. Vol. 26. P. 39-46. DOI 10.2478/aopf-2018-0005
38. Sloka J. Zivis senajās X– XIV gs. apmetnēs Daugavas krastos (In Latvian: Fish in the ancient settlements near the Daugava river in X– XIV centuries) // Latvijas PSR Zinātņu Akadēmijas Vēstis. 1979. Vol. 9. P. 51-67.
39. Sloka J. Fish bone findings in the Cesis Medieval Castle (13<sup>th</sup>–18<sup>th</sup> centuries) (O.T.) Zivju kaul atradumi senajā Cēsu mūra pilī (13–18. gs) // Latvijas vēstures institūta žurnāls. 2000. Vol. 1. P. 126-130 (In Latvian).
40. Vladykov V.D., Greeley J.R. Order Acipenseroidei // Fishes of North Atlantic Sears Found Mar. Res., Yale Univ. 1963. № 1(3). P. 24-60.
41. Wirgin I., Waldman J. R., Rosko J., Gross R., Collins M-R., Rogers S-G., Stabile J. Genetic structure of Atlantic sturgeon populations based on mitochondrial DNA control sequences // Transactions of the American Fisheries Society. 2000. Vol. 129. P. 476-486.

42. Witkowski A. Threats and protection of freshwater fishes in Poland // Neth. J. Zool. 1992. Vol. 42. P. 243-259.
43. Williot P., Rouault T., Pelard M., Mercier D., Lepage M., Davail-Cuisset B., Kirschbaum F., Ludwig A. Building a broodstock of the critically endangered sturgeon, *Acipenser sturio* L: problems associated with the adaptation of wild-caught fish to hatchery conditions // Cybium. 2007. Vol. 31. P. 3-11.

## ЛАДОЖСКАЯ ПАЛИЯ – ЦЕННЫЙ ОБЪЕКТ ВОСПРОИЗВОДСТВА РЫБНЫХ ЗАПАСОВ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РОССИИ

П.А. Виноградов, В.М. Голод, В.Ю. Паньков, П.А. Попов

ФСГЦР филиала ФГБУ «Главрыбвод», п. Ропша, Ленинградская область,  
[ropshatrout@yandex.ru](mailto:ropshatrout@yandex.ru)

Аннотация: федеральный селекционно-генетический центр рыбоводства (ФСГЦР филиал ФГБУ «Главрыбвод») ведет работы по сохранению и восстановлению популяции ладожской палии. При этом здесь применена одна из наиболее результативных методик — формирование маточных стад производителей в заводских условиях. Это позволяет существенно увеличить количество выпускаемой молоди и пополнить промысловые запасы даже в условиях острого дефицита производителей. Средняя масса выпускаемой молоди более 50 г, непродолжительное время выращивания и минимальное взаимодействие с человеком обеспечивают максимально возможный промвозврат.

Ключевые слова: Ладожская палия, воспроизводство, промвозврат

В Проекте развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 г. планируется довести производство продукции аквакультуры до 600 тыс. т. При этом арктическая зона России, в частности Северо-Запад европейской части, где находится 2/3 водного фонда европейской части России, обладает значительным потенциалом для ее развития. Здесь имеется обширный потребительский рынок, мощный экономический, научно-технический и образовательный потенциал г. Санкт-Петербурга, г. Петрозаводска и г. Мурманска.

Среди видов рыб, обитающих в северных водоемах, особое место занимает род *Salvelinus* (гольцы). Арктический голец представляет собой комплексный вид. К нему относятся 9 форм, которые все вместе рассматриваются как *S. alpinus complex*. Они широко распространены в полярных водах Кольского полуострова, Шпицбергена и Новой Земли, по всему сибирскому побережью Северного Ледовитого океана, северной и восточной части Тихого океана. Встречаются как проходные формы этого вида (Новая Земля, бассейн Карского моря), так и жилые формы (ладожская и онежская палия, даватчан из оз. Фролиха в Забайкалье, боганидская палия и голец Дрягина из таймырских озер, каменный голец из бассейна р. Камчатка, длинноголовый и белый гольцы из оз. Кроноцкое на Камчатке и др.) (Савваитова, 1989; Атлас..., 2003). В Европейской части России жилые формы этого комплекса – палия (*S. lepechini* Gmelin) встречаются в Ладожском, Онежском и многих других озерах Карелии. Везде они являются ценным объектом местного промысла. Для выбора объекта воспроизводства очень важно, что жилые формы гольца не покидают российских территориальных вод.

Перспективность арктического гольца для целей аквакультуры на Севере определяется его биологическими и физиологическими особенностями. Оптимальная температура его роста 10-12 °С, что ниже, чем у радужной форели и атлантического лосося. Он может расти как в пресной, так и в соленой воде. О потенциале накопления массы свидетельствуют размеры проходных форм, длина которых достигает 1 м, а масса – 12-15 кг. Пресноводные формы мельче, однако, в крупных озерах, таких Ладожское и Онежское, местные палии могут достигать длины 70-80 см и массы 7 кг и более (Китаев и др., 2005).

Опыты по воспроизводству и выращиванию представителей этого рода на территории России имеют давнюю историю и проводились русскими монахами в прошлом веке на Ладожском озере. Валаамские монахи, как писал игумен Гавриил в 1896 г., собирали икру палии, проводили ее инкубацию, а подращенных личинок (до 40

тыс. шт. ежегодно) выпускали в Ладожское озеро. В настоящее время работы по сохранению и восстановлению ладожской палии продолжаются на базе Федерального селекционно–генетического центра рыбоводства (ФСГЦР филиал ФГБУ «Главрыбвод»). При этом здесь применена одна из наиболее результативных методик – формирование маточных стад производителей в заводских условиях (Михайленко, 1994; Павлисов, 2017; Шиндавина и др., 2021). Это позволяет существенно увеличить количество выпускаемой молоди и пополнить промысловые запасы даже в условиях острого дефицита производителей. В последние годы ФСГЦР ежегодно выпускает в Ладожское озеро около 200 тыс. шт. молоди навеской более 50 г.

Основной задачей при искусственном воспроизводстве рыб с целью пополнения природных популяций является повышение выживаемости выпущенных рыб. Уровень выживаемости определяется способностью рыб противостоять хищникам и приспосабливаться к условиям окружающей среды. Анализ литературных данных (Yohnston, 2002) показывает, что именно средняя масса (навеска) молоди при выпуске ее в естественный водоем играет решающую роль в дальнейшей выживаемости рыб. В то же время, слишком длительное содержание рыб в искусственных условиях тормозит развитие поведенческих навыков, необходимых для добывания пищи и избегания хищников в условиях естественного водоема. Например, американские исследователи провели анализ более чем 20-летнего опыта работы по воспроизводству лососевых рыб и установили, что основным фактором, влияющим на выживаемость выпущенной молоди, является пресс хищных рыб. На рыбоводных заводах Финляндии, специализирующихся на воспроизводстве сайменской палии, преимущественно выпускают молодь навеской 40 г (устное сообщение).

В Ладожском озере палия распространена главным образом в центральной и северной частях озера. Представлена двумя экологическими формами: лудной (красной) и ямной (серой). По темпам линейного и весового роста ей нет равных среди представителей этого вида в других озерах Северо-Запада. По продолжительности жизни относится к рыбам со средним жизненным циклом. Предельно установленный возраст у исследованных рыб - восемнадцать лет и масса 9,5 кг. В довоенный период в Ладожском озере добывали до ста тонн этой рыбы. Однако, после 1950 гг. прошлого века отмечается сокращение численности и, как следствие, снижение вылова палии. В 1970-х гг. начались работы по выращиванию молоди палии на рыбоводных заводах. Тем не менее, численность этого вида продолжала сокращаться, что послужило причиной запрета промышленного лова. С 2005 г. работы по искусственному воспроизводству палии становятся регулярными и объемы вылова ее увеличились, хотя промысловое стадо по-прежнему находится в депрессивном состоянии.

Благодаря индустриальной технологии выращивания молоди палии в ФСГЦР сеголетки достигают средней массы 30-70 г, а годовики более 100 г. Указанные показатели достигаются благодаря увеличению вегетационного сезона за счет сокращения времени инкубации икры на воде ключевого происхождения с температурой 6-8 °С и незначительного подогрева воды (до 10 °С) на начальных этапах выращивания молоди.

Выпуск сеголеток и годовиков в последние годы производится в соотношении примерно 3:1, что связано с пожеланиями заказчиков, компенсирующих ущерб, причиненный водным биологическим ресурсам. Оплачивать выпуск годовиков оказывается экономически более выгодно, поскольку промысловый возврат от их выпуска рассчитывается, исходя из величины 17 %, тогда как промысловый возврат от выпуска сеголеток рассчитывается исходя из величины лишь 6 %. Однако, в приложении к «Методике исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам», утвержденной приказом Росрыболовства от 31 марта 2020 г. № 167 величина

промыслового возврата 6% относится не к возрасту рыбы, а к молоди палии навеской 10 г. Соответственно, промвозврат 17% относится не к годовикам, а к молоди крупнее 50 г.

Анализ литературных данных и практических наработок ФСГЦР согласуются с результатами, полученными Карельским научным центром РАН совместно с «Карелрыбводом» на основе анализа данных 20-летней работы по воспроизводству ладожской палии (Китаев и др., 2005).

Выпуск сеголеток массой 50 г, выращенных на базе ФСГЦР, производится в бухту Моторную Ладожского озера в октябре – декабре при снижении температуры воды ниже 10 °С, но не ниже 4 °С. Время и место выпуска сеголеток определены на основе особенностей биологии и физиологии палии. Палия является холодноводной рыбой, поэтому выпуск в воду с указанной температурой с одной стороны, значительно снижает стресс, связанный с процедурой выпуска (просчет рыбы, погрузка, перевозка, выгрузка), а с другой стороны облегчает адаптацию молоди к естественной среде. Если у большинства рыб, населяющих Ладожское озеро, пищевая активность при температурах воды, близких к 0 °С сильно снижается или прекращается совсем, то палия продолжает активно потреблять корм и расти до температуры 1,5-0,5 °С.

В толще воды молодь палии держится только на самом начальном этапе развития – в период питания планктонными организмами. В дальнейшем уходит на глубину 20 и более метров, и переходит на питание бентосом. Соответственно, сеголетки после выпуска постепенно переходят на питание бентосом, продукция которого в Ладожском озере не является лимитирующим фактором. Они активно питаются и растут еще минимум месяц вследствие благоприятного температурного режима, определяемого большой теплоемкостью озера. Таким образом, условия Ладожского озера в указанный период – температурный режим, кормовая база и осеннее снижение активности хищников, а также приспособительные механизмы рыб – позволяют им адаптироваться к естественным условиям и подготовиться к зимовке.

Основными хищниками Ладожского озера, представляющими опасность для молоди палии, являются щука, судак и пресноводный ладожский лосось. Из них щука – литоральный засадный хищник, места кормежки которого, практически, не пересекаются с местами нагула молоди палии, основными объектами питания лосося являются корюшка и ряпушка, а судака – корюшка, ряпушка, окунь, плотва и ерш. Кроме того, сеголетки палии массой 50-70 г при длине тела 15-25 см практически выходят из размерной доступности для этих хищников. Таким образом, гибель выпущенных сеголеток палии от пресса хищников будет минимальной. Дальнейшее выращивание молоди до стадии годовика с увеличением средней массы до 100 и более граммов с целью выпуска в естественные водоемы нецелесообразно, так как практически все резервы вида реализуются уже на стадии сеголетка, а дополнительный период содержания в искусственных условиях в течение 6-7 месяцев может в дальнейшем только ослабить приспособительные реакции организма.

Таким образом, как свидетельствует наш и в целом мировой опыт работ по воспроизводству ценных видов рыб, в процессе выращивания молоди, предназначенной для выпуска в естественные водоемы необходимо совместить два процесса:

- сократить срок пребывания рыбы в искусственных условиях для облегчения адаптации к естественным условиям после выпуска;
- за период выращивания добиться максимального размера (веса) для снижения пресса хищных рыб.

Этим условиям в полной мере отвечает технология выращивания ладожской палии в ФСГЦР филиале ФГБУ «Главрыбвод».

### Список литературы

1. Атлас пресноводных рыб России. М.: «Наука», 2003. Т. 1. 383 с.
2. Савваитова К.А. Арктические гольцы: (Структура популяционных систем, перспективы хозяйственного использования). М.: Агропромиздат, 1989. 223 с.
3. Китаев С.П., Ильмаст Н.В., Михайленко В.Г. Кумжи, радужная форель, гольцы и перспективы их использования в озерах Северо-запада России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. 110 с.
4. Михайленко В.Г. Биотехника разведения озерной формы арктического гольца // Рыбное хозяйство. 1994. № 2. С. 48-49.
5. Павлисов А.А. Влияние качества половых продуктов и сочетаемости производителей заводского стада ладожской палии (*Salvelinus lepechini*) на особенности раннего развития потомства // Вестник рыбохозяйственной науки. 2017. Т. 4 (16). С. 27-38.
6. Шиндавина Н.И., Никандров В.Я., Лукин А.А. Критерии оценки эффективности искусственного воспроизводства лососевых рыб (на примере самок ладожской палии *Salvelinus lepechini* Gmelin 1988) // Успехи современной биологии. 2021. Т. 141, № 3. С. 1-9.
7. Yohnston G. Arctic Char Aquaculture. Northern Biomes Ltd. British Columbia, Canada. 2002. 284 p.

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ НОРМАТИВОВ КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ

О.В. Воробьева<sup>\*.\*\*</sup>, Л.А. Духова<sup>\*\*</sup>, Е.В. Оганесова<sup>\*.\*\*</sup>

<sup>\*</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

<sup>\*\*</sup> *ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва*

*Аннотация: предложены методические подходы к разработке региональных нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК<sub>рх</sub>), включающие критерии выбора контрольного водного объекта, на воде из которого будут проводиться токсикологические исследования, проведение мониторинга содержания нормируемого вещества, адаптацию гидробионтов к воде из контрольного водного объекта и минимальный набор токсикологических испытаний, достаточный для разработки нормативов.*

*Ключевые слова: предельно-допустимые концентрации (ПДК), региональные нормативы качества воды, гидрохимические особенности водных объектов, токсичность, чувствительность тест-организмов*

Одним из важнейших вопросов экологии является оценка допустимого уровня воздействия на окружающую среду. Нормативы допустимого воздействия на водные объекты разрабатываются на основании предельно допустимых концентраций химических веществ, радиоактивных веществ, микроорганизмов и других показателей качества воды в водных объектах.

Нормативом качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения является предельно допустимая концентрация вещества (ПДК<sub>рх</sub>), при которой в водном объекте не возникает последствий, снижающих его рыбохозяйственную ценность. Экспериментальное обоснование ПДК<sub>рх</sub> веществ – система комплексных (токсикологических, гидрохимических, органолептических) испытаний с использованием в качестве тест-объектов представителей всех групп и экологических форм гидробионтов от бактерий до рыб. Все исследования проводят в стандартизованных лабораторных условиях, приближенных к оптимальным для каждого тест-организма. ПДК<sub>рх</sub> являются основой для оценки качества воды по уровню загрязнения водных объектов, а также используются для расчета нормативов допустимых сбросов (НДС) для водопользователей.

Для веществ двойного генезиса (попадающих в воду в результате воздействия как природных, так и антропогенных факторов) применение ПДК<sub>рх</sub>, являющихся результатом только лабораторных исследований, может приводить к неверным оценкам состояния воды водных объектов и некорректному расчету НДС. Для обеспечения эффективности рыбохозяйственного нормирования должны быть решены две задачи – учет неоднородности природного фона нормируемых веществ и влияние состава воды на проявление их токсичности.

Неоднородность природного фона обусловлена тем, что поверхностные воды формируются под влиянием различных факторов, таких как климат, рельеф, водный режим, растительный покров, гидрогеологические и гидродинамические условия, состав горных пород, почв, атмосферных осадков, месторождений полезных ископаемых, минеральных источников, карстовых явлений (Двинских, 2020). Для веществ двойного генезиса характерен весьма широкий диапазон концентраций в природных водах, которые могут превышать значения ПДК<sub>рх</sub> за счет естественного поступления в водные объекты из окружающей среды, без учета антропогенной нагрузки. В таких случаях даже без учета антропогенной нагрузки концентрации веществ в различных водных объектах может значительно отличаться и не вызывать деградации сформировавшихся экосистем.

Также важным фактором для нормирования является закономерность проявления токсического эффекта, зависящая от химического состава вод. Концентрация веществ в воде не всегда однозначно отражает токсикологическую нагрузку на экосистему, так как не учитывает процессы комплексообразования в воде, сорбции и десорбции, аккумуляцию веществ в биологических объектах и донных отложениях, а также суммарное усиление токсичности компонентов среды (Филенко, Михеева, 2007; Возняк, Лепихин, 2018).

Таким образом, при нормировании содержания веществ двойного генезиса необходимо учитывать гидрохимические особенности водных объектов – фоновое содержание самих нормируемых ингредиентов и содержание веществ, влияющих на их токсичность. В настоящее время появляется все больше разработок региональных ПДКрх, учитывающих природную неоднородность химического состава поверхностных вод.

Согласно Методическим указаниям по разработке нормативов качества воды (Приказ..., 2009) (далее – Методика), разработка региональных нормативов возможна для тех регионов и веществ, где доказано их повышенное или пониженное содержание в естественных, антропогенно незагрязненных условиях. В качестве среды для культивирования гидробионтов и проведения исследований в этом случае предполагается использовать воду из природного источника исследуемого региона, а величина норматива определяется в абсолютном значении, а не в допустимом превышении концентрации над фоновым уровнем.

Накопленный практический опыт по разработке региональных нормативов позволяет систематизировать и обобщить подходы к региональному нормированию и предложить конкретные методические приемы проведения исследований для дополнения Методики.

Разработка региональных нормативов начинается с определения границ территории, для которой норматив будет действовать, и которая должна быть охарактеризована по содержанию нормируемого ингредиента в поверхностных водах для доказательства повышенного или пониженного его содержания по сравнению с действующим нормативом качества.

Основным аспектом, которому необходимо уделить внимание на этом этапе – проработка доказательной базы возможности разработки региональных нормативов. В основе нее должны лежать мониторинговые данные, полученные в различные гидрологические сезоны по содержанию нормируемого вещества, основных ионов, тяжелых металлов и других показателей качества вод водных объектов, расположенных на территории, для которой этот норматив будет действовать. Полученные данные позволят выявить как гидрохимические особенности региона, так и определить диапазон естественного изменения величины нормируемого вещества. Поскольку изменчивость распределения показателей качества воды зачастую характеризуется существенной асимметрией и не может быть аппроксимирована нормальным распределением, оценку среднегодовых величин целесообразно строить на основе квантилей значений порядка, в том числе медианы, а не среднеарифметического значения (Лепихин, Возняк, 2012). Возможность разработки смягченных региональных нормативов предусмотрена для тех случаев, когда содержание нормируемого ингредиента в антропогенно незагрязненном водном объекте превышает значение общефедеральных нормативов ПДКрх, в случае пониженного содержания вещества, норматив ужесточается.

Так, в ходе годового мониторинга содержания алюминия в оз. Малый Вудъявр, выбранного для разработки регионального норматива, было выявлено, что его концентрация меняется от 0,01 до 0,14 мг/дм<sup>3</sup> при медианном значении 0,07 мг/ дм<sup>3</sup>. Разработанная и утвержденная ПДК для этого региона равна 0,08 мг/ дм<sup>3</sup>, что соответствует 0,75 квантили.

Важным этапом работы по установлению региональных нормативов служит выбор источника воды из водного объекта в границах территории действия норматива. Для проведения испытаний важно использовать природную воду с характерными для исследуемого региона гидрохимическими показателями. Важно, чтобы вода для исследований была отобрана из водного объекта, находящегося в регионе исследования, и не подвергающегося антропогенному загрязнению (контрольный водный объект, КВО). Важно, чтобы контрольный водный объект имел характерный для незагрязненной части тип вод (минерализацию, тип питания и др.). Если в исследуемом регионе нет водных объектов, отвечающих данным требованиям, то разработка региональных нормативов для данной территории невозможна.

В случае доказанного в ходе мониторинга превышения содержания нормируемого вещества общероссийского норматива, важно выявлять ситуации, когда создавшейся природный гидрохимический фон оказывает угнетающее воздействие на гидробионтов, снижая их выживаемость, плодовитость, или устойчивость к действию токсикантов. В этом случае дополнительная доза токсиканта приведет к деградации популяции и экосистемы в целом.

Для выявления таких ситуаций перед проведением токсикологических испытаний необходимо оценить возможность успешной адаптации тест-организмов к воде из КВО. Стандартизованные виды тест-объектов, используемые при разработке нормативов, имеют оптимальные токсикометрические параметры (выживаемость, плодовитость, скорость роста, чувствительность к стандартному токсиканту сравнения и т.д.), которые должны оставаться в пределах рекомендованных норм при культивировании тест-объектов на воде из КВО. Отклонение от норм может свидетельствовать о неблагоприятном действии используемой воды, а значит о существующей значимой нагрузке на гидробионтов.

В случае соблюдения всех условий, возможно дальнейшая разработка норматива и проведение токсикологических исследований. В Методике прописано, что в том случае, если на вещество существует утвержденный общероссийский норматив, региональный норматив может быть установлен по сокращенной схеме. Для этого на местной воде должны быть проведены исследования на тест-объектах, оказавшихся лимитирующими при установлении общероссийского норматива. Как показывает опыт, наиболее чувствительными звеньями являются, как правило, представители планктона (фито и зоопланктон), а также организмы, отвечающие за процессы самоочищения воды. Рыбы, как вершина пищевой цепи, являются важным звеном в определении норматива и не должны быть исключены из исследований. Поэтому важно проводить исследования на санитарных показателях водной среды, фито-, зоопланктоне и рыбах, так как это наиболее чувствительные компоненты. Важно отметить, что для исключения смены бактериального сообщества исследования блока оценки влияния вещества на показатели водной среды (БПК<sub>5</sub>, исследование организмов-нитритфикаторов, численность сапрофитной микрофлоры) должны начинаться сразу при поступлении воды из контрольного водного объекта в лабораторию.

Таким образом, важным решением при актуализации методики разработки региональных нормативов ПДК<sub>рх</sub> является комплексный подход, включающий проведение мониторинговых исследований в регионе действия норматива, с последующим определением диапазона колебаний концентрации нормируемого вещества, который в дальнейшем должен служить основой для экспериментальной проверки в ходе токсикологических экспериментов на основных группах гидробионтов. Основным критерием выбора контрольного водного объекта должно служить отсутствие антропогенной нагрузки на него. Культуры гидробионтов должны успешно пройти адаптацию к воде из КВО, для чего должны быть оценены их выживаемость и морфо-физиологические параметры. Минимальный стандарт проведенных исследований

включает проведение исследований по оценки влияния вещества на показатели водной среды, организмах фито- и зоопланктона и рыбах.

#### Список литературы

1. Двинских С.А. Факторы формирования и элементы химического состава поверхностных вод [Электронный ресурс] : Учебно-методическое пособие. Пермь, 2020. 77 с. Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/dvinskix-factory-formirovaniya-ielementy-xim-sostava-poverxnostnyx-vod.pdf>
2. Филенко О.Ф., Михеева И.В. Основы водной токсикологии. М.: Колос, 2007. 144 с.
3. Возняк А.А., Лепихин А.П. Разработка региональных ПДК: необходимость, методика, пример // Географический вестник. 2018. № 2 (45). С. 103–115.
4. Приказ Росрыболовства от 4 августа 2009 года № 695 «Об утверждении Методических указаний по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».
5. Лепихин А.П., Возняк А.А. Статистические функции распределения гидрохимических показателей качества воды поверхностных водных объектов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. С. 21-32.

## ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ИХТИОПАРАЗИТОЛОГИЯ: ИСТОКИ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В.Н. Воронин<sup>\*,\*\*</sup>, А.С. Дудин<sup>\*</sup>

*\*Санкт-Петербургский филиал ГНЦ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»),  
г. Санкт-Петербург*

*\*\* ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины» (СПбГУВМ), г. Санкт-Петербург, [vnvoronin@mail.ru](mailto:vnvoronin@mail.ru)*

*Аннотация: отмечается ведущая роль проф. В.А. Догеля в развитии отечественной ихтиопаразитологии и её экологической направленности. Итогами исследований по паразитам рыб в естественных водоёмах является «Определитель паразитов пресноводных рыб СССР» 1962 и 1984-1987 годов издания, а в прудовом рыбоводстве – выход в свет многочисленных учебников по болезням рыб. Следует продолжать и развивать традиционные направления ихтиопаразитологических исследований с применением современных молекулярно-генетических методов.*

*Ключевые слова: экологическая ихтиопаразитология, определители паразитов, учебники, современные методы*

В дореволюционной России изучение паразитов рыб проводилось немногими учёными, в основном преподавателями высших учебных заведений. Исследования велись не комплексно, только по отдельным группам паразитов. Так, например, по миксоспоридиям пресноводных рыб было опубликовано всего несколько статей. В самой первой публикации Колесниковым в 1886 г. приводится описание этих паразитов из мышц рыб, во второй, Реуссом – из рыб Волги, а в третьей, Клокачёвой – из золотого карася с рынка Петербурга. Больше других фауной и морфологией миксоспоридий занимался С.В. Аверинцев (1907, 1913). Это крайне мало, учитывая, что уже в 1919 г. вышел первый определитель этих облигатных паразитов рыб, включающий 237 видов (Kudo, 1919).

Несомненно, самым важным событием, как для зарубежных, так и отечественных ихтиопатологов и ихтиопаразитологов стало появление в 1904 г. книги Бруно Хофера «Handbuch der Fischkrankheiten – Руководство по болезням рыб» (Hofer, 1904). В ней автор собрал и обобщил всю имеющуюся на тот момент мировую литературу по инфекционным, паразитарным и незаразным болезням рыб, в основном прудовым, таким как карп, форель и ряду других. Год опубликования этой книги по праву можно считать «Днём рождения» ихтиопатологии как науки, так как в ней были четко сформулированы и подробно изложены как итоги, так и все направления по изучению болезней рыб, включая ихтиопаразитологию. Для отечественных учёных эта книга стала на долгие десятилетия фундаментом для подготовки учебников по ихтиопатологии на русском языке, в первую очередь таких первых как «Болезни рыб» (Суворов, 1931), «Борьба с болезнями рыб в прудовых хозяйствах (Догель, 1932) и «Паразитарные заболевания рыб» (Догель, 1932).

Почти одновременное появление на русском языке этих книг произошло не случайно и было продиктовано потребностями в специальной литературе при начавшемся масштабном развитии в СССР прудового рыбоводства. В предисловии своей небольшой книги «Болезни рыб» А.В. Суворов писал: «Полное отсутствие на русском языке учебников и общедоступной литературы по болезням рыб, побуждает автора выпустить настоящий краткий курс, так как практическое значение этой молодой ещё науки очень велико».

Именно отсутствие целенаправленных исследований по паразитам и болезням рыб в стране послужило основанием для организации во ВНИОРХ в декабре 1929 г. лаборатории болезней рыб. Инициаторами создания лаборатории стали выдающиеся русские ихтиологи – проф. Л.С. Берг и проф. Н.М. Книпович. Заведовать лабораторией они пригласили Валентина Александровича Догеля, крупнейшего зоолога и паразитолога, профессора Ленинградского государственного университета. Первыми сотрудниками лаборатории стали Е.Г. Шерешевская, Ю.К. Петрушевский и Б.Е. Быховский, ставший впоследствии академиком и директором Зоологического института РАН, а первый аспирант, А.П. Маркевич возглавил школу украинских ихтиопаразитологов. Уже с первых дней организации лаборатории были развернуты интенсивные ихтиопаразитологические исследования на крупнейших рыбопромысловых водоемах СССР, таких как Арал, Финский залив, Каспийское море. Они проводились по разработанной в лаборатории методике, получившей название «метод полного паразитологического вскрытия», которая позволяла выявлять и оценивать заражённость рыб всеми существующими группами паразитов. При этом формировалось и понимание сложности взаимоотношений паразитов как с организмом рыб (среды первого порядка), так и многообразием абиотических и биотических факторов внешней среды (среды второго порядка). Именно потребность проведения всестороннего анализа собранного материала привела к развитию научного подхода, получившего название догелевского экологического направления в паразитологии. Валентин Александрович прекрасно понимал, что этот подход имеет не только теоретическое, но и большое практическое значение. Он писал: «Когда мы будем знать не одни сухие списки паразитов и описания новых видов, а весь жизненный обиход паразитофауны в водоёме, тем самым мы получим могущественное оружие для борьбы с массовыми заболеваниями, которые вызываются паразитами» (Догель, 1932).

В 1932 г. при организации в Москве Всесоюзного научно-исследовательского института прудового рыбного хозяйства (ВНИИПРХ) была создана лаборатория ихтиопатологии, которая стала заниматься преимущественно болезнями и паразитами рыб при прудовом выращивании. Большой вклад в развитии этого направления внёс профессор Э.М. Ляйман.

В послевоенный период для повышения эффективности прудового рыбоводства начался активный завоз в европейскую часть страны новых объектов выращивания – дальневосточных растительноядных рыб, американских сома и буффало. С ними были завезены около 30 различных видов паразитов, некоторые из которых стали также возбудителями болезней карпа. Сотрудники лаборатории ихтиопатологии ВНИИПРХ под руководством профессора Веры Александровны Мусселиус развернули активные исследования по изучению биологии и мерам борьбы с этими ранее не известными у нас паразитами. Были изучены особенности эпизоотологии таких болезней как ботриоцефалоз, кавиоз, крустацеозы и моногеноидозы. Новым направлением в лечебно-профилактических обработках против эктопаразитов непосредственно в прудах стало внедрение органических красителей – фиолетового К и основного ярко-зеленого.

Помимо этих двух лабораторий ихтиопаразитологические исследования в послевоенный период стали проводиться во многих рыбохозяйственных институтах, учреждениях Академии наук и ВУЗах большинства союзных республик, в первую очередь Украины, Белоруссии, Казахстана и других. Первым результатом обширных фаунистических исследований паразитов рыб стал выход в свет в 1962 г. коллективной монографии под названием «Определитель паразитов пресноводных рыб СССР». Подобной сводки в то время не было ни в одной стране мира. Публиковались также монографии по отдельным группам паразитам, таким как миксоспоридии, цестоды, трематоды и другим. Исследования паразитов рыб активно продолжались и в

последующие годы, что завершилось в 1984-1987 гг. выходом нового 3-х томного издания «Определитель паразитов пресноводных рыб».

Наряду с пресноводными рыбами активно изучались и паразиты морских рыб в лабораториях системы ВНИРО в Мурманске, Калининграде, Астрахани, во Владивостоке и в Керчи. Морской ихтиопаразитологией занимались и многие учёные институтов АН СССР, особенно в Севастополе (ИНБЮМ).

В научных и учебных институтах ветеринарного профиля также проводились серьезные исследования по изучению паразитов рыб и вызываемым ими болезням в рыбоводных хозяйствах, а также разработке методов лечения и профилактики.

После распада СССР на первом этапе становления Российской Федерации научные исследования из-за тяжёлого экономического положения в стране значительно снизились. С начала XXI в. ситуация стала постепенно улучшаться, но при этом претерпела значительные изменения. Если исследования по мониторингу паразитологической ситуации в естественных водоёмах продолжались с получением новых данных, то подобные работы в рыбоводных хозяйствах из-за их частной собственности стали затруднительными или невозможными по причине соблюдения коммерческой тайны.

В настоящее время активизировались исследования по оценке эпизоотической и эпидемиологической ситуации в естественных водоёмах Российской Федерации. Установлено, что в результате глобального потепления широкое распространение в северо-западном регионе Российской Федерации приобрели цапли, окончательные хозяева целого ряда видов паразитов рыб, в первую очередь метацеркария *Posthodiplostomum cuticola*, не только опасная для молоди, но и ухудшающая товарный вид карповых рыб (Воронин и др., 2021). В ходе проведенного масштабного исследования по заражённости рыб трематодами в водохранилищах Европейской части России были установлены, как очаги постодиплостомоза и ихтиокотиллуроза, так и найдены метацеркарии *Pseudamphistomum truncatum*, представляющие опасность для человека и теплокровных животных (Романова и др., 2023). При изучении паразитов рыб в реках и озёрах юга Западной Сибири были найдены метацеркарии *P. cuticola*, *Opisthorchis felineus* и *Metorchis bilis*, из которых два последних вида опасны для человека и животных (Сербина, Интересова, 2023). В двух крупных рыбопромысловых водоёмах северо-западного региона Российской Федерации, Финском заливе и озере Ильмень впервые в рыбах были найдены метацеркарии *Pseudamphistomum truncatum* (Кудрявцева, 2020). На юге России, в Астраханской области и в бассейне реки Дон, основных и стабильных очагах описторхоза на Европейской части России, исследования по распространению в рыбах возбудителей этой опасной паразитарной болезни человека и плотоядных животных были продолжены. При этом недостаточно публикаций по современной ситуации распространения в рыбах личинок лентеца широкого, другого опасного для людей и теплокровных гельминта. Таким образом, эпизоотологическое и эпидемиологическое исследования при изучении паразитов рыб в естественных водоёмах приобретают ведущее значение.

Недостаточно интенсивные, но всё же проводимые исследования паразитарных болезней рыб в условиях аквакультуры позволили получить ряд интересных данных. Аргулоз и другие крустацеозы рыб стали чаще отмечаться в рыбоводных хозяйствах, в том числе и садковых, что, вероятно, является следствием глобального потепления. При садковом форелеводстве новыми болезнями стали гиродактилоз и амёбиоз. При прудовом выращивании карповых рыб проблемными остаются микроспориозы, гиродактилозы, трематодозы, крустацеозы и ряд других (Головина и др., 2010; Грищенко, Акбаев, 2013).

В свете современных данных исследования паразитов рыб и вызываемых ими болезней, как в естественных водоёмах, так и при быстро развивающейся аквакультуре представляются актуальными и перспективными. В то же время при сопоставлении

современных зарубежных и отечественных публикаций по ихтиопаразитологии отмечается значительное отставание по использованию в работах российских исследователей молекулярно-генетических методов исследований. Немногочисленные подобные работы выполняются в основном в лабораториях системы Академии наук. По некоторым систематическим группам паразитов рыб, например, микроспоридиям, миксоспоридиям и некоторым другим, в зарубежных исследованиях произошёл переход от морфометрического определения видов на генотипирование. В результате отечественные определители паразитов рыб устарели и не отражают современный уровень знаний. Показано, что моногения *Gyrodactylus salaris*, выделенная от разных видов рыб, генетически неоднородна. В то время как высокая патогенность и карантинный статус этого паразита несомненны для атлантического лосося, для других лососёвых рыб, в первую очередь для радужной форели, паразито-хозяйные отношения изучены недостаточно. Новым, опасным и также мало исследованным заболеванием является амёбиоз форели. При изучении литературы неожиданным стало практически полное отсутствие ранней информации о паразитофауне рыб из таких крупных озёр Северо-Западного региона как Ильмень, Псковско-Чудское, Ладожское и Белое. При быстро меняющихся природно-экологических условиях паразитологические исследования рыб во всех главных рыбопромысловых пресноводных и морских акваториях являются актуальными и должны иметь экологическую, эпизоотологическую и эпидемиологическую направленность.

#### Список литературы

1. Аверинцев С.В. (Awerinzew S.). Uber Myxosporidien aus Gallenblase der Fische // Zool. Anzeiger. 1907. Bd. 31. S. 831-834.
2. Аверинцев С.В. (Awerinzew S.). Myxobolus magnus n. sp. aus Gallenblase der Fische // Zool. Anzeiger. 1913. Bd. 42. S. 75-76.
3. Воронин В.Н., Кудрявцева Т.М., Печенкина А.А. Новые для фауны Финского залива метацеркарии трематод рыб // Материалы национальной научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов СПбГАВМ, СПб.: Издательство ФГБОУ ВО СПбГУВМ, 2021. С. 28-29.
4. Головина Н.А. Стрелков Ю.А., Воронин В.Н., Головин П.П., Евдокимова Е.Б., Юхименко Л.Н. Ихтиопатология : Учебник / Под редакцией Н.А. Головиной. 2-е изд., переработанное и дополненное. М.: Колос, 2010. 512 с.
5. Грищенко Л.И., Акбаев М.Ш. Болезни рыб с основами рыбоводства / Под ред. Л.И. Грищенко. М.: КолосС, 2013. 479 с.
6. Догель В.А. Борьба с болезнями рыб в прудовом хозяйстве. Москва-Ленинград: Всесоюзное кооперативное объединённое издательство, 1932. 59 с.
7. Догель В.А. Паразитарные заболевания рыб. Москва-Ленинград: Государственное издательство сельскохозяйственной и колхозно-кооперативной литературы, 1932. 150 с.
8. Кудрявцева Т.М. Распространение метацеркарий сем. Opisthorchiidae в рыбах водоёмов Северо-Запада России (эпизоотология, диагностика): Автореф. дис. ... канд. вет. наук: 03.02. СПб., 2020. 18 с.
9. Романова Н.Н., Головина Н.А., Вишторская А.А., Головин П.П. Фауна трематод рыб в водохранилищах Европейской части России // Российский паразитологический журнал. 2023. Т. 17(1). С. 28-43.
10. Сербина Е.А., Интересова Е.А. К видовому составу паразитов рыб в реках и озёрах юга Западной Сибири // Паразитология, 2023. Т. 57(6). С. 521-534.
11. Суворов Е.К. Болезни рыб. Москва-Ленинград: Государственное издательство сельскохозяйственной и колхозно-кооперативной литературы, 1931. 112 с.
12. Hofer V. Handbuch der Fischkrankheiten. München, Allgemeine Fischerei-Zeitung, 1904. 359 p.
13. Kudo R. Studies on Myxosporidia. Illinois Biol. Monographs, 1919, 5. 265 p.

## ЦЕСТОДОЗЫ ПОЛОВОЗРЕЛЫХ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ РЫБ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ

Е.А. Воронина, В.В. Проскурина

*Волжско-Каспийский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» (КаспНИРХ), г. Астрахань,  
[voroninaea7@yandex.ru](mailto:voroninaea7@yandex.ru)*

Аннотация: паразитологические исследования, проведенные в 2019-2024 гг. позволили выявить заболевания рыб, возбудителями которых являлись *Caryophyllaeus laticeps*, *Caryophyllaeus fimbriceps*, *Proteocephalus osculatus*, *Triaenophorus nodulosus*. Развитие патологических процессов отмечали в весенний период. Уровень цестодозов тесно коррелировал с численностью паразитов, экстенсивностью инвазии рыб и находился в пределах фоновых значений.

Ключевые слова: цестоды, промысловые рыбы, дельта Волги, инвазионные болезни, возбудители, уровень заражения

Понимание процессов формирования очагов инвазионных болезней невозможно без знания закономерностей распределения численности паразитов в популяции хозяев. Патогенность паразита определяется не свойствами самого по себе паразита, а проявляется при взаимодействии с организмом хозяина (Иешко и др., 2023). Ленточные черви обладают определенной гостальной специфичностью, которая выражается в приуроченности к узкому или широкому кругу хозяев. В основе такой экологической пластичности цестод лежит их способность при переходе на новую стадию онтогенетического развития запускать адаптивные биохимические, физиологические и морфологические механизмы (Жигилева, 2017).

Целью работы стало определение уровня заболеваемости половозрелых промысловых рыб цестодозами в дельте р. Волги за последние пять лет.

Объектами изучения служили половозрелые особи: 1083 экз. леща (*Abramis brama*), 656 экз. сазана (*Cyprinus carpio*), 1076 экз. сома (*Silurus glanis*) и 1003 экз. щуки (*Esox lucius*), выловленные на промысловых участках дельты Волги весной и осенью 2019-2023 гг. Гельминтологические исследования проводили в соответствии с традиционными методами паразитологии (Быховская-Павловская, 1985).

В дельте р. Волга в 2019-2023 гг. у половозрелых промысловых видов рыб обнаружены гельминты, инициировавшие развитие цестодозов: *Caryophyllaeus laticeps*, *Caryophyllaeus fimbriceps* (Cestoda: Caryophyllaeidae), *Proteocephalus osculatus* (Cestoda: Proteocephalidae), *Triaenophorus nodulosus* (Cestoda: Triaenophoridae).

Плоские черви *C. laticeps*, *P. osculatus* становились причиной возникновения патологических процессов в кишечнике половозрелых рыб, вызывая развитие кариофиллеза в среднем у 1,48 % леща и протеоцефалеза у 2,48 % сома. В группу потенциальных возбудителей цестодозов также входили *T. nodulosus*, провоцировавший триенофороз у 0,74% щуки и *C. fimbriceps*, являвшийся причиной развития кариофиллеза сазана в 1,46 % случаев. Цестодозы, главным образом, выявляли в весенний период. Подобная сезонная приуроченность обусловлена одногодичным жизненным циклом и особенностями развития паразитов, активность которых приходится на начало вегетативного периода. Отсутствие больных особей осенью закономерно, поскольку численность возбудителей уменьшалась от весны к осени, что характерно для динамики цестодозной инвазии, в том числе, в нижней зоне дельты Волги. Тем не менее, в 2023 г. у сазана заболевание отмечали в осенний период, что могло быть обусловлено аномально высокой интенсивностью заражения отдельных особей. К тому же, повышенная

патогенность паразита могла стать следствием снижения резистентности организма хозяина.

Субклинические признаки цестодозов проявлялись воспалительными реакциями, локальными повреждениями слизистой оболочки пищеварительного тракта в местах прикрепления цестод, в некоторых случаях в сужении просвета кишечника вплоть до полной непроходимости (рис.), что, безусловно, сказывалось на процессах пищеварения.



а б  
Рисунок. Цестодная пробка в кишечнике сома (а) и леща (б)

Уровни заболеваемости цестодозами с 2019 г. по 2023 г. характеризовались разнонаправленностью, но находились в пределах ошибки среднелетнего значения ( $1,66 \pm 0,21$  % и  $1,06 \pm 0,34$  % кариофиллез леща и сазана,  $2,03 \pm 0,25$  % протеоцефалез сома,  $0,92 \pm 0,27$  % триенофороз щуки), то есть оставались в границах фоновых величин. При этом сравнительный анализ показал, что распространенность *T. nodulosus* у половозрелой щуки в период исследований снижалась, а частота встречаемости сома, леща и сазана инвазированных, соответственно, *P. osculatus*, *C. laticeps* и *C. fimbriceps*, напротив, нарастала (табл.).

Таблица. Уровень зараженности промысловых рыб возбудителями заболеваний в период с 2019 по 2023 гг.

Вид паразита	2019 г.		2020 г.		2021 г.		2022 г.		2023 г.	
	ЭИ, %	ИО, экз.								
<i>T. nodulosus</i>	14,0	0,33	6,9	0,00	5,6	0,08	1,0	0,08	5,3	0,09
<i>P. osculatus</i>	35,6	4,34	27,4	2,38	35,5	5,50	47,0	6,50	50,6	17,63
<i>C. laticeps</i>	29,9	4,41	12,8	1,27	32,0	4,39	41,5	9,25	30,5	27,30
<i>C. fimbriceps</i>	13,2	7,28	15,3	8,27	15,9	3,76	50,0	8,55	12,0	9,62

Экстенсивность инвазии плоскими червями обследованных рыб в ряде случаев тесно коррелировала с уровнем их заболеваемости и численностью паразитов. Коэффициент корреляции уровня заболеваемости гельминтозами и процента зараженных ими особей у леща составил 0,81 ( $p \leq 0,05$ ), у сома 0,66 ( $p \leq 0,05$ ). Достоверных различий между самцами и самками по уровню зараженности не выявлено.

Уровень зараженности рыб *T. nodulosus* и *P. osculatus* в большей степени зависит от температурного и водного режимов, а *C. laticeps* и *C. fimbriceps* - от пищевых приоритетов карповых рыб, то есть количества промежуточных хозяев (олигохет) в рационе леща и сазана в тот или иной год. Несмотря на некоторые особенности гельминтов, бесспорно, факторы среды обитания в разной степени будут влиять на их биологические циклы (для одних они благоприятные, для других, препятствующие развитию). В этой связи, тенденции роста теплолюбивых организмов (*P. osculatus*, *C. laticeps*) объясняются интенсивным развитием цестод, когда их численность возрастает

на фазе маловодья и повышенных температур, что характерно для гидрологической обстановки дельты Волги в последние годы. Снижение численности данных цестод в 2020 г. обусловлено увеличением уровня водности на фоне пониженной температуры воды.

В кишечнике щуки максимально интенсивный рост и формирование половых органов *T. nodulosus* происходит при осеннем понижении температуры воды, а в марте-апреле достигает своего максимума и происходит массовая откладка яиц с последующим очищением организма щуки от паразитов данной генерации (Куперман, 1973). В тоже время осеннее понижение температуры задерживает развитие *P. osculatus* у сома. Поэтому зимой и в начале весны в кишечниках сомов половозрелые цестоды редки. С весенним повышением температуры воды развитие возобновляется, становится более интенсивным при температуре воды 15-20 °С (Аникиева, Харин, 2003). Именно в этот период развитие патологических процессов, вызываемых данными цестодами в пищеварительном тракте рыб, достигает своего максимума.

При инвазии гвоздичниками характерной чертой является узкая специализация со своими хозяевами – олигохетами. Известно, что цестод *C. laticeps* можно использовать в качестве биоиндикаторов антропогенного загрязнения водоемов высокоустойчивых к токсическому воздействию, численность которых значительно возрастает в зоне загрязнения (Куперман, 1992). Амплитуда для заражения рыбы гвоздичниками большая от 4 месяцев до 1,5 лет, при этом инвазирование может происходить в течение всего года. Аналогичная картина инвазии характерна для другого вида рода *Caryophyllaeus* (*C. fimbriceps*). Периодичность или цикличность зависит от ряда причин и условий, которые ритмически меняются, достигая максимума и минимума, через равные промежутки времени. Популяции паразита, как в настоящем, так и в прошлом вступали и вступают в определенные отношения с популяцией хозяина, что приводит к взаимному регулированию обеих популяций и к определенному равновесию компонентов системы (Кеннеди, 1978, Аникиева и др, 2016).

Таким образом, на протяжении пяти лет исследований систематически регистрировали низкие уровни заболеваемости рыб. Патологические изменения в пищеварительном тракте рыб при заболеваниях, инициируемых цестодами, были схожими и, в основном, заключались в развитии разноочаговой гиперемии слоев кишечной стенки и закупорке просвета пищеварительных трактов рыб за счет образования цестодной пробки. Это приводило к непроходимости кишечника. Монотипная симптоматика цестодозов, вызванных постоянным спектром видов плоских червей, имела четкую сезонную приуроченность. Уровень заболеваемости тесно коррелировал с частотой встречаемости зараженных особей и численностью паразитов в обследуемых частях популяций.

#### Список литературы

1. Аникиева Л.В., Харин В.Н. Фенотипическая структура и ее динамика на разных этапах репродуктивного периода *Proteocephalus osculatus* (Goeze, 1782) (Cestoda: Proteocephalidae) — паразита сома *Silurus glanis* L. // Паразитология. 2003. Т. 37, вып. 3. С. 191-200.
2. Аникиева Л.В., Иешко Е.П., Румянцев Е.А. Экологический анализ гельминтов ряпушки т корюшки Онежского озера // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 4. С. 37-47. DOI: 10.17076/eco250
3. Быховская-Павловская И. Е. Паразиты рыб: руководство по изучению. Л., 1985. 121 с.
4. Иешко Е.П., Аникиева Л.В., Бугмырин С.В. Научная школа экологической паразитологии в Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 3. С. 92-112. DOI: 10.17076/eco1778
5. Жигилева, О.Н. Взаимосвязь зараженности гельминтами и генетического разнообразия популяций животных : Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Тюмень, 2017. 22 с.
6. Куперман Б.И. Ленточные черви рода *Triaenophorus* – паразиты рыб. Л.: Наука, 1973. 208 с.
7. Куперман, Б. И. Паразиты рыб как биоиндикаторы загрязнения водоемов // Паразитология. 1992. Т. 26, № 6. С. 479-482.
8. Кеннеди К. Экологическая паразитология. М.: «Мир», 1978. 228 с.

## ГЕМАТОЛОГИЯ СИГОВЫХ РЫБ И СУДАКА В АКВАКУЛЬТУРЕ В ЭМБРИОНАЛЬНЫЙ И ЛИЧИНОЧНЫЙ ПЕРИОДЫ РАЗВИТИЯ

М.М. Вылка

Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, [vyлка@niorh.vniro.ru](mailto:vyлка@niorh.vniro.ru)

Аннотация: проведено гематологическое исследование сиговых рыб и судака в эмбриональный и личиночный периоды онтогенеза. Сиговые виды характеризуются длительным периодом инкубации икры, во время которого происходит формирование первичных эритроцитов. Напротив, личинки судака формируются стремительно, но, как и у сиговых рыб, полностью функциональные эритроциты образуются в личиночный период жизни при переходе на активное внешнее питание.

Ключевые слова: гематология, инкубация икры, личинки рыб, эритроциты, гемоглобин

Кровь эмбрионов некоторых рыб характеризуется безэритроцитарной желточно-сосудистой системой, а для обменных процессов и дыхания используется сеть желточных капилляров. С ростом и развитием диффузная желточно-сосудистая система кровообращения сменяется жаберно-челюстным аппаратом внешнего дыхания, усиливается кроветворение (Кауфман, 1990). Так у эмбрионов сиговых рыб развитие системы кровообращения наступает в возрасте 45 суток, а появление форменных элементов крови совпадает с началом пигментации глаз – 65-70 суток. Поверхность желточного мешка покрывается сетью капилляров, которые редуцируются на более поздних стадиях развития (Черняев, 2017). Напротив, эмбриональное развитие судака проходит стремительно в течение нескольких дней при более высоких температурах. Икра судака более требовательна к притоку свежей воды, насыщенной кислородом и в природе самцы судака постоянно омывают ее водой. А кровь образуется на завершающей стадии эмбрионального развития (начало пигментации глаз) и период пассивного дыхания у личинок судака продолжается до середины-конца личиночного развития (Крыжановский и др., 1953). Это особенность осложняет культивирование судака, особенно при выращивании на искусственных стартовых кормах. В связи с этим, целью данного исследования было сравнить кроветворение сиговых рыб и судака на ранних стадиях развития и роста в аквакультуре, определить периоды формирования эритроцитов и их функциональные особенности.

Объектами исследования стали виды рыб: сиг обыкновенный *Coregonus lavarens* (Linnaeus, 1758), муксун *Coregonus muksun* (Pallas, 1814), чир *Coregonus nasus* (Pallas, 1776), нельма *Stenodus leucichthys nelma* (Pallas, 1773), судак обыкновенный *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758), выращиваемых на рыбноводном предприятии ООО «Форват. Центр технологий разведения сиговых рыб. Сиговый питомник» (Ленинградская область, оз. Суходольское). Работа проводилась по общепринятой методике гематологического обследования рыб (1999) с использованием техники Житеневой (Житенева и др., 2012) для исследования крови эмбрионов и ранних личинок рыб. Препараты высушивались и окрашивались по Паппенгейму. Обнаружение гемоглобина и веществ-предшественников гемоглобина крови в эмбриональный период проводили с помощью бензидиновой пробы (реакция Греггерсена). Данный способ был использован при исследовании крови у эмбрионов некоторых видов рыб (Радзинская, 1960; Остроумова, 1962). Для этой цели использовали готовый набор реагентов для обнаружения скрытой крови - «Эколаб 38.03.3». Основным веществом его является бензидин, который в присутствии перекиси водорода и пероксидазы образует более сложное соединение, окрашенное в синий цвет, которое постепенно разлагается с

образованием бурого вещества. Фиксации проб и изготовление микропрепаратов регулярно проводились в течение инкубационного периода, а также в момент вылупления и в период искусственного кормления личинок.

В результате работы были получены следующие данные. Начало кроветворения эмбрионов сиговых рыб совпало со стадией пигментации глаз (стадия «глазка») и, вероятно, синтезом железосодержащих веществ – предшественников гемоглобина. В этот момент были обнаружены первичные эритроциты – эмбриональные эритроциты округлой формы с базофильной цитоплазмой, которые длительное время циркулируют по кровеносному руслу и сменяются вторичными эллипсоидными эритроцитами в период активного внешнего питания, как и у осетровых рыб (Радзинская, 1960). Таким образом, морфология эмбрио-личиночной крови сиговых рыб заметно преобразуется на 4 неделе после вылупления – эритроциты принимают характерную эллипсоидную форму и начинают участвовать в дыхании (рис. 1).

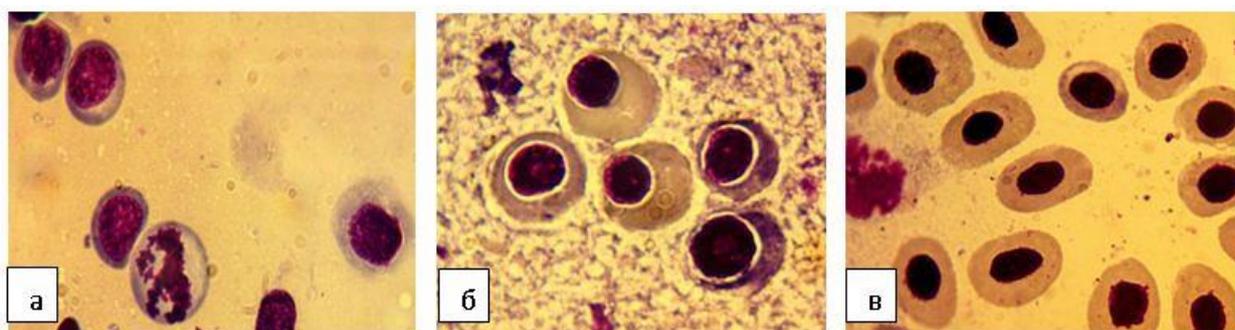


Рисунок 1. Клетки крови сиговых рыб эмбриональный и личиночный периоды развития: а – в период инкубации на стадии пигментации глаз (эритроциты округлые с синеватой цитоплазмой); б – две недели после вылупления (накопление гемоглобина в цитоплазме эритроцитов); в – четвертая неделя после вылупления (эритроциты зрелые эллипсоидной формы)

В отличие от эмбрионов сиговых рыб у эмбрионов судака активация кроветворения проявилась непосредственно перед вылуплением. При этом не было выявлено капиллярной сеточки на желточном мешке и окраска икры и эмбрионов при постановке бензидиновой пробы практически не выражена, как это происходило у эмбрионов сиговых рыб – окраска икры бензидином интенсивная сине-зеленого цвета. Это может свидетельствовать о низкой концентрации железосодержащих веществ – предшественников гемоглобина в эмбриональной крови судака. На рис. 2 представлены фотографии эмбриона судака и его первичные эритроциты перед вылуплением, а также эмбрион нельмы с развитой капиллярной сеточкой, окрашенной бензидином, которая не была замечена у эмбрионов судака.

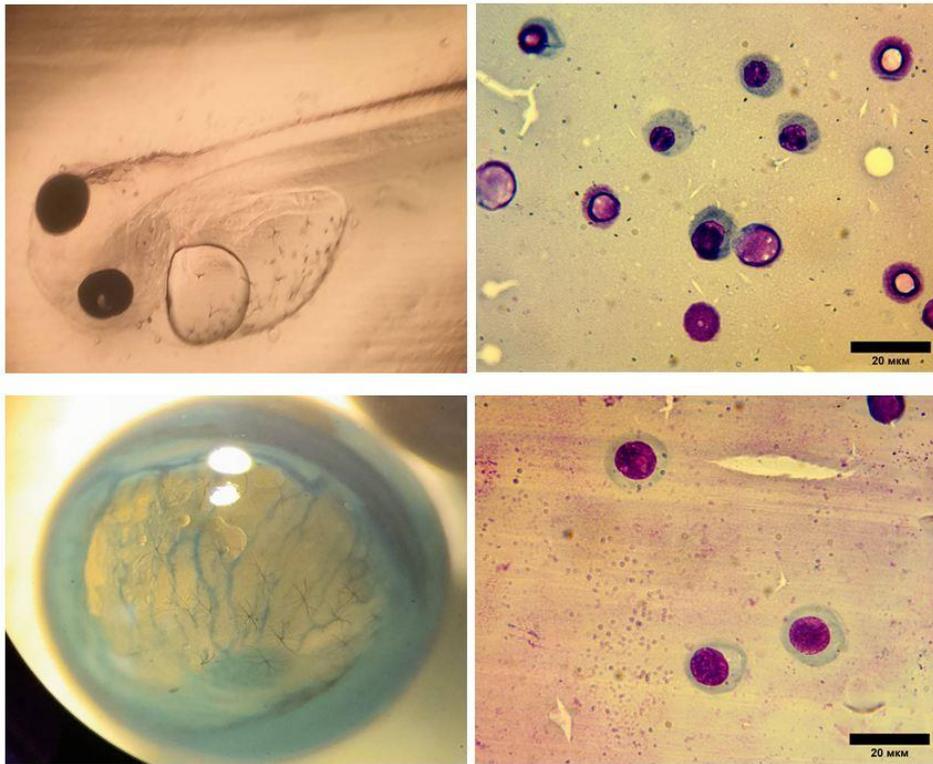


Рисунок 2. Фотографии эмбрионов и клеток крови судака (сверху) и нельмы (снизу)

Однако в личиночный период при активном питании интенсивность бензидиновой окраски у судака заметно возросла, а округлые первичные эритроциты постепенно начали сменяться вторичными эллипсоидными, что стало заметно на третьей неделе после вылупления. На мазках округлые эритроциты с базофильной (синеватой) цитоплазмой стали сменяться клетками эллипсоидной формы (рис. 3).

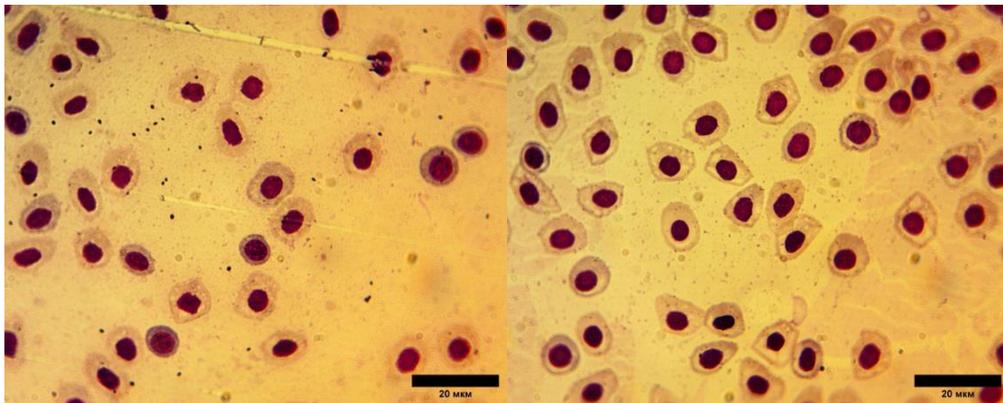


Рисунок 3. Клетки крови личинок судака на третью (слева) и четвертую неделю (справа) после вылупления

В результате исследования установлено, что эмбрионально-личиночная кровь сиговых рыб преобразуется со второй недели после вылупления, когда эритроциты на окрашенных мазках приобретают розовый и оранжевый оттенок – признак накопления гемоглобина. Личинки судака гораздо меньше и менее сформированы к моменту вылупления, чем у сиговых. Однако развитие кроветворения и появление функциональных эритроцитов также приходится на момент перехода к активному внешнему питанию. Таким образом, формирование красной крови у сиговых рыб и

судака происходит на личиночном этапе жизни, продолжительность которого различается.

#### Список литературы

1. Житенева А.Д., Макаров Э.В., Рудницкая О.А., Мирзоян А.В. Основы ихтиогематологии (в сравнительном аспекте): монография. Ростов-на-Дону: АзНИИРХ, 2012. 320 с.
2. Кауфман З.С. Эмбриология рыб. М.: Агропромиздат, 1990. 272 с.
3. Крыжановский С.Г., Дислер Н.Н., Смирнова Е.Н. Эколого-морфологические закономерности развития окуневых рыб (*Percoidei*) // Тр. Института морфологии животных АН СССР. 1953. Вып. 10. С.3-138.
4. Методические указания по проведению гематологического обследования рыб, утвержденные Департаментом ветеринарии от 2 февраля 1999 г. № 13-4-2/1487 // Сборник инструкций по борьбе с болезнями рыб. Ч. 2. М.: Отдел маркетинга АМБагро, 1999. С. 69-97.
5. Остроумова И.Н. О первом появлении гемоглобина у эмбрионов радужной форели (*Salmo irideus* Gibbos) // Доклады Академии наук СССР. 1962. Т. 147, №1. С. 263-264.
6. Радзинская Л.И. Пероксидазная реакция и образование гемоглобина в эмбриогенезе осетровых рыб // Доклады Академии наук СССР. 1960. Т. 130, № 5. С. 1173-1176.
7. Черняев Ж.А. Воспроизводство сиговых рыб. Эколого-физиологические особенности размножения и развития. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. 329 с.

## ВОДНЫЕ БЕСПОЗВОНОЧНЫЕ ЗООПЕРИФИТОНА РЕК ЮГА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Г. Герасимов\*, А.А. Герасимова \*\*, Т.А. Шарапова \*\*

\*Тюменский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («Госрыбцентр»),  
г. Тюмень, [a.gerasimov@gosrc.vniro.ru](mailto:a.gerasimov@gosrc.vniro.ru)

\*\* ФГБУН ФИЦ ТюмНЦ СО РАН, подразделение Институт проблем освоения Севера,  
г. Тюмень, [nstya\\_vid@mail.ru](mailto:nstya_vid@mail.ru)

*Аннотация: в работе приведены данные об исследовании зооперифитона в 2000 и 2002 гг., 2021-2022 гг. с мая по октябрь, на трех крупных (Тура, Ишим, Тобол), и двух средних (Пышма, Исеть) реках юга Тюменской области. Всего отобрано и обработано 55 проб. Таксономический состав перифитона в реках юга Тюменской области представлен 92 видами и таксонами.*

Ключевые слова: зооперифитон, реки, доминанты, гидробионты, численность, биомасса, таксон

Тюменская область занимает основную часть Западной Сибирской равнины и северо-восточный край Урала, территория отличается обилием водоемов и их разнообразием. Тюменская область в гидрографическом отношении принадлежит к бассейну Карского моря. В данной области протекает порядка 70 тыс. рек, при их суммарной длине 584 тыс. км. Реки большей частью равнинные с медленным течением и извилистым руслом (Гвоздецкий, 1973; Лезин, 1995; Бакулин, 1996).

Несмотря на длительный период гидробиологических исследований водных объектов Тюменской области, остаются недостаточными данные по видовому разнообразию зооперифитона (Шарапова, 1998, 2007). В основном при изучении рек и озер большое внимание уделяется фитопланктону, зоопланктону и зообентосу. Хотя зооперифитонная группа организмов дает возможность более точно оценить состояние гидробиоценозов (Протасов, 1994; Скальская, 2005; Шарапова, 2007).

Цель работы – выявление таксономического состава и развития перифитонных групп организмов.

Исследования проводились в 2000 и 2002 гг., 2021-2022 гг. с мая по октябрь, на трех крупных (Тура, Ишим, Тобол), и двух средних (Пышма, Исеть) реках юга Тюменской области.

Пробы зооперифитона отбирали у берегов с затопленной ивы, реже с камней и макрофитов прямым сбором, с учетом площади субстратов. Фиксировали 4 % раствором формальдегида. Разбор фиксированных проб осуществлялся в камере Богорова под бинокулярным микроскопом. Всего отобрано и обработано 55 проб. Таксономическую принадлежность организмов оценивали по определителям и определительным таблицам (Резвой, 1936; Лепнева, 1964, 1966; Лукин, 1976; Панкратова, 1977, 1983; Алексеев, 1995; Цалолихин, 1999, 2001; Пугачев, 2016).

Таксономический состав перифитона в реках юга Тюменской области разнообразен и представлен 93 видами и таксонами более высокого ранга (так называемый низший определяемый таксон) (Баканов, 1997), в том числе Bryozoa – 4 вида, 3 вида пиявок, 7 – моллюсков, 66 видов насекомых (из них 32 – хирономиды), а также гидры, турбеллярии, кольчатые и круглые черви, ракообразные (табл.).

Таблица. Видовой состав зооперифитона рек юга Тюменской области

Водоем	река Тобол	река Тура	река Ишим	река Исеть	река Пышма
<i>Hyalinella punctata</i> (Hancock, 1850)	-	-	+	-	-
<i>Plumatella emarginata</i> (Allman, 1844)	+	-	+	+	+
<i>Plumatella</i> sp.	-	-	-		+
<i>Paludicella articulata</i> (Ehrenberg, 1831)	+	+	+	+	+
<i>Hydra</i> sp. (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	+
Nematoda (Diesing, 1861)	+	+	+	+	+
Naididae (Ehrenberg, 1828)	+	+	+	+	+
Tubificidae (Udekem, 1855)	+	+	+	+	-
Turbellaria (Ehrenberg, 1831)	-	+	-	+	-
<i>Eerpobdella octoculata</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	-	+	-
<i>Helobdella stagnalis</i> (Linnaeus, 1758)	-	+	-	+	-
<i>Glossiphonia complanata</i> (Linnaeus, 1758)	-	+	-	-	-
<i>Bithynia tentaculata</i> (Linnaeus, 1758)	-	+	+	+	-
<i>Sphaerium nitidum</i> (Clessin, 1876)	-	+	-	-	-
<i>Lymnaea</i> sp. (Lamarck, 1799)	-	-	+	+	+
<i>Lymnaea auricularia</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	+	+	+
Gastropoda juv. (Cuvier, 1795)	-	+	-	-	+
Valvata juv. (Müller, 1773)	-	+	-	-	-
<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)	-	-	-	-	+
Ostracoda (Latreille, 1802)	+	+	+	+	+
Hydracarina	-	+	+	+	+
<i>Sida crystallina</i> (Müller, 1776)	+	-	+	+	+
<i>Copepoda</i> sp. (H. Milne-Edwards, 1840)	-	+	-	-	-
Harpacticidae (Dana, 1846)	-	-	-	+	-
Trichoptera juv. (Kirby, 1813)	+	-	-	-	-
P. Trichoptera	-	+	-	-	-
<i>Hydropsyche ornatula</i> (McLachlan, 1878)	+	+	-	-	-
<i>Anabolia soror</i> (McLachlan, 1875)	-	+	-	-	-
<i>Brachycentrus subnubilus</i> (Curtis, 1834)	+	+	+	-	-
<i>Neureclipsis bimaculata</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	-	-	+
<i>Oxyethira</i> (Eaton, 1873)	-	-	-	+	-
<i>Tricholeiocyton fagesii</i> (Guinard, 1879)	-	-	-	+	-
<i>Orthotrichia tetensii</i> (Kolbe, 1887)	-	-	+	-	-
Leptoceridae (Leach in Brewster, 1815)	-	+	-	-	-
<i>Athripsodes cinereus</i> (Curtis, 1834)	-	+	-	-	-
<i>Athripsodes excisus</i> (Mort.)	-	+	-	-	-
Ephemeroptera juv. (Hyatt & Arms, 1891)	+	-	-	-	-
<i>Heptagenia</i> sp. (Walsh, 1863)	-	+	+	-	-
<i>Heptagenia flava</i> (Rostock, 1878)	+	+	-	-	+
<i>Heptagenia coerulans</i> (Rostock, 1877)	-	-	-	-	+
<i>Caenis</i> juv. (Stephens, 1835)	+	-	-	-	-
<i>Caenis undosa</i> (Landa, 1954)	-	-	+	+	-
<i>Cloeon simile</i> (Eaton, 1870)	-	+	-	-	-
<i>Baetis tricolor</i> (Tshernova, 1928)	+	-	-	-	-
Hydroptilidae (Stephens, 1836)	-	-	+	-	-

Водоем	река Тобол	река Тура	река Ишим	река Исеть	река Пышма
<i>Hydroptila pulchricornis</i> (Pictet, 1834)	-	-	+	-	-
<i>Rhantus</i> (Coleoptera)	-	+	-	-	-
<i>Alona</i>	-	+	-	-	-
Coloptera juv. (Linnaeus, 1758)	+	-	-	-	-
Diptera (Linnaeus, 1758)	-	-	+	+	-
Culicoides (Latreille, 1809)	-	+	-	-	-
Ceratopogonidae (Newman, 1834)	-	-	+	+	-
<i>Sisyra fuscata</i> ((Fabricius, 1793)	-	-	-	-	-
Psychodidae (Newman, 1834)	-	-	+	-	-
<i>Enallagma cyathigerum</i> (Charpentier, 1840)	-	-	-	-	-
<i>Bezzia</i> (Kieffer, 1899)	-	+	-	-	-
<i>Corixa</i> juv. (Geoffroy, 1762)	-	-	-	-	+
Simuliidae (Newman, 1834)	+	+	+	+	+
P. Chironomidae (Newman, 1834)	+	+	-	-	+
Chironomidae juv. (Newman, 1834)	+	+	+	+	+
<i>Paratanytarsus quintuplex</i> (Kieffer, 1922)	-	+	+	+	+
<i>Parachironomus arcuatus</i> (Goetghebuer, 1919)	-	+	+	+	+
<i>Parachironomus exectum</i> (Kieff)	+	+	-	-	+
<i>Limnochironomus nervosus</i> ((Staeger, 1839)	-	-	+	-	-
<i>Endochironomus tendens</i> ((Fabricius, 1775)	-	+	-	+	+
<i>Endochironomus albipennis</i> (Meigen, 1830)	-	+	-	-	+
<i>Glyptotendipes glaucus</i> (Meigen, 1818)	+	+	-	+	+
<i>Polypedilum convictum</i> (Walker, 1856)	+	+	+	-	+
<i>Polypedilum tetracrenatum</i> (Hirvenoja, 1962)	-	-	-	-	+
<i>Polypedilum bicrenatum</i> (Kieffer, 1921)	-	+	-	+	+
<i>Cricotopus sylvestris</i> (Fabricius, 1794)	-	+	+	+	+
<i>Cricotopus algarum</i> (Kieffer, 1911)	+	+	+	+	+
<i>Cricotopus bicinctus</i> (Meigen, 1818)	-	+	-	-	-
Rheotanytarsus (Thienemann & Bause, 1913)	+	+	+	+	+
<i>Nanocladius bicolor</i> (Zetterstedt, 1838)	+	+	-	+	-
<i>Dicrotendipes nervosus</i> (Staeger, 1839)	+	-	-	+	+
<i>Trissocladius potamophilus</i> (Tshern.)	+	+	-	+	-
<i>Pentapedilum exectum</i> (Kieffer, 1915)	-	+	+	-	-
<i>Pentapedilum sordens</i> (Van der Wulp, 1874)	+	-	-	-	-
<i>Thienemaniella flaviforceps</i> (Kieff.)	+	+	-	+	-
<i>Eukiefferiella longical</i> (Kieffer)	+	-	+	+	-
<i>Eukiefferiella clypeata</i> (Kieffer, 1923)	-	+	-	-	-
<i>Ablabesmyia lentiginosa</i> (Fries, 1823)	-	+	-	-	-
<i>Ablabesmyia monilis</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	-	-
<i>Microcricotopus bicolor</i> (Zett.)	-	+	-	-	-
<i>Pothastia campestris</i> (Edwards, 1929)	+	-	-	+	-
<i>Stenochironomus gibbus</i> (Fabricius, 1794)	-	+	+	-	-
<i>Cryptotendipes</i> (Lenz, 1941)	-	-	+	+	-
<i>Tanitarsus</i> juv.	-	-	-	-	+
<i>Cladotanytarsus</i> (Kieff.)	-	-	-	-	+
<i>Psectocladius</i> juv.	-	-	-	-	+

Водоем	река Тобол	река Тура	река Ишим	река Исеть	река Пышма
Cryptocladopelma (Kieff., 1921)	-	-	-	-	+
<b>Всего</b>	<b>34</b>	<b>55</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>37</b>

Из насекомых наиболее распространены представители хирономид, а именно: *Chironomidae* juv., *Paratanytarsus quintuplex* (Kieff.), *Parachironomus arcuatus* (Geo.), *Glyptotendipes glaucus* (Meigen), *Polypedilum convictum* (Walker), *Cricotopus sylvestris* (Fab.), *Cricotopus algarum* (Kieff.), *Rheotanytarsus* (Thien.). Кроме них из семейства двукрылых были обнаружены личинки мошек, мокрецов. Среди ручейников наиболее часто отмечены *Hydropsyche ornatula* (McL.), *Brachycentrus subnubilus* (Curtis), *Neureclipsis bimaculata* (L.), *Orthotrichia tetensii* (Kolbe), *Leptoceridae* sp., *Athripsodes* sp. (Curtis), среди поденок – *Heptagenia flava* (Rostock), *H. coeruleans* (Rostock), *Caenis* juv. (Stephens), *Caenis undosa* (Landa), *Cloeon simile* (Eaton).

Наибольшее таксономическое богатство зооперифитона отмечается в реке Тура (55), несколько ниже в реках Пышма (37), Исеть (37) и Ишим (36), минимальной в реке Тобол (34).

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ FWRZ-2021-0006).

#### Список литературы

1. Алексеев В.Р. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т.2. Ракообразные. СПб.: Наука, 1995. 617 с.
2. Баканов А.И. Использование характеристик разнообразия зообентоса в мониторинге состояния пресноводных экосистем // Мониторинг биоразнообразия. М.: Ин-т проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, 1997. С. 278-282.
3. Бакулин В.В., Козин В.В. География Тюменской области (учебное пособие). Екатеринбург: Средне-Уральское книжное издание, 1996. 240 с.
4. Гвоздецкий Н.А., Криволицкий А.Е., Макушина А.А. и др. Физико-географическое районирование Тюменской области. М.: Московский университет, 1973. 244 с.
5. Лезин В.А. Реки и озера Тюменской области (словарь-справочник). Тюмень, 1995. 300 с.
6. Лезин В.А. Реки Тюменской области (южные районы) : справочное пособие. Тюмень, 1999. 196 с.
7. Лепнева С.Г. Личинки и куколки подотряда кольчатощупиковых (Фауна СССР. Ручейники). Т. 2 (вып. 1). М.-Л., 1964. 560 с.
8. Лепнева С.Г. Личинки и куколки подотряда кольчатощупиковых (Фауна СССР. Ручейники). Т. 2 (вып. 2). М.-Л., 1966. 560 с.
9. Панкратова В.Я. Личинки и куколки комаров подсемейства Podonominae и Tanypodinae фауны СССР. СПб.: Наука, 1977. 149 с.
10. Панкратова В.Я. Личинки и куколки комаров подсемейства Chironominae фауны СССР. СПб.: Наука, 1983. 279 с.
11. Протасов А.А. Пресноводный перифитон. Киев: Наук.думка, 1994. 307 с.
12. Пугачев О.Н. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. М.-СПб.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. 449 с.
13. Резвой П.Д. Пресноводные губки (сем. Spongillidae и Lubomirskiidae) // Фауна СССР. Губки. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1936. Т. 2, вып. 2. 1936. 125 с.
14. Скальская И.А., Баканов А.И., Флероб Б.А. Структура зооперифитона и зообентоса реки Латка (бассейн Рыбинского водохранилища) // Биологические ресурсы пресных вод: беспозвоночные. Рыбинск: Изд-во ОАО «Рыбинский дом печати», 2005. 416 с.
15. Шарапова Т.А. Зооперифитон внутренних водоемов Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 2007. 167 с.
16. Цалолыхин С.Я. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 5. Высшие насекомые. СПб.: Наука, 2001. 836 с.
17. Цалолыхин С.Я. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 4. Высшие насекомые. Двухкрылые. СПб.: Наука, 1999. 998 с.

## **СОСТОЯНИЕ ЗАПАСОВ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРОМЫСЛОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Т.А. Голубкова

*Атлантический филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»),  
г. Калининград, [golubkova@atlant.vniro.ru](mailto:golubkova@atlant.vniro.ru)*

*Аннотация: на рубеже начала 1990-х гг. экосистема Балтийского моря «перешла» в новое качественное состояние. Основными причинами режимного сдвига в экосистеме Балтики, наряду с прессом промысла, явились изменения абиотических условий среды, прежде всего потепление климата и распреснение моря. Как следствие, происходят изменения в структуре биотической компоненты и адаптация водных биологических ресурсов к новому качественному состоянию экосистемы.*

*Ключевые слова: треска, сельдь балтийская (салака), шпрот (килька), речная камбала, промысел, температурный, солевой, кислородный режимы*

Российский рыболовный промысел в Балтийском море нацелен на такие промысловые виды водных биологических ресурсов, как треска, сельдь балтийская (салака), шпрот (килька) и речная камбала.

Отечественный вылов основных промысловых видов рыб в исключительной экономической зоне и территориальном море Российской Федерации в Балтийском море за пятилетний период достиг исторического максимума и в 2023 г. составил 69 тыс. т. При условии полного освоения квот годовой вылов российских рыбодобывающих организаций в настоящее время может достигать 80 тыс. т.

Основу промысла в Балтике составляют мелкосельдевые виды рыб – шпрот (килька) и сельдь балтийская (салака), на их долю приходится 98 % от общего вылова. Увеличению добычи этих видов способствовала дотационная политика Правительства Калининградской области (субсидии на топливо), эмбарго на ресурсы из прибалтийских стран, повышение закупочной стоимости водных биологических ресурсов (ВБР). Современная действующая Госпрограмма «Развитие рыбохозяйственного комплекса» обеспечила строительство и модернизацию судов рыбопромыслового флота, береговой инфраструктуры и переработки водных биологических ресурсов. Это позволило увеличить объемы добычи пелагических видов рыб более чем в 2,3 раза.

При этом складывающиеся в современный период условия среды не позволяют наращивать объемы добычи водных биоресурсов в Балтийском море. Экосистема Балтики в конце 1980-х – начале 90-х гг. «перешла» в новое качественное состояние. В ихтиоценозе произошел переход от системы, в которой доминировала треска, к системе с доминированием шпрота.

Причинами режимного сдвига наряду с антропогенным влиянием (промысел, эвтрофикация и др.) были изменения основных режимообразующих факторов, определяющих температурный, солевой, кислородный режимы в различных слоях моря. Как следствие, произошли изменения в структуре биотической компоненты.

Отличительной особенностью Балтийского моря является его ограниченная связь с Северным морем (через мелководные датские проливы), что в современных условиях изменения климата имеет определяющее значение по воздействию на запасы водных биоресурсов Балтики помимо температурных и регулирующих кислородный режим факторов.

В последние 20 лет происходит адаптация водных биологических ресурсов к новому качественному состоянию экосистемы. Однако отмечается возросшее и часто

неблагоприятное влияние условий среды на гидробионты, их нерест, выживаемость потомства, нагула и прочее.

В сложившихся условиях прежде всего обращает на себя внимание треска. В результате упомянутых «перемен» существенно снизились рост, навески и размер 50% созревания особей, и, следовательно, репродуктивный потенциал трески. Естественная смертность увеличилась и в последние годы значительно превышает промысловую. Биомасса трески промыслового размера ( $> 35$  см) в настоящее время находится на минимальном уровне с 1950-х гг.

Многочисленные исследования свидетельствуют о доминирующем негативном влиянии гипоксии на условия нереста, выживаемость потомства, доступность (нехватку) бентосной пищи, обмен веществ, особенности жизненного цикла рыб, включая рост и физиологическое состояние. В этой связи также необходимо отметить влияние гипоксии/аноксии на «сжатие объема» обитания рыбных популяций. Пространственное сжатие подходящей среды обитания и, как следствие, скученность популяции может запускать процессы, зависящие от плотности (например, усиление внутривидовой и межвидовой пищевой конкуренции).

В последние годы увеличилась и пространственная неоднородность распределения мелкосельдевых видов рыб в рамках единиц запасов. Так, по данным тралово-акустических съемок максимальная общая биомасса, как шпрота, так и сельди стала характерна для Центральной и Северной Балтики.

На современном этапе величина запаса сельди в Балтийском море снизилась до критического уровня. Пополнение 2022-2023 гг. – ниже среднего в 1,3 раза.

На текущий момент шпрот является единственным видом водных биоресурсов, величина которого находится в биологически безопасных пределах. Однако последние два низкоурожайных поколений (2021-2022 гг.) обусловили тренд на снижение величины его запаса и соответственно общего допустимого улова в Балтийском море.

Установленные объемы добычи водных биоресурсов в Балтийском море для российского флота являются в настоящее время предельными и могут служить максимальными ориентирами для рыбодобывающих организаций при планировании устойчивости производственных показателей на ближайшие годы.

Величина запаса восточно-балтийской трески и ее российский вылов до 2030 г. при существующих абиотических условиях будет оставаться на низком уровне и не превысит 1,5 тыс. т. Наиболее реалистичным прогнозом российского вылова пелагических видов рыб до 2030 г. является объем добычи шпрота на уровне 45 тыс. т, сельди – 27,5 тыс. т.

Необходимо отметить, что в рамках прогностических оценок состояния популяции водных биоресурсов в Балтийском море и их вылова в российском регионе сохраняются экологические риски, связанные с неопределенностями как прогноза изменений будущего климата в регионе, так и влиянием этих изменений на биоценоз моря в целом.

### Список литературы

1. Амосова В.М., Зезера А.С., Голубкова Т.А. Влияние факторов среды на величины запасов рыб в Балтийском море // Труды ВНИРО. 2022. Т. 187. С. 110-127.

**ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫМ МЕТАБОЛОМ  
POTAMOGETON PERFOLIATUS L. И РАЗВИТИЕМ ЛИТОРАЛЬНОГО  
ФИТОПЛАНКТОНА В ЛАДОЖСКОМ ОЗЕРЕ**

В.А. Гребенников\*, В.В. Аникина<sup>\*,\*\*\*\*</sup>, Ю.В. Крылова<sup>\*\*</sup>,  
Е.А. Курашов<sup>\*\*</sup>, Е.В. Протопопова<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, [grebennikov@niorh.vniro.ru](mailto:grebennikov@niorh.vniro.ru)

<sup>\*\*</sup> Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук,  
пос. Борок, Ярославская обл.

<sup>\*\*\*</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук»,  
г. Санкт-Петербург

<sup>\*\*\*\*</sup> Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской академии наук – обособленное структурное подразделение  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук»,  
г. Санкт-Петербург

*Аннотация: в результате хромато-масс-спектрометрического исследования низкомолекулярного метаболома (НМ) рдеста пронзеннолистного (Potamogeton perfoliatus L.), произрастающего в различных литоральных биотопах Ладожского озера, отличающихся степенью антропогенной нагрузки и уровнем развития фитопланктона выявлены взаимосвязи между НМ P. perfoliatus и степенью антропогенной нарушенности литоральных биотопов, а также уровнем развития фитопланктона и его составом. Отмечено снижение содержания низкомолекулярных органических соединений, а также абсолютного и относительного содержания жирных кислот в составе НМ P. perfoliatus с увеличением антропогенного воздействия. Изменения НМ P. perfoliatus могут быть использованы как диагностические признаки ухудшения озерной среды прибрежной зоны Ладожского озера.*

*Ключевые слова: низкомолекулярный метаболом, карбоновые кислоты, цианобактерии, водные макрофиты, антропогенное воздействие, водные экосистемы, фитопланктон, Ладожское озеро, индикация экологического состояния, эвтрофирование, загрязнение*

Ладожское озеро, будучи самым крупным пресноводным озером Европы, представляет собой уникальную экосистему, которая на протяжении многих лет является важнейшим объектом для исследований в области лимнологии, гидробиологии и охраны окружающей среды (Ладога, 2013). Отдельные акватории в пределах литоральной зоны озера, которая имеет крайне важное значение для всей экосистемы данного водоема, подвержены достаточно высокому антропогенному воздействию (в основном, эвтрофированию и загрязнению), что приводит к нежелательным изменениям в биоценозах литорали (Литоральная зона ..., 2011). Одним из самых вредоносных процессов, связанных с антропогенным воздействием, является опасное цианобактериальное цветение (ОЦЦ), что делает актуальным исследования, связанные с изучением последствий избыточного развития цианобактерий в озере и поиска решений для его предотвращения. Последствия развития ОЦЦ включают разнообразные угрозы как для водных экосистем в целом, так и для гидробионтов, околководных животных и человека (Šulčius et al., 2017; Huisman et al., 2018).

Данные, полученные в ходе изучения низкомолекулярных органических соединений (НОС) в водных экосистемах (Гуревич, 1953, 1973; Fink, 2007; Kurashov et al., 2014), показывают, что природным механизмом, на котором могут основываться современные природоподобные технологии (Kovalchuk, Naraikin, 2017; Zhironkin et al.,

2019; Nature-like..., 2019) управления фитопланктонными сообществами во внутренних водоемах, является аллелопатия. Это природное явление может оказаться весьма полезным для эффективной профилактики и снижения проявлений ОЦЦ в водоемах (Hu, Hong, 2008; Macías et al., 2008; Kurashov et al., 2014; Kurashov et al., 2021).

Аллелопатия проявляется как в наземных, так и в водных экосистемах (Mallik, Inderjit, 2002). Она может выражаться как через стимулирующие, так и ингибирующие эффекты, которые одно растение оказывает на другие растения и микроорганизмы, включая цианобактерии (Mushtaq et al., 2020). По-видимому, аллелопатические взаимодействия, связанные с водными макрофитами, также широко распространены в литорали водоемов и, в целом, в мелководных акваториях, как и в наземных экосистемах (Kurashov et al., 2021; Nezbyrskaya et al., 2022). Следует отметить, что литоральная зона Ладоги является местом нереста многих видов рыб, их нагула. Поэтому так важно сохранять благоприятное экологическое состояние литоральной зоны, понимать и изучать способствующие этому процессы.

Растения, такие как *Potamogeton perfoliatus* L. (рдест пронзеннолистный), играют значительную роль в водных экосистемах озера, во многом формируя водную среду (Распопов, 2011), в том числе оказывая аллелопатическое влияние на фитопланктон, включая цианобактерии в процессе аллелопатии посредством синтеза аллелохемиков, в частности карбоновых кислот, подавляющих рост цианопрокариот (Курашов и др., 2018).

К настоящему времени в результате наблюдений и экспериментальных работ выявлен значительный потенциал жирных кислот в качестве аллелохемиков, способствующих реабилитации водных экосистем и их защите от ОЦЦ (Kurashov et al., 2021; Nezbyrskaya et al., 2022; Крылова и др., 2023). При этом, имеются данные, что при антропогенной нагрузке этот потенциал снижается (Курашов и др., 2018).

Цель данной статьи – выявить взаимосвязь низкомолекулярного метаболома (НМ) *P. perfoliatus*, в том числе карбоновых кислот, производимых рдестом, с развитием фитопланктона в различных акваториях Ладожского озера, различающихся по уровню антропогенной нагрузки.

Материалом для данного исследования послужили сборы *P. perfoliatus* в разнотипных литоральных биотопах Ладожского озера, отличающихся уровнем антропогенной нагрузки (рис. 1).

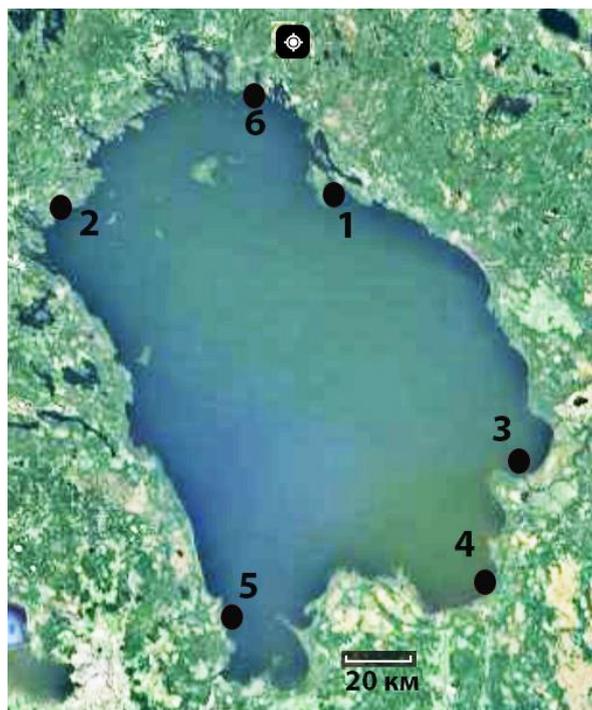


Рисунок 1. Местоположение отбора образцов *P. perfoliatus* в Ладожском озере: 1 – о. Мантинсаари; 2 – о. Койонсаари; 3 – Свирская губа; 4 – Волховская губа (пос. Вороново); 5 – м. Осиновец; 6 – 3-в Импилахти (использованы картографические материалы с сайта <https://www.google.ru/maps/>)

Согласно имеющейся информации о состоянии литоральной зоны Ладоги (Литоральная зона ..., 2011; Митрукова и др., 2020; Крылова и др., 2022) отбор проб был осуществлен в трех типах прибрежных акваторий Ладожского озера:

1. Условия минимального антропогенного воздействия: акватория у острова Мантинсаари;
2. Условия высокоантропогенного воздействия: акватория у залива Импилахти с выраженным ОЦЦ;
3. Условия умеренного промежуточного разнопланового антропогенного воздействия: акватории вблизи о. Койонсаари, устья Свири, в Волховской губе (пос. Вороново), мыса Осиновец.

Пробы макрофитов отбирали на стандартных литоральных станциях в период максимальной вегетации растений. Одновременно в этих же биотопах отбирали пробы фитопланктона. Собранные растения тщательно отмывали от имеющихся обрастаний и сушили без доступа прямых солнечных лучей до воздушно-сухого состояния. Эфирное масло, содержащее НОС, из высушенных растений, было получено методом гидродистилляции в течение 6 часов с использованием аппарата Клевенджера (Clevenger, 1928; ГОСТ 24027.2-80, 1980). Перед перегонкой сухой растительный материал измельчался до порошкообразного состояния в блендере Waring BB-25ES (Waring (США)). Полученный дистиллят экстрагировался гексаном. Гексановые экстракты до хромато-масс-спектрометрического анализа сохранялись в морозильной камере.

Состав НОС НМ *P. perfoliatus* выявляли с помощью газовой хромато-масс-спектрометрии с использованием масс-спектрометрического комплекса SHIMADZU GCMS-QP2010 Ultra, оснащенного неполярной колонкой МТХ-1 30 м × 0,25 мм × 0,25 мкм. В качестве газа-носителя служил гелий. Масс-спектры регистрировали в режиме сканирования по полному диапазону масс (30–1090 m/z) в программном режиме температур (35 °С – 3 мин. стационарная фаза, нагрев со скоростью 2 °С/мин. до 60 °С –

3 мин. (стационарная фаза), нагрев 2 °С/мин. до 80 °С – 3 миню (стационарная фаза), нагрев 4 °С/мин. до 120 °С – 3 мин. (стационарная фаза), нагрев 5° /мин до 150 °С – 3 мин. (стационарная фаза), нагрев 15 °С/мин. до 240 °С – 10 мин. (стационарная фаза)). Для идентификации НОС применяли неавтоматическую пошаговую обработку хроматограмм. НОС идентифицировали с использованием библиотек масс-спектров «NIST-2014» и «Wiley». Для более точной идентификации применяли линейные индексы удерживания (Ткачёв, 2008), полученные с использованием стандартов алканов С7-С30.

Количественный анализ выполняли с использованием бензофенона в качестве внутреннего стандарта.

Пробы воды для исследования фитопланктона отбирали батометром из поверхностного слоя воды. Пробы фиксировали раствором Люголя с последующим добавлением формалина. После отстаивания и концентрирования каждой пробы, часть ее просчитывали в камере Нажотта (V = 0,05 мл) под световым микроскопом (Гусева, 1959). Идентификацию видов проводили с использованием световой микроскопии с помощью определителей (Топачевский, Масюк, 1984; Баринова, Медведева, 1996).

Результаты исследования показали достаточно четкую связь между уровнем синтеза рдестом НОС и развитием фитопланктона в разнотипных литоральных биотопах.

Так, наибольшие значения содержания НОС в НМ рдеста пронзеннолистного были отмечены у растений, произрастающих в пределах акватории у о. Мантинсаари, наименее затронутой антропогенным воздействием среди обследованных локаций в литорали озера (рис. 2).

Наименьшие значения содержания НОС отмечены в образцах рдеста из местообитания на выходе из залива Импилахти при максимальных значениях численности фитопланктона. Данное местообитание характеризуется наибольшим развитием цианобактерий в составе фитопланктонного сообщества (более 95 тыс. кл./мл; 91% суммарной численности).

В биотопах с умеренным антропогенным воздействием наблюдается постепенное снижение содержания НОС в составе НМ рдеста. Данная зависимость может быть описана степенным уравнением и коэффициентом детерминации  $R^2=0,9894$  (рис. 2).

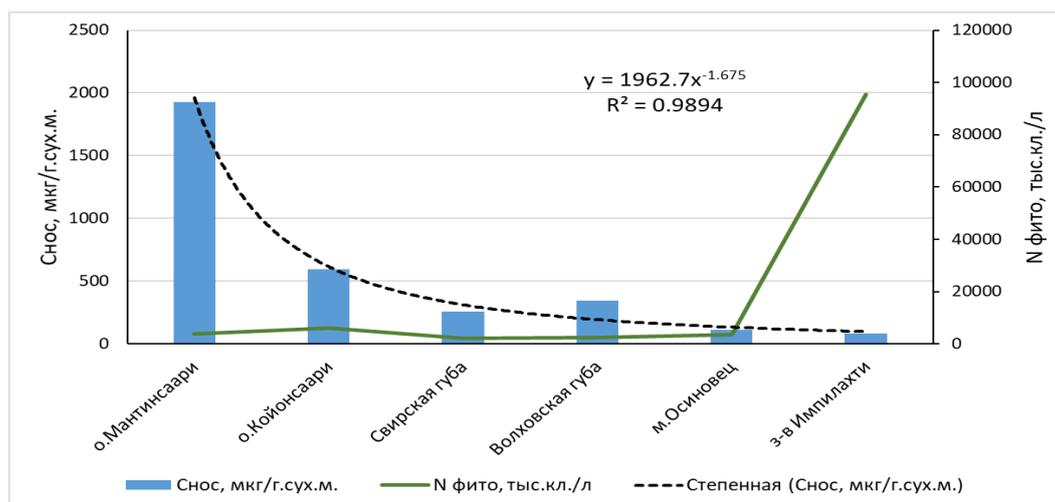


Рисунок 2. Взаимосвязь содержания НОС (Снос, мкг/г.сух.м.) в НМ *P. perfoliatus* и численности фитопланктона (Nфито, тыс. кл./л) в литоральных биотопах Ладожского озера

Как уже упоминалось выше, в составе НМ водных растений наибольший интерес представляют вещества-аллелохимики, поскольку именно они позволяют макрофитам снижать развитие фитопланктона, в том числе и цианобактерий. К таким аллелохемикам,

хорошо представленным у рдеста пронзеннолистного в Ладожском озере относятся карбоновые кислоты (Krylova et al., 2024).

Оказалось, что, как и суммарное содержание НОС, содержание карбоновых кислот у *P. perfoliatus* в Ладожском озере связано с развитием литорального фитопланктона вполне отчетливой зависимостью (рис. 3) с коэффициентом детерминации  $R^2=0,992$ .

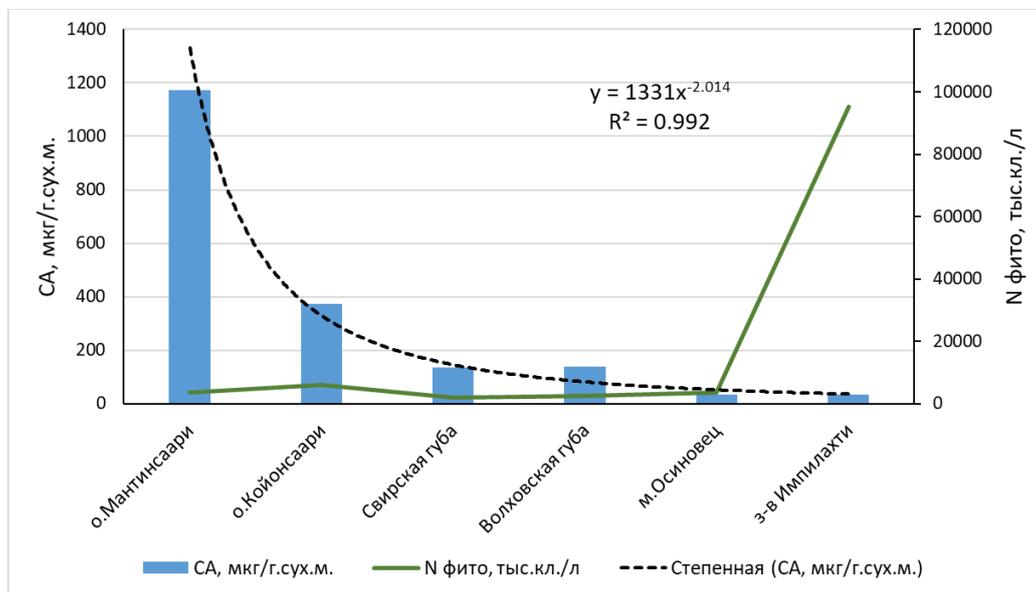


Рисунок 3 – Взаимосвязь содержания карбоновых кислот (СА, мкг/г.сух.м.) в НМ *P. perfoliatus* численности фитопланктона (Nфито, тыс. кл./л) в литоральных биотопах Ладожского озера

Доля карбоновых кислот в составе НМ *P. perfoliatus* также оказалась связана с численностью фитопланктона (рис. 4). Однако, эта взаимосвязь менее выражена, чем в первых двух случаях (коэффициентом детерминации  $R^2=0,6558$ ).

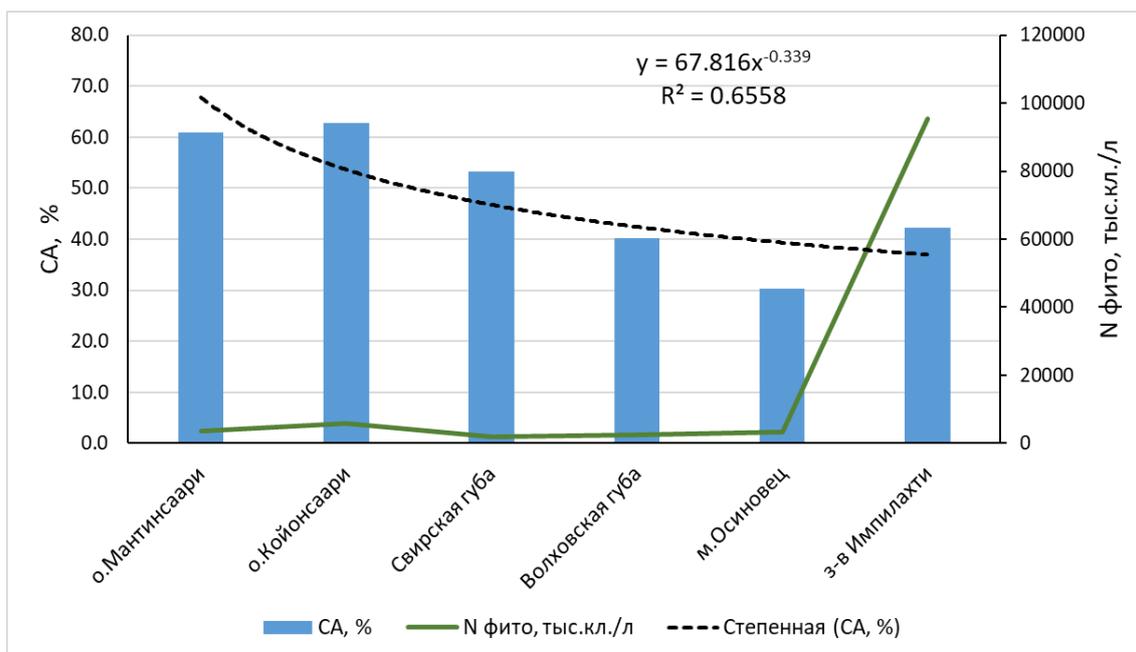


Рисунок 4 – Взаимосвязь доли карбоновых кислот (СА, %) в НМ *P. perfoliatus* и численности фитопланктона (Nфито, тыс. кл./л) в литоральных биотопах Ладожского озера.

Если рассмотреть состав и структуру фитопланктона в наиболее различающихся по антропогенному воздействию биотопах (о.Мантинсаари и з-в Импилахти), а также в биотопах с умеренным антропогенным воздействием (как пример, Свирская губа) (рис. 5), то можно отметить выраженное доминирование цианобактерий в биотопе с наибольшим антропогенным воздействием (з-в Импилахти) и более разнообразное водорослевое сообщество в биотопах с меньшим антропогенным воздействием, где на долю цианобактерий приходилось только около 50 % суммарной численности фитопланктона (рис. 5).

У острова Мантинсаари и в Свирской губе по численности преобладали: из цианобактерий – *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis&Komárek и *Aphanizomenon flos-aquae* RalfsexBornet&Flahault; из криптофитовых – мелкоклеточный *Rhodomonas lacustris* Pascher&Ruttner; из диатомовых – *Skeletonema subsalsum* (A.Cleve) Bethge; из золотистых – *Uroglena americana* G.N.Calkins.

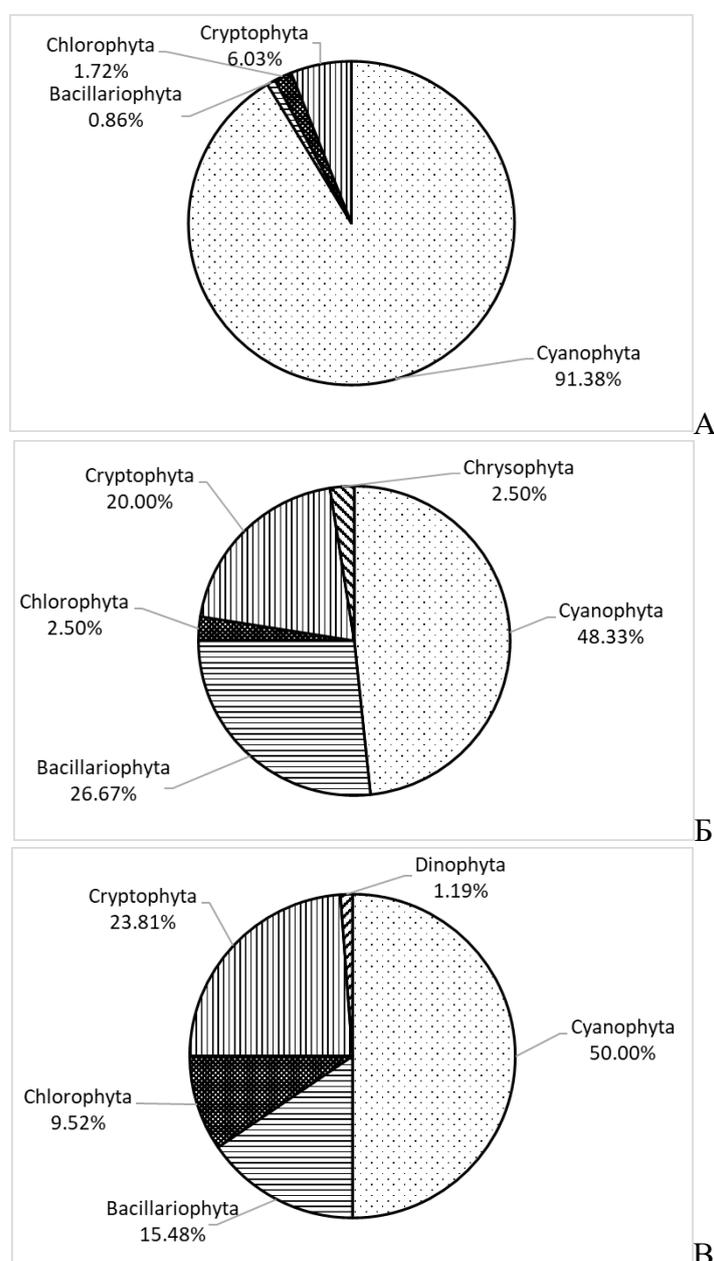


Рисунок 5. Структура фитопланктона по численности в литоральных биотопах Ладожского озера: А – залив Импилахти; Б – о. Мантинсаари; В – Свирская губа

В акватории у залива Импилахтипо численности преобладали цианобактерии: *Anabaena lemmermannii* P.G.Richter, *Aph. flos-aquae*, *Aphanizomenon gracile* Lemmermann, *Aphanizomenon klebahnii* (Elenkin) Pechar&Kalinaex Komárek&Komárková, *Oscillatoria redekei* Goor, *Woronichinia naegeliana* (Unger) Elenkin.

Результаты оценки содержания НОС и карбоновых кислот у *P. perfoliatus* в зависимости от развития литорального фитопланктона, полученные на материале 2019 г. в настоящем исследовании, подтвердили данные 2014 г. (Krylova et al., 2024).

Таким образом, результаты, представленные в этой работе совместно с результатами исследований НМ рдеста пронзеннолистного в 2014 г. показывают, что состав и содержание НОС в НМ (особенно карбоновых кислот) может быть хорошим биоиндикатором изменения озерной среды в прибрежной зоне Ладожского озера под воздействием антропогенного фактора. Возможность использования изменения химического состава у рдеста пронзеннолистного, в частности, гликополимеров и свободных аминокислот, для целей мониторинга и индикации влияния загрязняющих веществ, была показана при исследованиях этого вида в биотопах, различающихся по степени загрязнения соединениями азота и углеводородами нефти в р. Волге в районе г. Саратова (Сачкова и др., 2005).

Таким образом, выявленная взаимосвязь между НМ *P. perfoliatus* и степенью антропогенной нарушенности литоральных биотопов, а также уровнем развития фитопланктона и его составом, позволяют говорить о том, что НМ водных макрофитов может использоваться как индикатор ухудшения экологического состояния водной среды, в том числе в результате развития ОЦЦ, как, например, в заливе Импилахти. При этом, стандартные быстроменяющиеся гидрохимические показатели не всегда могут отражать общую картину, связанную с антропогенной нагрузкой (Krylova et al., 2024). Изменения НМ *P. perfoliatus* могут быть использованы как диагностические признаки ухудшения озерной среды прибрежной зоны Ладожского озера.

Снижение абсолютного и относительного содержания жирных кислот в составе НМ макрофитов любого водоема в ходе мониторинговых исследований может быть признаком того, что антропогенная нагрузка на данную водную экосистему, например, загрязнение или эвтрофирование, усиливается. Поскольку каждый вид водных макрофитов обладает уникальными биологическими и экологическими характеристиками, особенно в плане устойчивости к стрессорам (включая антропогенные), вероятно, что обнаруженная закономерность не будет применима ко всем из них. Это устанавливает необходимость проведения более тщательных исследований состава НМ водных макрофитов и его изменения, расширяя круг изучаемых видов при различных экологических условиях.

Также, выявленное высокое содержание аллелохемиков-жирных кислот у *P. perfoliatus* в Ладожском озере позволяет рассматривать этот вид как потенциальный сырьевой ресурс для получения аллелохемиков для их дальнейшего использования в создании альгицидов нового поколения.

#### Список литературы

1. Барина С.С., Медведева Л.А. Атлас водорослей-индикаторов сапробности (российский Дальний Восток). Владивосток: Дальнаука, 1996. 364 с.
2. ГОСТ 24027.2-80. Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. М, 1980.
3. Гуревич Ф.А. К вопросу о протистоцидных свойствах водных и прибрежно-водных растений // Сборник научных Трудов Красноярского государственного медицинского института. 1953. № 3. С. 212–214.
4. Гуревич Ф.А. Фитонциды водных и прибрежных растений, их роль в гидробиоценозах : Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Иркутский государственный университет им. А.А. Жданова. Иркутск, 1973.
5. Гусева К.А. К методике учета фитопланктона // Труды Ин-та биол. воздухопр. 1959. Т. 2. С. 44-51.

6. Крылова Ю.В., Курашов Е.А., Пономаренко А.М., Светашова Е.С., Синякова М.А., Екимова С.Б., Протопопова Е.В., Колосовская Е.В., Гребенников В.А. Оценка экологического состояния литоральной зоны Ладожского озера по результатам исследований 2019 года // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2022. № 6. С. 102-120.
7. Крылова Ю.В., Курашов Е.А., Протопопова Е.В., Ходонович В.В., Явид Е.Я. Насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты как потенциальные аллелохемики для реабилитации водных экосистем // Трансформация экосистем. 2023. Т. 6, № 5. С. 29-42.
8. Курашов Е.А., Крылова Ю.В., Егорова А.А., Хамитов А.С., Ходонович В.В., Явид Е.Я. Перспективы использования низкомолекулярного метаболома водных макрофитов для индикации экологического состояния водных экосистем // Вода: химия и экология. 2018. № 1-3. С. 68-79.
9. Ладога: монография / Под ред. В.А. Румянцева и С.А. Кондратьева. СПб.: Нестор-История, 2013. 468 с.
10. Литоральная зона Ладожского озера / Под ред. Е.А. Курашова. СПб.: Нестор-История, 2011. 416 с.
11. Митрукова Г.Г., Капустина Л.Л., Курашов Е.А. Экологическая оценка качества вод литоральной зоны Ладожского озера по результатам микробиологических исследований // Труды Карельского научного центра РАН. 2020. № 9. С. 88-100. <https://doi.org/10.17076/lim1277>.
12. Распопов И.М. Видовое и ценотическое разнообразие высших водных и прибрежно-водных растений в литоральной зоне Ладожского озера // Литоральная зона Ладожского озера / Ред. М.Ф. Макаревич. СПб.: Нестор-История, 2011. С. 52-64.
13. Сачкова О.А., Коннова С.А., Игнатов В.В., Мельников Г.В. Исследование углеводов и свободных аминокислот высших водных растений // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2005. Т. 5, № 2. С. 3-7.
14. Ткачев А.В. Исследование летучих веществ растений. Новосибирск: Издательско-полиграфическое предприятие «Офсет», 2008.
15. Топачевский А.В., Масюк Н.П. Пресноводные водоросли Украинской ССР / Под ред. М. Ф. Макаревича. Киев: Вища школа, 1984. 336 с.
16. Clevenger J.F. Apparatus for the determination of volatile oil // Journal of the American Pharmaceutical Association. 1928. Vol. 17, № 4. P. 345-349.
17. Fink P. Ecological functions of volatile organic compounds in aquatic systems // Marine and Freshwater Behaviour and Physiology. 2007. Vol. 40. P. 155-168.
18. Hu H., Hong Y. Algal-bloom control by allelopathy of aquatic macrophytes—A review // Frontiers of Environmental Science & Engineering in China. 2008. Vol. 2, № 4. P. 421-438.
19. Huisman J., Codd G.A., Paerl H.W., Ibelings B.W., Verspagen J.M.H., Visser P.M. Cyanobacterial blooms // Nature Reviews Microbiology. 2018. № 16. P. 471-483.
20. Kovalchuk M.V., Naraikin O.S. Nature-Like Technologies – New Capacities and New Challenges // Security Index. 2017. Vol. 22, № 3-4. P. 118-119.
21. Krylova J.V., Kurashov E.A., Protopopova E.V., Khodonovich V.V., Yavid E.Ya., Kuchareva G.I. Composition of the Low Molecular Weight Metabolome of *Potamogeton perfoliatus* (Potamogetonaceae) as an Indicator of the Transformation of the Ecological State of the Littoral Zone // Inland Water Biology. 2024. Vol. 17, № 4. P. 560-570. <https://doi.org/10.1134/S1995082924700202>.
22. Kurashov E., Krylova J., Protopopova E. The Use of Allelochemicals of Aquatic Macrophytes to Suppress the Development of Cyanobacterial 'Blooms' // Plankton Communities / Eds. L. Pereira и A.M. Gonçalves. London: IntechOpen, 2021. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95609>.
23. Kurashov E. A., Krylova J. V., Mitrukova G. G., Chernova A. M. Low-molecular-weight metabolites of aquatic macrophytes growing on the territory of Russia and their role in hydroecosystems // Contemporary Problems of Ecology 7, № 4. 2014. P. 433–448.
25. Macías F.A., Galindo J.L.G., García-Díaz M.D., Galindo J.C.G. Allelopathic agents from aquatic ecosystems: potential biopesticides models // Phytochemistry Reviews. 2008. № 7. P. 155-178.
26. Mallik, A.U., and Inderjit, eds. Chemical Ecology of Plants: Allelopathy in Aquatic and Terrestrial Ecosystems. Basel: Springer, 2002.
27. Mushtaq W., Siddiqui M.B., Hakeem K.R. Allelopathy. Potential for Green. 2020.
28. Nature-like and Convergent Technologies Driving the Fourth Industrial Revolution. Vienna: United Nations Industrial Development Organization, 2019.
29. Nezbyrta I., Usenko O., Konovets I., Leontieva T., Abramiuk I., Goncharova M., Bilous O. Potential Use of Aquatic Vascular Plants to Control Cyanobacterial Blooms: A Review // Water. 2022. Vol. 14, № 11. P. 1727. <https://doi.org/10.3390/w14111727>.
30. Šulčius S., Montvydienė D., Mazur-Marzec H., Kasperovičienė J., Rulevičius R., Cibulskaitė Ž. The profound effect of harmful cyanobacterial blooms: From food-web and management perspectives // Science of The Total Environment. 2017. Vol. 609. P. 1443-1450.
31. Zhironkin S., Demchenko S., Kayachev G., Taran E., Zhironkina O. Convergent and Nature-Like Technologies as the Basis for Sustainable Development in the 21st Century // IV The International Innovative Mining Symposium. E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 105. P. 03008.

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПОРТУНИСТИЧЕСКИХ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДНОЙ СРЕДЫ

Ю.И. Губелит

*Зоологический институт Российской академии наук, г. Санкт-Петербург,  
[Yulia.gubelit@zin.ru](mailto:Yulia.gubelit@zin.ru), [gubelit@list.ru](mailto:gubelit@list.ru)*

Аннотация: в связи с массовым распространением «цветения» макроводорослей, их использование для оценки качества водной среды становится особенно актуальным. Рассмотрены основные параметры (метрики), основанные на характеристиках сообществ оппортунистических макроводорослей, которые используются в экосистемах разного типа.

Ключевые слова: «зеленые приливы», оппортунистические макроводоросли, Финский залив, прибрежные экосистемы, эвтрофирование прибрежной зоны

Макроводоросли играют ключевую роль в функционировании прибрежных экосистем. В последние десятилетия увеличение антропогенной нагрузки и связанные с этим эвтрофирование и загрязнение вызвали изменения в водных экосистемах. В прибрежных экосистемах это часто приводит к массовому развитию оппортунистических макроводорослей и снижению биоразнообразия сообществ. Большинство оппортунистических видов, которые образуют «цветения» относятся к Chlorophyta и Ochrophyta. «Цветения», вызванные представителями этих родов, получили название «зеленых» и «золотых» приливов. В свете вышесказанного возникла необходимость в методах оценки состояния водных экосистем с помощью оппортунистических видов водорослей. Анализ публикаций в базе Scopus показал, что интерес к этой теме стал возрастать в 2000-х, а кратное увеличение количества публикаций произошло в 2010-х гг. Это отражает возрастание количества «зеленых» приливов во всем мире. Поскольку это явление распространено как в морских, где биоразнообразие макроводорослей велико, так и в пресноводных экосистемах, где сообщество макроводорослей, как правило, монодоминантно, то критерии оценки различны. Изначально массовое развитие зеленых водорослей (*Cladophora glomerata*) было описано в середине XX века на Великих Американских озерах и тогда же были разработаны и использованы первые критерии оценки на основе биомассы и было установлено пороговое значение в 50 г сух. массы/м<sup>2</sup>, которое можно считать началом «цветения» (Higgins et al., 2008).

В Балтийском море, где оппортунистические водоросли образуют плавающие и погруженные водорослевые маты, за основу оценки легли биомасса, проективное покрытие, а также толщина водорослевых матов. Более того, последний критерий был предложен как предиктор кислородных условий на дне (Lauringson, Kotta, 2006). Позднее, для Российской части Финского залива были разработаны Березиной и др. (Berezina et al., 2017) несколько индексов: на основе проективного покрытия водорослями (АС), толщины водорослевых матов (ТАL), и признаков гипоксии (по шкале от 1 до 5). С продвижением к Датским проливам соленость в Балтийском море возрастает, а вместе с тем возрастает количество видов макроводорослей.

Для солоноватоводных районов Балтийского моря были разработаны индексы на основе кумулятивного покрытия водорослями и соотношения оппортунистических и многолетних (*Fucus vesiculosus*) видов водорослей (Rinne et al., 2018). На основе измерений концентраций фосфора в *C. glomerata* было обнаружено, что этот показатель

коррелирует с удаленностью от источника поступления биогенов и может быть использован в оценке длительной биогенной нагрузки (Salo, Salovius-Lauren, 2022).

Для морских и эстуарных экосистем, где присутствует множество многолетних и оппортунистических видов, критериев гораздо больше и разработано множество методов оценки, начиная со спутниковой и аэросъемки и заканчивая различными индексами. Например, для северного побережья Атлантики был разработан индекс Opportunistic Macroalgal Blooming Tool (ОМВТ), основанный на 5 метриках (Foden et al., 2010). В заключение можно выделить следующие основные критерии для использования оппортунистических видов водорослей для оценки качества водной среды: для пресноводных и солоноватоводных экосистем – покрытие оппортунистическими водорослями, биомасса, толщина водорослевых матов, признаки гипоксии, общее покрытие водорослями, соотношение многолетних и оппортунистических водорослей, площадь покрытия водорослевыми матами. Для морских и эстуарных местообитаний – видовой состав, количество характерных видов, общее покрытие водорослями, покрытие оппортунистическими видами, соотношение многолетних и оппортунистов, площадь покрытия водорослевыми матами.

Основные метрики, основанные на особенностях сообществ оппортунистических водорослей представлены в табл.

Таблица. Основные параметры используемые для оценки состояния местообитания с помощью оппортунистических водорослей

<b>Тип местообитания</b>	<b>Монодоминантные пресноводные и солоноватоводные сообщества</b>	<b>Морские и эстуарные экосистемы с высоким видовым разнообразием</b>
<b>Параметры</b>	Покрытие оппортунистическими видами (%)	Видовой состав
	Биомасса	Число видов-индикаторов
	Толщина водорослевых матов	Общее покрытие макроводорослями (%)
	Признаки гипоксии	Общее покрытие оппортунистических видов
	Общее покрытие макроводорослями	Доля оппортунистических видов
	Соотношение оппортунистических и многолетних видов. Площадь, покрытая водорослевыми матами	Площадь, покрытая водорослевыми матами
<b>Рекомендованное время сбора проб</b>	Сезонный пик биомассы	

Работа выполнена при поддержке государственной темы ЗИН РАН №122031100274-7.

#### Список литературы

- Higgins S. N., Malkin S. Y., Howell E.T., Guildford S. J., Campbell L., Hiriart-Bayer V., Hecky R. E.. An ecological review of *Cladophora glomerata* (Chlorophyta) in the Laurentian Great Lakes. // *Journal of Phycology*. 2008. Vol. 44. P. 839-854.
- Lauringson V., Kotta J. Influence of the thin drift algal mats on the distribution of macrozoobenthos in Kõiguste Bay, NE Baltic Sea. // *Hydrobiologia*. 2006. Vol. 554. P. 97-105.

3. Berezina N.A., Gubelit Yu.I., Polyak Yu.M., Sharov A.N., Kudryavtseva V.A., Lubimtsev V.A., Petukhov V.A., Shigaeva T.D. An integrated approach to the assessment of the eastern Gulf of Finland health: A case study of coastal habitats // *Journal of Marine Systems*. 2017. Vol. 171 P. 159-171 doi: 10.1016/j.jmarsys.2016.08.013
4. Rinne H., Korpinen S, Mattila J., Salovius-Laurén S. Functionality of potential macroalgal indicators in the northern Baltic Sea.// *Aquatic Botany*. 2018. V. 149. P. 52-60 <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2018.05.006>
5. Salo T., Salovius-Lauren S. Green algae as bioindicators for long-term nutrient pollution along a coastal eutrophication gradient // *Ecological Indicators*. 2022. Vol. 140. P. 109034. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109034>
6. Foden J., Wells E., Scanlan C., Best M.A. Water Framework Directive development of classification tools for ecological assessment: Opportunistic Macroalgae Blooming. UK TAG Report for Marine Plants Task Team, January 2010. 2010. Publ. UK TAG.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ГИБРИДОВ СИГОВЫХ ВИДОВ РЫБ В АКВАКУЛЬТУРУ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Е.Н. Даринов, П.В. Шаврин, А.А. Бабушкин, Н.С. Ниязов, Л.С. Абышева

*Тюменский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («Госрыбцентр»), г. Тюмень  
[darinov@vniro.ru](mailto:darinov@vniro.ru), [p.shavrin@gosrc.vniro.ru](mailto:p.shavrin@gosrc.vniro.ru), [a.babushkin@gosrc.vniro.ru](mailto:a.babushkin@gosrc.vniro.ru),  
[n.n.niyazov@gosrc.vniro.ru](mailto:n.n.niyazov@gosrc.vniro.ru), [l.abysheva@gosrc.vniro.ru](mailto:l.abysheva@gosrc.vniro.ru)*

*Аннотация: проведена оценка потенциала использования межвидовых гибридов первого поколения сиговых рыб Обского бассейна в аквакультуре на основе анализа выживаемости и продукционных показателей пеляди *Coregonus peled* и её гибридов пеляди *C. peled*, ♀ × нельмы *Stenodus leucichthys nelma* ♂ (далее – пелнел) пеляди *Coregonus peled*, ♀ × чира *C. nasus* ♂ (далее – пелчир) при однолетнем пастбищном выращивании в бессточном озере юга Западной Сибири. Прослежена динамика численности и биомассы кормовых организмов зоопланктона и зообентоса, изучено питание выращиваемых рыб.*

*Ключевые слова: аквакультура, сиговые рыбы, гибридизация рыб, пастбищное выращивание, кормовая база, питание рыб*

Перспективным направлением интенсификации пастбищного рыбоводства в озёрах юга Западной Сибири является увеличение разнообразия объектов выращивания за счёт гибридных форм пеляди (Павлов, 1978; Ниязов, 1983а, 1983б, 1989, 1992).

Материалом исследований служили личинки, мальки и сеголетки пеляди, а также гибридов пелнел и пелчир, полученные на УНП «Волково» Тюменского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (Тобольский район) (Смешливая и др., 2018; Создание., 2022). Для промышленной апробации был выбран рыболовный участок – бессточное озеро Убиенное Казанского района (ЗАО «Казанская рыба»).

Отбор и обработку количественных проб зоопланктона и зообентоса выполняли по общепринятым методикам (Правдин, 1966; Балущкина, Винберг, 1979; Методические..., 1984).

Сбор ихтиологического материала осуществляли мальковым неводом длиной 25 м (с ячей в крыльях 10 мм, в мотне 5 мм), а также ставными разноячейными комбинированными сетями (с ячей 16–22–28–30–36 мм). Промышленный вылов осуществляли ставными и закидными неводами. Собранный ихтиологический материал подвергали биологическому анализу, включавшему измерение массы тела и его линейных параметров.

Камеральную обработку пищеварительных трактов у рыб проводили по стандартной методике. Кормовые объекты рассматривали по группам. Сходство пищи рыб разных видов определяли с помощью индекса пищевого сходства – ИПС (Методическое пособие..., 1974).

Удельную скорость весового роста вычисляли по формуле Шмальгаузена – Броди (Создание., 2022). Для определения скорости линейного роста использовали показатель относительного прироста.

### *Краткая характеристика оз. Убиенное*

Площадь акватории составляет 6,9 км<sup>2</sup>, длина – 4,0 км, наибольшая ширина – 2,6 км. Общая площадь водосбора – 122,0 км<sup>2</sup>. Водоём вытянутой формы с севера на юг. Береговая линия слабо изрезана, берега пологие. Наибольшая глубина в многоводные годы составляет 2,5–3,0 м, в маловодные годы снижается до 1,5 м. В период паводка впадает несколько ручьёв с водосборной площади (Князев и др., 2012; Лезин, Ивачев, 2015; Лезин, 2016).

Средняя численность планктонных организмов за сезон составила 104672,9 экз./м<sup>3</sup>, биомасса 3,18 г/м<sup>3</sup>. Согласно рыбохозяйственной классификации по зоопланктону, озеро характеризуется, как водоём выше средней кормности (Пидгайко и др., 1968). Средняя численность зообентоса составляла 381,15 экз./м<sup>2</sup>, а биомасса – 3,32 г/м<sup>2</sup>. По численности и биомассе доминировали личинки *Chironomus plumosus* (Linne) 60 % и 89 % соответственно. По степени развития зообентоса озеро соответствует средnekорному водоёму (Пидгайко и др., 1968).

#### *Особенности питания пеляди и гибридов пелнел и пелчир*

Установлено, что спектр питания гибридных форм состоял из 21-28 кормовых объектов и был значительно шире, чем у пеляди, имеющей восемь кормовых объектов в спектре питания. В процессе роста характер питания сиговых рыб менялся в разные периоды в связи с колебаниями уровня развития кормовой базы. Существенные различия в питании пеляди и её гибридов наблюдали лишь в июне, когда пелядь питалась преимущественно планктонными организмами, а гибриды – бентосными. В дальнейшем спектр питания в процентном соотношении для трёх видов сиговых был схож. Анализ доли компонентов в массе пищевого комка показал, что наибольшее значение в питании гибридов пелнел и пелчир имели личинки хирономид *Chironomus plumosus* (71,0 %) и (60,4 %), а в питании пеляди – ветвистоусые рачки *Arctodiaptomus acutilobatus* (69,0 %).

Низкие значения индексов пищевого сходства и перекрытия пищевых ниш у пеляди и гибридов пелнел и пелчир наблюдались в июне (10,8) и июле (28,1), что свидетельствуют о слабой пищевой конкуренции в летний период выращивания, относительно высокий индекс пищевого сходства был в сентябре (88,7), что обусловлено высоким процентным содержанием в пищевом комке эфиппий рода *Daphnia*.

#### *Индивидуальный рост гибридов сиговых и пеляди за период нагула при совместном выращивании*

Показатели линейного и весового роста характеризуют рост гибрида пелнел как наиболее быстрый в сравнении с ростом пеляди и гибрида пелчир. По результатам зимних неводных обловов, выполненных в марте 2024 г., выявлено, что с наступлением подледного периода скорость роста гибридов сиговых и пеляди снизилась. Увеличение размерных характеристик в условиях зимовки наблюдалось только у гибрида пелнел, за рассматриваемый период длина в среднем увеличилась на 1,5 см (7,5 %), масса – на 13 г (11 %). Средняя масса пеляди и гибрида пелчир в данный период незначительно снизилась (2-3 %).

Учитывая то, что в процессе онтогенеза выращиваемых рыб характеристики роста существенно изменяются, для оценки роста использовались относительные показатели (Мина, Клеветал, 1976; Создание., 2022). В результате выявлены достоверные закономерности изменения величины удельной скорости весового роста от возраста для выращиваемых рыб. В начальный период выращивания темп роста пелнела характеризуется более высокими показателями, в дальнейшем различия в скорости роста становится менее выраженными в сравнении с другими объектами выращивания.

В конце вегетационного периода выращивания рыб при промышленном облове оз. Убиенное ставными неводами с 13 сентября по 21 октября 2023 г. было выловлено 35768 кг товарных сеголеток сиговых рыб, в том числе гибрида пелнел – 2862 кг.

Выживаемость и продукционные показатели сеголеток пеляди и гибридов пелнел, пелчир при совместном выращивании в оз. Убиенное приведены в табл.

Таблица. Рыбоводные показатели совместного выращивания пеляди и гибридов пелнел, пелчир

Вид, гибриды	Плотность посадки личинок, экз./га	Конечная масса, г	Вылов		Возврат, %	Выживаемость рыб	
			кг/га	экз./га		%	экз./га
Пелядь	292	84,0	0,84	10	3,42	3,76	11
Пелнел	438	109,8	4,35	40	9,13	10,04	44

Вид, гибриды	Плотность посадки личинок, экз./га	Конечная масса, г	Вылов		Возврат, %	Выживаемость рыб	
			кг/га	экз./га		%	экз./га
Пелчир	8760	84,2	47,03	563	6,42	7,06	620
Всего	9490	87,15	52,22	613	6,45	7,10	675

Сравнительное исследование продукционных показателей гибридов сиговых и пеляди при однолетнем выращивании в условиях пастбищной аквакультуры показали, что гибрид пелнел превосходит пелядь и гибрида пелчир по следующим показателям: средняя масса тела выше на 30 %, выживаемость и возврат на 270 % больше, чем у пеляди и на 140 % выше, чем у гибрида пелчир. В отличие от пеляди и гибрида пелчир, у гибрида пелнел наблюдалось увеличение средних линейных и весовых показателей в зимний подледный период.

Суммарный осенне-зимний вылов сиговых видов рыб в оз. Убиенное составил 55,9 т или 8,6 т от 1 млн личинок сиговых. Промышленная апробация технологии выращивания проходила в условиях многолетней низкой обводненности территории, и полученный результат характеризует наименьшие биопродукционные возможности водоема. При улучшении гидрологических условий продукционные показатели выращиваемых сиговых видов рыб возрастут. В 2024 г. исследования продолжаются в условиях увеличения показателей водности.

Использование перспективных гибридов пеляди в пастбищной аквакультуре позволит увеличить выход товарной продукции сиговых в среднем на 30% без увеличения площадей рыбоводных участков. Поиск новых высокопродуктивных объектов пастбищной аквакультуры является перспективным направлением интенсификации озёрного рыбоводства. Результаты исследований могут быть использованы при разработке усовершенствованных технологий выращивания комплекса сиговых рыб в озёрах юга Западной Сибири в пастбищной аквакультуре.

#### Список литературы

1. Балушкина Е.В., Винберг Г.Г. Зависимость между массой и длиной тела у планктонных животных // Общие основы изучения водных экосистем. Л.: Наука, 1979. С. 169–172.
2. Князев И.В., Ниязов Н.С., Ширшов В.Я., Князева Н.С., Якушина Т.Е. Технологические особенности выращивания сиговых рыб в озерах Западной Сибири в современных условиях // Рыбное хозяйство и аквакультура. 2012. № 6. С. 75-83.
3. Лезин В.А. Реки и озера Тюменской области: Казанский и Сладковский районы: энциклопедический словарь. Тюмень : РИЦ ТГИК, 2016. 220 с.
4. Лезин В.А., Ивачёв И.В. Реки и озера Тюменской области: Ишимский, Абатский, Викуловский, Сорокинский районы: энциклопедический словарь. Тюмень: РИЦ ТГИК, 2015. 209 с.
5. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 51 с.
6. Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. М.: Наука, 1974. 254 с.
7. Мина М.В., Клеветал Г.А. Рост животных. М.: Наука, 1976. 291 с.
8. Ниязов Н.С. Выращивание в поликультуре гибрида пелядь\*пыжьян в озерах Западной Сибири // Рыбное хозяйство. 1983. № 2. С. 36-38.
9. Ниязов Н.С. Гибриды пыжьяна, чира и муксуна с пелядью и перспективы их использования в озёрных хозяйствах Тюменской области // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. 1983. Вып. 295. С. 64-71.
10. Ниязов Н.С. Биологические основы управления рыбопродукционным процессом при выращивании сеголеток сиговых и карпа в пи томных озерах Западной Сибири: сб. научн. тр. «Пути повышения рыбопродуктивности водоёмов озерных товарных хозяйств». Вып. 295. Л., 1989, С. 19 – 32.
11. Ниязов Н. С. Результаты выращивания гибридов пеляди и сига-пыжьяна в заморных озёрах Тюменской области // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. 1992. Вып. 320. С. 70-79.
12. Павлов А.Ф. Гибридизация сиговых рыб как один из резервов повышения продуктивности водоёмов // Продуктивность водоёмов разных климатических зон РСФСР и перспективы их рыбохозяйственного использования. Красноярск: СибрыбНИИпроект, 1978. С. 86-89.

13. Пидгайко М.А., Александров Б.М., Иоффе Ц.И., Максимова Л.П., Пертов В.В., Саватеева Е.Б., Салазкин А.А. Краткая биолого-продукционная характеристика водоемов Северо-Запада СССР. Изд. ГосНИОРХ. Т. 67, 1968. С. 205-228.
14. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
15. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.
16. Смешливая Н.В., Семенченко С.М., Прилипко Н.И. К вопросу о выживаемости гибридов сиговых рыб в эмбриогенезе // Пресноводные экосистемы – современные вызовы : Тезисы докладов и стендовых сообщений Международной конференции. Иркутск: ООО «Мегапринт», 2018. С. 320-322.
17. Создание высокопродуктивных пород и кроссов теплолюбивых и холодноводных объектов аквакультуры с использованием методов геномной селекции, гибридизации и криобиологии для различных регионов Российской Федерации: тема 16.1: отчет о НИР (заключительный) / ФГБНУ ВНИРО // Проведение прикладных научных исследований. М.: ФГБНУ ВНИРО, 2022.

## ПИТАНИЕ СИГА В ЛАДОЖСКОМ ОЗЕРЕ В 2022 ГОДУ

Н.А. Дарсия

Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, [darsia.nn@gmail.com](mailto:darsia.nn@gmail.com)

Аннотация: сиг – ценный промысловый вид в Ладожском озере. Изучение питания этих рыб не проводилось с 80-х годов XX века. В данной работе исследовались основные компоненты рациона сига и сравнивались с данными, полученными в более ранних исследованиях. В результате проведенных исследований было выявлено, что питание сига за последние 40 лет не изменилось не смотря на изменения в кормовой базе водоема. В основном сиг питается амфиподами, хирономидами, моллюсками и личинками других насекомых. Наиболее популярный компонент питания – амфиподы, среди которых преобладает один вид - *Monoporeia affinis*.

Ключевые слова: питание рыб, сиг, Ладожское озеро

Сиг (*Coregonus lavaretus*) является одним из ценных рыб Ладожского озера. Исследования по питанию сига в озере проводились достаточно давно. Последние статьи на данную тему были опубликованы такими авторами, как Г.В. Федорова, Л.Ф. Примак, Л.П. Тихомирова и др. в конце 80-х гг. прошлого века (Болотова, 1977; Тихомирова, Болотова, 1977; Тихомирова, Федорова, 1979; Федорова, Приймак, 1987).

Ранее опубликованные работы по исследованию рационов сига показали, что этот вид рыб питается в основном бентосными организмами, в разное время года состав пищевого комка рыб менялся не значительно. Так в существенную роль в питании играли ракообразные гаммариды, имаго, куколки и личинки хирономид, моллюски, личинки других насекомых, также в пищевом комке встречались крупные планктонные организмы кладоцеры и копеподы (последние в основном встречались в летний период). Иногда в рационе сига можно встретить растительную пищу – макрофиты и некоторые водоросли. В целом в питании ладожского сига как по весу, так и по частоте встречаемости главными элементами питания являются амфиподы (преимущественно вид *Pontoporeia affinis*), хирономиды и моллюски (Болотова, 1977; Тихомирова, Болотова, 1977; Тихомирова, Федорова, 1979; Федорова, Приймак, 1987).

Отлов сига производился 10 сентября 2022 г. в Ладожском озере в районе пос. Осиновец. Сбор материала на питание рыб производился активными методами сбора (трал с размером ячеи 8 мм). Пищеварительные тракты рыб фиксировались 4 % раствором формалина. Далее пробы обрабатывались в лабораторных условиях по стандартной методике изучения питания рыб в естественных условиях (Руководство..., 1961).

Общая выборка составила 23 экземпляра рыб разного размера, все они были изучены на предмет питания. Размер исследованных рыб варьировал от 29,2 до 35,4 см (средняя длина – 32,5 см), масса от 325 до 515 г (средняя масса – 417,9 г), возраст изученных рыб составлял 4-5 лет. Выборка в равной степени была представлена самцами и самками.

Для оценки интенсивности питания рыб использовали общий индекс наполнения желудков – это отношение массы всего содержимого желудка, кишечника или пищеварительного тракта в целом к общему весу рыбы. Учитывая малую величину индекса наполнения, его принято увеличивать в 10000 раз и выражать в процепцимиллях (‰).

В результате исследования 23-х желудков было установлено, что большинство рыб из представленной выборки питались, только у двух особей желудки оказались

пусты. Степень наполнения желудков питающихся рыб была равна 3-4 баллам по шкале Лебедева (среднее наполнение или полный желудок).

Общий индекс наполнения желудков (с учетом непитающихся рыб) был равен 24,2 ‰, что также свидетельствует о средней интенсивности питания.

В целом в пищевом комке сига было обнаружено 18 объектов, в том числе растительность. В литературных источниках указывается более широкий спектр питания сига, данные различия могут быть связаны с незначительной выборкой в 2022 г., а также с тем, что в рамках исследования были изучены взрослые крупные экземпляры рыб. Молодь сига питается более разнообразной пищей (Федорова, Приймак, 1987).

В целом в питании сига наибольшую роль играют рачки Amphipoda (77,2 % от общего числа организмов в пищевом комке, 78 % по весу), личинки Chironomidae (18,3 % от общего числа, 18,1 – по весу) и моллюски Mollusca (3,8 % от общего числа, 2,6 % по весу). Значимость других компонентов питания незначительна (табл.).

Таблица. Состав пищи сига в Ладожском озере в сентябре 2022 г.

Amphipoda		Chironomidae		Mollusca		Прочие	
% от общего количества, экз.	% от общего веса, г	% от общего количества, экз	% от общего веса, г	% от общего количества, экз	% от общего веса, г	% от общего количества, экз. (%)	% от общего веса, г
77,2	78	18,3	18,1	3,8	2,6	0,7	1,3

В пищевом комке амфиподы были представлены двумя видами: в наибольшем количестве рыбы употребляли в пищу *Monoporeia affinis*, реже *Pallasea quadrispinosa*. Видовой состав хирономид был более широким и включал 9 видов, среди которых наиболее популярными оказались *Chironomus plumosus* и *Prodiamesa ex. gr. bathiphila*. Моллюски представлены одним видом – *Pisidium* sp.

Прочие организмы, потребляемые в значительном количестве сигом, представлены крупными придонными ветвистоусыми ракообразными (*Eurycercus lamellatus*, *Bosmina coregoni*), водяным клещом отр. Acariformes, растительными остатками и малощетинковыми червями (Подкласс Oligochaeta).

Таким образом, на основании анализа полученных данных и имеющихся литературных сведений по питанию ладожского озерного сига можно сделать следующее заключение. В настоящее время, как и в 70-80-х гг. XX века, в Ладожском озере сиг питается главным образом амфиподами – в наибольшем количестве в пищевом комке была обнаружена *Monoporeia affinis* (*Pontoporeia affinis*). Следующим по значимости компонентом являются личинки хирономид и моллюски. В целом исследуемые экземпляры рыб питались типичными и наиболее массовыми видами бентосного сообщества.

#### Список литературы

1. Руководство по изучению питания рыб в естественных условиях / Под ред. Павловского Е.Н. М., 1961. 263 с.
2. Тихомирова Л.П., Федорова Г.В. Рационы сигов Ладожского озера // Сб. научн. Трудов ГосНИОРХ. 1979. Вып. 141.
3. Федорова Г.В., Приймак Л.Я. Питание ладожского озерного сига *Coregonus lavaretus baeri n. ladoga* Pravdin // Сб. научн. Трудов ГосНИОРХ. 1987. Вып. 266.
4. Тихомирова Л.П., Болотова Т.Т. Питание сига-лудог Ладожского озера // Сб. научн. Трудов ГосНИОРХ. 1977. Вып. 116.
5. Неелов А.В. Природа Ленинградской области: РЫБЫ. Л.: Лениздат, 1987. 158 с.
6. Болотова Т.Т. К вопросу о происхождении сига-лудог Ладожского озера // Сб. научн. Трудов ГосНИОРХ. 1977. Вып. 125.

## К ХАРАКТЕРИСТИКЕ ФИТОПЛАНКТОНА РАЗНОТИПНЫХ ВОДОЕМОВ КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Т.В. Еремкина, Д.Е. Корбут

*Уральский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («УралНИРО»),  
г. Екатеринбург, [eremkina@vniro.ru](mailto:eremkina@vniro.ru)*

*Аннотация: представлены результаты исследования видового разнообразия водорослей водоемов Курганской области. Общий список выявленных таксонов с учетом литературных данных и современных номенклатурных преобразований включает 700 видов, разновидностей и форм водорослей из 8 отделов, 20 классов, 55 порядков, 118 семейств и 264 родов.*

*Ключевые слова: фитопланктон, водоемы, таксономическое разнообразие, Курганская область*

Курганская область расположена в юго-западной части Западно-Сибирской низменности в умеренном климатическом поясе в зоне недостаточного и неустойчивого увлажнения преимущественно в подзоне лесостепи степной зоны. Большая часть территории относится к бассейну реки Тобол (левый приток Иртыша). Восточная часть области лежит в Тоболо-Ишимском междуречье и является бессточной зоной. По характеру водного режима водотоки региона относятся к рекам с весенним половодьем казахстанского типа. Характерной особенностью водного фонда Курганской области является большое количество мелких (глубиной до 3,0 м) эвтрофных озер с широким спектром минерализации от пресных до гипергалинных с соленостью 110-400 г/дм<sup>3</sup> (Науменко и др., 2019).

Несмотря на почти столетнюю историю гидробиологических исследований, материалы по альгофлоре водоемов Курганской области содержатся в разрозненных статьях, часто без публикации полных флористических списков или точного указания места нахождения находки (Еремкина, 2023). При этом данные о видовом разнообразии являются необходимыми для экологических исследований при оценке влияния макроклиматических факторов на формирование региональных альгофлор, разработке рекомендаций по эффективной эксплуатации рыбохозяйственных водоемов, экологического мониторинга состояния водных экосистем, в том числе в статусе ООПТ, и других целей. В основе настоящей работы лежат обобщенные литературные (Науменко, Суханов, 1999; Санникова, 2020; Зверева, 2011; Романов, 2017; Литвиненко и др., 2020; Несговорова и др., 2021), фондовые и собственные данные для 59 водных объектов Курганской области с 1929 по 2023 гг. Собственными исследованиями охвачен период с 2000 по 2023 гг. на 18 озерах и 2 реках. Сбор и обработка материалов проводились в ходе полевых работ Уральского филиала ФГБНУ «ВНИРО» в рамках рыбохозяйственных исследований по общепринятым методикам (Методика изучения..., 1975; Методические рекомендации, 1981). При определении видов использовались общеизвестные отечественные сводки «Определитель пресноводных водорослей СССР», «Флора споровых растений СССР» и современные определители Куликовский и др., 2016). Индикаторные таксоны систематизировались по Бариновой С. С. с соавт. (2006). Таксономический список формировался по системе, принятой в Algaebase (Guiry & Guiry, 2024).

К настоящему времени по имеющимся в распоряжении авторов данным сводный список альгофлоры водоемов Курганской области с учетом современных номенклатурных преобразований насчитывает 700 ВВТ (видов и внутривидовых таксонов), включая виды, определенные только до рода (табл. 1).

Таблица 1. Таксономическая структура флоры водорослей водоемов Курганской области

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид	До рода	ВВТ*	Всего ВВТ	%
Charophyta	3	4	7	18	47	8	5	60	8,57
Chlorophyta	3	12	33	92	161	10	15	186	26,57
Cryptophyta	1	1	1	1	3	0	0	3	0,43
Cyanobacteria	1	7	24	56	140	5	16	161	23,00
Dinoflagellata	1	2	4	4	4	2	0	6	0,86
Euglenophyta	2	3	5	14	63	5	2	70	10,00
Heterokontophyta	7	24	42	88	172	19	21	212	30,29
Rhodophyta	2	2	2	2	1	0	1	2	0,29
Всего	20	55	118	264	591	49	60	700	100

Примечание: \* - внутривидовые таксоны в ранге форм, вариантов.

Основу видового разнообразия альгофлоры водоемов региона составляют представители фитопланктона из отделов Heterokontophyta (преимущественно диатомовые водоросли из классов Bacillariophyceae, Bacillariophyceae incertae sedis, Coscinodiscophyceae), Chlorophyta и Cyanobacteria, что характерно для флор водоемов различных регионов и речных бассейнов Евразии (Никулина, 2005).

Индивидуальные особенности облика флоры водоемов Курганской области отражают флористические спектры ведущих семейств и родов (табл. 2), среди которых следует отметить самую высокую позицию *Microcystaceae* в спектре семейств и вторую позицию *Phacus* в родовом спектре. Сходство с альгофлорой водоемов Челябинской области состоит в том, что 2, 3 и 4 позицию в спектре семейств занимают *Euglenaceae*, *Scenedesmaceae* и *Bacillariaceae* (Ярушина и др., 2004). Черты северных флор в альгофлоре водоемов Курганской области проявляются в преобладании одно- и маловидовых родов, составляющих 87,5% от общего числа родов.

Пропорции флоры составили 1:2,2:2,5, что характеризует относительную бедность исследуемой альгофлоры.

Таксономическое богатство фитопланктона по водоемам различается. По данным многолетних исследований (Еремкина, 2022), видовой состав водорослей гипергалинных озер довольно беден и в целом за сезон насчитывал от 1 до 15 видов. С понижением минерализации разнообразие фитопланктона существенно возрастает. Так, наибольшее количество таксонов выявлено в солоноватых озерах Большие Донки – 219 ВВТ, Щучье (Мокроусовский р-н) – 204 ВВТ, Большое Бутырино – 199 ВВТ, Алакуль – 152 ВВТ. В р. Тобол, вода которой по минерализации варьирует от пресной до солоноватой, зафиксирован 171 ВВТ.

Помимо наиболее часто встречающихся видов диатомовых водорослей и цианобактерий, опубликованных ранее (Еремкина, 2022, 2023), в водоемах области распространены *Botryococcus braunii* Kützing 1849 (встречаемость 30,2 %), *Cladophora fracta* (O.F.Müller ex Vahl) Kützing 1843 (27,0 %), *Cladophora globulina* (Kützing) Kützing 1845 (25,4 %), *Desmodesmus communis* (E.Hegewald) E.Hegewald 2000 (34,9 %), *Dictyosphaerium ehrenbergianum* Nägeli 1849 (23,8 %), *Lemmermannia tetrapedia* (Kirchner) Lemmermann 1904 (17,5 %), *Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová 1969 (17,5 %), *Oocystis borgei* J.W.Snow 1903 (17,5 %), *Pediastrum duplex* Meyen 1829 (19,0 %), *Pseudopediastrum boryanum* (Turpin) E.Hegewald 2005 (20,6 %), *Raphidocelis danubiana* (Hindák) Marvan, Komárek & Comas 1984 (17,5 %), *Coelosphaerium kuetzingianum* Nägeli 1849 (36,5 %).

Таблица 2. Флористические спектры ведущих семейств и родов водорослей в водоемах Курганской области

Ранг	Семейство	Количество таксонов (% от общего списка ВВТ)	Ранг	Род	Количество таксонов (% от общего списка ВВТ)
1	<i>Microcystaceae</i>	41 (5,9)	1	<i>Nitzschia</i> Hassal	19 (2,7)
2	<i>Euglenaceae</i>	37 (5,3)	2	<i>Phacus</i> Dujardin	15 (2,1)
3	<i>Scenedesmaceae</i>	36 (5,1)	3-6	<i>Anabaena</i> Bory de Saint-Vincent ex Bornet & Flahault	14 (2,0)
4	<i>Bacillariaceae</i>	27 (3,8)		<i>Desmodesmus</i> (R. Chodat) S. S. An, T. Friedl & E. Hegewald	14 (2,0)
5	<i>Phacaceae</i>	26 (3,7)		<i>Euglena</i> Ehrenberg 1830	14 (2,0)
6	<i>Aphanizomemonaceae</i>	25 (3,6)		<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg	14 (2,0)
7	<i>Surirellaceae</i>	24 (3,5)	7-8	<i>Phormidium</i> Kützing ex Gomont	12 (1,7)
8	<i>Oscillatoriaceae</i>	22 (3,1)		<i>Surirella</i> Turpin	12 (1,7)
9	<i>Naviculaceae</i>	17 (2,4)	9-10	<i>Lepocinclis</i> Perty	11 (1,6)
				<i>Microcystis</i> Kützing ex Lemmermann	11 (1,6)
	<b>Всего</b>	255 (36,4)		<b>Всего</b>	136 (19,4)

К настоящему времени в индикаторном списке водорослей водоемов Курганской области насчитывается 511 ВВТ (73,0 % от общего таксономического разнообразия). Сведения о приуроченности к типу местообитания известны для 474 видов, что составляет 67,7 % от общего числа ВВТ. Из них преобладают планктонно-бентосные (38,2 %) организмы, доля планктонных и бентосных форм одинакова – по 25,5 %. Подобное распределение с преобладанием группировок, связанных с субстратом, обусловлено мелководностью водных объектов Курганской области. Типичными представителями бентоса являются *Hannaea arcus* (Ehrenberg) Patrick 1966, *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère 2001, *Meridion circulare* (Greville) Agardh 1831, *Rhoicosphenia abbreviata* (Agardh) Lange-Bertalot 1980, *Cymbella lanceolata* (C.Agardh) C.Agardh 1830, *Cymbella tumida* (Brébisson) Van Heurck 1880, *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow 1880, *Phormidium ambiguum* Gomont 1892, *Spirogyra neglecta* (Hassall) Kützing 1849, *Ophiocytium parvulum* (Perty) A.Braun 1855.

Данные по отношению к солености воды известны для 341 ВВТ (48,7 % от общего списка). Среди них преобладают индифференты (69,5 %), доля галофилов (12,0 %) и мезогалобов (10,3 %) значительна по сравнению с галофобами (5,9 %) и олигогалобами (2,3 %), что обусловлено повышенной минерализацией воды. Галофилы *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing 1846 и *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault 1886, *Planktolyngbya limnetica* (Lemmermann) Komarkova-Legnerova et Cronberg 1992 являются доминантными формами фитопланктона, достигая массового развития в летний период (Еремкина, 2022).

В списке индикаторов уровня рН, включающем 210 ВВТ, первое место занимают индифференты (49,5 %), весьма значительна доля алкалофилов (38,1 %), что отражает особенности химизма солоноватых и соленых водоемов области с повышенным рН.

Показателями степени органического загрязнения воды являются 384 ВВТ (54,9 % общего числа ВВТ). О высоком трофическом статусе водных объектов Курганской области свидетельствует преобладание в общем списке индикаторов органического

загрязнения среды – 72,4 %, из которых 46,4 % –  $\alpha$ - $\beta$ ,  $\beta$ - $\alpha$ ,  $\alpha$ - $\beta$ -сапробионты (могут успешно вегетировать как в чистых, так и в загрязненных органикой водах), 53,6 % – виды-индикаторы умеренного и высокого уровня органического загрязнения ( $\beta$ -,  $\beta$ - $\alpha$ ,  $\alpha$ - $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\rho$ ,  $\alpha$ - $\rho$  и  $\beta$ - $\rho$ -сапробионты). Доля обитателей чистых вод ( $\chi$ -,  $\chi$ - $\alpha$ ,  $\chi$ - $\beta$ ,  $\alpha$ - $\chi$ ,  $\alpha$ -сапробионтов) составляет 27,6 %.

Фитогеографический анализ таксономического списка водорослей водоемов Курганской области показал, что подавляющее число таксонов (324 ВВТ или 89,8 %) – космополиты. 6,9 % – бореальные виды. Альпийские, аркто-альпийские и циркумбореальные виды (*Anabaena flos-aquae* var. *jacutica* Kisselev 1935, *H. arcus*, *Fragilaria tenera* (W.Smith) Lange-Bertalot 1980 и др.) представлены единично. Большинство видов (69,0 %) предпочитает воды умеренной текучести (st-str) и местообитания со стоячими водами (28,4 %).

Таким образом, таксономический и эколого-географический анализ водорослей водоемов Курганской области свидетельствует о существенной роли фитопланктона в формировании региональной альгофлоры и формировании комплекса видов, развивающихся в водных объектах с повышенной минерализацией и рН среды, обогащенных органикой.

#### Список литературы

1. Науменко Н.И., Завьялова О.Г., Акимова Т.Г. и др. География Курганской области: краеведческое пособие. Курган: Изд-во КГУ, 2019. 276 с.
2. Еремкина Т.В. Разнообразие диатомовых водорослей в водоемах Курганской области // Вопросы современной альгологии. Специальный выпуск. Материалы XVIII Международной научной конференции диатомологов «Диатомовые водоросли: морфология, биология, систематика, экология, флористика, палеогеография, биостратиграфия», посвящённой памяти выдающихся российских диатомологов Н.И. Стрельниковой и Л.Я. Каган. 2023. С. 35-38. (<http://www.algology.ru/assets/files/Apatity/tezisy-apatity-2023.pdf>)
3. Науменко Н.И., Суханов Д.В. Список растений Южного Зауралья (Курганская область и сопредельные территории России и Казахстана) : Методическое пособие. Курган: Изд-во Курганского университета, 1999. 35 с.
4. Санникова О.Ф. Сине-зеленые водоросли озер Курганской области // VIII Зырянские чтения. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Курган, 09-10 декабря 2010 г.). Курган: Изд-во Курганского университета, 2010. С. 229-231.
5. Зверева Е.В. К мониторингу состояния альгофлоры озер Лебяжьевского района // Вестник Курганского государственного университета. Серия «Естественные науки». Вып. 4. Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2011. С. 52-53.
6. Романов Р.Е. Оценка необходимости охраны видов харовых водорослей (Streptophyta, Charales) в южных регионах Западной Сибири // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии : Сб. науч. ст. по материалам XVI междунар. науч.-практ. конф. (Барнаул, 5-8 июня 2017 г.). Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2017. С. 58-61.
7. Литвиненко, Л.И., Литвиненко А.И., Бойко Е.Г., Куцанов К.В., Корентович М.А. Влияние промысла цист артемии на экосистему гипергалинного озера. // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология. 2020. Т. 13(4). С. 348-367. DOI: 10.17516/1997-1389-0333
8. Несговорова Н. П., Савельев В. Г., Иванцова Г. В., Фирулина И. И. Мониторинг качества вод притоков реки Тобол // Успехи современного естествознания. Науки о Земле. 2021. № 6. С. 114-121.
9. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М., 1975. 240 с.
10. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Фитопланктон и его продукция / Сост.: Г.М. Лаврентьева, В.В. Бултон. Л., 1981. 32 с.
11. Куликовский М.С., Глущенко А.М., Генкал С.И., Кузнецова И.В. Определитель диатомовых водорослей России. Ярославль: Филигрань, 2016. 804 с.
12. Баринаева С.С., Медведева О.В., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Русское изд-во «Pilies Studio», 2006. 498 с.
13. Воронихин Н.Н. Водоросли озер Курганской лесостепи // Труды Ботанического института Академии наук СССР. Споры растений. Сер. 2. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1940. Вып. 4. С. 247-287.
14. Никулина Т.В. Таксономическая структура и эколого-географическая характеристика альгофлоры бассейна реки Раздольной (Приморье) // Чтения памяти В.Я. Леванидова. Владивосток: Дальнаука, 2005. Вып. 3. С. 223-236.

15. Ярушина М.И., Танаева Г.В., Еремкина Т.В. Флора водорослей водоемов Челябинской области. Екатеринбург, 2004. 308 с.
16. Литвиненко Л.И., Литвиненко А.И., Бойко Е.Г. Артемия в озерах Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 2009. 304 с.
17. Еремкина Т.В. Цианобактерии в водоемах Курганской области // Вестник БГПУ им. М. Акмуллы. 2022. № 2 (63). Специальный выпуск. С. 55-63. ISBN 978-5-87978-666-8 (<https://bspu.ru/files/119598>)
17. Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2024. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, University of Galway. <https://www.algaebase.org> (дата обращения 05.09.2024).

## МОРФО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РЕЧНОЙ КАМБАЛЫ БЕЛОГО МОРЯ

П.Н. Ершов

*Зоологический институт Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург, [petyershov@yandex.ru](mailto:petyershov@yandex.ru)*

*Аннотация: в работе приведены результаты многолетних комплексных исследований экологии, структуры популяций и морфологии речной камбалы в бассейне Белого моря. Выявлены региональные и локальные особенности роста, возрастного состава камбалы из разных популяций, а также обуславливающие их факторы. Показано, что для беломорской камбалы характерна высокая популяционная изменчивость по различным морфологическим признакам (количество костных пластинок на теле, соотношение лево- и правосторонней морф).*

Ключевые слова: Белое море, возраст, морфология, речная камбала, рост

Речная камбала *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758) является типичным представителем ихтиофауны Белого моря и имеет второстепенное промысловое значение (Алтухов и др., 1958). По сравнению с промысловыми рыбами (семга, сельдь, навага), речная камбала Белого моря изучена недостаточно (Николаев, 1949; Шатуновский, 1964; Шерстков, 2005; Семушин и др., 2015). В связи с этим были проведены комплексные исследования структуры популяций, особенностей роста и морфологии речной камбалы из разных заливов Белого моря. В данной статье приводится обзор многолетних исследований морфо-экологической изменчивости речной камбалы в бассейне Белого моря.

Исследования особенностей экологии речной камбалы в период летнего нагула были проведены в губе Чупа (Кандалакшский залив) и прилегающих морских участках (Ершов и др., 2019а). Показано, что в летний период (июнь-август) камбала в этом районе Кандалакшского залива предпочитает мелководные опресненные акватории губы Чупа с илисто-песчаными грунтами поблизости от устьевой зоны р. Кереть, а также мест впадения в море небольших речек и ручьев. Нагул неполовозрелых и половозрелых рыб происходит совместно на одних и тех же прибрежных участках, расположенных в зоне верхней сублиторали. Сравнение полученных данных по размерно-возрастной структуре и росту камбалы из губы Чупа с литературными данными по камбале из разных заливов Белого моря позволило сделать следующие заключения. По набору доминирующих размерных групп полученные данные были сопоставимы с опубликованными сведениями по камбале из района Великой Салмы (Кандалакшский залив) (Шатуновский и Честнова, 1970). Изучение особенностей роста камбал из разных губ Кандалакшского залива (Шатуновский и Честнова, 1970; Ершов и др., 2019а) показало, что сравниваемые выборки сформировали 2 кластера, которые достоверно различались по темпу роста самок. Быстрорастущая камбала была отмечена для районов, прилегающих к открытому морю (губа Чупа, Бабье море, Великая Салма и др.), а медленно растущие особи обнаружены в губах, удаленных от мористых участков (Нильмо-губа, губа Черная, Подволочье). В целом, сравнение камбал из Кандалакшского, Онежского, Двинского и Мезенского заливов выявило достоверные различия между этими популяциями по темпу роста рыб. Наиболее быстрый рост камбалы наблюдается в Онежском заливе. Несколько медленнее растет камбала из Двинского залива. По направлению к северу (Кандалакшский залив) скорость роста камбал снижается, а наиболее тугорослая камбала обитает в северо-восточной части моря (Мезенский залив) (Ершов и др., 2019а).

Возрастной состав уловов камбалы из разных участков Кандалакшского залива – Великой Салмы (Шатуновский и Честнова, 1970) и губы Чупа (наши данные) – достоверно

не отличался (Ершов и др., 2019а). Сравнение этих материалов с опубликованными данными по рыбам из других заливов Белого моря (Семущин и др., 2015) проводилось нами с использованием двух обобщенных регрессионных моделей. Анализ первой модели, которую использовали для оценки межпопуляционных различий по возрастному составу рыб, показал, что камбалы из разных заливов по данному признаку различаются. Уровень межпопуляционных различий по среднему возрасту рыб, обитающих в разных заливах Белого моря, варьировал. Наибольший средний возраст камбалы отмечен в стадах Кандалакшского и Мезенского заливов, а у камбалы Онежского залива преобладали младшие возрастные классы. Анализ второй модели, которую использовали для оценки различий возрастного состава у камбал разного пола, показал, что предикторы «Залив» и «Пол» достоверно влияют на средний возраст камбал. Так, между самцами и самками камбалы из популяций Онежского и Двинского заливов выявлены достоверные различия по среднему возрасту, который был выше у самок. Кроме того, средний возраст самцов и самок достоверно возрастал по направлению от Онежского к Мезенскому заливу. В целом, анализ регрессионных моделей продемонстрировал увеличение среднего возраста рыб в стадах, обитающих в северо-западном (Кандалакшский залив) и северо-восточном районе моря (Мезенский залив) (Ершов и др., 2019а). Сделан вывод о том, что региональные популяционные особенности роста и возрастного состава камбалы связаны с температурным режимом и состоянием кормовой базы рыб в сравниваемых акваториях.

Среди морфологических признаков были исследованы следующие – распределение костных пластинок на глазной стороне тела, частота встречаемости асимметричных морф, левосторонней и правосторонней, в разных популяциях и у рыб разного пола/размера.

Чешуйный покров речной камбалы образован, помимо мелкой циклоидной чешуи, костными пластинками, число и расположение которых на теле рыб варьирует в ареале вида. Было изучено распределение костных пластинок на теле рыб из губы Чупа (Кандалакшский залив) и дельты р. Северная Двина (Двинский залив) (Ершов и др., 2019б). Результаты исследования показали, что камбалы из сравниваемых выборок отличаются по количеству и расположению костных пластинок на теле рыб. Все исследованные особи камбалы из губы Чупа характеризовались наличием относительно широкого скопления пластинок около грудного плавника и относились к фенотипу 2 по классификации Ворониной (1999). Среди особей из дельты р. Северная Двина выявлены разные фенотипы. У большинства проанализированных рыб были отмечены только единичные пластинки у основания грудного плавника (фенотип 4). Несколько особей было отнесено к фенотипу 2. Кроме того, в выборке присутствовал 1 экземпляр, у которого глазная сторона тела была полностью покрыта костными пластинками от головы до хвоста (фенотип 1). Результаты исследования не подтвердили сведения Ворониной (1999), полученные на выборке, включающей сборы из разных районов Белого моря, о преобладании у беломорской камбалы фенотипа 4. Полученные данные свидетельствуют о популяционной изменчивости чешуйного покрова у беломорской речной камбалы. При этом встречаемость рыб с разным распределением костных пластинок (фенотипы) и их соотношение различаются в разных популяциях. В дальнейшем необходимо провести дополнительные исследования для выявления закономерностей изменчивости этого признака и оценке его значимости для анализа внутривидовой структуры и систематики.

Речная камбала является полиморфным видом, у которого в популяциях присутствуют лево- и правосторонние особи. Пропорции этих двух морф в популяциях камбалы из разных участков ареала значительно варьируют, но правосторонние особи всегда преобладают в выборках. Были проанализированы частоты встречаемости левосторонней и правосторонней морф у камбалы из Кандалакшского, Онежского, Двинского и Мезенского заливов Белого моря. В результате проведенных исследований у беломорской камбалы выявлены высокая популяционная изменчивость и региональные

особенности по соотношению двух морф (Yershov et al., 2022a). Доля левосторонних особей была наиболее высокой в популяциях камбалы из северо-западной (Кандалакшский залив, губа Чупа) и юго-западной (Онежский залив) частей Белого моря – 28,4 и 20,6 % соответственно. Между популяциями камбал из этих заливов выявлены достоверные различия по сравниваемому признаку. Частоты встречаемости левосторонних особей у камбал из юго-восточной (Двинский залив) и северо-восточной (Мезенский залив) частей Белого моря были гораздо меньше и составили 5,2 и 3,3 % соответственно.

Изучение межгодовой изменчивости встречаемости левосторонних рыб в популяциях Онежского (2002-2019), Мезенского (2010-2016) и Двинского (2005-2019) заливов не выявило каких-либо достоверных закономерных трендов в изменении признака (Fuks et al., 2021). В периоды наблюдений частоты встречаемости левосторонних особей в исследованных локальных популяциях колебались в незначительных пределах. Интересно, что при сравнении полученных результатов по камбале Кандалакшского и Онежского заливов с литературными данными за 1950-1960 гг. по камбале из этих же акваторий частоты встречаемости левосторонних рыб в сравниваемых заливах оказались сходны.

Причины высокой изменчивости пропорций лево- и правосторонних особей в популяциях речной камбалы остаются малоизученными. Предполагается, что лево- и правосторонние морфы расходятся по особенностям экологии, в частности составу питания, что в свою очередь влияет на конкурентные внутри- и межвидовые взаимоотношения (Fornbacke et al., 2002; Russo et al., 2012). Вместе с тем, характер взаимосвязей речной камбалы со средой обитания, организмами бентоса и другими видами рыб может различаться у особей разного пола или размера/возраста. Были изучены взаимосвязи пола и длины/возраста рыб с вероятностью встречаемости левосторонних особей в популяциях речной камбалы из разных заливов Белого моря. Оказалось, что доля левосторонних рыб не различается среди камбал разного размера и возраста во всех исследованных популяциях. Кроме того, у рыб разного пола пропорции лево- и правосторонних особей в разных размерно-возрастных группах также не отличались (Yershov et al., 2022b). Полученные результаты свидетельствуют о том, что межпопуляционная изменчивость по соотношению лево- и правосторонней морф у беломорской речной камбалы вызвана влиянием селективных факторов, и не зависит от пола и размера рыб в выборках.

Проведенное комплексное исследование выявило особенности роста, размерно-возрастного состава, экологии и морфологии речной камбалы в бассейне Белого моря. Обнаруженная высокая изменчивость размерно-возрастных и морфологических параметров речной камбалы свидетельствует о внутривидовой дифференциации и различных адаптациях этого вида к условиям градиентов факторов внешней среды в бассейне Белого моря.

Работа выполнена в рамках госзадания (тема № 122031100283-9).

#### Список литературы

1. Алтухов К.А., Михайловская А.А., Мухомедияров Ф.Б., Надежин В.М., Новиков П.И., Паленичко З.Г. Рыбы Белого моря. Петрозаводск, 1958. 162 с.
2. Воронина Е.П. Морфология и систематика речных камбал рода *Platichthys* // Вопросы ихтиологии. 1999. Т. 39, № 5. С. 612-624.
3. Ершов П.Н., Матвиенко А.А. и Аристов Д.А. Возраст и рост речной камбалы губы Чупа (Кандалакшский залив, Белое море) // Труды Зоологического института РАН. 2019а. Т. 323, № 2. С. 93-104.
4. Ершов П.Н., Матвиенко А.А. и Воронина Е.П. Изменчивость чешуйного покрова речной камбалы *Platichthys flesus* (Pleuronectidae) Белого моря) // Труды Зоологического института РАН. 2019б. Т. 323, № 2. С. 105-111.
5. Николаев А.П. Материалы по биологии речной камбалы Куз-губы Белого моря // Изв. Карело-Фин. фил. АН СССР. 1949. № 4. С. 43-51.

6. Семушин А.В., Фукс Г.В. и Шилова Н.А. Камбаловые Белого моря: Современные данные о биологии полярной камбалы *Liopsetta glacialis*, речной камбалы *Platichthys flesus* и ершоватки *Limanda limanda* // Вопросы ихтиологии. 2015. Т. 55, № 4. С. 413-425.
7. Шатуновский М.И. Материалы по систематике речной камбалы *Pleuronectes flesus* L. Белого моря // Вестник Московского ун-та. 1964. № 1. С. 32-38.
8. Шатуновский М.И., Честнова Л.Г. Некоторые особенности биологии речной камбалы Кандалакшского залива Белого моря // Труды Беломорской биологической станции МГУ. 1970. Т. 3. С. 166-188.
9. Шерстков А.С. Биологическая характеристика и перспективы промысла камбаловых Онежского залива : Автореферат дисс. канд. биол. наук. Калининград, 2005. 24 с.
10. Fornbacke M., Gombrii M. and Lundberg A. Sidedness frequencies in the flounder *Platichthys flesus* (Pleuronectiformes) along a biogeographical cline // Sarsia. 2002. Vol. 87. P. 392-395.
11. Fuks G.V., Yershov P.N., Khaitov V.M. Long-term dynamics of the proportion of left-sided individuals in the populations of the European flounder *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758) in the White Sea // Proceedings of the Zoological Institute RAS. 2021. Vol. 325, № 3. P. 273-277.
12. Russo T., Pulcini D., Costantini D., Pedreschi D., Palamara E., Boglione C., Cataudella S., Scardi M. and Mariani S. “Right” or “wrong”? Insights into the ecology of sidedness in European flounder, *Platichthys flesus* // Journal of Morphology. 2012. Vol. 273. P. 337–346.
13. Yershov P.N., Fuks G.V. and Khaitov V.M. Spatial variation in the frequency of left-sided morph in European flounder *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758) from the marginal Arctic (the White Sea) // Diversity. 2022a. Vol. 14, Issue 11. P. 1004.
14. Yershov P.N., Fuks G.V. and Khaitov V.M. Frequencies of lateral morphs in different age classes of the flounder *Platichthys flesus* (Pleuronectidae) from the White Sea // Proceedings of the Zoological Institute RAS. 2022b. Vol. 326, № 4. P. 243-249.

## ПЛОДОВИТОСТЬ МАССОВЫХ ВИДОВ РЫБ В НИЖНЕМ РАЙОНЕ ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

В.Н. Житлухина, А.А. Каралаш

*Пермский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПермНИРО»), г. Пермь,  
[zhitulukhina@perm.vniro.ru](mailto:zhitulukhina@perm.vniro.ru)*

Аннотация: проанализированы данные плодовитости массовых видов рыб (лещ, судак, густера, плотва, окунь, чехонь, уклейка, ёрш) в нижнем районе Воткинского водохранилища в 2023-2024 гг. и проведены сравнения с литературными данными более ранних годов.

Ключевые слова: Воткинское водохранилище, плодовитость, нерест, рыба, икра

Воткинское водохранилище создано 1962 г. и является вторым искусственным водоёмом на р. Кама после Камского. В водохранилище выделяется только один плёс – Камский, разделённый в свою очередь на 3 района: верхний, средний и нижний (Устюгова, 1986; Мельникова, 2007).

Отсутствие данных о плодовитости рыб в Воткинском водохранилище с 2001 г. создает значительный пробел в понимании текущего состояния ихтиологических запасов. Поскольку плодовитость рыб является важным показателем, вносящим вклад в оценку рыбопродуктивности водоемов и воздействия антропогенной деятельности, возобновление сбора этих данных имеет огромное значение.

Цель исследования – оценка текущего состояния и возможных изменений плодовитости основных видов рыб (лещ, судак, густера, плотва, окунь, чехонь, уклейка, ёрш) Воткинского водохранилища путем сравнения современных данных с результатами исследований более ранних периодов (1963-2001 гг.).

Материалом данной статьи послужили данные, собранные с апреля по июнь 2023-2024 гг. в нижнем районе Воткинского водохранилища.

Материал был собран в нерестовый период сетями с ячейей 10-100 мм. Для исследования на плодовитость были отобраны самки на 4 стадии зрелости гонад рыб: лещ – 169 экз., судак – 119 экз., густеры – 138 экз., плотвы – 103 экз., окунь – 132 экз., чехонь – 117 экз., уклейка – 54 экз., ёрш – 28 экз.

Сбор и обработка биологического материала были выполнены согласно общепринятым ихтиологическим методикам (Правдин, 1966; Решетников, Попова, 2015). Полученные результаты обработаны по стандартным статистическим методикам (Плохинский, 1980). Вычисления осуществлялись с помощью программы Microsoft Excel и PAST 4.09.

*Лещ* является наиболее многочисленным видом в Воткинском водохранилище. Самки леща достигают половой зрелости в возрасте 7 лет, при этом максимальный возраст половозрелой особи составляет 17 лет. У леща массовое половое созревание самок происходит в 8-9-летнем возрасте.

Индивидуальная абсолютная плодовитость (ИАП) леща в 2023-2024 гг. варьировала от 39,0 до 303,2 тыс. икринок, а индивидуальная относительная плодовитость (ИОП) была в пределах от 76,2 – 238,4 икр./г (табл.). В более ранний период исследований (1999-2001 гг.) ИАП леща составила от 32,9 до 154,2 тыс. икр., ИОП – от 48 до 284 икр./г (Мельникова и др., 2007).

Минимальный возраст *судака* в 2023-2024 гг. составляет 4 года, максимальный – 13 лет. Массовое половое созревание начинается с 6 лет.

ИАП *судака* по результатам проведенных исследований было в пределах от 81,2 до 979,4 тыс. икринок, а ИОП – 125,7-347,1 икр./г. Современные данные так же имеют,

отличая от 1999-2001 гг., так как абсолютная плодовитость варьировала в пределах от 80,7-709,8 тыс. икринок, относительная плодовитость – 88-338 икр./г.

Созревание самок *густеры* начинается с возраста 7 лет, с возраста 8 лет наступает массовая половозрелость. В исследовательских уловах весной 2023-2024 гг. отмечены половозрелые самки густеры в возрасте от 7 до 15 лет.

Данные, указанные в статье А.Г. Мельниковой с соавт. (2007) максимальные значения ИАП – 121,2 тыс. икринок, ИОП – 441 икр./г. В 2023-2024 гг., ИАП густеры варьировала в пределах 25,6-212,7 тыс. икринок, ИОП – от 131,8 до 393,8 икр./г.

В первые годы образования водохранилища *плотва* занимала первое место в уловах. По данным авторов в Воткинском водохранилище самки становятся половозрелыми в 8 лет, но в другие годы в единичных экземплярах отмечены самки 7 летнего возраста, максимальный зарегистрированный возраст в 2023 г. – 13 лет.

ИАП плотвы в 2023-2024 гг. варьировал в пределах от 46,8-110,2 тыс. икринок, а ИОП – 155,4-295,5 икр./г. В более ранний период исследований (1999-2001 гг.) ИАП плотвы было в пределах от 9,2 до 96,2 тыс. икр., ИОП – 70,0-359,0 икр./г (Мельникова, 2007).

В сравнение с начальным этапом водохранилища, в настоящее время *окунь* не имеет важного промыслового значения. Созревание самок окуня начинается с возраста 4 лет, но по данным авторов минимально зарегистрированный возраст – 8 лет, максимальный – 16 лет.

Данные, указанные в статье Мельниковой А.Г. с соавт. (2007) максимальные значения абсолютной плодовитости – 65,0 тыс. икринок, Относительной плодовитости – 356 икр./г. В 2023-2024 гг. ИАП окуня варьировала в пределах 24,9-176,8 тыс. икринок, ИОП – от 90,2 до 235,9 икр./г.

Самки *чехони* достигают половой зрелости в возрасте 5 лет, при этом максимальный возраст половозрелой особи в текущем году составляет 14 лет. У чехони массовое половое созревание самок происходит в 7-8-летнем возрасте.

Индивидуальная абсолютная плодовитость чехони в 2023-2024 гг. варьировала от 11,2 до 90,8 тыс. икринок, а индивидуальная ИОП была в пределах от 72,2-206,8 икр./г. В более ранний период исследований (1999-2001 гг.) ИАП чехони составила от 3,8 до 51,1 тыс. икр., ИОП – от 21,0 до 231,0 икр./г (Мельникова и др., 2007).

Основным массовым видом мелкочейных сетей является *уклейка*. Минимальный возраст уклейки в 2023-2024 гг. составляет 3 года, максимальный – 5 лет.

ИАП уклейки в 2023-2024 гг. варьировал в пределах от 1,7-10,2 тыс. икринок (в среднем – 5,9 тыс. икринок), а ИОП – 106,5-288,4 икр./г (в среднем – 200,7 икр./г). В более ранний период исследований ИАП уклейки составила в среднем 12,3 тыс. икр., ИОП – 367 икр./г (Устюгова, 1986; Алексеевна, 1988). Такие существенные изменения произошли скорее всего из-за высокой конкуренции за пищевые ресурсы.

Таблица. Показатели плодовитости основных видов рыб любительского рыболовства

Возраст	Лещ			Судак			Густера			Плотва		
	ИАП, тыс. икр.	ИОП, икр/г	Ср. длина Ср. масса	ИАП, тыс. икр.	ИОП, икр/г	Ср. длина Ср. масса	ИАП, тыс. икр.	ИОП, икр/г	Ср. длина Ср. масса	ИАП, тыс. икр.	ИОП, икр/г	Ср. длина Ср. масса
4	–	–	–	<u>81,2 – 121,4</u> 105,3 (6)	<u>148,2 – 239,9</u> 190,0	<u>357,5</u> 621,5	–	–	–	–	–	–
5	–	–	–	<u>181,5 – 213,3</u> 171,0 (9)	<u>185,0 – 244,3</u> 209,8	<u>400</u> 966,7	–	–	–	–	–	–
6	–	–	–	<u>129,7 – 234,0</u> 174,6 (21)	<u>154,7 – 245,5</u> 185,8	<u>428</u> 1160,6	–	–	–	–	–	–
7	<u>39,0 – 71,6</u> 55,3 (2)	<u>76,2 – 138,1</u> 107,2	<u>286</u> 603,5	<u>165,4 – 304,2</u> 229,1 (32)	<u>125,7 – 247,0</u> 195,3	<u>462,4</u> 1426,3	<u>28,7 – 45,3</u> 36,0 (6)	<u>165,8 – 247,7</u> 203,7	<u>196,5</u> 215,5	–	–	–
8	<u>45,8 – 114,9</u> 70,0 (27)	<u>93,7 – 199,9</u> 125,0	<u>302,6</u> 670,6	<u>214,5 – 330,2</u> 271,8 (25)	<u>164,5 – 252,3</u> 197,4	<u>492,9</u> 1648	<u>30,6 – 51,6</u> 41,7 (18)	<u>153,7 – 283</u> 231,8	<u>203,4</u> 221,4	<u>46,9 – 66,6</u> 56,4 (14)	<u>188,1 – 283,4</u> 237,7	<u>232,3</u> 319,0
9	<u>60,4 – 104,8</u> 81,2 (35)	<u>93,3 – 172,4</u> 129,4	<u>318,5</u> 747,6	<u>255,1 – 300,8</u> 282,1 (8)	<u>160,1 – 215,6</u> 192,0	<u>519,5</u> 1795,5	<u>25,6 – 74,6</u> 50,0 (27)	<u>131,8 – 330,7</u> 237,0	<u>211,8</u> 256,5	<u>46,8 – 67,4</u> 56,9 (22)	<u>189,4 – 295,5</u> 227,0	<u>243,3</u> 353,7
10	<u>73,7 – 130,1</u> 97,7 (26)	<u>97,6 – 227,3</u> 139,5	<u>330,4</u> 848,9	<u>480,6 – 522,2</u> 504,4 (7)	<u>217,8 – 238,8</u> 223,3	<u>565</u> 2707,5	<u>52,7 – 88,3</u> 71,7 (19)	<u>177,3 – 291,3</u> 245,3	<u>236,9</u> 364,4	<u>54,2 – 75,9</u> 64,9 (18)	<u>190,4 – 257,4</u> 219,6	<u>253,0</u> 399,1
11	<u>95,9 – 169,5</u> 124,4 (17)	<u>109,5 – 190,5</u> 147,2	<u>348,7</u> 1021,1	<u>422,1 – 731,4</u> 570,7 (5)	<u>164,1 – 256,8</u> 216,5	<u>598,5</u> 3195,5	<u>66,0 – 155,2</u> 98,9 (35)	<u>181,6 – 358,3</u> 269,5	<u>256,3</u> 462,1	<u>56,2 – 81,9</u> 72,5 (18)	<u>209,2 – 249,0</u> 227,3	<u>264,8</u> 432,6
12	<u>104,3 – 216,7</u> 141,6 (18)	<u>84,9 – 238,4</u> 137,0	<u>366,1</u> 1318,5	<u>461,8 – 519,5</u> 492,6 (5)	<u>218,0 – 247,4</u> 235,7	<u>608</u> 2499,0	<u>77,2 – 151,1</u> 115,0 (9)	<u>177,4 – 373,0</u> 271,2	<u>270,8</u> 539,5	<u>64,0 – 106,6</u> 81,0 (18)	<u>155,4 – 242,8</u> 204,9	<u>278,2</u> 532,4
13	<u>120,5 – 176,0</u> 156,2 (16)	<u>113,3 – 155,9</u> 125,5	<u>384,8</u> 1349,8	979,4 (1)	347,1	<u>640</u> 3624,0	<u>96,4 – 167,7</u> 126,4 (12)	<u>203,4 – 336,0</u> 256,0	<u>277,3</u> 604,0	<u>93,4 – 110,2</u> 100,0 (13)	<u>177,2 – 223,9</u> 198,6	<u>293,7</u> 649,3
14	<u>148,9 – 267,7</u> 197,4 (9)	<u>134,8 – 227,6</u> 171,3	<u>394,7</u> 1397,7	–	–	–	<u>94,6 – 126,8</u> 107,4 (6)	<u>167,5 – 257,6</u> 204,9	<u>291,7</u> 658,7	–	–	–
15	<u>209,0 – 231,7</u> 220,3 (7)	<u>167,0 – 196,6</u> 181,8	<u>404,5</u> 1513,5	–	–	–	<u>141,0 – 212,7</u> 179,3 (6)	<u>256,6 – 393,8</u> 329,7	<u>298,3</u> 697,7	–	–	–
16	<u>195,1 – 246,8</u> 223,5 (7)	<u>121,9 – 176,3</u> 153,4	<u>415,3</u> 1773,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
17	<u>193,0 – 303,2</u> 271,8 (5)	<u>120,7 – 188,8</u> 884,2	<u>436,0</u> 1991,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Среднее знач. и ошибка среднего	113,0±18,7	137,4±9,4	–	261,5±16,9	199,2±4,3	–	82,6±4,2	252,3±5,8	–	68,5±2,2	221,4±4,3	–

Продолжение таблицы

Возраст	Окунь			Чехонь			Уклейка			Ерш		
	ИАП, тыс. икр.	ИОП, икр/г	<u>Ср. длина</u> Ср. масса	ИАП, тыс. икр.	ИОП, икр/г	<u>Ср. длина</u> Ср. масса	ИАП, тыс. икр.	ИОП, икр/г	<u>Ср. длина</u> Ср. масса	ИАП, тыс. икр.	ИОП, икр/г	<u>Ср. длина</u> Ср. масса
2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	<u>2,3 – 6,1</u> 4,1 (9)	<u>178,9 – 382,1</u> 285,9	<u>96,0</u> 21,2
3	–	–	–	–	–	–	<u>1,7 – 4,2</u> 3,0 (22)	<u>142,4 – 273,0</u> 201,4	<u>115,4</u> 18,1	<u>7,6 – 17,1</u> 12,3 (12)	<u>397,6 – 477,8</u> 435,3	<u>107,3</u> 27,9
4	–	–	–	–	–	–	<u>2,1 – 8,7</u> 5,6 (18)	<u>106,5 – 264,4</u> 179,1	<u>130,1</u> 25,7	<u>10,4 – 15,8</u> 13,1 (7)	<u>423,1 – 578,5</u> 503,7	<u>121,0</u> 35,2
5	–	–	–	<u>11,3 – 24,7</u> 16,6 (10)	<u>76,2 – 164,7</u> 111,1	<u>257,0</u> 174,0	<u>3,8 – 10,2</u> 8,1 (14)	<u>141,6 – 288,4</u> 221,8	<u>145,0</u> 35,8	–	–	–
6	–	–	–	<u>11,2 – 29,8</u> 18,3 (16)	<u>72,4 – 161,3</u> 106,1	<u>264,8</u> 203,9	–	–	–	–	–	–
7	–	–	–	<u>17,1 – 40,6</u> 27,9 (22)	<u>92,9 – 194,9</u> 138,5	<u>279,3</u> 242,2	–	–	–	–	–	–
8	<u>27,8–55,3</u> 38,0 (14)	<u>114,1 – 206,5</u> 149,1	<u>243,3</u> 341,3	<u>18,1 – 47,7</u> 33,4 (26)	<u>73,4 – 206,8</u> 129,6	<u>298,3</u> 310,5	–	–	–	–	–	–
9	<u>24,9–68,9</u> 38,8 (18)	<u>90,2 – 235,9</u> 133,3	<u>261,1</u> 379,8	<u>32,9 – 38,5</u> 35,2 (12)	<u>134,0 – 139,5</u> 136,2	<u>309,5</u> 338,0	–	–	–	–	–	–
10	<u>30,4–72,2</u> 45,8 (16)	<u>97,6 – 185,1</u> 140,8	<u>270,6</u> 429,0	<u>37,1 – 49,0</u> 42,4 (8)	<u>110,1 – 130,0</u> 119,8	<u>336,0</u> 437,3	–	–	–	–	–	–
11	<u>56,5–94,3</u> 76,8 (20)	<u>129,3 – 234,1</u> 185,6	<u>285,2</u> 565,1	<u>46,8 – 49,1</u> 47,2 (6)	<u>104,1 – 126,5</u> 115,9	<u>339,0</u> 455,0	–	–	–	–	–	–
12	<u>45,7 – 118,4</u> 69,7 (30)	<u>96,1 – 223,0</u> 142,1	<u>303,7</u> 659,9	<u>50,2 – 55,9</u> 53,3 (6)	<u>113,9 – 127,7</u> 120,3	<u>360,0</u> 553,5	–	–	–	–	–	–
13	<u>45,6 – 98,8</u> 85,6 (14)	<u>85,9–171,3</u> 147,0	<u>318,4</u> 767,3	<u>47,9 – 90,8</u> 66,6 (10)	<u>93,5 – 157,5</u> 123,7	<u>381,8</u> 636,6	–	–	–	–	–	–
14	<u>81,8 – 123,9</u> 103,5 (8)	<u>132,4–180,3</u> 160,3	<u>332,0</u> 894,8	68,8 (1)	114,1	<u>386,0</u> 697,0	–	–	–	–	–	–
15	<u>143,5– 153,6</u> 147,6 (6)	<u>187,8–207,4</u> 195,6	<u>347,0</u> 1051,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
16	<u>168,7-176,8</u> 172,1 (6)	<u>175,7 – 177,2</u> 176,1	<u>385,0</u> 1347,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Среднее знач. и ошибка среднего	69,6±4,3	152,7±4,8	–	390,0±28,7	450,9±20,4	–	5,9±0,1	200,7±6,3	–	9,5±0,3	400±7,1	–

Примечание: над чертой – пределы варьирования (min-max), под чертой – среднее арифметическое значение показателя (M), в скобках – количество рыб

Созревание самок *ерша* начинается с возраста 2 лет. В исследовательских уловах весной 2023-2024 гг. отмечены самки ерша в возрасте от 2 до 4, все они были половозрелыми.

Данные, указанные в книге под ред. Алексевниной (1988) средние значения ИАП – 10,5 тыс. икринок, ИОП – 560 икр./г. В 2023-2024 гг., ИАП ерша варьировала в пределах 2,3-17,1 тыс. икринок (в среднем – 9,5 тыс. икринок), ИОП – от 178,9 до 578,5 икр./г (в среднем – 400 икр./г).

Анализ данных за 2023-2024 гг. по сравнению с предыдущими исследованиями показал, что плодовитость большинства видов рыб (леща, судака, густеры, плотвы, окуня, чехони) возросла, что показывает улучшение состояния ихтиофауны и среды их обитания. Однако плодовитость уклейки снизилась, что, вероятно, связано с обострением конкуренции за пищевые ресурсы.

#### Список литературы

1. Алексевнина М.С. Биология Воткинского водохранилища. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1988. 184 с.
2. Мельникова А.Г., Костицын В.Г., Коняев В.П., Истомин С.Г., Поносков С.В. Современное состояние ихтиофауны Камского и Воткинского водохранилищ и особенности её промысловой эксплуатации // Сборник научных трудов : Современное состояние, проблемы охраны и рационального использования биоресурсов пресноводных водоёмов. СПб., 2007. Т. 4. С. 3-38.
3. Плохинский Н.А. Алгоритмы биометрии. М.: Изд-во МГУ, 1980. 150 с.
4. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.
5. Решетников Ю.С., Попова О.А. О методиках полевых ихтиологических исследований и точности получения результатов // Водные биологические ресурсы. Труды ВНИРО. 2015. Т. 156. С. 114–131.
6. Устюгова Т.В. Плодовитость рыб Воткинского водохранилища // Биологические ресурсы водоёмов Западного Урала (вопросы рыбного хозяйства). Пермь: Пермский ун-т, 1986. С. 42-50.

## ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОЛИМОРФИЗМ СИГОВЫХ РЫБ (COREGONIDAE) В ОБЛАСТИ ПЕРВОГО ТРАНСКРИБИРУЕМОГО СПЕЙСЕРА рДНК

А.А. Жукова<sup>\*,\*\*</sup>, К.В. Вульф<sup>\*,\*\*</sup>, Е.О. Белякова<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ») им. Л.С. Берга),  
г. Санкт-Петербург, Россия, [gatteriyagreen@gmail.com](mailto:gatteriyagreen@gmail.com)

<sup>\*\*</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет  
им. А.И. Герцена», Санкт-Петербург, Россия

Аннотация: сиговые рыбы (*Coregonidae*) являются одним из ценных возобновляемых ресурсов в России и мире, в целом. Для достоверной дифференциации корегонид применяются методы молекулярно-генетического анализа, в частности, с использованием локус-специфических праймеров комплементарных различным участкам кластера рибосомных генов. В данном исследовании рассматривается полиморфизм первого транскрибируемого спейсера - ITS1 – у четырёх форм представителей сиговых рыб.

Ключевые слова: рДНК, ITS1, генетическая дифференциация, сиговые

Синтез белка в клетке является одним из ключевых жизнеобеспечивающих процессов. Рибосомная РНК (рРНК) и рибосомные белки образуют структуру, состоящую из двух субъединиц, которая осуществляет процесс трансляции (Khatter H. et al., 2015). Рибосомная ДНК (рДНК), кодирующая гены 5S и 45S (18S-5,8S-28S) рРНК, играет ключевую роль в организации ядра путем сборки ядрышка (ядрышковый организатор – ЯОР) и эпигенетической стабилизации. Также рДНК является областью генома, содержащей важные кариотипические и филогенетические маркеры (Sochorová et al., 2018). В процессе транскрипции образуется единая цепь рРНК, которая затем разделяется на три отдельные молекулы. С 5'-конца гены рДНК ограничены внешним транскрибируемым спейсером (ETS), кодирующие участки разделены двумя внутренними транскрибируемыми спейсерами (ITS1 и ITS2). Нетранскрибируемый межгенный спейсер (IGS) разделяет тандемные повторы транскрипционных единиц рибосомной ДНК. В отличие от консервативных кодирующих участков, спейсеры, особенно нетранскрибируемые, эволюционируют быстро, преимущественно за счет замены оснований, а также делеций, инсерций или дубликаций сегментов ДНК (Arnheim, 1983). Так, участки ITS1 и ITS2 подвержены заметной межвидовой изменчивости. Такая картина, называемая согласованной эволюцией, очевидно, обусловлена рядом молекулярно-генетических процессов, среди которых ведущее место занимает гомологичная рекомбинация (включая генную конверсию) (Кузнецова, Гохман, 2024).

Целью исследования является генетическая дифференциация представителей рода *Coregonus* на основании первого транскрибируемого спейсера.

Исследование проводилось на образцах ядерной ДНК муксуна (*Coregonus muksun*) – 14 шт., пыжьяна (*Coregonus pidschian*) – 12 шт., ряпушки сибирской (*Coregonus sardinella*) – 4 шт. и ряпушки европейской (*Coregonus albula*) – 4 шт. Выделение тотальной ДНК из тканей рыб, фиксированных в 96% этаноле, проводилось с помощью готового набора Thermo Fisher Scientific согласно протоколу производителя (<https://www.thermofisher.com>). Нативность полученного образца ДНК и его концентрацию проверяли методом гель-электрофореза в 1,4% агарозном геле с ДНК фага λ в качестве контроля. Дизайн специфических праймеров создавали с использованием последовательности 18S рДНК

*Coregonus muksun*, полученной ранее (Жукова, Апаликова, 2024), а также последовательности 5.8S рДНК *Nansenia crassa* из Gene Bank (OP189678.1). Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) проводили в амплификаторе Biogad T100 MyCycler в 20 мкл реакционной смеси, содержащей 0,5 е.а Taq ДНК-полимеразы, 1,25 мкл 10 ×Taq-буфера (Диалат), 0,25 мкМ каждого dNTP, 0,4 мкМ каждого праймера и около 30 нг геномной ДНК. Программа ПЦР состояла из следующих этапов: предварительная денатурация при температуре 96 °С (5 мин 00 сек); 36 циклов, включающих в себя денатурацию цепей при температуре 94 °С (30 сек), отжиг праймеров при температуре 61 °С (30 сек) и элонгацию при температуре 72 °С (2 мин); заключительный цикл элонгации при температуре 72 °С (3 мин). Ампликоны проверяли в 2% агарозном геле на 1xTBE-буфере. Окраску проводили флуоресцентным красителем бромидом этидия. Визуализацию и фотофиксацию осуществляли с помощью трансиллюминатора BioRad. Секвенограммы первичных последовательностей ITS1 коригонид были получены с помощью генетического анализатора Applied Biosystems 3500XL.

Сконструированные специфические праймеры – CorITS1F GTGCCGAGAAGACGATCAAAC и CorITS1R CGAGTGATCCACCGCTAAGAG – позволили получить валидный ПЦР-продукт (рис.).

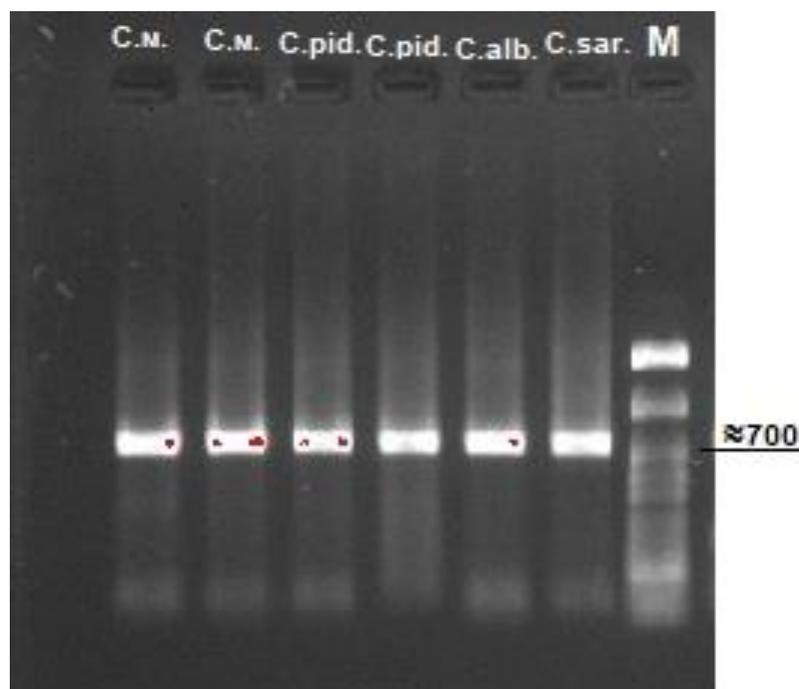


Рисунок. Визуализация ампликонов участка ITS1 сиговых рыб: C.m. – *Coregonus muksun*, C.pid. – *Coregonus pidschian*, C.alb. – *Coregonus albula*, C.sar. – *Coregonus sardinella*

В результате секвенирования были получены первичные последовательности участка ITS1 рДНК муксуна, пыжьяна и двух форм ряпушек длиной от 464 п.н. до 645 п.н. При сравнении данного варибельного участка муксуна и пыжьяна был отмечен высокий процент сходства (97,8 %), содержащий всего 3 замены и 11 вставок/делеций. Между ряпушками гомология продемонстрировала процент сходства несколько ниже – 83,8 %. При сравнении первого транскрибируемого спейсера муксуна и ряпушки европейской

идентичность оказалась сопоставима с показателем идентичности между ряпушками и составила 83,2 %. Однако, при сравнении муксуна с ряпушкой сибирской наблюдается заметное понижение процента сходства – 75,3 %. Последовательность ITS1 кластера рибосомных генов пыжьяна по сравнению с ряпушкой европейской и ряпушкой сибирской составила, соответственно, 80,8 и 75,0 % (табл.).

Таблица – Процент сходства области ITS1 у муксуна, пыжьяна и ряпушек

%	<i>C.muksun</i>	<i>C.pidschian</i>	<i>C.albula</i>	<i>C.sardinella</i>
<i>C.muksun</i>	-	97,8	83,2	75,3
<i>C.pidschian</i>		-	80,8	75,0
<i>C.albula</i>			-	83,8
<i>C.sardinella</i>				-

Полученные результаты демонстрируют дифференциацию представителей рода *Coregonus*. Учитывая вариабельность исследуемого участка и полученные показатели гомологии, увеличение выборки анализируемых форм и видов рыб позволит получить данные для дальнейшей работы в области систематики и популяционной генетики сиговых.

#### Список литературы

1. Жукова А.А., Апаликова О.В. Генетический полиморфизм муксуна (*C. muksun*) и пыжьяна (*C. pidschian*), сем. Coregonidae / Международный Конгресс «VIII Съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров, посвященный 300-летию российской науки и высшей школы»: Сборник тезисов, Саратов, 14-19 июня 2024 года. СПб.: ООО Издательский дом «Петрополис», 2024. С. 550.
2. Кузнецова В.Г., Гохман В.Е. Структура и эволюция ядрышкообразующих районов хромосом насекомых (insecta) / Современные проблемы и перспективы исследований клеточного ядра: Сборник тезисов докладов и сообщений XIX Всероссийского симпозиума, Санкт-Петербург, 21-22 мая 2024 года. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. С. 77-79.
3. Arnheim N. Concerted evolution of multigene families // Evolution of gene sand proteins. 1983. Sinauer, Sunderland, Mass. P. 38-61.
4. Khatter H., Myasnikov A.G., Natchiar S.K., Klaholz B.P. Structure of the human 80S ribosome // Nature. 2015. Vol. 520(7549). № 30. P. 640-645.
5. Sochorová J., Garcia S., Gálvez F., Symonová R., Kovařík A. Evolutionary trends in animal ribosomal DNA loci: introduction to a new online database. Chromosoma. 2018. Vol. 127. P. 141-150.

## РОЛЬ ОТОЛИТНОГО МАРКИРОВАНИЯ В УПРАВЛЕНИИ ВОСПРОИЗВОДСТВОМ И ПРОМЫСЛОМ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ

О.В. Зеленников<sup>\*,\*\*</sup>, Е.А. Косач<sup>\*\*</sup>, М.С. Мякишев<sup>\*\*\*</sup>, А.А. Ворожцова<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup> ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ),  
г. Санкт-Петербург, [oleg\\_zelennikov@rambler.ru](mailto:oleg_zelennikov@rambler.ru)

<sup>\*\*</sup> Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург,

<sup>\*\*\*</sup> Сахалинский филиал ФГБУ «Главрыбвод», г. Южно-Сахалинск

*Аннотация: обобщены и систематизированы опубликованные и неопубликованные данные по применению техники отолитного маркирования молоди горбуши *Oncorhynchus gorbischa* и кеты *O. keta* на рыболовных заводах Сахалинской области. Показаны возможности, которые открываются в управлении лососевым хозяйством при надежном разделении рыб природного и заводского происхождения в общем улове, и выявлении заводских особей на любом расстоянии от рыболовного предприятия.*

*Ключевые слова: горбуша, кета, Сахалинская область, отолитное маркирование*

Отолитное маркирование это один из самых современных методов исследования рыб, который ихтиологическая наука предложила для практического применения. Известно два способа маркирования – сухой, при котором зародышей по определенной схеме выдерживают без протока воды во влажной атмосфере (Сафроненков и др., 2000), и термический, при котором, переключаясь с одного источника водоснабжения на другой, для свободных эмбрионов создают перепад температуры (Акиничева и др., 2012). В результате на отолитах формируется рисунок из широких и узких полос, который сохраняется вплоть до полового созревания. В настоящее время отолиты исследуют у многих видов рыб, и в самых разных аспектах (Maguffee et al., 2019; Başusta, Khan, 2021 и др.). Однако в виде технологии к настоящему времени отолитное маркирование нашло массовое применение только в практике пастбищного воспроизводства тихоокеанских лососей (Joyce, Evans, 2001).

Роль отолитного маркирования в управлении воспроизводством и промыслом лососевых рыб базируется, на возможности разделить рыб природного и заводского происхождения в общем улове (Sato et al., 2009; Бугаев и др., 2020), и выявить заводских рыб на любом расстоянии от рыболовного предприятия (Urava et al., 2003; Чистякова, Бугаев, 2016).

Цель нашей работы обобщить и систематизировать опубликованные и неопубликованные данные, по применению техники отолитного маркирования молоди горбуши и кеты на заводах Сахалинской области, где выращивают более 90 % молоди всех видов тихоокеанских лососей в России (Леман и др., 2015). Отолитное маркирование здесь в виде отработанной технологии применяют с сезона 2008-2009 гг. (Акиничева и др., 2012), и в печати уже есть сведения по ее применению при воспроизводстве, как горбуши (Стеколыщикова, 2015; Мякишев и др., 2019), так и кеты (Стеколыщикова и др., 2021; Ворожцова и др., 2023). Впрочем, поскольку отолитное маркирование в производственном режиме применяется недавно, то количество публикаций по этой теме объективно невелико. Было выделено два главных направления исследований, которые авторы считают принципиально важными в масштабе лососевого хозяйства:

- оценка эффективности заводского воспроизводства горбуши и кеты;
- биологическая характеристика и особенности формирования промысловых стад лососей.

#### *Оценка эффективности заводского воспроизводства горбуши*

Тихоокеанский лосось горбуша является основой лососевого промысла в России. Однако воспроизводят его в заметном количестве только в Сахалинской области. Впрочем, и здесь численность молоди на заводах постоянно уменьшается. Главное, что смущает рыбопромышленников, это массовое отклонение производителей горбуши от мест своего воспроизводства в ходе нерестовой миграции.

Применение отолитного маркирования подтвердило широкое расселение горбуши от места своего воспроизводства (Мякишев и др., 2019). Для наглядного представления масштаба этого расселения рассмотрим ранее неопубликованные данные о вылове производителей горбуши, маркированных на одном из крупнейших федеральных заводов Сахалинской области – Таранайском ЛРЗ. Расположение завода указано на схеме под № 5. В остальных кружках указаны точки вылова рыб, которых в период эмбрионального развития маркировали на этом заводе (рис.).

Кружки, расположенные вне береговой линии острова, указывают на поимку рыбы в море; кружки внутри береговой линии – о поимке в реках. Таким образом, производители горбуши, выпущенные мальками с Таранайского ЛРЗ, облавливались, вдоль всей береговой линии южного Сахалина. Они были обнаружены также в реках Гребянка и Поронай, и неводах в заливе Терпения (центральный Сахалин). И, если рыбы, пойманные в море, могли мигрировать в направлении «своего» завода, то рыбы, пойманные в пресной воде, уже, фактически, завершили миграцию.

Зная число маркированных рыб, можно количественно оценить масштаб расселения заводских производителей горбуши. Так из 41894 исследованных рыб, метку Таранайского ЛРЗ имели 739 особей. Больше всего таких рыб выловили в реке Таранай – 8,97 %. Среди рыб, пойманных в бассейне Анивского, Корсаковского, Долинского районов и юго-западной части Сахалина, доля меченых особей составила соответственно 1,77 %, 0,59 %, 0,35 % и 0,50 %. Сопоставляя долю маркированных особей с уловом горбуши в каждом из регионов в конкретном году, выявлено, что число заводских рыб, ушедших на нерест в другие реки в 4,18 раза, превышает их число, вернувшихся к «собственному» заводу.

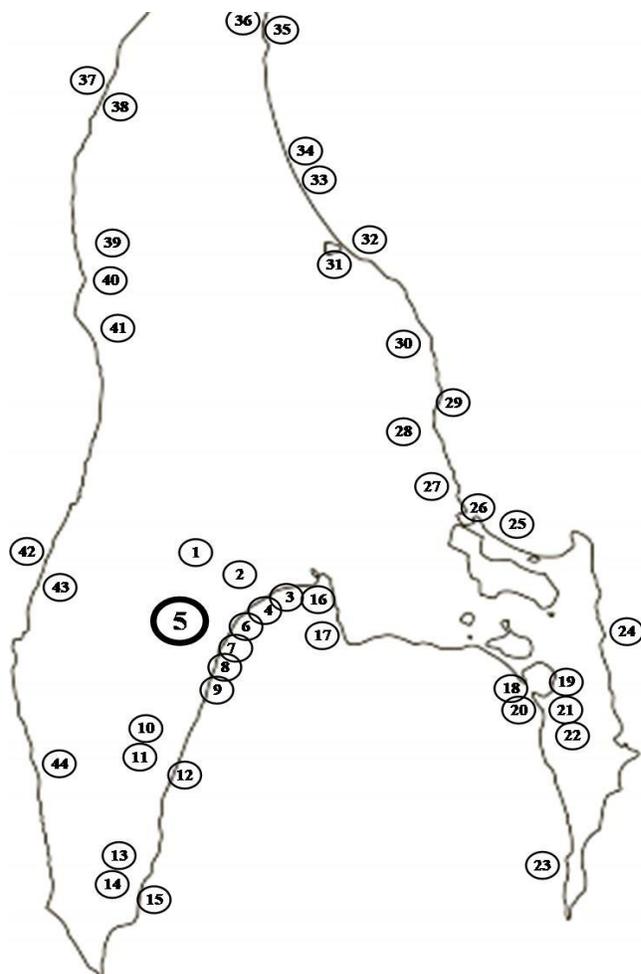


Рисунок. Расположение мест отлова производителей горбуши, маркированных в раннем возрасте на Таранайском ЛРЗ:

- 1 – Анивский ЛРЗ;
- 2 – р. Лютога; 3, 4 – устье р. Лютога;
- 5 – Таранайский ЛРЗ; 6 – в 4 км севернее устья р. Таранай;
- 7, 8 – устье р. Таранай;
- 9 – устье р. Ольховатка;
- 10 – р. Крестьянская; 11 – р. Тамбовка;
- 12 – устье р. Тамбовка; 13 – р. Кура;
- 14 – р. Найча; 15 – устье р. Найча;
- 16 – в 25 км от устья р. Лютога;
- 17 – в 50 км от устья р. Лютога;
- 18 – невод у лагуны Буссе;
- 19 – р. Игривая; 20 – невод в районе устья р. Игривая; 21 – р. Островка;
- 22 – р. Чиркова; 23 – устье р. Мраморная; 24 – мыс Великан; 25 – залив Мордвинова;
- 26 – протока Красноармейская;
- 27 – р. Очепуха; 28 – р. Вознесеновка;
- 29 – устье р. Жуковка; 30 – р. Бахура;
- 31 – р. Найба; 32 – устье р. Найба;
- 33 – устье р. Лиственницы; 34 – устье р. Фирсовка;
- 35 – пос. Взморье;
- 36 – р. Мануй; 37 – севернее р. Черная;
- 38 – р. Черная Речка; 39 – р. Чеховка;
- 40 – р. Красноярка; 41 – р. Кострома;
- 42 – в районе Невельска;
- 43 – р. Ловецкая; 44 – р. Обутонай

Полученные данные свидетельствуют в пользу того, что рыболовные заводы по воспроизводству молоди горбуши, опираясь на современную технологию, работают эффективно, а заводская продукция пополняет промысловые стада. Однако для получения значительной коммерческой выгоды при воспроизводстве этого вида требуется согласованное усилие от многих рыболовных предприятий, при котором перераспределение производителей между стадами будет взаимовыгодным.

#### *Оценка эффективности заводского воспроизводства кеты*

Кета отличается выраженным хомингом и по совокупности всех обстоятельств является самым рентабельным объектом для пастбищного выращивания лососевых рыб. Казалось бы, оценить эффективность работы рыболовного завода достаточно по числу рыб, вернувшихся в базовый водоток, не прибегая к исследованию отолитов. Однако для предприятий, находящихся далеко от устья базовых рек, «поиск» заводской продукции оказывается столь же актуальным, как и при воспроизводстве горбуши. Например, Березняковский и Соколовский ЛРЗ, имеющие общую забойку, ближе всех расположены к столице области и далеко от устья базовой реки (Ворожцова и др., 2023). В результате за 20 лет, прошедших после начала эксплуатации заводов в современном виде только в 2002 и 2009 гг. на своей забойке удалось собрать количество икры, достаточное для выполнения плана по выращиванию молоди. В остальные годы икру завозили с других предприятий.

Таким образом, оба завода, не обеспечивали даже свою работу, и сложилось мнение об их низкой эффективности (Стеколыщикова и др., 2021). Более того, в 2017 и 2018 гг. рыба вообще не подошла к забойке, и в 2017 г. Соколовский ЛРЗ не работал в течение года. Вместе с тем, в Долинском районе из года в год ловили около 3 тыс. т кеты и по результатам промысла за эти годы снижения численности не отметили (Ворожцова и др., 2023). Исследование отолитов позволило установить, что в приустьевой зоне базовой реки абсолютное большинство производителей кеты имеют заводскую метку. Очевидно, что особей заводского происхождения массово вылавливали на пути миграции. Убедившись в этом, руководство «Главрыбвод» в 2019 г. организовало эффективную охрану, благодаря чему улов был значительно больше, чем в предыдущие годы XXI в. В печати этот факт назвали «Возрождение сахалинской кеты» (Есипова, 2019), что, конечно, не соответствовало действительности, поскольку вылов кеты в Долинском районе был таким же, как и в предыдущие годы. В настоящее время оба предприятия взяты в аренду частной компанией ООО «Рыболовецкий колхоз им. Г. Котовского» и сейчас при надлежащей охране не только обеспечивают свою работу, но и создают промысловое стадо.

#### *Биологическая характеристика и особенности формирования промысловых стад лососей*

Для большинства стад кеты вопрос об эффективности воспроизводства молодежи решается возвратом рыбоводной продукции. Вместе с тем отолитное маркирование показало, что формирование стад кеты даже в соседних реках может иметь свою специфику. Так, стадо кеты Калининского ЛРЗ практически целиком формируется за счет работы самого предприятия. На формирование стада Сокольниковского ЛРЗ большое влияние оказывают соседние предприятия. В отдельные годы, число рыб, маркированных на других заводах, оказывается больше, чем производителей от собственной продукции. На стадо кеты Ясноморского ЛРЗ, где маркированные и немаркированные особи присутствуют в сходном соотношении, большое влияние оказывает природное воспроизводство (Ворожцова и др., 2024). Согласно статистике, в стадах кеты юго-западного побережья о. Сахалин, в отличие от всех остальных стад в Сахалинской области, преобладают рыбы старших возрастных групп. Считалось, что это связано с короткими реками горного типа, из которых, молодежь выходит, имея наименее развитые гонады (Коломыцев и др., 2018). Но оказалось, что рыбы старшего возраста преобладают только среди заводских особей. Доля рыб в возрасте 4+, 5+ и 6+ среди заводских самок и самцов составляет 74,9 и 67,8 %, тогда, как среди «диких» только 47,6 и 31,0 % (Зеленников и др., 2023). В настоящее время авторами проводится комплексный сравнительный анализ природной и заводской молодежи с целью выявить особенности их развития и внесения необходимых корректив в биотехнику заводского воспроизводства молодежи.

#### **Список литературы**

1. Акиничева Е.Г., Шубин А.О., Стеколыщикова М.Ю. Современное состояние исследований по маркированию и идентификации заводских лососей в Сахалино-Курильском регионе // Труды СахНИРО. 2012. Т. 13. С. 83-90.
2. Бугаев А.В., Чистякова А.И., Урава С. Многолетние тенденции распределения и регионального состава уловов заводской молодежи горбуши и кеты в период осенних миграций в бассейне Охотского моря // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2020. № 57. С. 67-98.
3. Ворожцова А.А., Мякишев М.С., Зеленников О.В. Роль отолитного маркирования кеты *Oncorhynchus keta* в исследовании эффективности ее заводского воспроизводства // Известия ТИНРО 2023. Т. 203. № 4. С. 1009-1019.

4. Ворожцова А.А., Мякишев М.С., Зеленников О.В. Особенности формирования стад кеты *Oncorhynchus keta* Salmonidae на заводах юго-западного Сахалина, выявленные при использовании методики отолитного маркирования // Вопросы ихтиологии. 2024. Т. 64, № 5. (В печати).
5. Зеленников О.В., Мякишев М.С., Ворожцова А.А. и др. Сравнительный анализ производителей кеты *Oncorhynchus keta* (Salmonidae) природного и заводского происхождения, выявленных в общем стаде по результатам отолитного маркирования // Вопросы ихтиологии. 2023. Т. 63. № 4. С. 418-425.
6. Есипова И. Возрождение сахалинской кеты // Русская рыба. 2019. № 5. С. 46-50.
7. Коломышев В.С., Лапшина А.Е., Зеленников О.В. Состояние яичников у молоди кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum, 1792) осенней и летней рас при ее выращивании на рыбоводных заводах Сахалинской области // Биология моря. 2018. Т. 44. № 1. С. 36-40.
8. Леман В.Н., Смирнов Б.П., Точилина Т.Г. Пастбищное лососеводство на Дальнем Востоке: современное состояние и существующие проблемы // Труды ВНИРО. 2015. Т. 153. С. 105-120.
9. Мякишев М.С., Иванова М.А., Зеленников О.В. К вопросу о мечении молоди лососей и эффективности работы рыбоводных заводов // Биология моря. 2019. Т. 45, № 5. С. 342-348. <https://doi.org/10.1134/S0134347519050085>
10. Сафроненков Б.П., Акиничева Е.Г., Рогатных А.Ю. Способ массового мечения рыб // Патент RU 2150827 С1. 2000. Бюл. № 17.
11. Стекольников М.Ю. Некоторые результаты мониторинга заводских стад горбуши в зал. Анива (о. Сахалин) // Известия ТИНРО. 2015. Т. 183. С. 51-60.
12. Стекольников М.Ю., Барковская О.А., Батюк Ю.А. Возможности повышения эффективности искусственного воспроизводства кеты *Oncorhynchus keta* в бассейне р. Найба (о. Сахалин) // Вопросы рыболовства. 2021. Т. 22. № 4. С. 182-194.
13. Чистякова А.И., Бугаев А.В. Оценка происхождения и пути миграций заводской молоди горбуши и кеты в бассейне Охотского моря в осенний период 2011-2014 гг. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2016. № 40. С. 5-23.
14. Başusta N., Khan U. Sexual dimorphism in the otolith shape of shidrum, *Umbrina cirrosa* (L.), in the eastern Mediterranean Sea: Fish size-otolith size relationships // J. Fish Biol. 2021. Vol. 99, № 1. С. 164-174.
15. Joyce T.L., Evans D.G. Using thermal-marked otoliths to aid the management of Prince William Sound pink salmon // NPAFC. 2001. № 3. P. 35-36.
16. Maguffee A.C., ReillyReneé C.R., Jones M.L. Examining the potential of otolith chemistry to determine natal origins of wild Lake Michigan Chinook salmon // Can. J. Fish. and Aquat. Sci. 2019. Vol. 76, № 11. P. 2035-2044.
17. Sato S., Takahashi M., Watanabe N. et al. Preliminary records of otolith-marked chum salmon found in the Bering Sea and North Pacific Ocean in 2006 and 2007 // NPAFC Bull. 2009. № 5. P. 99-104.
18. Urava S., Seki J., Kawana M., Saito T., Crane P.A., Seeb L.W., Fukuwaka M., Rogatnykh A., Akinicheva E. Origins of juvenile chum salmon caught in the Okhotsk Sea during the fall of 2000 // NPAFC. 2003. P. 721-725.

## ОСОБЕННОСТИ БИЦИКЛИЧНОГО СОЗРЕВАНИЯ САМОК РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ В УСТАНОВКЕ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

А.А. Зинченко

*Федеральный селекционно-генетический центр рыбоводства  
(ФСГЦР филиал ФГБУ Главрыбвод), Ленинградская обл., пос. Ропша, [ziza988@gmail.com](mailto:ziza988@gmail.com)*

*Аннотация: при работе с маточным стадом радужной форели были обнаружены самки, созревающие с промежутком в 6 мес. Проведена сравнительная оценка бициклично созревающих самок двух генераций.*

*Ключевые слова: аквакультура, радужная форель, бицикличное созревание, условия содержания, икра*

Радужная форель принадлежит к экологической группе рыб с единовременным икрометанием и многократным созреванием в течение жизни. Большинство биологов относят форель к весенне-нерестящимся рыбам (февраль-июнь). Если рассматривать всю совокупность природных популяций и искусственно созданных стад, можно отметить большое разнообразие сроков нереста в нерестовом сезоне. Это свидетельствует о значительных резервах генетической изменчивости радужной форели, высокой пластичности этого вида по срокам созревания и о возможности управления процессами гаметогенеза.

Изучением двукратного созревания радужной форели в течение года занимались отечественные и зарубежные ихтиологи-рыбоводы. Упоминание этого феномена можно встретить в работах Американских, Японских, Чилийских и отечественных ученых. Для всех известных случаев двукратного созревания форели характерным является то, что температура воды зимой не опускалась ниже 8 °С (Hume, 1955; Aida et al., 1984; Сычев и др., 1986; Шиндавина и др., 2003).

Цель работы состояла в изучение явления двукратного созревания самок при содержании их в условиях УЗВ.

На первом этапе работы, результаты которой представлены в данной публикации, была проведена сравнительная оценка рыб с разной кратностью созревания, которая включала в себя:

- частоту появления бициклических самок в разные годы в разных генерациях;
- динамику созревания рыб во время сезонного и внесезонного нерестовых циклов;
- характеристику рыб по основным хозяйственно-полезным признакам (массе тела, плодовитости и средней массе икринок), включая качество икры по выживаемости эмбрионов.

По всем признакам проводили индивидуальную оценку самок.

Место проведения работ – Федеральный селекционно-генетический центр рыбоводства филиал ФГБУ «Главрыбвод». Объект исследования – форель породы Рофор. В состав ремонтного стада входят самки, подавляющее число которых созревают в возрасте 2 года. Маточное стадо состоит из трехгодовалых рыб. Весь цикл выращивания рыб проходит в системе замкнутого водоснабжения. С февраля по октябрь рыб содержат в модуле под открытым небом с естественным фотопериодом и колебаниями температуры от 3 до 18 °С, а на время подготовки и проведения искусственного нереста с ноября по январь – в закрытом помещении при температуре 10-12 °С.

Самки с бициклическим нерестом в возрасте 2,5 года были обнаружены впервые летом 2021 г. Их численность составляла 12 % от рыб общего стада. Самки со средней массой тела 2,0 кг и плодовитостью 3,5 тыс. шт. продуцировали икру хорошего качества. Средняя масса икринок составляла 52 мг, оплодотворяемость – 83 %, выживаемость эмбрионов – 72 %. Высокие показатели качества икры сохранились у этих рыб и при последующем созревании в 3 года: средние значения оплодотворяемости яйцеклеток и выживаемости эмбрионов составляли 97 и 79 % соответственно.

Исследования продолжили в 2022-23 гг. на самках другой генерации. При созревании двухгодовалых рыб в осенне-зимний период их индивидуально поместили, что дало возможность получить информацию не только общей характеристики созревания, но и о проявлении индивидуальных особенностей самок, созревающих в разные сроки и с разной кратностью нереста.

Сравнительная оценка двухгодовалых рыб по срокам созревания, показала, что у моноциклических самок нерест продолжался почти два месяца, при этом производители созревали в небольшом количестве на протяжении всего периода (табл. 1). У бициклических рыб около 70 % особей созрели в течение двух недель от начала нереста, а 9 декабря был отчетливо выражен пик созревания. Нерестовый сезон закончился в конце декабря, то есть почти на три недели раньше, чем у моноциклических рыб.

Таблица 1. Динамика созревания двухгодовалых самок

Дата созревания	Количество созревших рыб, %	
	Моноциклические самки	Бициклические самки
24.11	2	6
02.12	14	18
09.12	20	44
15.12	11	15
21.12	9	12
29.12	18	5
05.01	15	-
12.01	10	-
19.01	2	-

Таким образом, группа самок, созревших летом, состояла в основном из рыб, рано созревших осенью. Это важно учитывать при отборе двухгодовалых производителей для формирования маточного стада с тем, чтобы не снизить частоту встречаемости бициклических самок.

Последующий летний нерест самок в возрасте 2,5 года был короче осеннего на месяц: с 18 мая по 22 июня. При этом, промежуток между датами осеннего и летнего созревания в среднем составлял 6 месяцев. Количество рыб, созревших летом, составляло 57 % от общего числа самок.

Согласно данным сравнительной оценки рыб разной кратности нереста, в двухгодовалом возрасте «однократники» и будущие «двукратники» не имели статистически достоверных различий ни по массе тела, ни по репродуктивным признакам (табл. 2). Из этого следует, что можно проводить отбор двухгодовалых по массе тела и репродуктивным признакам с любой напряженностью, не рискуя при отборе удалить из стада бициклических рыб.

Таблица 2. Характеристика самок с разной кратностью созревания

Признак	Однократный нерест		Бициклический нерест		
	2 г	3 г	2 г	2,5 г	3 г
Масса тела, г	1254±34,4	2734±82,1	1219±30,5	1630±41,0	2286±42,3
Плодовитость, шт.	2740±119,8	6296±288,3	2646±99,6	3737±184,4	5690±183,7
Ср. масса икринки, мг	51±1,2	64±1,6	50±0,9	36±0,9	60±1,4
Выживаемость эмбрионов, %	76±4,4	81±4,8	71±6,9	-	77±3,1

Во время летнего созревания плодовитость самок значительно возрастала, но вместе с этим икра была намного мельче, чем осенью. Качество икры оценить не удалось из-за отсутствия в это время самцов.

Трехгодовалые бициклические самки, по сравнению с однократниками, были достоверно меньше по массе тела ( $p=0,001$ ), что, очевидно, связано с дополнительным созреванием летом. По остальным признакам различия были не достоверны.

Корреляции высокого уровня были обнаружены у рыб разного возраста по срокам созревания, массе тела и репродуктивным показателям. Таким образом, большинство самок сохраняли преимущества по важным хозяйственно-полезным признакам на протяжении всего цикла выращивания, что создает предпосылки для проведения эффективного отбора производителей в раннем возрасте.

Основным направлением селекции в дальнейшем будет отбор рыб, генетически детерминированных к двукратному созреванию в году. Уровни повторяемости и наследуемости этого признака у радужной форели неизвестны. Однако, учитывая опыт японских селекционеров, можно ожидать существенного увеличения числа двукратно созревающих рыб через 3-4 поколения селекции (Aida et al., 1984; Low et al., 1984).

Практическое значение создания породы форели с бициклическим нерестом не вызывает сомнений. При выращивании рыб, созревающих каждые 6 месяцев, можно без увеличения затрат получать в среднем от одной самки дополнительную продукцию либо в виде посадочного материала в количестве около 3 тысяч икринок, либо пищевую икру весом около 70 г.

#### Список литературы

1. Никандров В.Я., Шиндавина Н.И. Создание, совершенствование и поддержание селекционных достижений в племенных хозяйствах // Породы радужной форели (*Oncorhynchus mykiss* W.). М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2006. С. 110-315.
2. Сычев Г.А., Новоженин Н.П., Сергеева Л.С. 1986. Летнее половое созревание форели, выращиваемой с использованием теплой воды электростанций // Сб. науч. трудов ВНИИПРХ. Вып. 48. С. 197-206.
3. Шиндавина Н.И., Никандров В.Я., Янковская В.А. 2003. Предпосылки выведения породы радужной форели с бициклическим нерестом // Материалы Международного симпозиума «Холодноводная аквакультура: старт в XXI век». СПб., 8–13 сентября 2003. С. 220-221.
4. Aida K., Dakai K., Nomura M., et al. Reproductive activity of a twice-annually spawning strain of rainbow trout // Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 1984. Vol. 50. P. 1165-1172.
5. Hume L.C. Rainbow trout spawn twice a year // Calif. Fish. Game. 1955. Vol. 41. P. 117.
6. Low S., Aida K., Hanui I., et al. Endocrine profiles in the females of a twice-annually spawning strain of rainbow trout // Aquaculture. 1984. Vol. 43. N. 13. P. 13-22.

## СОЗДАНИЕ ПРОТОТИПОВ ДНК-ВАКЦИН ДЛЯ АКВАКУЛЬТУРЫ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ

А.А. Зубарева\*, А.А. Лютиков\*\*, Ю.А. Скорик\*

\* *Филиал НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИВС, г. Санкт-Петербург, [zubarevaaa@gmail.com](mailto:zubarevaaa@gmail.com)*

\*\* *Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, [tokmo@mail.ru](mailto:tokmo@mail.ru)*

*Аннотация: в мировой практике аквакультуры вакцинация является самым эффективным средством профилактики заболеваний, вызываемых вирусами и бактериями. В данном исследовании предлагается разработать прототипы пероральных ДНК-вакцин для иммунизации рыб на примере судака обыкновенного (*Sander lucioperca*), используя метод инкапсулирования коммерческих вирусных (LVT-TagGFP2, Евроген, Россия) и плазмидных (pTurboGFP-dest1, Евроген) векторов в полимерную матрицу на основе хитозана и альгината натрия. Эти полисахариды являются перспективными в силу своей биodeградируемости, биосовместимости и невысокой стоимости. Такая полимерная оболочка позволит избежать преждевременной деградации вакцины в желудочно-кишечном тракте и увеличить эффективность пероральной вакцинации. Более того, адъювантные свойства полисахаридной оболочки в перспективе могут увеличить гуморальный и клеточный иммунный ответ на модельный белок.*

*Ключевые слова: вакцина, ДНК-вакцина, аквакультура, полисахариды, хитозан, альгинат натрия*

Болезни являются серьезным препятствием для устойчивого и здорового роста аквакультуры. Содержание рыб в условиях искусственного разведения сопряжено с рядом проблем, основными из которых являются большая подверженность инфекциям и их быстрое распространение среди объектов культивирования, находящихся в замкнутом пространстве при высокой плотности. Основными стратегиями борьбы с рыбными инфекциями являются лекарственный контроль и вакцинопрофилактика. Для борьбы с бактериальными инфекциями рыб широко используется антибактериальная терапия. Возрастающая резистентность к антибиотикам, а также строгие требования к их содержанию не только в рыбной продукции, но и в окружающем гидробиоценозе, существенно ограничивает подобную терапию. Применение вакцин является эффективной альтернативой, позволяющей безопасно для дикой ихтиофауны и биогеоценоза в целом сохранить культивируемые стада рыб и существенно снизить экономические потери. Впервые успешная пероральная иммунизация искусственно выращиваемых рыб форели была проведена в 1942 г. (Duff, 1942), с тех пор количество разрабатываемых вакцин для аквакультуры неуклонно растет. Для их создания используются различные методы и подходы – живые аттенуированные вакцины, инактивированные вакцины, субъединичные вакцины на основе рекомбинантных белков и пептидов, ДНК-вакцины (Du Y. Hu, Miao, Chen, 2022). Применение таких вакцин у рыб возможно перорально, парентерально, а также способом погружения.

Несмотря на то, что в отечественной ветеринарной практике вакцины для аквакультуры используются нечасто, в этой области имеются значительные успехи. Так, коллектив лаборатории ихтиопатологии ВИЭВ им. Я.Р. Коваленко разработал эффективную вакцину против вибриоза для радужной форели на основе инактивированного возбудителя *Vibrio anguillarum*. Всего в эксперименте было вакцинировано 10 тысяч экземпляров молоди

форели массой 400 г. Через 3 недели поствакцинальный титр антител составил 1:1240, через 2 месяца – 1:1200, через 7 месяцев – 1:620. При температуре выше 8 °С иммунитет развивался в течение 4-6 недель (в зависимости от способа вакцинации) и сохранялся в течение года (Дрошнев и др., 2012). Также известно о старте в декабре 2023 г. клинических испытаний инактивированной эмульсионной вакцины против инфекционного некроза поджелудочной железы, фурункулеза, вибриоза, холодноводного вибриоза и зимней язвенной болезни лососевых рыб (информация с сайта <https://fsvps.gov.ru/>). Вышеупомянутые вакцины являются «классическими», полученными на основе инактивированного возбудителя.

Известно и о разработке ДНК-вакцин. Группой ученых из ФГУП Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» (г. Новосибирск) запатентованы плазмидные конструкции, обеспечивающие экспрессию гликопротеина российского изолята ЗЛ-4 в рыбах. ДНК-вакцина на основе указанных ДНК-плазмид обеспечивает развитие у рыб защитного иммунитета против последующего заражения изолятом ЗЛ-4 вируса весенней виремии карпа (Патент РФ RU2287582C2, авторы Воронова О.С. и др.). Этой же тематике посвящена тема диссертационного исследования Вороновой О.С. (2005), показавшей перспективность использования различных генно-инженерных конструкций со вставкой гликопротеина вируса весенней виремии карпа для вакцинации рыб внутривнутренним и внутримышечным путем.

В исследовании выбран пероральный путь доставки как наиболее привлекательный для иммунизации рыб по ряду причин: простота введения антигенов, меньший стресс по сравнению с парентеральным введением, применимость как к мелким, так и крупным рыбам, а также возможностью легкого введения бустерных доз вакцины в случае недостаточного иммунного ответа (Mutoloki, Munang'andu, Evensen, 2015). Тем не менее, на рынке вакцин для аквакультуры пероральные вакцины занимают не первое место из-за низкой биодоступности препаратов при введении *per os* и их быстрой деградации в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ).

Предлагается повысить эффективность пероральной вакцинации в аквакультуре путем включения нуклеиновых кислот в полимерную матрицу на основе полисахаридов (альгината натрия и производных хитозана). На первом этапе работ проведено сравнение эффективности инкапсулирования модельной ДНК лосося с использованием хитозана ООО «Биопрогресс» с молекулярной массой 150±50 кДа и степенью дезацетилирования 90±5 %, а также его производного, растворимого в широком диапазоне pH (диэтиламиноэтилхитозана) и альгината натрия (Sigma, США). Методом гель-электрофореза в агарозном геле установлено, что хитозан и его производные эффективно образуют комплекс с ДНК. Покрытие такого полиплекса дополнительной оболочкой из альгината натрия, позволяет увеличить его стабильность в условиях имитирующих ЖКТ.

В дальнейшем разрабатываемые вакцины будут протестированы в моделях *in vitro*, а также на модели судака обыкновенного (*Sander lucioperca*), выращиваемого в условиях рыбноводного хозяйства ООО «Форват» (Ленинградская область). Полученные результаты могут стать предпосылкой для создания эффективных отечественных вакцин для аквакультуры нового поколения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект 24-76-10054.

### Список литературы

1. Duff D.C.B. The oral immunization of trout against *Bacterium salmonicida* // The Journal of Immunology. 1942. Vol. 44(1). P. 87-94.
2. Du Y. Hu X., Miao L., Chen J. Current status and development prospects of aquatic vaccines // Frontiers in Immunology. 2022. Vol. 13, P. 1-31.
3. Дрошнев А. Е., Завьялова Е. А., Гулюкин М. И., Хлунов О. В. Современная вакцинопрофилактика радужной форели против вибриоза // Российский ветеринарный журнал. 2012. № 1. С. 31-33.
4. Воронова О.С. Разработка рекомбинантных вакцин-кандидатов против весенней виремии карпа и исследование их иммуногенных и протективных свойств: автореф.дис. канд.биол.наук 03.00.03. Кольцово, 2005.
5. Mutoloki S., Munang'andu H.M., Evensen Ø. Oral Vaccination of Fish – Antigen Preparations, Uptake, and Immune Induction // Frontiers in Immunology, 2015. №6, P. 2-10. Diethylaminoethyl chitosan–hyaluronic acid polyelectrolyte complexes // International Journal of Biological Macromolecule, 2020. Vol. 146, P. 1161-1168.

## ГОРБУША (*ONCORHYNCHUS GORBUSCHA* (WALBAUM)) – НОВЫЙ ОБЪЕКТ ПРОМЫСЛА В АРКТИЧЕСКИХ ВОДАХ СЕВЕРА РОССИИ

А.В. Зубченко

*Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ПИНРО» им. Н.М. Книповича), [zav@pinro.vniro.ru](mailto:zav@pinro.vniro.ru)*

*Аннотация: в результате адаптации нечетной линии горбуши наблюдается рост уловов в бассейне Белого моря. В новом ареале она отнесена к объектам промысла, имеющим региональный статус. Обсуждаются вопросы возобновления работ по пастбищной аквакультуре, необходимости адаптации четной линии с целью введения ее в промысел. Обращается внимание на слабую изученность интродуцента.*

Ключевые слова: Горбуша, адаптация нечетной линии, рост уловов, региональный статус, пастбищная аквакультура, адаптация четной линии, слабая изученность

Прошло почти 70 лет с начала работ по трансплантации дальневосточной горбуши в водоемы Европейского Севера страны, осуществлявшихся в рамках мероприятий по акклиматизации живых организмов, широко практиковавшихся в СССР в XX в. (Строганова, Ванюшин, 2000). Предполагалось, что многочисленный в нативном ареале вид с высоким темпом роста, быстро созревающий адаптируется к новым условиям, и рыбная промышленность Северного бассейна получит достаточную сырьевую базу для промысла.

Это была не первая попытка вселить горбушу в различные регионы бассейнов Атлантического и Северного Ледовитого океанов (Davidson, Hutchinson, 1938; Huntsman, Dymond, 1940; Кожин, 1940; Bigelov, Schroeder, 1953; Lear, 1975; Narache, 1992). Однако результат не был достигнут.

Более успешными оказались работы, проводимые в СССР, хотя первоначально после относительно обнадеживающих результатов (в 1960 г. было учтено 94,4 тыс. экз. рыб, вернувшихся на нерест), в четные годы интродуцент встречался единично, а в нечетные наблюдались значительные межгодовые колебания численности, с тенденцией сокращения запасов, если воспроизводство не поддерживалось за счет завоза икры из дальневосточных регионов. Ситуация изменилась в 1985 г., когда в качестве водоема-донора была выбрана р. Ола (Магаданская область). Генерация этого года положила начало успешной фазе акклиматизации нечетной линии горбуши, на что, по мнению Н.В. Гордеевой (2017), указывает наблюдаемый сильный направленный отбор, означающий адаптацию к достаточно неблагоприятным условиям воспроизводства в новом ареале, и возросшая численность нерестовых мигрантов в беломорском бассейне, достигшая промысловых значений. У рыб четной линии подобных процессов не обнаружено, что снижает их адаптивные возможности, и является причиной малочисленности.

В результате сложилась неоднозначная ситуация, когда при наличии в реках Севера России атлантического лосося (семги), чужеродный вид, каковым является горбуша, к настоящему времени вполне успешно освоил водотоки, впадающие в Баренцево, Белое и Карское моря: от р. Паз на западе до р. Пясна на востоке (Зубченко и др., 2004; Богданов, Кижеватов, 2007, 2015; Заделенов, Форина, 2024), и стал чаще встречаться в водоемах Северной Европы (Mo et al., 2018; Sandlund et al., 2019; Nielsen et al., 2020; Status of the Tana..., 2021). В то же время, несмотря на широкое распространение горбуши в новом ареале до сих пор неясен ее статус как объекта промысла, уровень востребованности,

дальнейшие перспективы использования. Не решается проблема адаптации четной линии. На низком уровне изученность особенностей биологии и поведения.

В работе использовали ретроспективные данные по статистике промысла горбуши, собранные сотрудниками Полярного филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Мурманского, Северного и Карельского филиалов ФГБУ «Главрыбвод», Североморского и Северо-Западного ТУ Росрыболовства.

Из данных по промысловой статистике следует, что относительно высокая преднерестовая численность интродуцента наблюдалась только в нечетные годы и только в бассейне Белого моря. В период до 1985 г. уловы горбуши нечетной линии колебались от 0,1 т в 1981 г. до 286,6 т. в 1973 г. (в среднем 71 т). Вылов рыб четной линии в этот период варьировал от 0,2 т в 1962 г. до 98,7 т в 1960 г. (в среднем 9,3 т). Колебания в уловах рыб обеих линий были значительными и какой-либо зависимости от количества выпущенных смолтов не наблюдалось.

Начиная с 1987 г. учетный вылов горбуши нечетной линии колебался от 3,3 т в 1987 г. до 714,4 т в 2021 г. (в среднем 192,4 т). Наблюдался устойчивый тренд увеличения уловов. Четная линия интродуцента в отсутствии завозов икры с Дальнего Востока, прекращенных в конце прошлого столетия, практически исчезла. Средний вылов составил 2,0 (0,1-11,0) т. В 8-ми случаях сведений об уловах вообще не поступало, а улов в 11 т пришелся на возврат в 2000 г. от выпуска 1,65 млн молоди горбуши генерации 1998 г.

Длительное время горбуша является объектом любительского и ННН-рыболовства. По учетным данным в Архангельской области (АО) и Ненецком автономном округе (НАО) в 2009 г. суммарный вылов рыбаков-любителей составил 3,3 т, в 2013 г. в АО – 0,59 т, в НАО – 0,16 т, в 2021 г. – 2,36 и 0,2 т, в 2023 г. – 11,1 и 0,42 т соответственно. В Мурманской области декларированные уловы рыболовов-любителей в 2007-2023 гг. колебались от 0,1 до 16,64 т. Однако официальная статистика не отражает реальное состояние дел, так как включает только уловы на рыболовных участках. В то же время, по экспертной оценке, основанной на опросных данных и информации, выкладываемой на рыболовных форумах, недекларируемый вылов горбуши, во много раз превосходит официальные данные.

В целом за период с 1956 по 2023 гг. суммарный декларированный улов горбуши составил около 4,83 тыс. т, что по меркам Дальнего Востока – результат одного дня. Например, в 2023 г. общий вылов горбуши превысил 478 тыс. тонн (Лососевая путина-2023..., 2023). Тем не менее в беломорском регионе горбуша является довольно значимым объектом как промышленного, так и любительского рыболовства. В частности, в Мурманской области в 2021 г. вылов интродуцента на одного жителя региона составил 0,8 кг. Это не слишком впечатляющая цифра, но она в разы больше, чем вылов других проходных и пресноводных рыб. Кроме того, это, по-видимому, не предел, так как по данным Агапова (1986) максимальная численность нечетной линии горбуши в бассейне Белого моря может достигать 2 млн экз., а по мнению Каревич (1998) еще больше – 4-8 млн экз. массой около 6-12 тыс. т.

Можно ли считать, что горбуша нечетной линии натурализовалась в водах Севера России? Данные по генетике (Гордеева и др., 2015; Гордеева, 2017) говорят в пользу этого утверждения, и это единственное исследование, доведенное до логического завершения. В целом изученность биологии вида в новом ареале крайне незначительна, т.к. из-за отсутствия финансирования ее системные исследования были прекращены в конце 1980-х гг. (Яковенко, 1995), и эта ситуация сохранилась до настоящего времени.

Натурализация нечетной линии горбуши и ее статус объекта промысла регионального значения, предполагает решение проблемы адаптации четной линии и

доведение ее численности до промысловых размеров. Пути решения, несомненно, есть. Например, Гордеева (2010) предлагает естественным путем создать генерацию четных лет из уже адаптировавшейся к новым условиям горбуши нечетной линии, выдерживая ее в пресной воде, где она растет медленнее и созревает не только на второй, но и на третий год. Перспективным представляется вариант оплодотворения икры от самок четной линии спермой самцов нечетной линии. Есть методы генной инженерии.

Следует также отметить, что из-за несовершенной логистики имеют место значительные проблемы с организацией промысла, доставкой и переработкой уловов горбуши.

Весьма важным является реализация научных программ по изучению вопросов касающихся взаимоотношения горбуши и семги как молодых, так и взрослых рыб, воздействия различных факторов (биотических, абиотических) на формирование численности горбуши, роли горбуши в переносе заболеваний, степени влияния, разлагающейся после нереста горбуши, на экосистемы лососевых рек и многих других.

В плане увеличения численности нерестовых мигрантов представляется перспективным возобновление работ по пастбищному выращиванию, используя икру местных производителей. Соответствующие опыт и возможности на рыбоводных заводах северных регионов есть.

Таким образом в результате многолетних работ по интродукции дальневосточной горбуши в водоемы Севера России удалось частично решить поставленные в начале задачи, добиться натурализации в новом ареале линии нечетных лет, и создать достаточно многочисленные стада в бассейне Белого моря. Важное значение имеют решение вопроса адаптации в новом ареале горбуши четной линии и введение ее в промысел, вопросов, связанных с организацией промысла, доставкой и переработкой уловов, возобновления работ по пастбищному выращиванию, как одного из вариантов решения задачи по увеличению численности нерестовых стад горбуши.

Решение этих проблем невозможно без научного сопровождения, которое на данном этапе не соответствует стоящим задачам. Несмотря на длительный период акклиматизационных работ и положительные результаты по введению в промысел горбуши нечетной линии многие аспекты ее биологии не изучены, что отрицательно влияет на наиболее полное использование ресурса в рыбохозяйственных целях.

#### Список литературы

1. Богданов В.Д., Кижеватов Я.А. Горбуша в водоемах и водотоках Ямало-Ненецкого автономного округа // Науч. вестн. Ямало-Ненецкого автоном. округа. 2007. Вып. 6 (50). ч. 2. С. 3–4.
2. Богданов В.Д., Кижеватов Я.А. Горбуша (*Oncorhynchus gorbuscha*, Walbaum, 1792) – новый вид водных биологических ресурсов в Ямало-Ненецком автономном округе // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. 2015. № 3. С. 7-14.
3. Гордеева Н.В., Салменкова Е.А., Прусов С.В. Динамика биологических и популяционно-генетических показателей у горбуши *Oncorhynchus gorbuscha*, вселенной в бассейн Белого моря // Вопросы ихтиологии. 2015. Т. 55. № 1. С. 45-54.
4. Гордеева Н.В. Беломорская горбуша: адаптация, генетика, демография // Изучение, рациональное использование и охрана природных ресурсов Белого моря : Материалы конференции. СПб., 2017. С. 47-49
5. Гордеева Н.В. Беломорская горбуша: итоги и перспективы акклиматизации // Рыбное хозяйство. 2010. № 5. С. 65-67.
6. Зубченко А.В., Веселов А.Е., Калюжин СМ. Горбуша (*Oncorhynchus gorbuscha*): проблемы акклиматизации на Европейском Севере России. Петрозаводск – Мурманск, 2004. 82 с.
7. Заделёнов В.А., Форина Ю.Ю. Горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* в бассейнах крупных рек Красноярского края: история интродукции, биологические характеристики // Вопросы рыболовства. 2024. Т. 25, № 1. С. 59-66.

8. Кожин Н.И. Акклиматизация тихоокеанских лососей // Рыбное хозяйство. 1940. № 3. С. 36.
9. Лососевая путина – 2023: добыто 608,6 тыс. тонн – в 2,2 раза выше уровня прошлого года, в оптовом сегменте падает цена на горбушу. [Электронный ресурс]. 15.11.2023. URL: <https://fish.gov.ru/news/2023/11/15/lososevaya-putina-2023-dobyto-6086-tys-tonn-v-22-raza-vyshe-urovnya-proshlogo-goda-v-optovom-segmente-padaet-czena-na-gorbushu/> (дата обращения 15.02.2021).
10. Яковенко М.Я. Горбуша как объект промысла в бассейне Белого моря // Материалы докл. VI регион. конф. «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря» (ЗИН РАН, Кандалакш. гос. Заповедник). СПб., 1995. С. 35-37.
11. Bigelow H.B., Schroeder W.C. Fishes of the Gulf of Maine // US Fish. Wildl. Serv. Fish. Bull. 1953. Vol. 53, № 74. 577 p.
12. Davidson F.A., Hutchinson S.J. The geographic distribution and environmental limitations of the pacific salmon (genus *Oncorhynchus*) // Bull.U.S. Fish. 1938. Vol. 48, № 28. P. 667-692.
13. Narache Y. Pacific salmon in Atlantic waters. // ICES Marine Science Symposium. 1992. Vol. 194. P. 31-55.
14. Huntsman A.G., Dymond J.R. Pacific salmon not established in Atlantic waters // Science. 1940. Vol. 91, № 2367. P. 447-449.
15. Lear W.H. 1975. Evaluation of transplants of Pacific pink salmon (*O. gorbuscha*) from British Columbia to Newfoundland // J. Fish. Res. Bd Can. 1975. V.32. № 12. P. 2343-2356.
16. Mo T.A., Thorstad E.B., Sandlund O.T., Berntsen H.H., Fiske P., Uglem I. The pink salmon invasion: a Norwegian perspective // J Fish Biol. 2018. Vol. 93, № 1. P. 5-7.
17. Nielsen J., Rosing-Asvid A., Meire L., Nygaard R. Widespread occurrence of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) throughout Greenland coastal waters // Journal of Fish Biology. 2020. Vol. 96, № 6. P. 1505–1507.
18. Sandlund O.T., Berntsen H.H., Fiske P., Kuusela J., Muladal R., Niemelä E., Uglem I., Forseth T., Mo T.A., Thorstad E.B., Veselov A.E., Vollset K.W., Zubchenko A.V. Pink salmon in Norway: the reluctant invader // Biological Invasions. 2019. Vol. 21, № 4. P. 1033-1054.
19. Status of the Tana/Teno River salmon populations in 2021. Report from the Tana Monitoring and Research Group. 2021. № 1. 59 p.

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ НЕКОТОРЫХ КОСТЕЙ ЧЕРЕПА СИМПАТРИЧЕСКИХ СИГОВ *COREGONUS PIDSCHIAN* (GMELIN) И *COREGONUS PRAVDINELLUS* (DULKEIT) С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОРФОМЕТРИИ**

Е.И. Зуйкова\*\*\*, Н.А. Бочкарев\*\*\*

*\*Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск,  
zuykova1064@yandex.ru; nikson\_1960@mail.ru*

*\*\* Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), г. Санкт-Петербург*

*Аннотация: выполнен анализ изменчивости формы некоторых функциональных костей черепа у симпатрических сигов из Телецкого озера *Coregonus pidschian* и *C. pravdinellus* с помощью метода геометрической морфометрии. В результате выявлены четкие различия между данной парой сигов, которые наиболее сильно проявились при сравнении формы нижнечелюстных костей. Полученные результаты хорошо согласуются с исследованиями по изучению особенностей функционирования жаберно-челюстного аппарата сигов. Дифференциация между телецким сигом и сигом Правдина по форме костей черепа оказалась более значимой, чем по пластическим признакам.*

*Ключевые слова: геометрическая морфометрия, краниальная остеология, род *Coregonus*, симпатрические сиви, Телецкое озеро*

Разнотычинковые симпатрические сиви из Телецкого озера представляет собой одну из спорных пар, таксономический статус которых обсуждается до настоящего времени (Шапошникова, 1968). Тем не менее, между этими формами/видами сигов выявлены различия по большинству морфологических признаков, степени зараженности паразитами, экологии (Бочкарев, Гафина, 1993; Бочкарев, 2000; Бочкарев, Зуйкова, 2006). Было показано, что расхождение сигов по разным экологическим нишам и, следовательно, по типу питания приводит к различиям в строении и функционировании их жаберно-челюстного аппарата (Зуйкова, Бочкарев, 2008). Выявленная дифференциация позволяет считать этих сигов полноценными биологическими видами. Однако анализ фрагмента гена 16S-ND1 митохондриальной ДНК, не выявил между ними различий, но указал на неоднородность генетической структуры (Bochkarev, Zuykova, Katokhin, 2011).

Несмотря на длительное исследование сигов из Телецкого озера, остеологический анализ для них ранее не проводился, хотя он представляет собой один из наиболее перспективных методов изучения морфологической изменчивости и адаптаций у рыб (Шапошникова, 1968; Heese, 1990). Ранее подобные исследования были сопряжены с большой трудоемкостью. В настоящее время использование цифровой фотографии значительно облегчает обработку морфологических данных, в том числе и с помощью метода геометрической морфометрии. Данный метод позволяет изучать как изменчивость общей формы тела, так и отдельных морфологических структур (Павлинов, Микешина, 2002; Zuykova, Bochkarev, Katokhin, 2013; Zuykova, Simonov, Bochkarev et al., 2018). Использование данного метода при изучении морфологической изменчивости рыб позволило обнаружить различия между экологическими формами и симпатрическими видами, которые невозможно было выявить с помощью традиционных методов (Andersson, 2003; Helland et al., 2009; Muschick et al., 2011).

Учитывая различия между симпатрическими сигами из Телецкого озера по форме головы, строению челюстного аппарата и по типу питания цель данной работы заключалась в анализе изменчивости формы некоторых костей черепа, связанных с их пищевыми адаптациями.

Материалом для исследования послужили выборки сигов из Телецкого озера, отловленные в июле 2010 г. Свежезамороженные головы рыб обрабатывали горячей водой и тщательно очищали череп от кожи. Впоследствии череп освобождали от покровных костей, мягких тканей и висцеральных костей. Кости слегка обсушивали на фильтровальной бумаге, помещали на темный фон. Для масштабирования объекта использовали миллиметровую бумагу. Сначала череп (*cranium*) в латеральном положении, а затем и висцеральные и покровные кости фотографировали с помощью фотоаппарата NIKON для получения цифровых изображений. В результате были получены изображения черепа и четырех висцеральных костей с левой стороны, а именно: нижнечелюстной *dentale*, верхнечелюстной *maxillare*, предкрышечной *praeoperculum* и межкрышечной *interoperculum*.

Цифровые изображения черепа и висцеральных костей симпатрических сигов анализировали в пакете программ TPS (Rohlf, 2000, 2004a, 2004b, 2005). В программе tpsDig2 расставили от 6 до 12 меток (ландмарок, L), характеризующих форму. Последующая обработка полученных данных в программе tpsSuper позволила получить усредненную для совокупности особей конфигурацию меток, определить и оценить направления и размах изменений компонент в форме черепа и костей. Далее переменные формы изучены с помощью методов многомерного анализа. На основе главных деформаций были рассчитаны частные деформации и затем в программе tpsRelw методом главных компонент формы вычислены относительные деформации (RW). Визуализацию различий между формой костей черепа у сигов проводили с помощью метода главных компонент (ГК). Статистический анализ выполняли в пакетах программ Statistica v. 6 и PAST v. 4.

По 9 меткам, расставленным на черепе, было вычислено 14 относительных деформаций, первая из которых объясняла 27,60 % общей изменчивости, вторая – 19,29 %, третья – 15,25 % и четвертая – 11,54 %. В целом они объясняли 73,68% общей изменчивости формы черепа симпатрических сигов. Вдоль первой относительной деформации произошло разделение формы черепа рыб согласно видам – сиг Правдина и сиг телецкий (рис. 1 А).

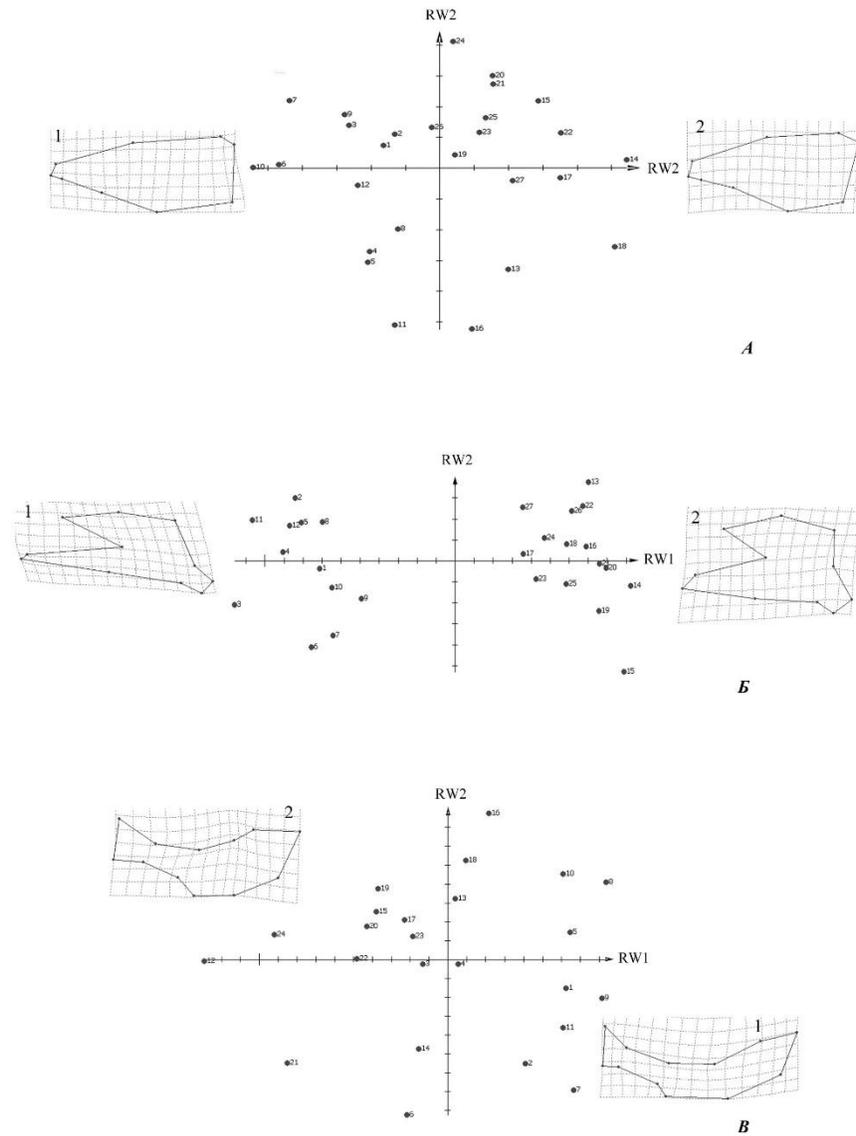


Рисунок 1. Графическое представление различий формы костей черепа у симпатрических сигов вдоль градиента I (RW1) и II (RW2) относительных деформаций и конфигурации трансформационной решетки, соответствующие экстремальным значениям каждой из этих деформаций; *A* – череп, *B* – нижнечелюстная кость, *B* – верхнечелюстная кость; 1 – сиг Правдина, 2 – телецкий сиг

Самые высокие различия между исследуемыми видами определяются расстоянием между сошником и средней обонятельной костью (L1, L9). Меньший вклад в изменчивость вносит расстояние от затылочной кости до угла парасфеноида (L6, L7). По 11 меткам, расставленным на крупной нижнечелюстной кости, было вычислено 18 относительных деформаций, первая из которых объясняла 70,01 % общей изменчивости ее формы. Вдоль оси первой относительной деформации кости также разделились согласно исследуемым видам (рис. 1 *B*). Самые высокие различия между исследуемыми видами определяются формой в месте сочленения этой парной кости, которое у телецкого сига более короткое и

широкое (L1, L2), и формой ее нижнего отростка, более длинного и узкого у сига Правдина (L5). Меньший вклад в изменчивость вносит форма верхнего отростка нижнечелюстной кости (L7 и L9).

По 12 меткам, расставленным на верхнечелюстной кости, было вычислено 20 относительных деформаций, первая из которых объясняла 36,87 %, вторая – 18,52 % и третья – 15,51 %, которые объясняли 70,34 % общей изменчивости формы черепа сиговых. Вдоль первой относительной деформации кости разделились по принадлежности к сигу Правдина и сигу телецкому (рис. 1 В). Самые высокие различия между исследуемыми видами определяются формой узкой передней части этой кости (L4, L5, L6, L9).

По 6 меткам, расставленным на межкрышечной кости (*interoperculum*), было вычислено 8 относительных деформаций, первая из которых объясняла 53,95 %, вторая – 18,88 % общей изменчивости. В целом они объясняли 72,83 % общей изменчивости формы этой кости. Вдоль первой относительной деформации кости также разделились по принадлежности к исследуемым видам. Самые высокие различия определяются формой нижнего края кости (L2, L3) и формой верхнего края в месте сочленения с предкрышечной костью и жаберной крышкой (L5, L6). У телецкого сига межкрышечной кости короткая и широкая, у сига Правдина – длинная и узкая.

По 10 меткам, расставленным на предкрышечной кости, вычислено 16 относительных деформаций, первая из которых объясняла 36,90 %, вторая – 17,62 % общей изменчивости и третья – 13,63 %, которые объясняли 68,14 % общей изменчивости формы этой кости у этих симпатрических видов. Вдоль первой относительной деформации предкрышечные кости разделились согласно исследуемым видам. Самые высокие различия между исследуемыми видами определяются формой кости в месте ее сочленения с межкрышечной костью (L3) и нижней челюстью (L8, L9, L10). У сига Правдина предкрышечная кость в месте сочленения с нижней челюстью более длинная и узкая.

Анализ главных компонент, выполненный по значениям относительных деформаций, показал, что вдоль первой ГК, описывающей большую часть общей изменчивости костей черепа, наблюдаются четкие различия между телецким сигом и сигом Правдина. То есть, первая главная компонента объясняет изменчивость формы костей, связанную с видовой принадлежностью рыб. Однако величина вклада в каждом конкретном сравнении была разной. Самые большие различия отмечены при сравнении нижнечелюстной кости, когда вклад достигал 70,8 % (рис. 2 В). В остальных случаях величина вклада колебалась от 28,2 (*cranium*) до 56,3 % (*interoperculum*) (рис. 2 А, Б, Г, Д). Вторая ГК связана большей частью с индивидуальной изменчивостью формы костей черепа сигов. Самый низкий вклад во вторую ГК зарегистрирован при сравнении нижнечелюстных костей – 6,5 %; в остальных случаях его величина изменялась от 17,7 (*praeoperculum*) до 19,7 % (*cranium* и *interoperculum*).

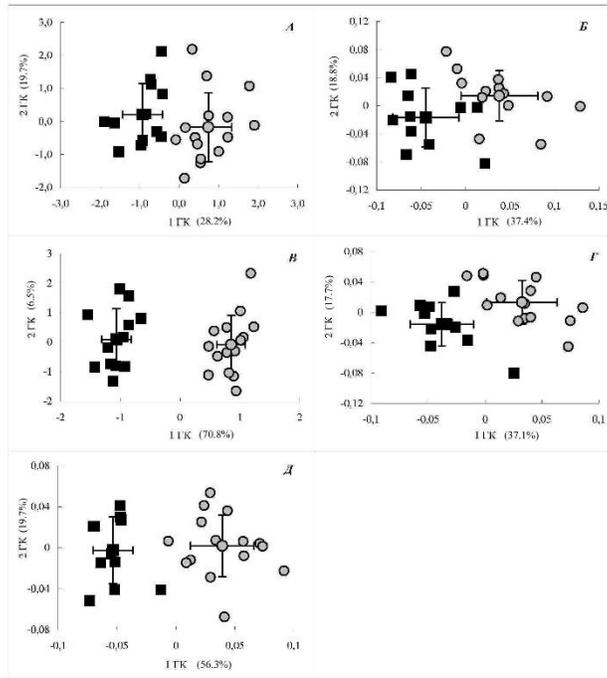


Рисунок 2. Анализ главных компонент по ординатам индивидуальных конфигураций формы костей черепа у симпатрических сигов; серые круги – телецкий сиг, черные квадраты – сиг Правдина. А – череп, Б – верхнечелюстная кость, В – нижнечелюстная кость, Г – предкрышечная кость, Д – межкрышечная кость

Таким образом, выявлена четкая дифференциация симпатрических сигов из Телецкого озера по форме черепа, верхнечелюстным, нижнечелюстным, предкрышечным и межкрышечным костям. Эти различия наиболее явно проявились при сравнении нижнечелюстных костей, что согласуется с результатами исследований по питанию сигов и функционированию жаберно-челюстного аппарата (Бочкарев, Зуйкова, 2006; Зуйкова, Бочкарев, 2008). Полученные данные подтверждают, что форма нижнечелюстной кости обусловлена различиями в трофической специализации симпатрических сигов. Индивидуальная изменчивость этой кости значительно ниже, чем остальных, что, вероятно, определяется ее высокой функциональной ролью. Узкая и длинная нижнечелюстная кость (конечный рот) позволяет сигу Правдина осуществлять захват и поимку планктонных организмов. Тогда как форма нижнечелюстной кости у телецкого сига (нижний рот) адаптирована для питания бентосом. В целом, дифференциация между телецким сигом и сигом Правдина по форме костей черепа оказались более значимой, чем по пластическим признакам.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 24-24-00528.

#### Список литературы

1. Бочкарев Н.А., Гафина Т.Э. Сравнительная характеристика телецкого сига и сига Правдина из Телецкого озера // Сиб. биол. журн. 1993. № 2. С. 64-69.
2. Бочкарев Н.А. Популяционная структура сигов Телецкого озера // Сиб. экол. журн. 2000. № 3. С. 305-313
3. Бочкарев Н.А., Зуйкова Е.И. Морфобиологическая и экологическая дифференциация симпатрических сигов рода *Coregonus* из Телецкого озера // Зоол. журн. 2006. Т. 85. С. 950-958.
4. Зуйкова Е.И., Бочкарев Н.А. Особенности строения и функционирования жаберно-челюстного аппарата сига Правдина *Coregonus lavaretus pravdinellus* Dulkeit // Вопр. ихтиол. 2008. Т. 48, № 6. С. 767-776.

5. Павлинов И.Я., Микешина Н.Г. Принципы и методы геометрической морфометрии // Журн. общ. биол. 2002. Т. 63, № 6. С. 473-493.
6. Шапошникова Г.Х. Сравнительно-морфологический анализ сигов Советского Союза // Труды ЗИН АН СССР. 1968. Т. 46. С. 207-256.
7. Экология рыб Обь-Иртышского бассейна / Ред. Д.С. Павлов, А.Д. Мочек. М.: КМК, 2006. 596 с.
8. Andersson J. Effects of diet-induced resource polymorphism on performance in arctic char (*Salvelinus alpinus*) // Evol. Ecol. Res. 2003. Vol. 5. P. 213-228.
9. Bochkarev N.A., Zuykova E.I., Katokhin A.V. Morphology and mitochondrial DNA variation of the Siberian whitefish *Coregonus lavaretus pidschian* (Gmelin) in the upstream water bodies of the Ob and Yenisei Rivers // Evol. Ecol. 2011. Vol. 25. P. 557-572.
10. Helland I.P., Vøllestad L.A., Freyhof J., Mehner T. Morphological differences between two ecologically similar sympatric fishes // J. Fish Biol. 2009. Vol. 75. P. 2756-2767.
11. Heese T. Cranial osteology of the whitefish, *Coregonus lavaretus* (L., 1758) from the Pomeranian Bay // Acta Ichth. Pisc. 1990. Vol. 20. P. 125-141.
12. Muschick M., Barluenga M., Salzburger W., Meyer A. Adaptive phenotypic plasticity in the Midas cichlid fish pharyngeal jaw and its relevance in adaptive radiation // BMC Evol. Biol. 2011. Vol. 11. P. 116.
13. Rohlf F.J. TpsSuper. Version 1.07. New York: State University at Stony Brook. Department of Ecology and Evolution. 2000.
14. Rohlf F.J. TpsUtil. Version 1. New York: State University at Stony Brook. Department of Ecology and Evolution. 2004a.
15. Rohlf F.J. TpsDig. Version 1.40. New York: State University at Stony Brook. Department of Ecology and Evolution. 2004b.
16. Rohlf F.J. TpsRelw. Version 1.42. New York: State University at Stony Brook. Department of Ecology and Evolution. 2005.
17. Zuykova E.I., Bochkarev N.A., Katokhin A.V. Identification of the *Daphnia* species (Crustacea: Cladocera) in the lakes of the Ob and Yenisei River basins: morphological and molecular phylogenetic approaches // Hydrobiologia. 2013. Vol. 715. P. 135-150.
18. Zuykova E.I., Simonov E.P., Bochkarev N.A. et al. 2018. Resolution of the *Daphnia umbra* problem (Crustacea: Cladocera) using an integrated taxonomic approach // Zool. J. Linn. Soc. Vol. 184. P. 969-998.

## ОЦЕНКА КОРМНОСТИ ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ СЕВЕРО-ДВИНСКОЙ И ВОЛГО-БАЛТИЙСКОЙ ВОДНОЙ СИСТЕМ ПО ЗООБЕНТОСУ

К.Н. Ивичева\*, И.В. Филоненко\*\*, А.В. Шацкий\*

\*Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, [ivicheva@niorh.vniro.ru](mailto:ivicheva@niorh.vniro.ru)

\*\*Вологодский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» (ВологодНИРО),  
г. Вологда, [filonenko@vologod.vniro.ru](mailto:filonenko@vologod.vniro.ru)

Аннотация: в период с 2010 по 2023 гг. проводились исследования зообентоса в различных водохранилищах. В общей сложности в озерах и водохранилищах Волго-Балтийской и Северо-Двинской водных систем было отобрано более 1100 проб зообентоса. Комплекс доминирующих видов во всех водных объектах схож: в профундали доминируют олигохеты, хирономиды, двустворчатые моллюски. В литорали доминируют виды-вселенцы *Gmelinoides fasciatus* и *Dreissena polymorpha*. Отмечается снижение кормности водохранилищ и уменьшение роли *D. polymorpha* при продвижении с юга на север.

Ключевые слова: зообентос, кормность, виды-вселенцы, озера, водохранилища

Волго-Балтийский водный путь соединяет бассейны Балтийского моря и Волги. В него входят: р. Нева, Ладожское озеро, р. Свирь, Верхне-Свирское водохранилище (включает Онежское озеро), Вытегорское, Белоусовское, Новинкинское, Шекснинское, Рыбинское водохранилища. Протяженность Волго-Балтийского пути составляет 1100 км. Он включает в себя 11 шлюзов, которые создают подпор водных объектов и контролируют их уровень. Два шлюза расположены на р. Свирь и разделяют ее на 3 участка: Нижняя Свирь, Средняя Свирь и Верхне-Свирское водохранилище. Вместе с оз. Ильмень, его притоками и р. Волхов Волховский шлюз формирует Волховское водохранилище, которое также является частью Волго-Балтийской водной системы. Из 11 узлов шесть расположены в Вытегорском районе Вологодской области на водоразделе Балтийского и Волжского бассейнов, поднимая уровень системы на 81 м. Два узла расположены в г. Шексна Вологодской области и разделяют Шекснинское и Рыбинское водохранилища.

Северо-Двинская водная система соединяет бассейны Волги и Белого моря. Она берет свое начало в Шекснинском водохранилище (у м. Топорня), проходит через ряд малых озер, соединенных каналами, нижнее течение р. Порозовица, оз. Кубенское. Общая протяженность Северо-Двинской водной системы 130 км.

На многих водных объектах Волго-Балтийской и Северо-Двинской водной систем осуществляется промысел. На р. Свирь расположены рыболовные хозяйства, на которых выращивают форель. На всех озерах и водохранилищах ведется любительское рыболовство. Кормовые ресурсы водных объектов имеют значение в структуре промысла. Подробное описание зообентоса водохранилищ Вологодской области приводится в работах (Ивичева, Филоненко, 2023; Лобуничева и др., 2023).

Исследования зообентоса водохранилищ Волго-Балтийской и Северо-Двинской водных систем осуществлялись в 2010-2023 гг. Количество проб представлено в табл. Для отбора проб использовались дночерпатели Петерсона, Ван-Вина, штанговый дночерпатель ГР-92. Пробы фиксировались 40 %-ным формалином. Камеральная обработка проб осуществлялась в лабораторных условиях. Кормность водных объектов оценивалась по статье М.Л.Пидгайко с соавторами (1968).

Таблица. Основные гидрологические характеристики, количество и сроки отбора проб в водохранилищах Волго-Балтийской и Северо-Двинской водных систем

Водный объект	S, км <sup>2</sup>	H <sub>max</sub> , м	N	Кормность	Доминирующие виды
Волго-Балтийская водная система					
Оз. Ильмень	982	5-6	10	Среднекормный	<i>Chironomus</i> sp., <i>Procladius</i> spp., <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> , <i>Tubifex tubifex</i>
Нижняя Свирь	-	15	9	Среднекормный	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> , <i>Tubifex newaensis</i> , <i>Chironomus</i> sp.
Средняя Свирь	-	15	6	Высококормный	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> , <i>Potamotheix hammoniensis</i>
Верхняя Свирь (речная часть Верхне-Свирского вдхр.)	116	15	15	Малокормный	<i>Tubifex newaensis</i> , <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> , <i>Gmelinoides fasciatus</i>
Вытегорское вдхр.	18,2	10	56	Среднекормный	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> , <i>Gmelinoides fasciatus</i> , <i>Dreissena polymorpha</i> , <i>Bivalvia</i>
Белоусовское вдхр.	6,7	12	32	Малокормный	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> , <i>Gmelinoides fasciatus</i>
Новинкинское вдхр.	2	12	19	Малокормный	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> , <i>Gmelinoides fasciatus</i> , <i>Dreissena polymorpha</i>
Белое озеро (Шекснинское вдхр.)	1284	6	316	Среднекормный	<i>Chironomus</i> sp., <i>Procladius</i> spp., <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> , <i>Gmelinoides fasciatus</i> , <i>Bivalvia</i>
Речной участок Шекснинского вдхр.	335	12	308	Среднекормный	<i>Chironomus</i> sp., <i>Procladius</i> spp., <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> , <i>Tubifex newaensis</i> , <i>Tubifex tubifex</i> , <i>Gmelinoides fasciatus</i>
Рыбинское вдхр. (Шекснинский русловой участок)	65	12	29	Среднекормный	<i>Tubifex newaensis</i> , <i>Procladius</i> spp., <i>Gmelinoides fasciatus</i>
Северо-Двинская водная система					
Топорненский канал	-	5	9	Среднекормный	<i>Tubifex newaensis</i> , <i>Procladius</i> , <i>Gmelinoides fasciatus</i>
Сиверское озеро	9,6	25	6	Среднекормный	<i>Gmelinoides fasciatus</i>
Кубенское озеро	417	6	342	Выше средней кормности	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> , <i>Tubifex newaensis</i> , <i>Tubifex tubifex</i> , <i>Gmelinoides fasciatus</i>

Примечание: S – площадь, H<sub>max</sub> – максимальная глубина, N – число проб.

Сообщества зообентоса всех исследованных водных объектов носят лимнофильный характер: основными группами являются олигохеты, хирономиды и моллюски. В профундали по биомассе доминируют олигохеты-тубифициды *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparède, 1862, *Tubifex tubifex* (Müller, 1774), *Tubifex newaensis* (Michaelson, 1903) и хирономиды *Chironomus*, *Procladius*. В литорали до 50% биомассы составляют виды-

вселенцы: бокоплав *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899) и моллюск *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771).

Бокоплав *Gmelinoides fasciatus* расселился по Волго-Балтийской водной системе в 1990-е гг. В период проводимых исследований он освоил также водоёмы Северо-Двинской водной системы. В частности, массовое развитие этого вида в Сиверском и Кубенском озерах связано с реконструкцией Северо-Двинской системы (Ивичева, Филоненко, 2022). С 2014 г., когда он впервые был обнаружен в Кубенском озере, вид является постоянным представителем литоральных сообществ. В настоящее время вид обитает во всех водных объектах Волго-Балтийской и Северо-Двинской водной систем, распространён в литорали на глубине до 3 м и доминирует в прибрежных сообществах.

Моллюск *Dreissena polymorpha* заселила водоёмы Волго-Балтийской и Северо-Двинской водных систем намного раньше байкальской амфиподы. Так, этот моллюск указывался как массовый для оз. Ильмень еще в начале XX века (Иоффе, 1948). В речной части Шекснинского водохранилища и в оз. Кубенское он отмечался в 1970-х гг. (Слепухина, 1977; Выголова, 1979) в виде велигеров или отдельных раковин в прибрежье. Массовое развитие *D. polymorpha* отмечается в оз. Ильмень (Иоффе, 1948) и в центральном плёсе Рыбинского водохранилища (Ивичева, Филоненко, 2022) – наиболее южных водоёмах Волго-Балтийской системы. Севернее 59°с.ш. вид практически не образует друз. Отмечается на камнях, корягах и в зарослях высшей водной растительности. В оз. Кубенское в донных сообществах вид стал массово отмечаться только после 2014 г.

Согласно литературным данным, в водоёмах Волго-Балтийской по биомассе доминировал *Tubifex newaensis*. В настоящее время отмечается замещение крупного *Tubifex newaensis* на более мелкий по размеру *Limnodrilus hoffmeisteri*. Помимо этого, с 2021 г. в Шекснинском водохранилище отмечается развитие крупной инвазионной олигохеты *Branchiura sowerbyi* Beddard, 1892 (Ивичева, Филоненко, 2024).

Согласно классификации М.Л. Пидгайко с соавторами (1968), большинство изученных авторами водоёмов Волго-Балтийской и Северо-Двинской водной систем относятся к средnekормным. Малокормными являются наиболее северные: Верхне-Свирское, Новинкинское и Белоусовское водохранилища. К высококормным относится р. Свирь на участке между плотинами (Средняя Свирь), что происходит за счет массового развития олигохет. Также показателями выше средней кормности характеризуется оз. Кубенское.

Таким образом, обобщённые данные по кормовым ресурсам водных объектов, входящих в состав Волго-Балтийской и Северо-Двинской водных систем, демонстрируют тенденцию снижения кормности водных объектов в меридианальном направлении. Виды-вселенцы приобрели важную роль в литоральных сообществах этих водоемов. Отмечается снижение в донных сообществах доли моллюска *Dreissena polymorpha* при продвижении на север.

#### Список литературы

1. Выголова О.В. Макрозообентос Череповецкого водохранилища, его продукция и потребление рыбами // Дис. ... канд. биол. наук. Вологда. 1979. 235 с.
2. Ивичева К.Н., Филоненко И.В. Инвазионные виды зообентоса на территории Вологодской области // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса: материалы X международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. М.: Изд-во ВНИРО, 2022. С. 172-174.

3. Ивичева К.Н., Филоненко И.В. Зообентос малых водохранилищ северного склона балтийско-каспийского водораздела Волго-Балтийского водного пути // Биология внутренних вод. 2023. № 2. С. 224-232. DOI: 10.31857/S0320965223020109
4. Ивичева К.Н., Филоненко И.В. Натурализация и пути расселения *Branchiura sowerbyi* Beddard, 1892 (Oligochaeta) в Волго-Балтийском водном канале // Российский журнал биологических инвазий. 2024. № 2. С. 68-73. DOI:10.35885/1996-1499-17-2-068-073
5. Иоффе Ц.И. Донная фана крупных озер Балтийского бассейна и ее рыбохозяйственное значение (Ладожское озеро и др.) // Изв. ВНИОРХ. 1948. Т. 26, № 2. С. 89-144.
6. Лобуничева Е.В., Макаренкова Н.Н., Филоненко И.В., Ивичева К.Н., Литвин А.И., Думнич Н.В. Современное состояние планктона и бентоса крупных рыбохозяйственных водоемов Вологодской области // Трансформация экосистем. 2023. Т. 6, № S4 (22). С. 33-63. DOI 10.23859/estr-230410
7. Пидгайко М.Л., Александров Б.М., Иоффе Ц.И. и др. Краткая биолого-продукционная характеристика водоемов Северо-Запада СССР // Изв. ГосНИОРХ. 1968. Т. 67. С. 205-228.
8. Слепухина, Т.Д. Зообентос и фитофильная фауна оз. Кубенского // Озеро Кубенское. Ч. III. Зоология. 1977. Л.: Наука. С. 51-86.

## ПАРАЗИТОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРЕСНОВОДНОЙ АКВАКУЛЬТУРЫ: ГЕНЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД e-DNA

Е.П. Иешко\*, А.Н. Паршуков\*\*, Л.Н. Мюге\*\*, Н.С. Мюге\*\*, А.В. Черенков\*\*

\*ИБ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, [ieshkoep@gmail.com](mailto:ieshkoep@gmail.com)

\*\*ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва, [shurshunyal@yandex.ru](mailto:shurshunyal@yandex.ru)

Аннотация: развитие пресноводной аквакультуры создала риски перехода паразитов разводимой форели на аборигенные виды лососевых рыб. Имеются современные данные о заражении молоди атлантического лосося моногенами рода *Gyrodactylus* в реках Мурманской области и Карелии. В связи с этим актуализировались задачи усиления мер по контролю и мониторингу эпизоотической ситуации в зоне действия форелевых ферм. Представлены результаты апробации генетического метода (e-DNA) по регистрации моногенов *Gyrodactylus* в акватории действующих форелевых садков.

Ключевые слова: аквакультура, паразиты, e-DNA, радужная форель, пресноводные экосистемы

В Карелии исследования по ихтиопатологии аквакультуры носят спорадический характер и не имеют широкого освещения в научной литературе, что явно недостаточно для региона с высокоразвитым форелеводством. Решение проблемы налаживания системы по определению эпизоотического статуса рыбных хозяйств и разработке современных подходов к методам диагностики станет возможной благодаря сведениям об эпизоотических особенностях очагов и распространения паразитарных болезней в садковой аквакультуре.

Цель настоящего исследования состоит в оценке встречаемости и численности моногенов рода *Gyrodactylus* на форелевых хозяйствах (бассейны Онежского и Ладожского озер), и апробации современной, неинвазивной, диагностической системы (e-DNA) обнаружения паразитов в воде на разной дистанции от действующих садков.

Для количественной характеристики зараженности рыб будут использованы показатели экстенсивности и интенсивности инвазии, для морфологического описания обнаруженных моногенов рода *Gyrodactylus* будут даны измерительные параметры элементов прикрепительного аппарата.

Методика e-DNA предполагает фильтрацию 5 л воды в двух повторностях в пределах зон влияния рыбных ферм. Пробы отбирали на стекловолоконных фильтрах Millipore, с пористостью 2 мкм, выделение ДНК в соответствии с протоколом (Rusch et al., 2018). В результате получены сведения по фильтрам вблизи действующих рыбоводных ферм, на основе которых определены зоны влияния рыбоводных комплексов на акваторию по выявляемому молекулярному сигналу.

Проведенные исследования показали поддержание очагов гиродактилеза во многих форелевых хозяйствах, действующих в Онежском и Ладожском озерах, а также в водоемах бассейна Белого моря. Получены достоверные данные демонстрирующие выделение двух видов моногенов – *G. salaris* и *G. teuchis*.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта (РНФ № 23-24-10073/ФВИ РК №18-P23 от 25.04.2023).

### Список литературы

1. Rusch J., Hansen H., Strand D., Markussen T., Hytterød S., Vrålstad T. Catching the fish with the worm: a case study on DNA detection of the monogenean parasite *Gyrodactylus salaris* and two of its hosts, Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Parasit Vectors. 2018. Vol. 11. P. 333.

## ИХТИОФАУНА СЕВЕРНЫХ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Н.В. Ильмаст, О.П. Стерлигова, Н.П. Милянчук, Я.А. Кучко

*Институт биологии Карельского научного центр РАН,  
г. Петрозаводск, [ilmast@mail.ru](mailto:ilmast@mail.ru)*

*Аннотация: оценен состав ихтиофауны водоемов системы реки Кенти (Костомукшское хвостохранилище, озера Койвас, Кенто). Исследуемые водоемы подвержены влиянию сбрасываемых техногенных вод Костомукшского горно-обогатительного комбината. Анализ результатов исследований показал, что видовое разнообразие рыб минимальное вблизи комбината и возрастает по направлению стока от хвостохранилища к оз. Кенто. Обеднение ихтиофауны в значительной степени связано со щелочной средой обитания, и с утратой условий для нереста и роста молоди рыб.*

Ключевые слова: водные экосистемы, рыбное население, образ жизни, линейно-весовой рост, промышленное загрязнение, аномалии

В настоящее время интенсивное использование природных ресурсов и поступление в окружающую среду промышленных отходов и других различных видов загрязнения в результате хозяйственной деятельности человека приводит к изменениям в экосистемах. Во многих водоемах Европейской части России, сильно подверженных антропогенному влиянию, отмечено сокращение числа видов, внутривидовых форм и выявлена смена доминирующих видов у гидробионтов. От промышленного загрязнения первую очередь страдают сиговые и лососевые рыбы, в меньшей степени это проявляется у других видов. Живые организмы в новых условиях обитания вынуждены приспосабливаться, и возможность выживания того или иного вида зависит от его способности быстро адаптироваться к происходящим изменениям.

Одним из видов негативного воздействия на водоемы Карелии является сброс сточных вод промышленными предприятиями. Исследования ихтиофауны были проведены на трех озерах системы р. Кенти, расположенные в ее верхнем и среднем течении – Костомукшское (с 1984 г. превращено в хвостохранилище), Койвас и Кенто. По существующей на комбинате технологии, дробленная руда измельчается и в виде водной взвеси проходит через магнитные сепараторы. После отделения железорудного концентрата оставшаяся взвесь перекачивается в озеро (хвостохранилище). Данный водоем служит для захоронения этой взвеси (хвостов обогащения) и оборотного водоснабжения.

Химический состав поступающей в водоем взвеси, вследствие выщелачивания различных компонентов, непосредственно влияет на химические показатели воды Костомукшского хвостохранилища и озер, расположенных ниже. До строительства комбината воды озера относились к маломинерализованным (17-30 мг/л) гидрокарбонатного класса группы кальция. Величина рН варьировала в пределах 6,3-6,9, то есть была нейтральной или слабо-кислой. Средняя минерализация воды составляла 25 мг/л. Многолетние исследования водоема позволили проследить изменения гидрохимического режима на разных стадиях его наполнения (Феоктистов, Сало, 1990; Лозовик и др., 2001; 2012). Так минерализация воды в 1984 г. уже составляла уже 247 мг/л, в настоящее время свыше 600 мг/л. В воде отмечаются высокие концентрации  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $SO_4^{2-}$ , а также аномальное соотношение главных катионов, по сравнению с природными водами. Большие

концентрации щелочных металлов, а также гидрокарбонатов определили сдвиг рН в щелочную область (8,2). Подобные условия представляют собой геохимический барьер для миграции большинства тяжелых металлов, поэтому концентрации их невелики, и находятся на уровне единиц микрограммов, что ниже предельно допустимых концентраций для воды рыбохозяйственных водоемов (Лозовик, Кулакова, 2012).

Состав поступающей взвеси вследствие выщелачивания различных компонентов непосредственно влияет на химические показатели воды озер, расположенных ниже. Начиная с 1994 г. в нижележащие озера регулярно производятся попуски воды из хвостохранилища. Сброс техногенных вод приводит к изменению минерального состава расположенных ниже озер, наблюдается увеличение содержания калия (до 1,2 мг/л) и лития (до 0,6 мкг/л) при фоновом содержании 0,2-0,4 мкг/л. Основными факторами влияния является загрязнение их вод минеральными веществами – сульфатами и калием.

Вторым исследуемым водоемом (шестым в озерно-речной системе), куда поступает сток вод, является оз. Койвас. Оно расположено на значительном расстоянии от хвостохранилища, и биоценозы озера в меньшей степени подвержены воздействию техногенных вод. Минерализация воды в озере достигает уровня 400 мг/л.

Третьим водоемом (восьмым в озерно-речной системе) является оз. Кенто, и оно в меньшей степени подвержено влиянию сточных вод. Минерализация воды значительно снижается и находится на уровне 123 мг/л. По химическому составу озеро относится к мезогумозным среднещелочным слабокислым нейтральным водоемам сульфатно – гидрокарбонатного класса группы К и Са.

По уровню количественного развития зоопланктона (биомасса 0,06 г/м<sup>3</sup>) и зообентоса (0,20-1,4 г/м<sup>2</sup>) Костомукшское хвостохранилище (верхнее течение р. Кенти) характеризуются как ультра олиготрофное, озера среднего течения – Койвас и Кенто (0,40 г/м<sup>3</sup> и 2,0 г/м<sup>2</sup>, соответственно) – олиготрофные (Китаев, 2007; Кучко и др., 2015). Анализ видового состава и низкие количественные показатели сообщества зоопланктона свидетельствуют об угнетенном состоянии планктонной фауны Костомукшского хвостохранилища.

Исследования ихтиофауны показали, что в Костомукшском хвостохранилище обитает 5 видов рыб, в оз. Койвас – 10, в оз. Кенто – 12. Для сравнения, в близлежащих озерах с относительно схожими лимнологическими параметрами: Каменное, Кимасозеро и Ньюкозеро число видов рыб составляет 13, 16 и 15, соответственно (Первозванский, 1986; Ильмаст и др., 2016). В связи с особым статусом использования Костомукшского хвостохранилища специализированного лова рыбы на нем не ведется, на остальных озерах развит любительский лов.

Во всех исследуемых озерах доминантным видом является плотва *Rutilus rutilus* (L.). Сравнительный анализ линейно – весового роста плотвы из близлежащих озер системы р. Кенти показал, что она обладает медленным темпом роста, что по-видимому связано с ограниченностью кормовых ресурсов.

Анализ результатов показал, что техногенная трансформация водоемов системы р. Кенти привела к упрощению структуры ихтиоценозов, а именно к снижению видового разнообразия.

Можно предположить, что одной из причин негативного воздействия техногенных вод на популяции рыб является минеральная взвесь, которая сносится на значительные расстояния, а наиболее мелкие фракции размером менее 0,2 мкм, проникают сквозь клеточные мембраны (Моисеенко, 1997). Такая взвесь может угнетать дыхание и усвоение пищи у рыб (Альбастер, Ллойд, 1984; Gagnon, Holdway. 1999). Кроме того, снижение

прозрачности ухудшает зрительную оценку рыбами кормовых объектов, по крайней мере, хищными. Однако сам факт выживания и размножения популяций рыб в техногенных водоемах свидетельствует об их высоком адаптивном потенциале. Кроме того, не обнаружено видимых как внешних изменений, так и в состоянии их внутренних органов.

Таким образом, анализ результатов проведенных исследований показал, что влияние Костомукшского горно-обогатительного комбината на пресноводные экосистемы имеет свои особенности. Вода хвостохранилища относится к высоко минерализованной (общая минерализация возросла от 25 до 600 мг/л), со сдвигом рН в щелочную сторону от 6,5 до 8,4. Подобные условия создали своеобразный геохимический барьер для миграции большинства тяжелых металлов, и поэтому их концентрации в водоемах системы невелики, что послужило основанием того, что у рыб не наблюдается визуальных аномалий во внешней морфологии и в строении внутренних органов.

Из 12 видов рыб системы реки Кенти только 4 вида (щука, налим, уклейка и плотва) живут во всех водоемах, причем доминантным видом в составе рыбного населения является плотва. Самыми чувствительными к загрязнению вод отходами ГОК оказались корюшка и елец (живут только в оз. Кенто), вверх по течению р. Кенти в оз. Койвас к ним добавляются ряпушка, голянь и девятииглая колюшка. Установлено, что чем ближе к источнику загрязнения, тем меньше видов населяет водоем. Наблюдаемое обеднение ихтиофауны в значительной степени связано со средой обитания (щелочная), и с утратой условий для нереста и роста молоди рыб (малые площади водной растительности). Вместе с тем, сам факт выживания и размножения рыб в техногенных водоемах, свидетельствует об их высоком адаптивном потенциале даже в неблагоприятных условиях обитания. Возможности выживания того или иного вида рыб зависят от их способности быстро адаптироваться к происходящим изменениям.

#### Список литературы

1. Альбастер Д., Ллойд Р. Критерий качества воды для пресноводных рыб. М.: Пищевая промышленность, 1984. 343 с.
2. Ильмаст Н.В., Сендек Д.С., Титов С.Ф., Абрамов С.А., Зуйкова Е.И., Бочкарев Н.А. К вопросу о дифференциации экологических форм/подвидов сига *Coregonus lavaretus* озера Каменного // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2016. № 4 (157). С. 42-53.
3. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 394 с.
4. Кучко Я.А., Ильмаст Н.В., Кучко Т.Ю. Зоопланктон водоемов верхнего течения системы реки Кенти (Северная Карелия) в условиях длительного промышленного загрязнения // Известия РАН. Серия биологическая. 2015. № 5. С. 552-560.
5. Лозовик А.П., Кулакова Н.Е. Геохимический состав вод хвостохранилища и оз. Окуневого // Биота Северных озер в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 28-38.
6. Лозовик П.А., Маркканен С.Л., Морозов А.К. и др. Поверхностные воды Калевальского района и территории г. Костомукши в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. 165 с.
7. Моисеенко Т.И. Теоретические основы нормирования антропогенных нагрузок на водоемы Субарктики. Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 262 с.
8. Первозванский В.Я. Рыбы водоемов района Костомукшского железорудного месторождения. Петрозаводск: Карелия, 1986. 216 с.
9. Феоктистов В.М., Сало Ю.А. Формирование химического состава воды хвостохранилища // Режим эксплуатации хвостохранилища Костомукшского ГОКа. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1990. С. 15-25.
10. Gagnon D.F., Holdway A.I. Respiratory functional activity of gills of some fish species at toxic effect // Comp. Biochem. Physiol. B. Biochem. Mol. Biol. 1999. Vol. 120. N. 5. P. 256-266.

*Светлой памяти  
доктора с.-х. наук, профессора Александра Алексеевича Ростовцева,  
заслуженного работника рыбного хозяйства Российской Федерации,  
талантливого ученого и блестящего организатора,  
сумевшего сохранить школу рыбохозяйственных исследований  
на юге Западной Сибири в сложные 1990–2010 годы*

## **РЕТРОСПЕКТИВА РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Е.А. Интересова, В.Ф. Зайцев, А.Л. Абрамов  
Новосибирский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ЗапСибНИРО»),  
г. Новосибирск, [interesovaea@yandex.ru](mailto:interesovaea@yandex.ru)

*Аннотация: представлена ретроспектива рыбохозяйственных исследований на юге Западной Сибири с дневников Н. Спафария второй половины XVII века до настоящего времени. Указаны наиболее значительные работы, ставшие вехами в развитии рыбного хозяйства региона, а также имена ученых, проводивших эти исследования.*

**Ключевые слова:** рыбное хозяйство, рыбохозяйственные исследования, юг Западной Сибири, Обь, Чаны, история

Первые документированные сведения о реках, рыбах и рыболовстве Западной Сибири содержатся в дневниках Н. Спафария, возглавлявшего русское посольство в Китай в 1675-1678 гг. Он описал среднее течение р. Оби и ее притоки – Иртыш и Кеть. Первым натуралистом, совершившим в 1719-1727 гг. специальную научную экспедицию для исследования природы Сибири, был Д.Г. Мессершмидт. В его рукописи «Sibiriae perlustratae Tomus II Physico-Medicinalis» содержится описание некоторых рыб сибирских рек и озер. Научные сведения о гидробионтах юга Западной Сибири привел П.С. Паллас в описании своего путешествия по Российскому государству (1786). Он характеризовал реки Карасук и Бурла, озера, расположенные на территории юга современной Новосибирской области, в том числе оз. Чаны. В середине XIX в. А.М. Миддендорф, при исследованиях Барабинской низменности, описал влияние колебания уровня воды в озерах на состояние запасов рыб (1871). Первые специальные исследования рыб и рыбных промыслов реки Оби были предприняты в конце XIX в. Н.А. Варпаховским, составившим список рыб с указанием областей распространения отдельных видов (1902), а также описавшего разные способы лова и переработки рыбы (1898).

С открытием в 1888 г. Томского университета, исследования гидробионтов юга Западной Сибири стали систематическими. Томские зоологи Н.Ф. Кащенко (1892), В.П. Аникин (1896), М.Д. Рузский (1924) изучали озера Барабинской низменности. Г.Э. Иоганзен исследовал ихтиофауну водоемов Кулундинской степи (1902), рек Чулым (1915) и Шегарка (1916); М.Д. Рузский – реки Томи (1920), В.П. Аникин (1896) – среднего течения реки Оби.

Сотрудниками Енисейской ихтиологической лаборатории (г. Красноярск), основанной в 1908 г., был организован наблюдательный пункт на оз. Чаны и Барабинская промыслово-озерная станция. Результатом работы А.И. Березовского, П.Л. Пирожникова, В.Н. Башмакова, А.Я. Башмаковой стали подробные сведения о рыбах крупных озер, оценка возможного вылова (Башмаков, Башмакова, 1935). Кроме того, ими было проведено рыбохозяйственное исследование Средней Оби; создан наблюдательный пункт в с. Нарым.

Организация в 1931 г. кафедры ихтиологии и гидробиологии при Томском университете дала новый импульс исследованиям гидробионтов юга Западной Сибири. Были изучены биология осетровых и сиговых видов рыб, рассмотрены перспективы их разведения; начаты работы по оценке перспектив акклиматизации в водоемах региона сазана и сиговых видов рыб, для чего была проведена инвентаризация озер Барабы и Кузбасса, составлены рыбопромысловые карты озер Чаны, Сартлан и Убинское и планы по их мелиорации. В 1944 г. Б.Г. Иоганзенем была защищена диссертация «Рыбы Западной Сибири», в которой обобщены имеющиеся к тому времени сведения о 55 видах рыб региона.

В мае 1946 г. было образовано Барабинское отделение ВНИОРХ с месторасположением в г. Барабинске Новосибирской области, впоследствии переместившееся в г. Новосибирск. Первым директором новой организации был назначен А.Н. Петкевич. За отделением было закреплено изучение всех рыбохозяйственных водоемов Новосибирской области и верховьев р. Обь (Алтайский край). В начале 1950-х гг. были биологически обоснованы предложения по увеличению рыбопродуктивности водоемов Чано-Барабинской системы, разработан комплекс необходимых биотехнических мер. Было рекомендовано строительство на всех крупных озерах рыбопитомников для получения жизнестойкой молоди рыб с последующей их посадкой в озера для пастбищного выращивания. Так началось новое направление в рыбном хозяйстве юга Западной Сибири – озерное товарное рыбоводство. В 1970-1980-х гг. были построены рыбопитомники на всех крупных озерах региона. По результатам выполненных научных работ Б.Г. Иоганзенем и А.Н. Петкевичем была опубликована монография «Акклиматизация рыб в Западной Сибири» (Иоганзен, Петкевич, 1951), а А.Н. Петкевич защитил докторскую диссертацию «Биологические основы рационального рыбного хозяйства на водоемах южной части Западной Сибири».

Одновременно с озерной тематикой, много внимания уделялось работам по развитию рационального рыбного хозяйства в бассейне реки Обь. В конце 1940-х годов под руководством А.Н. Петкевича было проведено изучение биологии сибирского осетра, в результате чего обоснованы рекомендации по его рациональному использованию, охране и воспроизводству, в том числе путем строительства рыбоводных заводов в условиях планируемых гидростроительных работ (Петкевич и др., 1950). После строительства плотины Новосибирской ГЭС Л.А. Конево и В.П. Касьяновым было установлено, что отчленение части верхних нерестилищ осетра вызвало резкое сокращение его естественного воспроизводства. В 1956 г. А.Н. Петкевичем и Р.И. Сецко впервые в Обском бассейне были получены рыбоводная икра и молодь сибирского осетра и стерляди. Учитывая опыт этих работ, Верхнеобьрыбвод, возглавляемый в тот период П.Г. Сушкевичем, организовал в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС рыбоводный пункт Сибирской акклиматизационной станции (САС). Рекомендации по искусственному воспроизводству сибирского осетра, сделанные в тот период, сохраняют свою актуальность и в настоящее время.

В 1950-1960-х гг. было проведено изучение пойменных водоемов Средней Оби, в результате которого разработаны предложения по увеличению их продуктивности путем комплексной мелиорации (Иоганзен и др., 1958). В продолжение этих работ, в 1973 г. под руководством К.И. Константиныди был проработан вопрос влияния задержки стока Оби в Новосибирском водохранилище на воспроизводство весенне-нерестующих рыб региона и определена величина ущерба, наносимого рыбному хозяйству в размере 2,3 тыс. т ежегодно. Было показано, что снизить негативное воздействие снижения стока возможно путем мелиорации пойменных систем. По результатам этих исследований для рыбной промышленности были разработаны рекомендации по режиму эксплуатации

зашлюзованных водоемов, не теряющие своей актуальности и в наши дни (Ростовцев и др., 2020).

В середине 1960-х гг. под руководством А. Н. Петкевича на Средней Оби были организованы наблюдательные пункты с целью изучения условий размножения и нагула туводных рыб для повышения обоснованности прогнозов их вылова. В этот же период начались широкомасштабные наблюдения за состоянием водных биологических ресурсов озер Омской области. Была дана оценка акклиматизации леща в Крутинских озерах и разработаны предложения по рациональному рыбохозяйственному использованию этих водоемов.

В первое десятилетие существования Новосибирское отделение ВНИОРХ, совместно с Западно-Сибирским филиалом АН СССР и Томским университетом, активно участвовало в комплексном обследовании участка Оби от г. Барнаула до г. Новосибирска, как предполагаемой зоны затопления при создании Новосибирского водохранилища. Были предложены основные направления рыбохозяйственного освоения проектируемого водоема, обосновано вселение леща и судака, даны прогнозы возможных уловов, которые оказались близки к реальным. С 1970-1972 гг. на Новосибирском водохранилище проводятся регулярные комплексные наблюдения.

В 1983–1988 гг. отделение под руководством к.б.н. Р.И. Сецко проводило много важных для рыбной промышленности Верхнеобского рыбохозяйственного бассейна научных разработок. В первую очередь, это касалось изучения рыбных ресурсов с целью разработки основ их рациональной эксплуатации, текущего и перспективного прогнозирования возможного вылова водных биологических ресурсов.

С 1988 г. и по 2017 г. работу отделения возглавлял д.с.-х.н., профессор А.А. Ростовцев. Являясь основателем нового для Сибири направления – холодноводного рыбоводства, он обосновал возможность промышленного разведения радужной форели в условиях Западной Сибири и подтвердил это практическими результатами по созданию высокопродуктивных маточных стад форели, ее товарному выращиванию (Ростовцев, 2000). В начале 1990-х гг., на фоне экономических и политических реформ, рыбная промышленность резко сократила расходы на проведение перспективных научных разработок, сохранив лишь частичное финансирование прогнозной тематики. В частности, Томскрыбпром и Алтайрыбпром с 1994 г. полностью прекратили заключения хоздоговоров с наукой. В этих сложных условиях пришлось изменить тематику выполняемых исследований. Если еще в 1988 г. отделение выполняло работы по 4-м основным темам: сырьевые и прогнозные исследования; работы по аквакультуре; оценка воздействия на окружающую среду; изучение и профилактика различных заболеваний рыб, то к 1991 г. сотрудники выполняли более 40 наименований работ, в основном расчеты ущерба и заказы начавшего свою работу Комитета по экологии и охране окружающей среды Новосибирской области (Дорога длиною..., 2021). Благодаря этому отделению удалось сохранить свой творческий потенциал и организовать полноценные наблюдения по оценке запасов рыбы на основных рыбохозяйственных водоемах региона.

В настоящее время Новосибирский филиал ФГБНУ «ВНИРО» проводит работы по научному обеспечению рыбохозяйственного комплекса Новосибирской, Томской, Омской и Кемеровской областей. Основные направления исследований традиционны: мониторинг состояния водных биологических ресурсов рыбохозяйственных водоемов юга Западной Сибири; разработка основ их рациональной эксплуатации, прогнозирование общих допустимых уловов (ОДУ) и рекомендованных объемов добычи; изучение продукционных возможностей водоемов и разработка методов интенсификации аквакультуры в озерных,

прудовых и промышленных рыбоводных хозяйствах; подготовка рыбохозяйственных характеристик водных объектов; экологический мониторинг состояния водных объектов, в том числе в рамках производственного экологического контроля; изучение влияния хозяйственной деятельности на водоемы и гидробионтов, включая оценку воздействия на водные биологические ресурсы и среду их обитания и разработку мер по устранению последствий негативного воздействия; и т.д.

Благодаря таланту, упорству и вере в свое дело исследователей, накопленные за более чем 300 лет знания будут и дальше служить основой рациональной эксплуатации водных биологических ресурсов юга Западной Сибири.

#### Список литературы

1. Башмаков В.Н., Башмакова А.Я. Барабинские озера и их рыбное хозяйство // Тр. Западно-Сибирского отд. ВНИОРХ. 1935. Т. 2. С. 18-146.
2. Дорога длиною в 75 лет (ЗапСибНИРО – 75 лет). Новосибирск: Изд-во НГАУ «Золотой колос», 2021. 183 с.
3. Иоганзен Б.Г., Петкевич А.Н. Акклиматизация рыб в Западной Сибири // Тр. Барабинского отд. ВНИОРХ. 1951. Т. 5. 204 с.
4. Иоганзен Б.Г., Петкевич А.Н., Марусенко Я.И. Пойма Средней Оби и возможности улучшения ее рыбохозяйственного использования // Изв. Всес. НИИ озерного и речного рыбного хозяйства. 1958. Т. 44. С. 29-48.
5. Петкевич А. Н., Башмаков В. Н., Башмакова А. Я. Осетр Средней и Верхней Оби // Тр. Бараб. отд-ния ВНИОРХ. 1950. Т. 4. С. 3-54.
6. Ростовцев А.А., Хахимов Р.М., Интересова Е.А., Бабкина И.Б. Рыбохозяйственная мелиорация поймы Средней Оби. Проблемы и перспективы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2015. № 1. С. 68-74.
7. Ростовцев А.А. Промышленное воспроизводство радужной форели в Сибири : Автореферат дисс. ... доктора сельскохозяйственных наук. Новосибирск. 2000. 39 с.

## МАКРОЗООБЕНТОС КАМСКОГО И ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ В 2000-2023 гг.

А.М. Истомина

Пермский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПермНИРО»),  
г. Пермь, [istomina@perm.vniro.ru](mailto:istomina@perm.vniro.ru)

Аннотация: за время исследований (с 2000 по 2023 гг.) в донной фауне Камского и Воткинского водохранилищ зарегистрировано 288 таксонов. Для водохранилищ практически на всем их протяжении характерны низкие величины кормовой биомассы (особенно в мелководной зоне), что связано со сработкой уровня воды.

Ключевые слова: макрозообентос, Камское водохранилище, Воткинское водохранилище

Камское и Воткинское водохранилища являются основными рыбохозяйственными объектами Пермского края. Заполнение Камского водохранилища – самого северного в каскаде водоемов, созданных на р. Каме, произошло в 1954-1956 гг., Воткинского – в 1962-1964 гг. Для обоих водохранилищ с момента их создания характерны большая зимняя сработка уровня воды (до 7,0 м в Камском и до 4,0 м в Воткинском) (Китаев, 2009), неустойчивый уровенный режим в течение вегетационного периода и сильная антропогенная нагрузка. На берегах водоемов располагаются крупные промышленные города Соликамск, Березники, Пермь и Краснокамск, стоки предприятий которых оказали негативное воздействие на формирование и развитие бентофауны.

Материалом для настоящей работы послужили пробы макрозообентоса собранные в 2000-2023 гг. В обоих водоемах исследовали верхние, центральные и приплотинные районы. Пробы отбирали на постоянных гидробиологических разрезах. Сбор и обработка материала проведены по общепринятой гидробиологической методике (Методика изучения..., 1975).

За время наблюдений в донной фауне исследованных водохранилищ зарегистрировано 288 таксонов (в Камском – 259, в Воткинском – 192), 76 % от общего числа таксонов приходится на долю личинок хирономид (126 таксонов), олигохет (44 таксонов) и моллюсков (47 таксона). Личинки ручейников представлены 24 таксонами, поденок – 13, в составе ракообразных отмечено 9 таксонов. Видовой состав остальных групп макрозообентоса включает от 2 до 6 таксонов.

Массовыми видами в обоих водоемах являются личинки хирономид *Procladius ferrugineus* Kieff и *Cryptochironomus* gr. *defectus*, олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede, *Potamothrix hammoniensis* (Mich.) и *Uncinaiis uncinata* (Oersted). Кроме них довольно высокую встречаемость имеют личинки хирономид *Cladotanytarsus* gr. *mancus*, *Polypedilum nubeculosum* (Meigen), *Cryptotendipes nigrinitens* (Edwards), *Paralauterborniella nigrohalteralis* (Malloch) и виды р. *Chironomus*.

В олигохетофауне водохранилищ широко представлены, *Tubifex newaensis* (Michaelsen), *Stylaria lacustris* (Linnaeus) и *Vejdovskyella intermedia* (Bretscher). С 2007 г. довольно часто стали регистрироваться *Psammoricides barbatus* (Grube), *Piquetiella blanci* (Piquet) и *Specaria josinae* (Vejdovsky) В 2021 г. в водоемах был отмечен *Potamothrix vejdoskyi* (Hrabe), наиболее часто он встречается в приплотинных районах.

Из моллюсков по всей акватории водоемов наиболее распространены *Dreissena polymorpha* (Pallas) и *Viviparus viviparus* (L.). *Dreissena bugensis* (Andrusov) впервые была зарегистрирована в 2009 г. К настоящему времени моллюск единично отмечается во всей русловой зоне водоемов, но массовые скопления образует только на отдельных участках приплотинного района и Сылвенского залива Камского водохранилища, а также среднего и нижнего районов Воткинского водохранилища. В 2012 г. был впервые отмечен *Lithoglyphus naticoides* (Pfeiffer). В Камском водохранилище этот моллюск регистрируется только в мелководных зонах Сылвенского залива и в приплотинном районе (продвижения вверх по течению к настоящему времени не наблюдается), в Воткинском – в основном в мелководной зоне среднего района.

В русловых зонах Воткинского водохранилища и приплотинного района Камского часто отмечаются каспийские ракообразные *Corophium curvispinum* Sars. и *Dikerogammarus haemobaphes* (Eichwald). В 2012 г. в Камском водохранилище и в 2017 г. в Воткинском водохранилище был впервые зарегистрирован *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing). К 2023 г. *G. fasciatus* стал постоянным компонентом бентофауны центрального и приплотинного районов Камского водохранилища, а так же Сылвенского и Чусовского заливов. В Воткинском водохранилище этот вид единично отмечается во всех районах.

С 2011 г. в среднем и нижнем районах Воткинского водохранилища единично стали встречаться мизиды *Paramysis intermedia* (Czerniavsky), *P. lacustris* (Czerniavsky) и *P. ullskyi* (Czerniavsky). К настоящему времени эти виды в значительном количестве отмечаются в нижнем бьефе Камской ГЭС, и, единично, в среднем и нижнем районах Воткинского водохранилища. В 2018 г. также в среднем районе зарегистрирована полихета *Hypania invalida* (Grube), которая до 2000 г. несколько раз единично попадала в дночерпательные пробы. С 2021 г. *H. invalida* отмечается на отдельных участках верхнего, среднего и нижнего районов, численность ее невелика.

Летом 2021-2023 гг. средняя общая биомасса макрозообентоса Камского плеса варьировала от 9,2 до 11,5 г/м<sup>2</sup>, на долю *Viviparus viviparus* приходилось более 65 %. Плотность поселений донных животных составила от 1,4 до 2,2 тыс. экз./м<sup>2</sup>. Уровень развития кормового зообентоса был значительно ниже – от 2,0 до 3,6 г/м<sup>2</sup>, личинки хирономид составляли 49-52 % биомассы кормового бентоса, олигохеты – 36-41 %.

Более благоприятные условия для развития гидробионтов складывались в приплотинном районе, где отмечена наибольшая на всем водохранилище биомасса зообентоса. На долю личинок хирономид (в основном виды из рода *Chironomus*) и олигохет (представители сем. Tubificidae) приходилось 98 % численности и 92 % биомассы кормовых животных. В верхнем и центральном районах биомасса кормовых организмов была примерно одинакова и не превышала 3,0 г/м<sup>2</sup>, в сообществах также преобладали личинки хирономид и олигохеты (рис. 1).

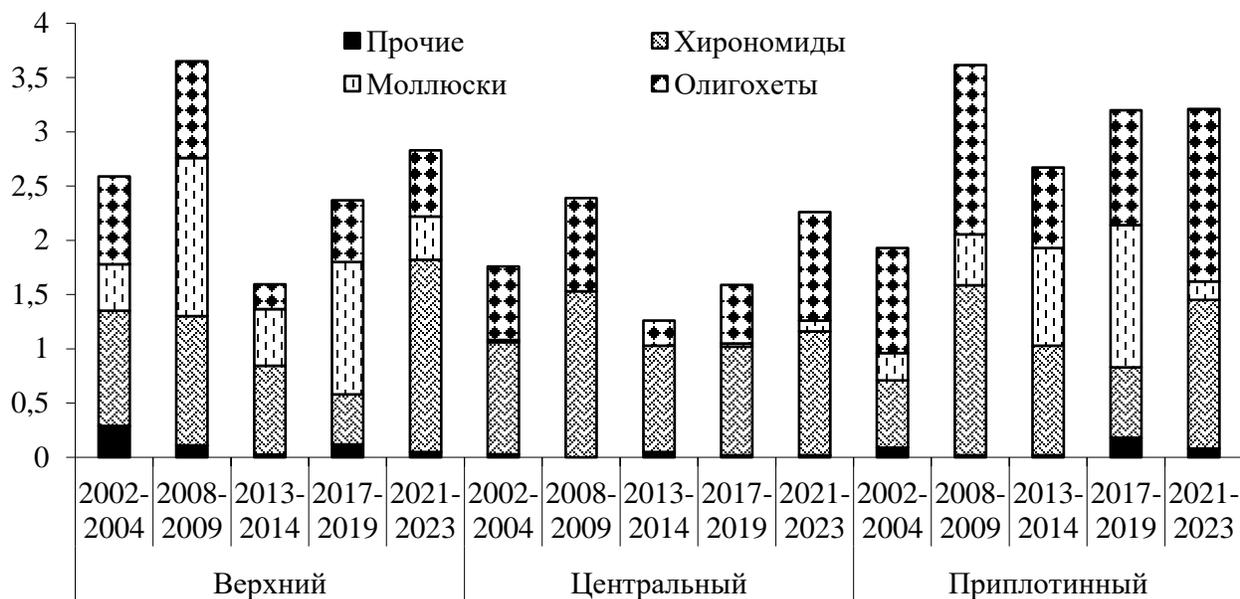


Рисунок 1. Многолетняя динамика летней биомассы ( $\text{г}/\text{м}^2$ ) основных групп кормового макрозообентоса в разных районах Камского плеса

В целом, по величине биомассы кормового макрозообентоса Камское водохранилище летом 2021-2023 гг. относилось к водоемам  $\alpha$ -мезотрофного типа (Китаев, 2007).

Анализ многолетней динамики летнего макрозообентоса Камского водохранилища показывает, что в период проводимых исследований значительных изменений в структуре донных сообществ и их количественном развитии не отмечено. Самые высокие биомассы кормового зообентоса наблюдались в 2008-2009 гг., затем (в 2013-2014 гг.) произошло снижение биомассы (до практически минимальной за весь период наблюдений), в основном за счет олигохет и двустворчатых моллюсков. К настоящему времени биомасса кормовых организмов в водоеме увеличилась (особенно в центральном районе), главным образом за счет олигохет, но все равно остается на уровне низкокормных водоемов (рис. 1).

Средняя общая биомасса макрозообентоса Воткинского водохранилища летом 2021-2023 гг. варьировала в очень широких пределах от 52,2 до 105,2  $\text{г}/\text{м}^2$ , численность – от 3,0 до 4,0 тыс. экз./ $\text{м}^2$ . Более 87 % общей биомассы приходилось на долю *Viviparus viviparus*, *Dreissena polymorpha* и представителей сем. Unionidae. Биомасса кормовых организмов была значительно ниже (от 4,8 до 6,6  $\text{г}/\text{м}^2$ ), личинки хирономид составляли 25-43 % биомассы кормового бентоса, моллюски – 28-35%, олигохеты – 22-27 %.

Наибольшая биомасса кормового бентоса наблюдалась в среднем районе, 68 % ее приходилось на долю олигохет (в основном из сем. Tubificidae) и моллюсков (преимущественно младшевозрастные особи дрейссены). В верхнем и нижнем районах показатели кормовой биомассы не превышали 5,2  $\text{г}/\text{м}^2$ , более 70 % ее обеспечивали своим развитием личинки хирономид (в основном *Procladius ferrugineus*, виды из рода *Chironomus*) и моллюски (рис. 2).

По уровню развития макрозообентоса Воткинское водохранилище летом 2021-2023 гг. по шкале С.П. Китаева (2007) относилось к водоемам  $\alpha$ -мезотрофного типа.

Анализ многолетней динамики биомассы зообентоса Воткинского водохранилища показывает, что к 2007-2009 гг. в водоеме произошло значительное увеличение кормовой

биомассы макрозообентоса (в 2,9-7,5 раз), главным образом за счет массового развития младшевозрастных особей *Dreissena polymorpha* и каспийских ракообразных. С 2010 г. в водохранилище отмечается практически повсеместное исчезновение массовых поселений дрейссены с ранее занимаемых ими биотопов. Уменьшение доли ювенильной дрейссены привело к снижению кормовой биомассы макрозообентоса в 2,3-4,7 раз в период 2010-2015 гг. Вместе с дрейссеной из состава бентоценозов почти полностью «выпали» доминировавшие в «мягком» бентосе крупные каспийские ракообразные *Dikerogammarus haemobaphes*, уступив место имеющему гораздо меньшие размеры *Corophium curvispinum*, а биомасса олигохет уменьшилась в 1,9 – 3,3 раза. Доминирующее развитие в кормовом бентосе, как и в период 2000-2003 гг., вновь получили представители сем. Pisidiidae и личинки хирономид (главным образом виды р. *Chironomus*), на долю которых приходилось более 60 % биомассы. С 2016 г. на всем водоеме отмечено повышение биомассы кормового зообентоса, в основном за счет личинок хирономид, младшевозрастной дрейссены и тубифицид (в среднем и нижнем районах). В целом, состояние зообентоса в период 2016-2023 гг. остается достаточно стабильным (рис. 2).

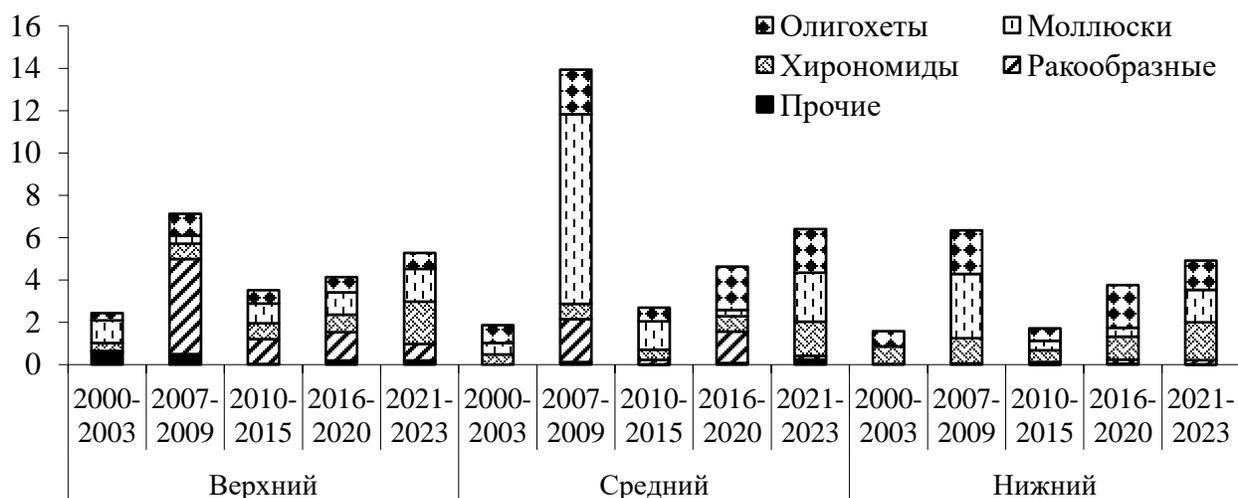


Рисунок 2. Многолетняя динамика летней биомассы ( $г/м^2$ ) основных групп кормового макрозообентоса в разных районах Воткинского водохранилища

Таким образом, в период исследований (с 2000 по 2023 гг.) для Камского водохранилища были характерны низкие величины кормовой биомассы. Трофический статус водоема варьировал от олиготрофного до  $\alpha$  – мезотрофного. В Воткинском водохранилище значительные биомассы регистрировались только в 2007–2009 гг., благодаря развитию младшевозрастных особей *Dreissena polymorpha* и каспийских ракообразных в глубоководной зоне. Все остальное время по величине биомассы кормовых организмов Воткинское водохранилище, так же, как и Камское, относилось к водоемам олиготрофного и  $\alpha$ -мезотрофного типов.

Низкий трофический статус водохранилищ определяется значительными объемами зимне-весенней сработки уровня воды: в Камском водохранилище осушается 78 % от общего объема при НПУ, а в Воткинском – 41 % (Калинин, 2009). В результате мелководья Камского и Воткинского водохранилищ практически на всем их протяжении олиготрофны. Биомасса кормового макрозообентоса на глубинах до 2,0 м за весь период вышеуказанных исследований в Камском водохранилище не превышала  $2,0 г/м^2$ , в Воткинском –  $3,0 г/м^2$ . В

стабильных условиях глубоководной зоны водоемов (глубины более 5,0 м) сформировались преимущественно пелофильные донные сообщества, биомасса кормового зообентоса в которых определяется степенью развития видов из рода *Chironomus* и сем. Tubificidae и на отдельных участках может достигать 20,0 г/м<sup>2</sup>.

Выражаю свою глубокую признательность руководителю Пермского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» А. Г. Мельниковой за помощь в организации сбора материала, а также всем сотрудникам «ПермНИРО», принимавшим участие в сборе материала.

#### Список литературы

1. Калинин В.Г. О внутрисезонном распределении зимних расходов воды через ГЭС камских водохранилищ // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: Труды Международной науч.-практ. конф. Пермь, 2009. Т. I. С. 51-54.
2. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск, 2007. 395 с.
3. Китаев А.Б. Водный баланс Камского и Воткинского водохранилищ (многолетний аспект) // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Труды Международной науч.-практ. конф. Пермь, 2009. Том I. С. 54-57.
4. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М. 1975. 240 с.

**ИЗМЕНЕНИЕ ТРОФИЧЕСКИХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ В ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАССЕЛЕНИЯ ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ НА ПРИМЕРЕ РОЛИ ТЮЛЬКИ *CLUPEONELLA CULTRIVENTRIS* В ПИТАНИИ СУДАКА *SANDER LUCIOPERCA* КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

С.Н. Казаринов<sup>\*</sup>, Л.В. Мерзлякова<sup>\*,\*\*</sup>, И.Н. Мерзляков<sup>\*</sup>, П.Б. Михеев<sup>\*\*,\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Пермский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПермНИРО»),

г. Пермь, [kazarinov@perm.vniro.ru](mailto:kazarinov@perm.vniro.ru)

<sup>\*\*</sup>ПГНИУ, г. Пермь

<sup>\*\*\*</sup>Хабаровский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ХабаровскНИРО»), г. Хабаровск

Аннотация: расселение чужеродных видов рыб зачастую изменяет трофические цепи в водных экосистемах. Одним из таких примеров служит тюлька *Clupeonella cultriventris*, занявшая важное место в пелагиали водохранилищ Волжско-Камского каскада. Камское водохранилище находится на северо-восточной границе ареала распространения тюльки. Согласно ретроспективным данным, тюлька в рационе питания судака появилась в 1990-2000-х гг., согласно более ранним исследованиям данный вид в спектре питания хищника отсутствовал. В последние десятилетия в Камском водохранилище наблюдается увеличение численности судака, возможным объяснением может являться улучшение условий нагула, связанного с ростом численности тюльки, определяемой климатическими причинами. Результаты свидетельствуют об изменении трофических взаимоотношений в экосистеме водоема в результате вселения тюльки.

Ключевые слова: судак, *Sander lucioperca*, тюлька, *Clupeonella cultriventris*, питание, Камское водохранилище

Расселение чужеродных видов рыб зачастую изменяет трофические цепи в водных экосистемах. Одним из таких примеров служит тюлька *Clupeonella cultriventris*, занявшая важное место в пелагиали водохранилищ Волжско-Камского каскада, где она зачастую служит важным кормовым объектом для хищников (Рыбы..., 2015; Шакирова, Северов, Латыпова, 2015).

Литературные сведения о появлении тюльки в Камском водохранилище относятся к 1977 г. (Пушкин, Антонова, 1977). В последние два десятилетия в Камском водохранилище наблюдается увеличение численности судака, что может быть связано с улучшениями условий нагула и, прежде всего, изменением рациона питания, где в качестве основного компонента, как и в других водохранилищах Волго-Камского каскада (Шакирова, Северов и др., 2017; Иванова и др., 2020,), могла являться тюлька.

Судак (*Sander lucioperca*) является одним из облигатных ихтиофагов водоемов Европы – своего нативного ареала, а также в районах интродукции от Испании и Северной Африки до устья р. Амур (Godard, Copp, 2017; Семенченко, Островская, 2020). В водоемах судак может являться видом-биомелиоратором, регулируя численность своих жертв, что приводит к значительным перестройкам в ихтиоценозах. Основным объектом питания молоди и взрослых особей судака являются стайные пелагические виды рыб (Froese, Pauly, 2024). При низкой численности прочих жертв объектом питания судака может являться собственная молодь (Khlopnikov, 1992).

Целью работы являлось исследование питания судака Камского водохранилища в современный период путем анализа содержимого желудка разных размерных групп судака в разные сезоны.

Сбор материала для исследования питания рыб проводили в верхнем и центральном районах Камского водохранилища в период с 2022-2024 гг. Лов рыбы проводили ставными сетями ячеей 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 80 и 100 мм. Общее количество рыб для исследования питания судака составило 573 шт. Обработку биологического материала осуществляли согласно общепринятым ихтиологическим методикам (Чугунова, 1959; Правдин, 1966, Методическое пособие ..., 1974). Содержимое желудка смотрели в полевых условиях на свежем материале. В пищевом комке подсчитывали количество рыб и их видовой состав, измеряли длину жертв (*SL*). Значение отдельных видов рыб в питании хищника в каждой локации и времени сбора материала оценивали в частоте их встречаемости, выраженной в процентах от общего числа жертв. Для оценки важности компонентов питания рассчитывали индекс относительной важности *IRI* (Pinkas et al., 1971). Для выявления различий в питании судака разных размеров выборки хищника разбивали на размерные группы с шагом длины 100 мм. Рыб длиной более 600 мм объединяли в одну выборку в виду их малочисленности.

В результате исследования было установлено, что спектр питания судака Камского водохранилища в период 2022-2024 гг. включал 12 видов рыб: тюлька *Clupeonella cultriventris*, окунь *Perca fluviatilis*, ёрш *Gymnocephalus cernuus*, плотва *Rutilus rutilus*, синец *Abramis ballerus*, лещ *Abramis brama*, чехонь *Pelecus cultratus*, уклейка *Alburnus alburnus*, щука *Esox lucius*, язь *Leuciscus idus*, налим *Lota lota*, а также собственную молодь. Помимо этого, в желудках рыб единично встречались брюхоногие моллюски. Доминирующими видами в питании судака являлась тюлька ( $IRI \geq 500$ ), отсутствующая ранее в спектре питания судака (Бривкальн, 1975; Родионова, 1986), и ёрш. Прочие виды в питании судака имели меньшее значение, некоторые встречались единично (щука, синец, налим, язь, чехонь).

Рассматривая отличия в сезонности питания судака тюлькой, как основного потребляемого объекта, выявлено последовательное снижение роли тюльки в рационе вида в осенний период 2022-2023 гг. и весной 2024 г. Как следствие, наблюдалось более интенсивное потребление судаком ерша и собственной молоди, а также расширение видового спектра питания хищника. Учетные съемки, проведенные в осенний период 2023 г., указывают на то, что снижение встречаемости тюльки в питании судака может быть связано со снижением ее численности в этот период в приповерхностном слое русловой части водохранилища. Расширение спектра питания в осенний период и увеличение доли ерша и собственной молоди может свидетельствовать об ухудшении условий нагула хищника (Рыбы ..., 2015).

Размеры тюльки – наиболее массового вида, отмечаемого в питании судака, достоверно различались в разных локациях и в разные сезоны. При этом, для ерша – второго по встречаемости в питании судака вида размеры рыб в желудках судака в зависимости от места сбора и времени года достоверно не различались. Возможно, это связано с тем, что при питании тюлькой, как наиболее массовым кормовым объектом, судак потребляет наиболее многочисленные размерные группы этого вида. Полученные результаты отражают сезонную динамику размерного состава наиболее многочисленных размерных групп тюльки в водоеме, к которым, прежде всего, относятся сеголетки и годовики. Рыбы этих возрастов являлись наиболее приоритетными кормовыми объектами для судака на протяжении всего периода исследования.

Анализ питания разных размерных групп судака показал, что, более крупные рыбы длиной 301-400 мм и 401-500 мм потребляли тюльку меньшей длины, при этом количество рыб в желудках было больше, составляя в среднем 3,5 (lim 1-12 шт.) и 3,6 (lim 1-17 шт.) штук

соответственно. У рыб длиной 501-600 мм среднее количество тюлек в желудке составляло 3 (lim 1-7 шт.) шт. Значимых отличий в размерах потребляемого ерша выявлено не было, при этом в целом судак больших размеров потреблял более крупных рыб.

Климатические изменения последних десятилетий могли способствовать улучшению условий нагула рыб–зоопланктофагов в Камском водохранилище и могли повлиять на успешность воспроизводства тюльки, нерест которой протекает при температуре воды 22 °С и носит порционный характер (Степанов, 2011). Рост численности тюльки привел к значительному изменению рациона питания судака Камского водохранилища в сравнении с ретроспективными данными, согласно которым тюлька в рационе судака ранее отсутствовала (Родионова, 1986), либо была одним из компонентов питания хищника (Костицын, 2005). Доли плотвы и окуня, доминирующих в спектре питания судака ранее, в настоящее время незначительны. Улучшения условия нагула судака в последние десятилетия, связанные с ростом численности тюльки, могут являться основным фактором роста численности популяции вида в Камском водохранилище.

В целом, рассматривая отличия в сезонности питания судака тюлькой, как основного потребляемого объекта, можно отметить последовательное снижение доли вида в рационе судака в осенний период 2022-2023 гг. На фоне снижения доли тюльки наблюдался рост частоты встречаемости в желудках судака ерша и собственной молоди, а также расширение видового спектра питания хищника. Наименьшая встречаемость тюльки приурочена к осеннему и весеннему периоду. В осенний период это связано с предзимовальными перемещениями тюльки в водоеме, а в весенний период – со значительной элиминацией вида в подледный период (Кияшко и др., 2012). Достоверные различия в размерах тюльки в разные сезоны и разных локациях показывают, что наиболее массовой возрастной группой в питании судака являлись сеголетки тюльки. Выраженный переход на питание подрастающей молодью тюльки наблюдается в конце вегетационного сезона. В весенний период сеголетки тюльки также являются наиболее массовой возрастной группой в желудках рыб.

В отношении ерша, другого массового компонента питания судака, наблюдалась тенденция к увеличению размера жертвы с увеличением линейных размеров хищника, при этом значимая разница в длине жертв отсутствовала.

Таким образом, в настоящий момент в Камском водохранилище судак питается преимущественно тюлькой, что свидетельствует об изменении трофических взаимоотношений в экосистеме водоема в результате расселения тюльки. Увеличение численности судака может быть связано с улучшением условий нагула, обусловленным ростом численности тюльки, который в свою очередь, может быть определен климатическими причинами.

#### Список литературы

1. Бривкальн М.А. К элективности питания судака Камского водохранилища. Биологические ресурсы Камских водохранилищ // Ученые записки. 1975. № 338. С. 97-101
2. Иванова М.Н. Свирская А.Н., Базаров М.И. Взаимоотношение хищник-жертва на примере судака *Sander lucioperca* и тюльки *Clupeonella cultriventris* Рыбинского водохранилища в условиях потепления климата // Вопросы ихтиологии. 2020. Т. 60, № 5. С. 572-583.
3. Кияшко В.И., Карабанов Д.П., Яковлев В.Н., Слынько Ю.В. Становление и развитие черноморско-каспийской тюльки *Clupeonella cultriventris* (Clupeidae) в Рыбинском водохранилище // Вопросы ихтиологии. 2012. Т. 52, № 5. С. 571-580.
4. Костицын В.Г. Исследование трофической структуры ихтиоценоза Камского водохранилища // Вестник Пермского Университета. Биология. 2005. Вып. 6. С. 137-144.

5. Методическое пособие по изучению питания и пище вых отношений рыб в естественных условиях. М.: Наука, 1974. 254 с.
6. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.
7. Пушкин Ю.А., Антонова Е.Л. Тюлька *Clupeonella delicatula caspia morpha tscharchalensis* (Borodin) как новый компонент ихтиофауны Камских водохранилищ // Тр. Перм. лаборатории ГосНИОРХ. Том 1. Пермь, 1977. С. 30-47.
8. Родионова Л.А. Питание основных видов рыб Камского водохранилища. Биологические ресурсы водоемов Западного Урала. Пермь, 1986. С. 63-70
9. Рыбы Рыбинского водохранилища: популяционная динамика и экология / Герасимов Ю.В. (ред.). Ярославль: Филигрань, 2015. 418 с.
10. Степанов М.В. Морфо-биологическая характеристика черноморско-каспийской тюльки *Clupeonella cultriventris* (Nordmann, 1840) в Рыбинском водохранилище : Автореферат на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Борок. 2011. 23 с.
11. Чугунова Н.И. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1959. 164 с.
12. Шакирова Ф.М., Северов Ю.А., Латыпова В.З. Современный состав чужеродных видов рыб Куйбышевского водохранилища и возможности проникновения новых представителей в экосистему водоема // Российский Журнал Биологических Инвазий. 2015. № 3. С. 77-98.
13. Шакирова Ф.М., Северов Ю.А., Удачин С.А., Валиева Г.Д. Питание судака (*Sander lucioperca* (L., 1758)) Центральной части Куйбышевского водохранилища в разные годы // Известия Самарского научного центра Российской Академии Наук. 2017. Т. 19, № 5(2). С. 346-354.
14. Froese R., Pauly D. *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) // FishBase. 2019. Available: <https://www.fishbase.de/summary/Sander-lucioperca.html>. (April 2019).
15. Godard M.J., Copp G.H. Datasheet for *Sander lucioperca* (pike-perch). 2017. [www.cabi.org/isc/datasheet/65338#2E5CDAAD-EEB5-45F6-B847-35A817A78A1C](http://www.cabi.org/isc/datasheet/65338#2E5CDAAD-EEB5-45F6-B847-35A817A78A1C)
16. Khlopnikov M.M. Feeding of predatory fishes in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea // Journal of Ichthyology. 1992. Vol. 32(7). P. 152-159.
17. Pinkas Leo Oliphant, Malcolm S Iverson, Ingrid L.K. Food Habits of Albacore, Bluefin Tuna, and Bonito In California Waters // Fish Bulletin. 1971. Vol. 152. P. 1-105.

## ОЦЕНКА ПО ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ СОСТОЯНИЯ ОЗЕР КАРЕЛИИ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ АКВАКУЛЬТУРЫ

Н.М. Калинкина, Ю.Н. Лукина, Г.Э. Здоровеннова, Р.Э. Здоровеннов,  
Е.М. Макарова, Ю.Л. Сластина, В.С. Смирнова, Е.В. Теканова

ФИЦ «Карельский научный центр РАН» Институт водных проблем Севера  
(ИВПС КарНЦ РАН), г. Петрозаводск, [cerioda@mail.ru](mailto:cerioda@mail.ru)

*Аннотация: дана оценка по гидробиологическим показателям качества воды озер Карелии (Крошнозеро, Вендюрское, Верхнее Куйто), на акватории которых расположены форелевые садки. По микробиологическим показателям в озерах Крошнозеро и Вендюрское, вблизи форелевых садков, обнаружено многократное превышение сапрофитных, гетеротрофных и фенолоксилирующих бактерий по сравнению с удаленными от садков участками. По показателям фитопланктона, оз. Крошнозеро характеризуется как эвтрофное, оз. Вендюрское – как мезотрофное. Исследование западного плеса оз. Верхнее Куйто по показателям фито- и бактериопланктона выявило хорошее состояние его экосистемы. Уровень трофии по биомассе фитопланктона и концентрации хлорофилла «а» находится в пределах олиго-мезотрофных систем. Для устойчивого функционирования форелевых садковых хозяйств предложены организационные мероприятия и перечень исследовательских работ на водоемах, используемых для выращивания аквакультуры.*

Ключевые слова: озера Карелии, аквакультура, бактериопланктон, фитопланктон, качество воды, трофический статус

В Республике Карелия форелеводство является одной из самых успешных и активно развивающихся отраслей сельского хозяйства. По состоянию на 2023 г., в Карелии выращено 28 тыс. т товарной рыбы (<https://gov.karelia.ru/news/24-01-2024-karelskie-forelevody-narashchivayut-obem-sobstvennoy-pereobotki/>). Для сохранения природных ресурсов Республики Карелия рост производства и устойчивое развитие аквакультуры должно базироваться на научно-обоснованном подходе, в рамках которого крайне важно определение потенциальных акваторий водных объектов, пригодных для осуществления аквакультуры.

В настоящем исследовании представлены результаты оценки по гидробиологическим показателям состояния озер Крошнозеро, Вендюрское и Верхнее Куйто. Эти водоемы используются для выращивания товарной форели. Озера Крошнозеро (площадь зеркала озера 8,9 км<sup>2</sup>) и Вендюрское (площадь зеркала озера 10 км<sup>2</sup>) относятся к малым озерам. Малые озера крайне уязвимые к антропогенному воздействию в силу небольшого объема водной массы. В малых озерах загрязнение от локального источника может оказывать влияние на весь водоем, что представляет опасность для озерной экосистемы и может привести к необратимым ее изменениям (пропадают ценные виды рыб, прогрессирует цветение цианобактерий, ухудшаются кислородные условия в озерах и т.п.). Важно учитывать, что последствия антропогенного воздействия усугубляются изменением регионального климата, устойчивое потепление которого приводит к изменению уровня воды, термического и газового режимов водоемов, затрудняя процессы их самоочищения. Кроме того, следует учитывать коэффициент условного водообмена, который для ряда малых озер Карелии весьма низкий. Аккумулятивный характер водоема способствует накоплению биогенных веществ. В свою очередь, при высокой нагрузке фосфором его концентрации могут быстро достичь критического уровня, что вызовет эвтрофирование водоема.

Основные источники загрязнения при выращивании радужной форели в садках – это корма, содержащие биогенные вещества, и продукты метаболизма рыб (органическое вещество, а также биогенные элементы). Поэтому предельно допустимая мощность форелевых хозяйств для конкретного водоема (возможная критическая масса товарной форели) обычно оценивается на основе критической концентрации общего фосфора в воде. При повышении концентрации фосфора резко возрастает интенсивность «цветения». В озере возрастает количество органического вещества, оседающего на дно. В придонных слоях происходит его разложение, формируется дефицит кислорода в воде и увеличивается концентрация фосфора в придонных слоях воды. Эти признаки свидетельствуют о поступлении фосфора со дна, то есть формировании источников вторичного загрязнения, которое практически невозможно контролировать.

«Цветение воды» (массовое развитие цианобактерий - сине-зеленых водорослей) является одним из наиболее опасных последствий, негативное влияние которых проявляется в сокращении темпов роста рыб, нарушении воспроизводства и выживания, может приводить к «заморным» явлениям. Кроме того, токсины цианобактерий, аккумулируясь в тканях рыб, могут оказывать воздействие на здоровье человека.

На озерах Крошнозеро и Вендюрское (2020-2023 гг.) и западном плесе оз. Верхнее Куйто (2022 г.) были выполнены исследования для оценки состояния экосистем по гидробиологическим показателям. По стандартным методикам (Кузнецов, Дубинина, 1989; МУК 4.2.1884-04) была дана оценка численности сапрофитных (СБ), гетеротрофных (ГБ) и фенолоксилирующих (ФОБ) бактерий, а также СБ, выращенных при 37 °С – общее микробное число (ОМЧ), численности водных грибов (ВГ). Был рассчитан коэффициент самоочищения, определяемый как отношение СБ/ОМЧ, имеющий при завершении процессов самоочищения значение равное 4 и выше (МУК 4.2.1884-04).

Пробы фитопланктона консервировали 40% раствором формалина и концентрировали методом прямой фильтрации через мембранные фильтры с диаметром пор 0,8 мкм. Количественный учет фитопланктона и определение размеров клеток проводили в камере Нажотта объемом 0,02 см<sup>3</sup>. Обработку проб фитопланктона осуществляли в соответствии с общепринятыми методами (Федоров, 1979). В качестве структурных показателей определен флористический состав, распределение водорослевых сообществ, численность и биомасса. Биомассу фитопланктонных организмов вычисляли стандартным счетным объемно-весовым методом. Концентрацию хлорофилла *a* в пробах воды определяли спектрофотометрическим методом (Determination..., 1966).

В летний период 2021 г. в воде оз. Крошнозеро численность эколого-трофических групп бактериопланктона (СБ, ГБ, ФОБ) возле форелевых ферм была выше в 4,5-7 раз, численность ВГ – в 4 раза, по сравнению с фоновым участком озера. На оз. Крошнозеро кроме того отмечаются медленные темпы самоочищения и обнаружена опасность загрязнения водоема условно-патогенными микроорганизмами. В июле 2021 г. биомасса фитопланктона в оз. Крошнозеро в поверхностном горизонте в среднем составляла 12,3 мг/л при максимальной величине 13,3 мг/л, а значения численности в среднем были 86,2 млн. кл./л., при максимальной величине 92,8 млн кл./л. Средние значения биомассы в поверхностном горизонте озера (12,3 мг/л), а также доля численности цианобактерий (более 85% от общей численности фитопланктона) позволяют охарактеризовать водоем как эвтрофный. Средняя концентрация хлорофилла *a* в поверхностном горизонте составила 46 мкг/л, что указывало на процессы «цветения» фитопланктона. В сравнении с более ранними исследованиями, видовой состав цианобактерий стал разнообразнее, появился вид *Gloetrichia echinulata* (J.E.Smithet&Sowerby) P.Richt., отмечаемый обычно в

высокоэвтрофных водоемах. Важно отметить, что кроме влияния форелевых садков, оз. Крошнозеро испытывает воздействие освоенной водосборной территории. Сельскохозяйственные поля на берегах озера дренируются мелиоративными каналами, через которые дренажный сток поступает в оз. Крошнозеро. В связи с этим, показатели бактерио- и фитопланктона отражают совместное влияние на водоем различных источников загрязнения.

На оз. Вендюрском вблизи форелевых ферм численность эколого-трофических групп бактериопланктона летом 2021 г. была выше почти в 2 раза выше по сравнению с удаленной от форелевых ферм станцией, летом 2023 г. – в 5,5 раз выше. Количество водных грибов вблизи форелевых садков было выше на порядок в течение двух лет исследований. В целом, по всему озеру наблюдаются медленные темпы самоочищения. Среднее значение биомассы фитопланктона в оз. Вендюрское в 2020 г. в центральной части водоема составило: летом – 1,51, осенью – 5,26 г/м<sup>3</sup>. В зоне форелевого хозяйства показатели биомассы летом были на уровне 1,14 г/м<sup>3</sup>, осенью – 6,27 г/м<sup>3</sup>. Эти данные соответствуют  $\alpha$ -мезотрофному статусу экосистемы (Китаев, 2007).

Имеется и положительный опыт функционирования хозяйств аквакультуры. Примером является оз. Верхнее Куйто (площадь зеркала 240 км<sup>2</sup>), в котором в 2022 г. по инициативе Костомукшского городского округа выполнена оценка современного состояния качества воды западного плеса озера, где располагаются форелевые садки. Биоиндикация состояния западного плеса оз. Верхнее Куйто по показателям фито- и бактериопланктона выявила хорошее состояние его экосистемы. Уровень трофии экосистемы по биомассе фитопланктона и концентрации хлорофилла *a* находится в пределах олиго-мезотрофных систем. Оценка сапробности воды, отражающая содержание в ней легкоминерализуемого органического вещества, по индикаторным видам фитопланктона характеризует воду западного плеса как олигосапробную и олиго- $\beta$ -мезосапробную (2 класс чистоты вод, вполне чистая; 3 класс чистоты вод, удовлетворительно чистая). Микробиологическая индикация также характеризует воды как чистые. Таким образом, несмотря на то, что форелевое хозяйство является дополнительным источником поступления биогенных элементов в оз. Верхнее Куйто, благодаря соблюдению предельно допустимой мощности хозяйства и природоохранных мер, озеро справляется с увеличившейся нагрузкой и ухудшения качества воды в процессе многолетнего функционирования рыбоводного хозяйства, не произошло.

С целью устойчивого функционирования форелевых садковых хозяйств без ущерба водным объектам важнейшими являются следующие организационные мероприятия и исследовательские работы. Для корректной оценки предельных объемов выращивания товарной рыбы необходима инвентаризация всех источников биогенных веществ, поступающих в водоем (сток промышленных предприятий, населенных пунктов, форелевых хозяйств). Необходимо проведение вневедомственных регулярных комплексных наблюдений на водных объектах в районах расположения рыбоводных хозяйств, которые должны включать:

- гидрофизические исследования (проточность водного объекта, скорость течений вблизи форелевых садков для выявления особенностей переноса воды, мутность для выявления зон распределения и потенциального накопления взвешенного вещества);
- гидрохимические исследования (необходимый минимум: содержание кислорода, органических и биогенных веществ, рН, цветность).
- гидробиологические исследования (фитопланктон, концентрация хлорофилла, общая численность бактерий, сапрофитные бактерии, концентрация цианотоксинов,

определение скорости продукционно-деструкционных процессов в районе размещения форелевых садков как основных факторов формирования дефицита кислорода и развития вторичных источников загрязнения водоема).

- оценка седиментационной обстановки на акватории рыбоводных хозяйств (скорость осадконакопления и состояние донных отложений) в целях принятия решения о необходимости проведения мероприятий по рыбохозяйственной мелиорации.

Экологическую экспертизу и корректировку объемов производства на водных объектах Республики Карелия необходимо проводить минимум один раз в пять лет с учетом изменения регионального климата, которое усиливает эвтрофирование водоемов и вызывает массовое развитие цианобактерий.

#### **Список литературы**

1. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.
2. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 288 с.
3. МУК 4.2.1884-04 «Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов».
4. Федоров В. Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: Изд-во МГУ, 1979. 167 с.
5. Determination of photosynthetic pigments in seawaters. Report of SCOR/UNESCO Working Group 17. Paris, France, UNESCO. 1966. 69 p. DOI: <https://doi.org/10.25607/OBP-1940>.

## АНАЛИЗ КРИПТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ МИКСОСПОРИДИЙ (CNIDARIA: MUHOZOA) ИЗ ПОЧЕК ПЛОТВЫ В ПРЕДЕЛАХ АРЕАЛА ХОЗЯИНА

А.В. Каменченко

Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), г. Санкт-Петербург, [kamenchenko.a.v@gmail.com](mailto:kamenchenko.a.v@gmail.com)

Аннотация: при проведении мониторинга паразитофауны обыкновенной плотвы (*Rutilus rutilus*) в Невской губе Финского залива был найден паразит почек *Mухobolus zaikaе* *Batueva, 2020*, который был изучен с помощью молекулярных методов.

Ключевые слова: миксоспоридии, плотва, паразиты почек, *Mухobolus* sp.

Миксоспоридии (Cnidaria, Mухozoa) – многоклеточные, спорообразующие паразиты со сложным жизненным циклом. Окончательными хозяевами паразита являются водные беспозвоночные (олигохеты, полихеты и пр.), а промежуточными чаще всего рыбы. Классическая систематика миксоспоридий построена на основе морфометрии спор, имеющих ограниченное число структур, пригодных для измерения. Вследствие этого, один вид паразита часто отмечался для большого числа хозяев.

Так род *Mухidium* Bütschli, 1882 включает в себя более 230 номинальных видов (Lom, 2006; Eiras, 2011), описанных исключительно основываясь на морфологии спор, что могло создать ошибочное представление об их видовой принадлежности.

По литературным сведениям в почках карповых рыб описано 23 представителя рода *Mухidium* и около 20 видов рода *Mухobolus* (Донец, Шульман, 1984), но молекулярные данные для большинства видов остаются неизвестными, отсутствуют и межвидовые филогенетические отношения.

Наиболее распространенным можно считать вид *Mухidium rhodei* Léger, 1905, который был зарегистрирован более чем у 40 видов карповых (Шульман, 1984). Среди отмеченных хозяев наиболее часто упоминаемым является плотва при том, что вид впервые описан у горчак *Rhodeus amarus* (Léger, 1930, Longshaw et al., 2005; Dzika et al., 2006; Batueva et al., 2015). Молекулярные исследования, проведенные на основе последовательностей гена 18S рРНК, показали, что вид, ранее называемый *M. rhodei* представляет собой группу, состоящую из четырех представителей рода *Mухidium*, имеющих практически идентичные морфометрические характеристики. В частности, были зарегистрированы следующие криптические виды: *M. batuevae* (со строгой гостальной и тканевой специфичностью), *M. rutili*, *M. rutilusi* и *M. rhodei* (с широким спектром хозяев) (Baiko, 2024).

В литературе *Mухobolus muelleri* был отмечен для 56 видов рыб, занимающих как разное систематическое положение, так и различные экологические ниши. Так же для этого вида отмечен широкий спектр локализаций (Донец, Шульман, 1984). Исследования, проведенные с использованием молекулярных методов, показали, что в действительности это комплекс из нескольких видов, обладающих строгой тканевой и гостальной специфичностью (Molnár, 2000; Molnár et al. 2007, 2010).

Материалом для собственных исследований была плотва *Rutilus rutilus*, собранная в весенне-осенний период 2023 г. в районе Сестрорецка. Отбор рыбы производили из сетных

уловов, обработку проводили согласно общепринятой методике (Чернышева, 2009). По морфологическим признакам споры были определены как *Muxobolus* sp.

Обнаруженные плазмодии миксоспоридии помещали в 96 % спирт и хранили при -20 °С. Для экстракции ДНК фиксированные плазмодии извлекали, после чего их доставали чистым инструментом и помещали в ПЦР пробирки объемом 200 мкл с 10 мкл ТЕ буфера (Евроген) на 12 часов при температуре +4 °С для обводнения, далее в пробирки добавляли по 50 мкл 5 % Chelex 100 Resin (BioRad) и 5 мкл раствора Протеиназы К (20 мг/мл фермента в ТЕ буфере, рН 8,0, Евроген) и инкубировали при 56 °С в течение 4 ч, фермент инактивировали при 90 °С 8 мин, далее центрифугировали на скорости 15000 rpm 10 минут при +4 °С и отбирали в новые пробирки супернатант. Для амплификации фрагмента гена 18S рРНК использовали праймерную пару 18F-530R (Weiss and Vossbrinck, 1999).

Секвенирование проводили на автоматическом капиллярном секвенаторе Applied Biosystems TM 3500xL Genetic Analyzer на базе Ресурсного центра «Развитие молекулярных и клеточных технологий» Научного парка СПбГУ. Полученные последовательности сравнивали с последовательностями миксоспоридий из базы Генбанка с помощью программы blastn, доступной на сервере NCBI (www.ncbi.nlm.nih.gov).

Поиск BLAST показал, что полученные последовательности 18S рРНК схожи с последовательностью *Muxobolus zaikae* MT141124.2 (изолят из плотвы, выловленной в озере Байкал) на 98,73-99,36%. Было построено филогенетическое дерево, созданное с помощью анализа максимального правдоподобия. Полученные последовательности также группировались с *Muxobolus zaikae* MT141124.2.

В ходе исследования была установлена зараженность плотвы *Muxobolus zaikae* Batueva, 2020, при этом не были обнаружены плазмодии с *Muxidium batuevae*, *M. rutili*, *M. rutilusi* и *M. rhodei*.

Представленное исследование является частью магистерской диссертации, посвященной изучению разнообразия миксоспоридий в пресноводных рыбах Ленинградской области.

Автор выражает благодарность коллективу Института цитологии Российской Академии наук (ИНЦ РАН) за помощь в проведении исследований.

#### Список литературы

1. Донец З.С., Шульман С.С. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР // Тип Книдоспоридии–Cnidosporida. 1984. Т. 3. С. 88-251.
2. Шульман С.С. (отв. ред.) Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР // Паразитические простейшие. Т. 1. Л.: Наука, 1984. 431 с.
3. Чернышева Н.Б., Кузнецова Е.В., Воронин В.Н., Стрелков Ю.А. Паразитологическое исследование рыб : Методическое пособие. СПб.: ГосНИОРХ, 2009. 20 с.
4. Batueva M.D., Pronin N.M. and Pronina S.V. Prevalence of *Myxidium rhodei* (Cnidaria, Myxosporea) in the Lake Baikal basin // Protistology. 2015. Vol.9. P. 67-74.
5. Batueva M. D. Morphological, Histological, and Molecular Aspects of *Muxobolus zaikae* n. sp., a Parasite of the Roach *Rutilus rutilus*, in Lake Baikal // Diseases of Aquatic Organisms. 2020. Vol. 142. P. 75-82.
6. Baiko D., Lisnerová M., Bartošová-Sojtková P., Holzer A. S., Blabolil P., Schabuss M. and Fiala I. Solving the *Myxidium rhodei* (Myxozoa) puzzle: insights into its phylogeny and host specificity in Cypriniformes // Parasite. 2024. Vol. 31.
7. Dzika E., Wlasow T. and Hoffmann R.W. *Myxidium rhodei* Léger, 1905 (Myxozoa: Myxosporea) infection in roach from four lakes of northern Poland // Bulletin of European Association of Fish Pathology. 2006. Vol. 26. P. 119–124.
8. Eiras J. C., Saraiva A., Cruz C. F., Santos M. J. and Fiala I. 2011. Synopsis of the species of *Myxidium* Bütschli, 1882 (Myxozoa: Myxosporea: Bivalvulida) // Systematic Parasitology. 2011. Vol. 80. P. 81-116.

9. Forró B., Eszterbauer E. Correlation between host specificity and genetic diversity for the muscle dwelling fish parasite *Myxobolus pseudodispar*: examples of myxozoan host–shift? // *Folia Parasitologica*. 2016. Vol. 63. P. 1. <https://doi.org/10.14411/fp.2016.019>
10. Léger L. Deux nouvelles myxosporidies parasites des poissons d'eau douce // *Bulletin et Mémoires de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences*. 1905. Vol. 330.
11. Léger L. Myxosporidies nouvelles ou peu connues du genre «*Myxidium*» chez les poissons d'eau douce // *Travaux du Laboratoire d'Hydrobiologie et Pisciculture de l'Université de Grenoble*. 1930. Vol. 22. P. 231-243.
12. Longshaw M., Frear P.A. and Feist S.W. Descriptions, development and pathogenicity of myxozoan (Myxozoa: Myxosporidia) parasites of juvenile cyprinids (Pisces: Cyprinidae) // *Journal of Fish Diseases*. 2005. Vol. 28. P. 489-508.
13. Lom J., Dyková I. Myxozoan genera: Definition and notes on taxonomy, life-cycle terminology and pathogenic species // *Folia Parasitologica*. 2006. Vol. 53 P. 1-36.
14. Molnár K. Survey of *Myxobolus* infection of the bleak (*Alburnus alburnus* L.) in the River Danube and Lake Balaton // *Acta Veterinaria Hungarica*. 2000. Vol. 48. P. 421-432.
15. Molnár K., Marton Sz., Eszterbauer E. and Székely Cs. Description of *Myxobolus gayerae* sp. n. and re-description of *M. leuciscini* infecting European chub from the Hungarian stretch of the river Danube // *Diseases of Aquatic Organisms*. 2007. Vol. 78. P. 147-153.
16. Molnár K., Marton S., Székely C. and Eszterbauer E. Differentiation of *Myxobolus* spp. (Myxozoa: Myxobolidae) infecting roach (*Rutilus rutilus*) in Hungary // *Parasitology Research*. 2010. Vol. 107 (5). P. 1137-1150.
17. Weiss L.M., Vossbrinck C.R. Molecular biology, molecular phylogeny, and molecular diagnostic approaches to the microsporidia // *The microsporidia and microsporidiosis*. 1999. P. 129-171.

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ РЫБ БАЙКАЛЬСКОГО РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАССЕЙНА

Я.А. Капустина, М.В. Бехтгольд, Л.С. Перевалова

Тюменский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («Госрыбцентр»), г. Тюмень,  
[ya.kapustina@gosrc.vniro.ru](mailto:ya.kapustina@gosrc.vniro.ru), [m.behtgold@gosrc.vniro.ru](mailto:m.behtgold@gosrc.vniro.ru)

Аннотация. в статье приведены результаты ПЦР-диагностики заболеваний рыб естественных водоемов и рыбоводных предприятий Республики Бурятия. Проведено тестирование на два вида вирусов, пять видов бактерий, два вида оомицетов и один вид моногенетических сосальщиков. Найдены бактерии рода *Aeromonas*, при этом клиническая картина инфекционного заболевания (язвы, петехии, волдыри с кровавым экссудатом и др.) не развивалась. Данную форму бактериальной инфекции расцениваем как носительство. Ключевые слова: молекулярно-генетические исследования, болезни рыб, бактерии рода *Aeromonas*, рыбоводные заводы, ПЦР-диагностика, оз. Байкал

Видовой состав бактерий рыб Республики Бурятия достаточно разнообразный. По данным Е.А. Дугаржаповой (2014) бактериальный фон рыб представлен 29 видами, однако наиболее часто встречаются бактерии рода *Aeromonas*. Случаи заболевания, вызываемого бактериями рода *Aeromonas*, освещены и в ряде других научных работ (Зверева и др., 2008; Дзюба и др., 2011; Дугаржапова и др., 2012; Дугаржапова, Цыдыпов, 2012). Инфекцию фиксировали в Чивыркуйском и Баргузинском заливах оз. Байкал, оз. Гусином, в Еравно-Харгинских озерах и других районах бассейна, при этом авторы отмечали гибель частичковых рыб. Одной из мер, направленных на предотвращение заболеваний рыб, является эпизоотологический мониторинг (Петрова и др., 2018). В этих целях все более активно применяются методы, основанные на полимеразной цепной реакции (ПЦР). ПЦР-анализ позволяет оперативно и с высокой точностью определить возбудителя заболевания, что способствует совершенствованию эпизоотического контроля.

Цель настоящей работы – диагностика заболеваний рыб Байкальского рыбохозяйственного бассейна методами молекулярно-генетического анализа.

Материалом для исследований служили следующие виды рыб: сибирский хариус, байкальский осётр, ленок, сазан, плотва, сибирский елец, окунь, байкальский омуль (придонной, прибрежной и пелагической морфо-экологических групп). Работы проведены в 2022-2023 гг., сбор материала осуществлен в весенний (май) летний (июнь-июль) и осенний (октябрь, ноябрь) периоды. Пункты отбора проб: р. Селенга, р. Баргузин, оз. Байкал (Селенгинское мелководье, Козловская губа, Чивыркуйский и Баргузинский заливы), рыбоводные предприятия (Баргузинский, Селенгинский, Большереченский рыбоводные заводы; Гусиноозерское осетровое рыбоводное хозяйство); в 2023 г. также: р. Джида, р. Чикой, р. Хилок. Сбор материала для исследований производили на месте вылова (выгрузки на берег) от живых особей. У рыб отбирали часть спинного плавника, головную часть почки, часть печени, молодь (личинка/малек) фиксировали полностью, фиксатор – этиловый спирт 95%. Спустя сутки производили замену спирта. Диагностику заболеваний проводили методом ПЦР-анализа, тестируемые патогенные объекты: бактерии *Aeromonas hydrophila*, *A. salmonicida*, *Vibrio anguillarum*, *Yersinia ruckeri*, *Flavobacterium* spp.; грибы *Saprolegnia ferax*, *S. parasitica*; в 2023 г. также вирус весенней виремии карпа (SVC), герпесвирус карпа

кои (KHV), моногенетический сосальщик *Gyrodactylus salaris*. Характеристика используемых для ПЦР праймеров представлена в табл.

Таблица. Характеристика используемых праймеров

№ п/п	Обозначение праймера	Характеристика праймера
SVC; <i>t</i> отжига – 55°C; длина продукта – 714 пн.		
1	SVCV F1	TCTTGGAGCCAAATAGCTCA
	SVCV R2	AGATGGTATGGACCCCAATACAT
KHV; <i>t</i> отжига – 55°C; длина продукта – 409 пн.		
2	KHV F	GGTTACCTGTACGAG
	KHV R	CACCCAGTAGATTATGC
<i>A. hydrophila</i> ; <i>t</i> отжига – 53°C; длина продукта – 347 пн.		
3	F94	GGTGAGTAATGCCTGGGAAAT
	R441	CCTTTCCTCCTCGCTGAAAGT
<i>A. salmonicida</i> ; <i>t</i> отжига – 53°C; длина продукта – 367 пн.		
4	F87	GGTGAGTAATGCCTGGGGATC
	R454	AGTTGACACGTATTAGGCGCC
<i>V. anguillarum</i> ; <i>t</i> отжига – 53°C; длина продукта – 223 пн.		
5	F415	GGAAGGTGGTGTGTTAATAGCAG
	R638	GTGAACCAGTTTCAAATGCGG
<i>Y. ruckeri</i> ; <i>t</i> отжига – 53°C; длина продукта – 324 пн.		
6	F154	AAACGGTAGSTAATACCGCATA
	R478	GTCAATGTTCAGTGCTATTAACACTTAAC
<i>Flavobacterium</i> spp.; <i>t</i> отжига – 53°C; длина продукта – 234 пн.		
7	F71	AAGGAGCTTGCTCCTTTGA
	R305	CCTCTCAGGACCCCTACCC
<i>S. ferax</i> ; <i>t</i> отжига – 60°C; длина продукта – 602 пн.		
8	F5284SF	CCACGTGAATGTA CTCTTTATGAGGCTTTGC
	R6746SLF	TTAAGCACAGGACACGTAAGGAGAGTGA
<i>S. parasitica</i> ; <i>t</i> отжига – 60°C; длина продукта – 602 пн.		
9	F5284SSP	CCACGTGAATGTA CTCTTTATGAGGCTTTGC
	R6746SSP	CAAAGTACAAGGCACGTAAGGAGAGTTG
<i>G. salaris</i> ; <i>t</i> отжига – 50°C; длина продукта – 1300 пн.		
10	Gyrod (ITS 1) F	TTCCGTAGGTGAACCT
	Gyrod (ITS 1) R	TCCTCCGCTTAGTGATA

Для проведения ПЦР с праймерами на бактерии и грибы использовали методику, разработанную ФГБНУ «ВНИРО» (2019), для вирусов и *G. salaris* – методику Международного эпизоотического бюро (МЭБ) (Руководство..., 2019). Выделение ДНК проводили коммерческими наборами ДНК-Сорб-С-М («AmpliSens», Россия) и diaGene («Диаэм», Россия) по протоколам производителя. При отборе проб фиксацию РНК проводили с помощью фиксатора IntactRNA, для выделения использовали реагент ExtractRNA («Евроген», Россия). Реакцию амплификации на термоциклере Bio-Rad T-100 по четырем различным протоколам. Для праймеров № 1-5 схема протокола следующая: первая денатурация 95 °С – 120 с, вторая денатурация 95 °С – 20 с, отжиг праймеров 48 °С – 30 с, элонгация 72 °С – 60 с, повтор стадий второй денатурации до элонгации – 34 раза, финальная элонгация 72 °С – 600 с, хранение 12 °С – ∞. Для праймеров № 6-7 схема протокола аналогичная за исключением отжига праймеров, температура отжига – 60 °С. Для праймеров № 8-10 использовали протоколы МЭБ (Руководство..., 2019). При работе с РНК-содержащим вирусом KHV сначала проводили ПЦР с обратной транскрипцией для

получения кДНК, затем стандартную ПЦР. При получении кДНК использовали набор реагентов «ОТ-1» для обратной транскрипции («Синтол», Россия). Для ПЦР использовали праймеры производства фирмы «Евроген» (Россия). Результаты ПЦР фиксировали с помощью системы гель-документирования в 2% агарозном геле с BrEt.

Выявлено ДНК бактерий *A. hydrophila*, ПЦР-тесты на остальные возбудители отрицательные. ДНК обнаружено у плотвы из р. Баргузин в летний период 2023 г. Положительные результаты получены в 10 пробах (восемь проб почек, две пробы печени). Всего инфицировано восемь рыб в выборке (53,33 %). Следует отметить, что клинических признаков инфекционных заболеваний (язвы, петехии, эрозия покровов тела, экзофтальм и др.) не обнаружено, поведение рыб соответствовало норме (реакция на внешние раздражители активная). При вскрытии кишечник наполнен кормовой массой, что свидетельствует об нормальной пищевой активности. Работы по ПЦР-диагностике заболеваний рыб бассейна оз. Байкал были проведены авторами ранее в 2019-2021 гг. (Аксенова и др., 2022). В данный период произведено тестирование также бактерий и грибов, вирусы и *G. salaris* не анализировали. По итогам работ также выявлено ДНК бактерий *A. hydrophila* и *A. salmonicida*. Положительные ПЦР-тесты получены в 2020 и 2021 гг. В 2020 г. ДНК бактерий выявлено у мальков хариуса Большереченского и Баргузинского рыбоводных заводов (в июле), в 2021 г. – у половозрелых особей ельца р. Баргузин (в июне), плотвы (в июле) и окуня (в октябре) Чивыркуйского залива оз. Байкал. У окуня наблюдалась клиническая картина бактериальной инфекции. На теле с правой и с левой стороны отмечены язвы в количестве двух шт., при этом пищевая и двигательная активность соответствовала норме. У остальных рыб с положительным ПЦР-тестом клинических признаков инфекции не обнаружено, активность рыб также в норме. Форма бактериальной инфекции, при которой регистрируется возбудитель без клинических проявлений заболевания носит название «бактерионосительство» (Маракулин, 2011). Полагаем, что у хариуса, ельца и плотвы носительство бактерий.

Таким образом, проведенный в 2022-2023 гг. ПЦР-анализ на детекцию 10 возбудителей болезней показал наличие бактерий рода *Aeromonas* у рыб бассейна озера Байкал. ДНК возбудителя выявлено в 2023 г. у одного (плотва р. Баргузин) из девяти исследованных видов рыб. Учитывая отсутствие клинической картины болезни, данную форму инфицирования оценивали как бактерионосительство. Ранее в 2019-2021 гг. ДНК бактерий рода *Aeromonas* у рыб также было обнаружено (Аксенова и др., 2022). В большинстве случаев инфекция отмечена в форме носительства. Лишь в одном случае зарегистрировано развитие болезни (язвы на теле у окуня). Результаты мониторинга показывают регулярное носительство рыб бактерий рода *Aeromonas*. Данные бактерии широко распространены в водоемах (Неретин, 2005; Зверева и др., 2008) и наличие их в организме рыб естественно. Однако, данные бактерии имеют эпизоотическое значение, так как могут вызывать массовую гибель рыб (Неретин, 2005; Дугаржапова, 2012). В связи с этим эпизоотический мониторинг актуален.

Авторы выражают благодарность специалистам отдела молекулярной генетики ЦА ГНЦ ФГБНУ «ВНИРО» и Байкальского филиала ГНЦ ФГБНУ «ВНИРО» за содействие в исследованиях. Работа проведена в рамках ФП «Охрана озера Байкал» по НИР «Проведение молекулярно-генетических исследований и ранней диагностики инфекционных заболеваний рыб в целях контроля за сохранением генофонда омуля и других ценных рыб (хариуса, ленка, сига и тайменя) в озере Байкал».

### Список литературы

1. Дугаржапова Е.Д. Микробиологический мониторинг рыб водоемов Республики Бурятия: Автореф. дисс...канд. биол. наук. Барнаул, 2014. 20 с.
2. Дзюба Е.В., Деникина Н.Н., Суханова Е.В., Белых М.П., Ханаев И.В., Пронин Н.М., Белькова Н.Л. Высококочувствительная детекция возбудителей бактериального язвенного синдрома байкальского омуля *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775) // Известия Иркутского государственного университета. 2011. Т.4, № 4. С. 46-52.
3. Зверева О.А., Цыбиков М.Ц., Цыдыпов В.Ц., Елизов В.И. Эпизоотологические аспекты аэромоноза рыб в системе Еравно-Харгинских озер // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2008. № 2 (11). С. 18-21.
4. Дугаржапова Е.Д., Цыдыпов В.Ц., Зверева О.А., Цыбиков М. Ж. Циркуляция аэромонад в промысловой рыбе Республики Бурятия // Эколого-биологическое благополучие животного мира: материалы международной научно-практической конференции, Благовещенск, 14–17 мая 2012 года. Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2012. С. 245-250.
5. Дугаржапова Е.Д., Цыдыпов В.Ц. Морфологические и биомические характеристики аэромонад, выделенных от рыб из некоторых водоемов Республики Бурятия // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2012. № 3 (28). С. 11-16.
6. Петрова О.Г., Бадова О.В., Речкалов Д.Н. Эпизоотологический мониторинг инфекционных и инвазионных болезней рыб, социально-экономическое значение разработки системы мониторинга состояния поверхностных вод малых водоемов // Аграрный вестник Урала. 2018. № 9. С. 26-32.
7. Методика ранней инфекционной диагностики патогенов рыб оз. Байкал методами молекулярно-генетического анализа: (проект) / Тюменский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («Госрыбцентр»). Тюмень, 2019. 16 с.
8. Руководство по диагностическим тестам для водных животных. Раздел 2.3. Болезни рыб [Электронный ресурс]. 2019. <https://tr-europe.woah.org/ru/> (дата обращения 05.09.2024).
9. Аксёнова М.В., Красноперова Т.А., Капустина Я.А. Результаты диагностики инфекционных заболеваний рыб Байкальского рыбохозяйственного бассейна методом молекулярно-генетического анализа // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса: материалы X международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов, Москва, 10-11 ноября 2022 г. ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии». Москва, 2022. С. 257-259.
10. Маракулин И.В. Медицинская микробиология. Курс лекций: учебное пособие // Киров: ФГБОУ ВПО «ВятГУ», 2011. 119 с.
11. Неретин М.В. Инактивация возбудителя аэромоноза карповых рыб в водной среде с применением озона // Ветеринарная патология. 2005. № 2(13). С. 86-92.
12. Зверева О.А., Цыбиков М.Ц., Цыдыпов В.Ц., Елизов В.И. Эпизоотологические аспекты аэромоноза рыб в системе Еравно-Харгинских озёр // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2008. № 2(11). С. 18-21.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАБАРКОДИНГА ДЛЯ МОНИТОРИНГА БИОЛОГИЧЕСКИХ ИНВАЗИЙ ГИДРОБИОНТОВ НА ПРИМЕРЕ ВЕТВИСТОУСЫХ РАКООБРАЗНЫХ (CLADOCERA): ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Д.П. Карабанов\*, Д.Д. Перебоев\*\*, А.А. Котов\*\*

\* *Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (ИБВВ РАН),  
пос. Борок, Ярославская обл., [dk@ibiw.ru](mailto:dk@ibiw.ru)*

\*\* *Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (ИПЭЭ РАН),  
г. Москва, [alexey-a-kotov@yandex.ru](mailto:alexey-a-kotov@yandex.ru)*

*Аннотация: в работе представлен анализ применения метабаркодинга тотальных планктонных проб для целей идентификации чужеродных видов Cladocera. Результат высокопроизводительного секвенирования по локусам 18S, 16S и COX1 не всегда обеспечивает должный уровень сигнала от единичных особей рачков-вселенцев, поэтому использование современных технологий NGS экономически не оправдано для рутинного мониторинга.*

Ключевые слова: Cladocera, ДНК, метабаркодинг

Биологические инвазии, несомненно, относятся к одним из глобальных вызовов современности. Виды-вселенцы каждый год наносят мировой экономике ущерб в миллиарды долларов и часто являются источником непосредственного ущерба сельскому хозяйству и даже здоровью населения. Для Российской Федерации можно отдельно отметить катастрофические последствия реинтродукция бобров, расселение ротана-головешки, ущерб сельскому хозяйству от колорадского жука, трансформация донных сообществ от вселения моллюска дрейссены, влияние гребневика мнemiопсиса на сообщество гидробионтов Каспия.

Проблема расселения чужеродных видов имеет исключительно важное социально-экономическое значение для России. Если к 1990-м гг. на территории Российской Федерации было отмечено около 500 видов-вселенцев из различных систематических групп, то к настоящему времени их число постоянно растёт, приближаясь к 1500 (Дгебуадзе и др., 2018) – и это лишь «верхушка айсберга», поскольку для многих групп животных о расширении ареала ничего не известно (особенно, когда инвазии не сопровождаются катастрофическими экологическими последствиями с хорошо заметным экономическим эффектом).

В Центральной России организован многолетний мониторинг зоопланктона Волжско-Камского бассейна. К настоящему времени показано расширение ареалов многих зоопланктеров (Lazareva, 2019; Kotov et al., 2022; Lazareva et al., 2024). Однако, изучение микроскопических ракообразных в Волжском бассейне по большей части сводится к констатации факта инвазий, а широкого сравнительного генетического анализа инвазионных процессов проведено к настоящему времени не было. Вместе с тем уже больше десятилетия ДНК-баркодинг применяется, например, для идентификации ракообразных и их яиц (Briski et al., 2011), что показывает высокую эффективность этого метода для организации системы долговременного мониторинга инвазий. Кроме того, только комплексный набор знаний о биологии вселенцев может быть использован для разработки эффективных методов предотвращения и борьбы с чужеродными видами (Makhrov et al., 2014).

Конечно, основной упор в генетических работах сейчас делается на анализ «природной ДНК» (eDNA) – фрагментов ДНК из природной среды, осаждённой на синтетических фильтрах. Авторами предложен более «традиционный» анализ пробы (качественной или количественной выборки зоопланктона). Это основано на нескольких соображениях. Так, анализ фильтра с eDNA хотя и позволяет оценить видовое богатство (и даже дать некоторые количественные характеристики) пробы, но большой вопрос с какой территории (объёма) были привнесены фрагменты ДНК. Если для малых рек и ручьёв полученный результат будет достаточно объективным, то для водохранилищ (где плотина выступает в виде изолирующей географической преграды) вопрос именно локации будет очень важным. Также открытым остаётся вопрос о скорости деградации тех или иных фрагментов ДНК, сродства фрагментов НК к конкретному сорбенту, защиты от гидролиза макромолекул фрагментами хитина и мембранных структур, неравномерности выхода ДНК из живых и погибших организмов и многие другие вопросы релевантности оценки сообщества через eDNA. Другая проблема, в равной степени относящаяся к любым метагенетическим работам – необходимость дополнительной амплификации целевых фрагментов с использованием тех или иных универсальных праймеров. Так, у беспозвоночных довольно высокая вариабельность в местах гибридизации «традиционных» для ДНК-баркодинга сайтах, поэтому нельзя говорить об «универсальности» праймеров для этой группы животных, а требуется разработка специфичных праймеров для конкретной целевой группы (Sharma, Kobayashi, 2014). Однако, повышая специфичность праймера, например, к Cladocera, уже нельзя будет говорить о какой-либо количественной характеристике (например, соотношении ветвистоусых и веслоногих ракообразных и коловраток) для выборки именно по причине селективности ПЦР.

На основании вышеизложенного, считаем целесообразным проведение тестирования технологии метабаркодинга для мониторинга чужеродных видов ракообразных (для Cladocera) именно в Волжско-Камском регионе. Здесь имеется относительно немного инвайдеров, а таксономическая структура зоопланктона хорошо изучена. Наиболее перспективными локусами были выбраны многокопийные митохондриальные гены COX1 и 16S, а также ядерный 18S. В настоящее время экономически оправданным для массового анализа является использование платформы Illumina (Illumina, Inc.), в частности на базе Illumina NovaSeq6000 (парные чтения по 150 п.н., всего 77 млн чтений). Праймеры, используемые для амплификации коротких «метабаркодных» фрагментов, предложены следующие: COX1\_mlCOIintF: 5'-GGW ACW GGW TGA ACW GTW TAY CCY CC-3' с обратным праймером COX1\_jgHCO2198: 5'-TAI ACY TCI GGR TGI CCR AAR AAY CA-3' (Tm= +48°C) и второй набор COX1\_COI-F230: 5'-GGT CAA CAA ATC ATA AAG ATA TTG G-3' с обратным праймером COX1\_COI-R230: 5'-CTT ATR TTR TTT ATI CGI GGR AAI GC-3' (Tm= +46°C). В качестве дополнительных локусов выбраны фрагменты генов малой митохондриальной (16S) и ядерной (18S) рибосомальной субъединицы с праймерами 16Sar: 5'-CGC CTG TTT ATC AAA AAC AT-3', 16Sbr: 5'-GCC GGT CTG AAC TCA GAT CAC GT-3' (Tm= +50°C) и 18S\_SSU-F04: 5'-GCT TGT CTC AAA GAT TAA GCC-3', 18S\_SSU-R22: 5'-GCC TGC TGC CTT CCT TGG A-3' (Tm= +50°C). Подробный протокол работ описан в публикациях Zhao et al., 2021 и Meredith et al., 2021.

Результат предварительных работ показал, что все наборы праймеров довольно хорошо применимы для ДНК-анализа микроракообразных. Однако, для мониторинга биологических инвазий ценность локусов различна. Так, ПЦР-тестирование праймеров на 18S показало отличный результат, однако вариабельность региона V4 недостаточна для диагностирования видов ракообразных. Этот набор будет вполне актуален для изучения

сообществ и экологических работах по, например, межсезонным сукцессиям в водоёме, или как положительный контроль в мультиплексных работах. Другой рибосомальный локус, митохондриальный 16S имеет достаточную вариабельность для видовой идентификации микроракообразных, однако даёт очень много неспецифичного продукта, особенно от позвоночных (по причине именно своей высокой универсальности и высокой степени контаминации любых проб остатками ДНК человека и животных). Также имеется слишком малый материал сравнения в международных базах генетических данных по изменчивости 16S для разных групп микроракообразных. Поэтому данный локус крайне перспективен для мониторинговых исследований, но требуется большая работа для адаптации праймеров к целевым группам животных, а также накопления базы знаний о изменчивости локуса 16S. Наконец третий, самый популярный у исследователей локус COX1 обладает достаточной изменчивостью для точной видовой идентификации животных и достаточно специфичными универсальными праймерами. Вместе с тем при метабаркодинге пробы зоопланктона возникает проблема необходимой минимальной концентрации матрицы ДНК интересующих организмов. Условно, если в пробе имеется несколько тысяч разных кладоцер, хватит ли разрешающей способности конкретного применяемого метода высокопроизводительного секвенирования для детекции единичной особи вида-вселенца? К сожалению, в большинстве случаев использование COX1 не позволяет выделить единичные последовательности из общего пула массовых видов. Несмотря на проработанные протоколы и руководства частые ложноотрицательные результаты метабаркодинга – это известная проблема исследований, направленных на обнаружение инвазивных или редких видов животных (Guillera-Arroita et al., 2017). К сожалению, адекватных решений этой проблемы до сих пор не выработано (Morais, Reichard, 2018). Повышение числа прочтений NGS частично позволяет увеличить вероятность амплификации таргетной молекулы, но никак не гарантирует этого (зато в разы повышает стоимость работ). Да, можно обогатить коктейль праймеров специфичным набором для повышения надёжности детекции инвазивных видов. Но, в таком случае, дешевле будет использовать ПЦР в реальном времени или цифровую ПЦР для детекции ДНК конкретных животных. Однако, тогда не будет возможности охарактеризовать сообщество зоопланктона и поиск чужеродных видов будет ограничен конкретным списком, тогда как расселение каких-то других зоопланктеров будет упущено. Вероятно, решить дилемму «много – но не точно или точно – но немного» поможет широкое внедрение и удешевление технологии анализа единичных молекул (наиболее перспективное из которых нанопоровое секвенирование), когда можно будет напрямую установить последовательность всех индивидуальных молекул из всей пробы, но пока данная технология для массового анализа фактически недоступна. Другим вариантом может служить поиск новых локусов для метабаркодинговых работ. По мнению авторов, в первую очередь необходимо провести массовое полное секвенирование митохондриальных геномов всех кладоцер хотя бы до рода включительно. Кроме создания качественной базы референсных геномов для таксономических и филогенетических работ, это поможет выделить и подходящие локусы для митогенетики (и последующей митогеномики) водных сообществ. Такая работа начата для основных пресноводных инвайдеров, в частности получены интересные данные для *Podonevadne trigona* (Sars, 1897) (Cladocera: Onychopoda) (Pereboev et al., 2024). К сожалению, в многих геномных работах по мтДНК исследователи игнорируют большой и важный локус – контрольный регион (D-loop). Вместе с тем, например, в repeat-зоне контрольного региона мтДНК у *P. trigona* обнаружены три больших (около 2,5 kb) тандемных повтора, которые могут иметь диагностическую ценность. Возможно, именно

контрольный регион и стоит применить для видовой идентификации кладоцер. В данном случае «затравкой» можно использовать консервативную последовательность гена *trn-P* (пролиновая тРНК), но это, вероятно, больше подходит для методов с эмульсионной ПЦР и требует отдельного тестирования, а также накопления данных о структуре контрольного региона разных видов.

Несмотря на выявленные проблемы, авторы придерживаются точки зрения Мелании Кристеску (Cristescu, 2015) о том, что появление технологий высокопроизводительного секвенирования наряду с доступностью обширных баз данных нуклеотидных последовательностей, созданных в процессе реализации разных проектов штрих-кодирования на основе ДНК, открывает возможность для широкого мониторинга биоразнообразия. Таким образом, применение этих новых возможностей позволит более полно судить об источнике вселения, маршруте инвазии, типе переносчиков, количестве независимых вселений и путях вторичного распространения.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, грант 23-24-00279 (<https://rscf.ru/project/23-24-00279/>).

#### Список литературы

1. Дребуадзе Ю.Ю., Петросян В.Г., Хляп Л.А. (ред.) Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100). М.: КМК, 2018. 688 с.
2. Briski E., Cristescu M.E., Bailey S.A., et al. Use of DNA barcoding to detect invertebrate invasive species from diapausing eggs // *Biol. Invasions*. 2011. Vol. 13. P. 1325-1340.
3. Cristescu M.E. Genetic reconstructions of invasion history // *Mol. Ecol.* 2015. Vol. 24. P. 2212-2225.
4. Guillera-Aroita G., Lahoz-Monfort J.J., Rooyen A.R., et al. Dealing with false-positive and false-negative errors about species occurrence at multiple levels // *Methods Ecol. Evol.* 2017. Vol. 8. P. 1081-1091.
5. Kotov A.A., Karabanov D.P., Van Damme K. Non-indigenous Cladocera (Crustacea: Branchiopoda): from a few notorious cases to a potential global faunal mixing in aquatic ecosystems // *Water*. 2022. Vol. 14. P. 2806.
6. Lazareva V.I. Spreading of alien zooplankton species of Ponto-Caspian origin in the reservoirs of the Volga and Kama Rivers // *Russ. J. Biol. Invasions*. 2019. Vol. 10. P. 328-348.
7. Lazareva V.I., Zhdanova S.M., Sabitova R.Z., et al. Zooplankton of Volga River reservoirs: structure, abundance and dynamics // *Inland Water Biol.* 2024. Vol. 17. P. 148-161.
8. Makhrov A.A., Karabanov D.P., Koduhova Y.V. Genetic methods for the control of alien species // *Russ. J. Biol. Invasions*. 2014. Vol. 5. P. 194-202.
9. Meredith C., Hoffman J., Trebitz A., et al. Evaluating the performance of DNA metabarcoding for assessment of zooplankton communities in Western Lake Superior using multiple markers // *Metabarcod. Metagen.* 2021. Vol. 5. P. 64735.
10. Morais P., Reichard M. Cryptic invasions: a review // *Sci. Total Environ.* 2018. Vol. 613-614. P. 1438-1448.
11. Pereboev D.D., Karabanov D.P., Efeykin B.D. et al. The complete mitogenome of *Podonevadne trigona* (Sars, 1897) (Cladocera: Onychopoda: Podonidae) sheds light on the age of podonid differentiation // *Arthropoda Sel.* 2024. Vol. 33. P.14-24,
12. Sharma P., Kobayashi T. Are “universal” DNA primers really universal? // *J. Appl. Genet.* 2014. Vol. 55. P. 485-496
13. Zhao L., Zhang X., Xu M., et al. DNA metabarcoding of zooplankton communities: species diversity and seasonal variation revealed by 18S rRNA and COI // *PeerJ.* 2021. Vol. 9. P. 11057.

## ПЛОДОВИТОСТЬ МАССОВЫХ ВИДОВ РЫБ (СИНЕЦ, ОКУНЬ, ГУСТЕРА, ПЛОТВА) В ВЕРХНЕМ РАЙОНЕ КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

А.А. Каралаш, В.Н. Житлухина

*Пермский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПермНИРО»), г. Пермь, [karlash@perm.vniro.ru](mailto:karlash@perm.vniro.ru)*

*Аннотация: представлены данные плодовитости массовых видов рыб (синец, окунь, густера, плотва) основных объектов рыболовства в верхнем районе Камского водохранилища (п. Орёл) в 2023 г. и проведены сравнения с литературными данными более ранних годов.*

*Ключевые слова: Камское водохранилище, плодовитость, нерест, синец, окунь, густера, плотва*

Камское водохранилище является самым большим по площади в каскаде водохранилищ, созданных на р. Каме. Водоём расположен в зоне равнинной тайги, с обширной зоной мелководий и 4 крупными притоками (Иньва, Косьва, Обва, Чусовая с Сылвой) (Соловьёва, Зиновьев, 1975).

Верхний район Камского водохранилища интенсивно осваивается рыбным промыслом и любительским рыболовством. Основные объекты промысловых уловов – лещ, судак, щука, синец, плотва, густера, рыбаками-любителями обычно вылавливаются плотва, окунь, густера.

С 2001 г. на Камском водохранилище отсутствуют данные о плодовитости основных видов рыб любительского рыболовства. Показатели количества икры, могут охарактеризовать численность запасов конкретного вида. Важно понимать в каком состоянии на данный момент находится ихтиологические запасы. Показатели плодовитости рыб используется для характеристики рыбопродуктивности водоемов, а также для оценки негативных последствий от деятельности человека на водных объектах.

Цель исследования – проанализировать современные показатели плодовитости рыб (синец, окунь, густера, плотва) Камского водохранилища и сравнение их с результатами более ранних периодов исследований (1967-2001 гг.), дать оценку возможным изменениям плодовитости исследованных видов рыб.

Материалом данной статьи послужили данные, собранные в мае 2023 г. в районе п. Орёл в верхнем районе Камского водохранилища.

Материал был собран в нерестовый период с использованием сетей с ячейёй 16, 18 25, 45, 50 и 60 мм. Для исследования на плодовитость были отобраны самки 4-х видов рыб: синца в количестве 85 экз., окуня – 26 экз., густеры – 22 экз., плотвы – 31 экз. Отбор проб осуществляли на 4 стадии зрелости гонад.

Сбор и обработка биологического материала были выполнены согласно общепринятым ихтиологическим методикам (Правдин, 1966; Решетников, Попова, 2015). Длину рыб измеряли до конца чешуйного покрова (SL) с точностью до 1 мм. Массу рыб определяли с точностью до 1 г. Массу гонад измеряли с точностью 0,1 г. Навески икры были измерены с точностью до 0,01 г. Возраст рыб определялся по чешуе с использованием стереоскопического микроскопа. Полученные результаты обработаны по стандартным статистическим методикам (Плохинский, 1980). Вычисления осуществлялись с помощью программы Microsoft Excel и PAST 4.09.

### *Условия воспроизводства рыб в 2023 г.*

Нерест рыб на Камском водохранилище в 2023 г. так же, как и в 2022 г. начался позднее (на 7-10 дней) средних сроков наблюдений за 2014-2021 гг. Прогрев воды для оптимальных для нереста температур наблюдался в водохранилище повсеместно к моменту начала затопления нерестилищ фитофильных видов рыб (10-15 мая). При этом нерест был достаточно растянутым и к последней декаде мая у большинства массовых видов еще не завершился. На 13 мая отмечались текущие самки и самцы синца, пик нереста этого вида пришелся на 15-17 мая, где основная часть особей в уловах представляла текущую (5) стадию. У окуня и плотвы нерест начался 14 мая, до этого все особи были на 3-й и 4-й стадии зрелости. Нерест густеры начался позже, с 16-17 мая. Это связано с тем, что вода была недостаточно прогрета, так как в период с 13-15 мая ночью ещё были заморозки, днём чаще всего наблюдалась ветреная и дождливая погода.

На Камском водохранилище самки *синца* становятся половозрелыми на 6 году жизни. Максимальный возраст половозрелой особи в этом году – 15 лет, но это не является пределом, в 2022 г. в научных уловах были пойманы 3 особи на 4 стадии зрелости в возрасте 16 лет (Казаринов и др., 2023). Массовое половое созревание у самок синца наблюдается в 7-8 возрасте.

Индивидуальная абсолютная плодовитость (ИАП) синца в 2023 г. варьировала от 23,1 до 62,5 тыс. икринок, а индивидуальная относительная плодовитость (ИОП) была в пределах от 108,5 до 167,0 икр./г (табл.). В более ранний период исследований (1999-2001 гг.) ИАП синца составила от 20,3 до 78 тыс. икр., ИОП – от 55 до 162 икр./г (Мельникова и др., 2007). Таким образом, за последние 20 лет существенного изменения плодовитости синца не отмечено.

*Окунь* – один из видов, который преобладал после образования Камского водохранилища (Дубова, Соловьёва, 1965). Этот вид и в последствии показывал своё преобладание и являлся основой промысла всех последующих лет, составляя до 80% от улова любительского рыболовства. Созревание самок окуня начинается с возраста 4 лет, с возраста 5 лет наступает массовая половозрелость. В исследовательских уловах весной 2023 г. отмечены самки окуня в возрасте от 5 до 12, все они были половозрелыми. На Камском водохранилище самки старше 12 лет встречаются редко в единичных экземплярах.

Данные, указанные в статье А. Г. Мельниковой с соавт. (2007) максимальные значения абсолютной плодовитости – 39,7 тыс. икринок, Относительной плодовитости – 147 икр./г. В 2023 году, ИАП окуня варьировала в пределах 11,4-79,2 тыс. икринок (в среднем – 42,5 тыс. икринок), ИОП – от 149,6 до 202,7 икр./г (в среднем – 190,5 икр./г).

В Камском водохранилище в 2023 г. *густера* в сравнении с другими рассмотренными основными объектами рыболовства является не многочисленным видом. В среднем самки достигают половой зрелости в 7 лет, в редких случаях в 6, по данным Ю.А. Пушкина (1965) самки густеры становятся половозрелыми при достижении длины 18 см. По данным, собранным в 2023 г. минимальный возраст половозрелых самок густеры, составил 7 лет при длине 18-19 см, максимальный возраст половозрелой самки на Камском водохранилище составил 13 лет.

Индивидуальная абсолютная плодовитость у особей в возрасте от 7 до 13 лет варьирует в пределах 48,0-179,3 тыс. икринок. При сравнение свежих данных по ИАП у густеры при длине 265 мм плодовитость составляет 179,3 тыс. икринок, когда в данных Ю. А. Пушкина (1965) при этой же длине плодовитость – 143,9 тыс. икринок. Индивидуальная относительная плодовитость в 2023 г. колеблется в пределах 327,4-549,3 икр./г.

*Плотва* в первые два года после зарегулирования стока ловилась в возрасте с 6 до 11 лет. По результатам исследований в Камском водохранилище самки становятся половозрелыми с 5 лет, максимальный зарегистрированный возраст в 2023 г. – 15 лет. Плотва в возрасте 15 лет встречается не ежегодно и в единичных экземплярах (Дубова, Соловьёва, 1965; Мельникова и др., 2007).

ИАП плотвы в 2023 г. варьировал в пределах от 7,7 до 68,5 тыс. икринок (в среднем – 35,1 тыс. икринок), а ИОП – 125,8-215,3 икр./г (в среднем – 164,3 икр./г). В более ранний период исследований (1999-2001 гг.) ИАП плотвы составила в среднем 25,0 тыс. икр., ИОП – 137 икр./г (Мельникова, 2007).

Такие существенные изменения у густеры, плотвы и окуня произошли в связи с тем, что после образования водохранилища улучшились условия нагула и жизни рыб.

Таким образом, при сравнении современных данных с результатами более ранних исследований (1967-2001 гг.), можно отметить, что возраст половозрелых частиковых видов рыб в последнее время увеличился. Для таких видов, как окунь, плотва и густера можно отметить увеличение индивидуальной абсолютной и относительной плодовитости, что показывает улучшение состояния ихтиологического запаса основных видов любительского рыболовства. Возраст созревания синца, а также показатели плодовитости существенно не изменились.

Таблица. Показатели плодовитости массовых видов рыб

Возраст	Синец			Окунь			Густера			Плотва		
	ИАП, тыс. икр.	ИОП, икр/г	Ср. длина Ср. масса	ИАП, тыс. икр.	ИОП, икр/г	Ср. длина Ср. масса	ИАП, тыс. икр.	ИОП, икр/г	Ср. длина Ср. масса	ИАП, тыс. икр.	ИОП, икр/г	Ср. длина Ср. масса
5	–	–	–	11,4 (1)	436,8	<u>130,0</u> 34,0	–	–	–	<u>7,7 – 10,1</u> 8,9 (2)	<u>165,8 – 179,2</u> 172,5	<u>147,5</u> 65,0
6	<u>23,1 – 24,2</u> 23,7 (2)	<u>108,5 – 120,0</u> 114,3	<u>244,5</u> 254,5	<u>16,4 – 16,8</u> 16,6 (2)	<u>184,4 – 277,8</u> 231,1	<u>175,5</u> 102,0	–	–	–	<u>10,4 – 10,7</u> 10,6 (2)	<u>167,7 – 189,3</u> 178,5	<u>160,5</u> 78,0
7	<u>15,2 – 45,8</u> 25,0 (24)	<u>64,1 – 145,1</u> 106,2	<u>255,2</u> 279,0	35,1 (1)	175,3	<u>225,0</u> 265,0	<u>48,0 – 77,0</u> 61,1 (5)	<u>377,0 – 409,4</u> 386,1	<u>188,2</u> 187,6	<u>12,9 – 13,1</u> 13,0 (3)	<u>155,8 – 201,2</u> 182,3	<u>168,3</u> 97,0
8	<u>16,0 – 41,1</u> 29,0 (17)	<u>71,2 – 149,8</u> 113,2	<u>264,3</u> 307,4	<u>20,9 – 35,5</u> 28,4 (4)	<u>149,6 – 184,1</u> 159,8	<u>226,3</u> 232,5	<u>71,1 – 93,5</u> 84,7 (3)	<u>327,4 – 421,2</u> 389,9	<u>214,0</u> 254,0	<u>12,2 – 14,7</u> 13,5 (2)	<u>135,9 – 158,3</u> 147,1	<u>186,0</u> 115,0
9	<u>28,0 – 49,9</u> 39,6 (12)	<u>84,2 – 167,0</u> 124,6	<u>287,3</u> 396,8	<u>34,9 – 41,9</u> 38,3 (5)	<u>177,3 – 199,3</u> 187,7	<u>237,6</u> 274,0	<u>83,8 – 114,8</u> 98,8 (6)	<u>369,6 – 463,6</u> 402,5	<u>226,7</u> 303,3	<u>24,5 – 26,0</u> 25,2 (2)	<u>134,0 – 137,4</u> 135,7	<u>212,5</u> 232,0
10	<u>33,9 – 54,8</u> 43,9 (12)	<u>99,6 – 163,7</u> 129,7	<u>293,1</u> 421,2	<u>35,7 – 57,6</u> 48,3 (7)	<u>154,7 – 202,7</u> 176,7	<u>264,0</u> 376,3	<u>110,9 – 137,7</u> 121,6 (3)	<u>429,9 – 450,1</u> 442,6	<u>233,7</u> 346,3	<u>27,1 – 32,2</u> 29,7 (3)	<u>125,8 – 138,8</u> 133,2	<u>227,3</u> 293,7
11	<u>41,9 – 59,5</u> 48,2 (8)	<u>119,8 – 155,4</u> 134,6	<u>297,4</u> 447,6	<u>47,5 – 68,2</u> 58,6 (4)	<u>154,1 – 191,6</u> 175,3	<u>287,8</u> 471,5	<u>126,3 – 138,4</u> 132,3 (2)	<u>544,7 – 549,3</u> 547,0	<u>236,0</u> 306,5	<u>31,4 – 35,8</u> 33,3 (4)	<u>136,9 – 147,7</u> 140,1	<u>238,3</u> 308,5
12	<u>48,3 – 62,0</u> 57,4 (4)	<u>126,4 – 158,9</u> 138,1	<u>316,4</u> 526,4	<u>67,3 – 79,2</u> 73,3 (2)	<u>170,9 – 190,9</u> 180,9	<u>306,0</u> 577,0	<u>153,2 – 177,1</u> 165,1 (2)	<u>461,1 – 515,7</u> 488,4	<u>253,0</u> 439,5	<u>45,2 – 60,1</u> 51,3 (5)	<u>144,2 – 197,5</u> 170,0	<u>253,8</u> 402,6
13	<u>55,0 – 56,3</u> 55,6 (2)	<u>118,5 – 146,1</u> 132,3	<u>322,5</u> 516,5	–	–	–	179,3 (1)	459,7	<u>265,0</u> 510,0	<u>46,1 – 57,4</u> 52,8 (5)	<u>143,8 – 204,2</u> 172,0	<u>266,4</u> 413,2
14	<u>47,3 – 73,5</u> 61,2 (3)	<u>108,3 – 161,1</u> 128,5	<u>328,3</u> 586,7	–	–	–	–	–	–	<u>59,6 – 68,5</u> 62,9 (3)	<u>189,2 – 215,3</u> 203,4	<u>261,7</u> 423,0
15	62,5 (1)	143,8	<u>330,0</u> 580,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Среднее знач. и ошибка среднего	36,8±1,5	119,8±2,6	–	42,5±3,3	190,5±11	–	104,2±7,9	426,1±12,3	–	35,1±3,4	164,3±4,6	–

Примечание: над чертой – пределы варьирования (min-max), под чертой – среднее арифметическое значение показателя (M), в скобках – количество рыб.

### Список литературы

1. Дубова Т.В., Соловьева Н.С. Формирование Ихтиофауны в Камских водохранилищах // Учёные записки №125. Биология. Ихтиологическая и гидробиологическая характеристика Камских водохранилищ. Пермь, 1965. С. 5-22.
2. Казаринов С.Н., Каралаш А.А., Комарова Л. В., Бакланов М. А., Поносов С. В., Репродуктивные характеристик синца *Ballerus ballerus* (Linnaeus, 1758) Камского водохранилища // Вестник Пермского университета. Биология. Пермь, 2023. Выпуск 1. С. 40-50.
3. Мельникова А.Г., Костицын В.Г., Коняев В.П., Истомина С.Г., Поносов С.В. Современное состояние ихтиофауны Камского и Воткинского водохранилищ и особенности её промышленной эксплуатации // Современное состояние, проблемы охраны и рационального использования биоресурсов пресноводных водоёмов : Сборник научных трудов. СПб., 2007. Т. 4. С. 3-38.
4. Плохинский Н.А. Алгоритмы биометрии. М.: Изд-во МГУ, 1980. 150 с.
5. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.
6. Пушкин Ю.А. Густера Камского водохранилища // Учёные записки №125. Биология. Ихтиологическая и гидробиологическая характеристика Камских водохранилищ. Пермь, 1965. С. 69-78.
7. Решетников Ю.С., Попова О.А. О методиках полевых ихтиологических исследований и точности получения результатов // Водные биологические ресурсы. Труды ВНИРО. 2015. Т. 156. С. 114-131.
8. Соловьёв Н.С., Зиновьев Е.А. Камское водохранилище // Изв. ГосНИОРХ. 1975. Вып. 102. С. 1.

## ИСТОРИЯ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ ЯКУТИИ

Л.Н. Карпова, Е.С. Горохова

*Якутский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ЯкутскНИРО»), г. Якутск,  
[l.karpova@yakutsk.vniro.ru](mailto:l.karpova@yakutsk.vniro.ru), [e.gorohova@yakutsk.vniro.ru](mailto:e.gorohova@yakutsk.vniro.ru)*

*Аннотация: первые научные сведения о рыбах появились в трудах ученых, исследовавших Якутию в девятнадцатом веке. Они носили в основном описательный характер и основывались на информации полученных у местных жителей. Целенаправленные рыбохозяйственные исследования водоемов начались одновременно со становлением и развитием рыбной промышленности советской Якутии.*

Ключевые слова: Якутия, рыбохозяйственная наука, рыболовство, промысел

Промысел рыбы издавна занимал важное место в жизни населения Якутии. Рыба обеспечивала пропитание населения, использовалась в качестве корма для ездовых собак и приманки для пушных зверей, шла на продажу. В XVII в. стали появляться люди, профессионально занимающиеся рыболовством. В конце XIX в, наиболее богатые неводные участки стали сдаваться с публичных торгов и вводится плата за вылов в тех местах.

Первые научные сведения о рыбах появились в трудах ученых, исследовавших Якутию в девятнадцатом веке. Они носили в основном описательный характер и основывались на информации полученных у местных жителей.

Целенаправленные рыбохозяйственные исследования водоемов начались одновременно со становлением и развитием рыбной промышленности советской Якутии. Так, научными сотрудниками рыбопромысловых отрядов Якутской комплексной экспедиции были проведены исследования на реках Лена и Колыма в 1925-1929 гг. (В.К. Есипов, П.Г. Борисов, П.А. Дрягин, Н.Ф. Кузнецов, П.Л. Пирожников).

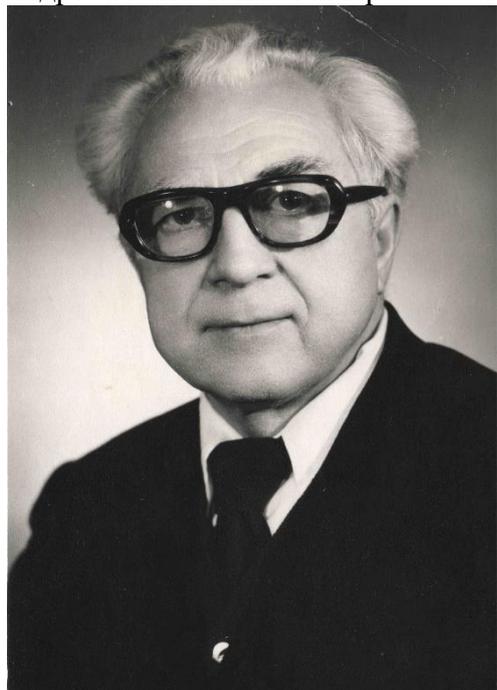
В 1930 г. вышел из печати первый выпуск трудов Якутской рыбохозяйственной станции, который ознаменовал собой начало периодического освещения сведений об ихтиофауне и рыбном хозяйстве Якутии.

В 1939 г. с открытием Тиксинского и Индигирского опорных промыслово-биологических пунктов Института полярного земледелия Главного управления Северного морского пути проводились фаунистические исследования в Быковской протоке дельты р. Лена, в заливе Неелова и в бухте Тикси, дельте р. Индигирка.

С образованием в 1943 г. Якутского отделения Всесоюзного научно-исследовательского института озёрного и речного рыбного хозяйства (ВНИОРХ) ихтиологические работы стали проводиться на реках Яна, Индигирка, Анабар, озерах Вилюйской низменности, особое внимание уделялось нижнему течению и дельте р. Лена.

В 1947 г. в Якутии создана база АН СССР. В 1950 г. открыт Якутский филиал АН СССР. В 1952 г. образован Институт биологии ЯФ СО АН СССР. В 1960 г. в Институте биологии создана лаборатория ихтиологии под руководством Ф.Н. Кириллова.

Ф.Н. Кириллов – выдающийся ученый, основатель ихтиологического и гидробиологического направлений якутской науки (рис.). В Якутию молодой специалист



приехал в 1939 г. работать в Якутском отделении ВНИОРХ и последующие 58 лет его жизни были посвящены любимому делу – изучению жизни рыб Арктики в арктических и приарктических районах страны. Под его руководством проведено изучение биологии рыб Яны, что позволило в янских озерах акклиматизировать карася, начались работы по изучению ихтиофауны и гидробиологии рек Вилюй и Оленек, озер Колымо-Индибирской низменности, что дало возможность оценить перспективу их рыбохозяйственного использования. Ф.Н. Кириллов является автором работы «Рыбы Якутии» – настольной книги работников рыбной отрасли Якутии. Еще одна его фундаментальная работа «Биология Вилюйского водохранилища» является образцом комплексного широкомасштабного исследования динамики рыбного населения, гидробиологии и гидрохимии вновь образованного крупнейшего водохранилища на Севере.

Рисунок. Ф.Н. Кириллов

Им опубликовано более 60 научных работ, наиболее крупными из них являются: «Рыбы реки Индигирки» (1955), «Ихтиофауна бассейна Вилюя» (1962), «Рыбы среднего течения реки Лены» (1956), «Фауна рыб и беспозвоночных реки Вилюй» (1962), «Рыбы реки Колымы» (1966). Также он принимал активное участие в разработке научных основ ведения рыбного хозяйства республики – разработке и совершенствованию «Правил рыболовства в водоемах Якутской АССР и реки Колыма», «Правил рыболовства на Вилюйском водохранилище» и т.д. Вносил научные обоснования по развитию рыбодобычи. Это он обосновал запретные зоны в дельтах основных рек Якутии – Лены, Яны, Индигирки и Колымы.

С появлением в Якутии Академии наук СССР к 1960 г. сформировались академическая и прикладная ихтиологические науки. Известными ихтиологами, гидробиологами и гидрохимиками проводились исследования в бассейнах всех рек Якутии, в том числе и на крупнейших группах озер. Полный список опубликованных трудов напечатан в библиографическом указателе «Животный мир Якутии» за 1948-1980 гг.

С середины 1960-х до середины 1990-х гг. основной рыбохозяйственной научной организацией в Якутской АССР было Якутское отделение СибНИИРХа. Сотрудниками этого отделения (К.Н. Титова, Ю.П. Ларионов, А.С. Дормидонтов и др.) был внесен значительный вклад в исследование рыбных ресурсов Якутии, научные труды которых остаются востребованными и в настоящее время.

В середине 1990-х гг. отлаженная система добычи, изучения и охраны водных биоресурсов развалилась. Произошел распад крупных рыбодобывающих организаций и возникновения множества мелких предприятий, занимающихся в основном бесконтрольным ловом рыбы. Резкое увеличение рыбопользователей в массе своей не обладающих финансовой и материально-технической промышленной базой привело к вылову легкодоступных ценных полупроходных сиговых и сокрытию значительного количества пойманной рыбы.

С ликвидацией рыбохозяйственных и рыбоохранных учреждений ихтиологические исследования по изучению запасов рыб были сведены к минимуму. Прекращение мониторинговых исследований состояния рыбных популяций, хищнический вылов сиговых видов и отсутствие надлежащего контроля привело к подрыву промысловых запасов, снижению уловов и замене в ихтиоценозах ценных рыб малоценными. Отсутствие единого управления рыбной отраслью, раздробленность рыбодобывающих предприятий сказались на вылове рыбы, который сократился в конце 1990-х гг. до 3152 т.

К 2010 г. в Республике Саха (Якутия) добыча (вылов), сохранение и воспроизводство водных биологических ресурсов и их среды обитания обеспечивалось Министерством охраны природы Республики Саха (Якутия), Министерством сельского хозяйства Республики Саха (Якутия), территориальным управлением Росрыболовства, ФГУ «Якутрыбвод» и ГУП «Чернышевский рыболовный завод». Научное обеспечение рыбохозяйственной отрасли производилось различными научно-исследовательскими организациями на договорных условиях и было ограничено лишь оценкой запасов основных промысловых видов рыб.

Исходя из существующих основных проблем отрасли, возникла необходимость открытия в 2010 г. Якутского филиала ФГУП «Госрыбцентр», для научного сопровождения по всем направлениям рыбного хозяйства в Республике Саха (Якутия). Основная цель создания Якутского филиала – научное обеспечение рыбохозяйственного комплекса на территории Республики Саха (Якутия), выполнение ежегодного государственного мониторинга запасов водных биоресурсов и их среды обитания.

В 2018 г. Якутский филиал ФГУП «Госрыбцентр» приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 23.07.2018 № 322 реорганизован в Якутский филиал ФГБНУ «ВНИРО».

С самого начала становления Якутского филиала его руководителем является Карпова Лена Николаевна. Старейшим научным сотрудником, внёсшим значительный научный вклад в развитие рыбохозяйственной науки Республики Саха (Якутия), является Александр Федорович Кириллов – сын Федора Николаевича Кириллова, который продолжает нелегкий труд своего отца.

#### Список литературы

1. Кириллов А.Ф. Промысловые рыбы Якутии. М.: Научный мир, 2002. 194 с.
2. Кириллов Ф.Н. Рыбы Якутии. М.: Наука, 1972. 360 с.

## ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ СИГА КУРШСКОГО И ФИНСКОГО ЗАЛИВОВ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО ИЗМЕНЧИВОСТИ мтДНК

М.Н. Киселева, Д.К. Митрюшкина, О.В. Апаликова

Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, [marina.marinakisel@yandex.ru](mailto:marina.marinakisel@yandex.ru)

Аннотация: данные о внутривидовой генетической структуре сига (*Coregonus lavaretus*) являются важным этапом оценки эффективности мер по сохранению биологического разнообразия, поддержание которого остается приоритетной задачей искусственного воспроизводства запасов сига. В данной работе приведен сравнительный анализ гаплотипического разнообразия европейского сига, который осуществляется на посадочном материале от производителей из восточной части Финского залива в пределах Ленинградской области и Куршского залива в границах Калининградской области.

Ключевые слова: мтДНК, балтийский сиг, ПЦР-ПДРФ, Куршская коса, искусственное воспроизводство

Сиг (*Coregonus lavaretus*, L.), область распространения которого включает Балтийское море, является одним из наиболее ценных промысловых объектов северо-запада России. Нагуливаясь в Балтийском море, сиг заходит на нерест в Куршский залив. На протяжении длительного времени сиг являлся важным компонентом промысловой ихтиофауны Куршского залива. В связи с эвтрофикацией залива и заилением естественных нерестилищ, а также антропогенной нагрузкой, в настоящее время, его численность значительно сократилась (Гущин, 2013).

Для восстановления запасов сига принимаются меры по искусственному воспроизводству и выпуску молоди в акваторию Куршского залива Балтийского моря (Шибав и др., 2022). Проведение генетического мониторинга выпускаемой молоди в настоящее время начинает входить в практику искусственного воспроизводства сига. При выполнении мероприятий по сохранению генетических ресурсов диких популяций водных биоресурсов требуется учитывать следующее: выпускаемая молодь по своим генетическим характеристикам не должна отличаться от особей, живущих в этом водоеме (ФАО, 2022).

Целью работы было формирование панели информативных маркеров для осуществления работ по гаплотипированию значительных по объемам выборок из ремонтно-маточных стад сига европейского в рыбоводных хозяйствах северо-западного региона России.

Основная задача исследования заключается в проведении сравнительного анализа данных, полученных при гаплотипировании сига из Куршского залива в границах Калининградской области, а также сига Финского залива.

Материалом для исследований изменчивости мтДНК послужили 69 коллекционных образца тканей трех выборок: ремонтно-маточного стада сига европейского, сформированного для искусственного воспроизводства от производителей, выловленных в Финском заливе, в количестве 34 штук, из которых 15 образцов 2021 г., 19 образцов – 2024 г., а также 35 коллекционных образцов выборки из ремонтно-маточного стада сига Калининградской области. Места и время отбора проб указаны в табл 1.

Отобранные пробы фиксировали в 96 % спирте и хранили в морозильной камере, при  $-20^{\circ}\text{C}$ , что необходимо для длительного хранения образцов тканей.

Работа проводилась в несколько этапов: 1) выделение препарата суммарной ДНК 2) полимеразная цепная реакция (ПЦР) 3) рестрикционный анализ 4) электрофорез на всех этапах исследования, начиная с выделения ДНК (рис.1).

Таблица 1. Место и время сбора тканей сига

Выборка сига	Сроки поступления в коллекцию	Место отбора	Кол-во (шт.)
РМС «Балтийский сиг Финского залива» (БСФЗ)	2021	ООО «Форват. Центр технологий разведения сиговых рыб. Сиговый питомник»	15
РМС «Балтийский сиг Финского залива» (БСФЗ)	2024	ООО «Форват. Центр технологий разведения сиговых рыб. Сиговый питомник»	19
РМС «Балтийский сиг Куршского залива» (БСКЗ)	2024	ООО «Форват. Центр технологий разведения сиговых рыб. Сиговый питомник»	35



Рисунок 1. Общая схема исследования

Выделение и очистку тотальной ДНК из зафиксированных в 95% этаноле проб тканей сига осуществляли солевым методом (Aljanabi, 1997). ПЦР целевого участка митохондриального генома (ND1/ND2) сига размером 2295 п.н., включающего гены субъединиц надоксиддегидрогеназы 1 и 2 и расположенные между ними транспортные РНК, проводили с использованием праймеров, разработанных для гаплотипирования сиговых видов рыб по этому целевому участку мтДНК: ND1-2\_IF (5' – GTTCAAACCCTCTCCTTAGC–3') и ND1-2\_IR (5'– TCCAAGAACCAGAATCACGATAG – 3'). Полимеразную цепную реакцию проводили в амплификаторе Biorad T100 MyCycler в 20 мкл реакционной смеси, содержащей 1 е.а. Taq ДНК-полимеразы, 2,5 мкл 10 ×Taq-буфера, 1 mM каждого dNTP, 0,25 мкМ каждого праймера и около 50 нг геномной ДНК. Программа полимеразной цепной реакции включала следующие этапы: предварительная денатурация при 95 °С (30 с); 29 циклов, включающих денатурацию цепей при 95 °С (20 с), отжиг праймеров при 58 °С (20 с) и элонгацию при 72 °С (2,10 мин.); заключительный цикл элонгации при 72 °С (5 мин.).

Проведен ПЦР-ПДРФ анализ нуклеотидной последовательности участка ND1-2 мтДНК размером 2295 п.н. Выбор участка мтДНК обусловлен тем, что большая часть внутривидового полиморфизма локализуется ближе к фрагменту ND2, что было заметно

при построении большинства карт рестрикции. Реакции эндонуклеазного гидролиза амплифицированного фрагмента проб сига проведены четырьмя ферментами: *AluI*, *ApaI*, *BmeI8I*, *Kzo9I*, которые были предварительно подобраны при помощи компьютерного моделирования (Национальный центр биотехнологической информации. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov>, *Nebcutter* 3.0. URL: <https://nc3.neb.com/NEBcutter/> ).

В результате анализа электрофоретических спектров продуктов рестрикции, сопоставления теоретических и реальных электрофореграмм были составлены комплексные гаплотипы каждой пробы, включенной в исследование. Так, на основе выявленного полиморфизма в сайтах рестрикции к отобраным рестриктазам среди исследованных особей сига всего было выявлено 9 гаплотипов в участке ND1-ND2 мтДНК (2295 п.н). В выборке РМС «Балтийский сиг Финского залива» было выявлено 7 гаплотипов, тогда как в выборке РМС «Балтийский сиг Куршского залива» было выявлено всего 3 гаплотипа, один из которых отмечен у значительной доли исследованных рыб и является общим для обеих выборок. Данные о частоте встречаемости гаплотипов в исследованных выборках указаны в табл. 2, также были построены диаграммы процентного соотношения гаплотипов в выборках (рис. 2). Порядок букв в комплексном гаплотипе соответствует порядку использованных в анализе рестриктаз.

Таблица 2. Комплексные гаплотипы сига и частота их встречаемости в исследованных выборках

Гаплотип	Частота встречаемости (кол-во образцов с данным гаплотипом в выборке)	
	РМС «Балтийский сиг Финского залива» (БСФЗ) (N= 34)	РМС «Балтийский сиг Куршского залива» (БСКЗ) (N= 35)
ВААС	7	-
СААС	11	-
АААА	7	-
ВАСА	2	-
ВААА	4	19
ВСДА	2	-
ВААD	1	-
ВВАА	-	8
ААВА	-	8

Важно отметить, что два из трех гаплотипов, обнаруженных у сига из Куршского залива, не выявлены среди сигов Финского залива. Следовательно, эти данные могут положены в основу генетической дифференцировки двух географически удаленных субпопуляций сига Балтийского моря.

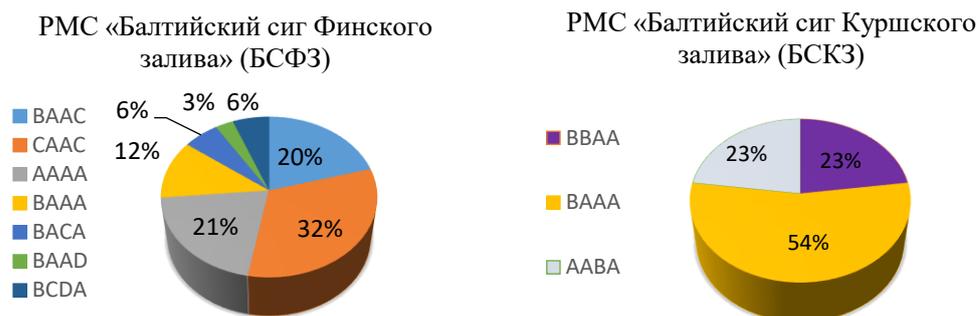


Рисунок 2. Диаграммы частот встречаемости комплексных гаплотипов в исследованных выборках сига

Главной целью в области охраны природы является предотвращение или минимизация негативного воздействия на окружающую среду, в том числе на природные объекты с повышенной уязвимостью и объекты, защита и сохранение которых имеет особое значение. Восстановление водных биоресурсов стало важным направлением деятельности, которая должна оказать благоприятное воздействие на состояние популяции сига и увеличение его уловов, что не может осуществляться без генетического контроля мероприятий, связанных с искусственным воспроизводством популяций балтийского сига.

#### Список литературы

1. Гущин А.В., Баранов В.А., Дюшков Е.Е., Молчанова Н.С., Полунина Ю.Ю. Зимние исследования нерестилищ сига в Куршском заливе в 2011 году // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса». Калининград: Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 2013. С. 70-79.
2. Национальный центр биотехнологической информации [Электронный ресурс] : URL:<https://www.ncbi.nlm.nih.gov>.
3. ФАО. Глобальный план действий по сохранению, устойчивому использованию и освоению водных генетических ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. Рим, 2022. <https://doi.org/10.4060/cb9905ru>.
4. Шibaев С.В., Шibaев Л.В., Малиновский В.Г. Эффективность искусственного воспроизводства сига (*Coregonus lavaretus* L.) Куршского залива Балтийского моря // Рыбное хозяйство. 2022. № 4. С. 81-85.
5. Aljanabi S.M., Martinez I. Universal and rapid salt-extraction of high quality genomic DNA for PCR-based techniques // Nuc. Acid. Res. 1997. Vol. 25, № 22. P. 4692-4693.
6. Nebcutter 3.0 [Электронный ресурс]: URL: <https://nc3.neb.com/NEBcutter/>.

## ОСОБЕННОСТИ ИХТИОЭКОМОРФ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ЕГО ПРИТОКОВ

И.А. Кияшко\*, В.В. Кияшко\*\*, Ю.А. Малинина\*\*\*

\*ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» («СГТУ имени Гагарина Ю.А.»), г. Саратов, [kiyashko\\_81@list.ru](mailto:kiyashko_81@list.ru)

\*\* Саратовский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («СаратовНИРО»), г. Саратов, [kiiashkovv@saratov.vniro.ru](mailto:kiiashkovv@saratov.vniro.ru)

\*\*\* Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), г. Санкт-Петербург, [malinina\\_yua@niorh.vniro.ru](mailto:malinina_yua@niorh.vniro.ru)

Аннотация: проведен сравнительный анализ ихтиоэкоморф Волгоградского водохранилища и основных притоков. Отмечено убывание энтропийного индекса для структуры ихтиоэкоморф, выделенных по принципу преобладающего местообитания. Изменение индекса для структуры ихтиоэкоморф, выделенных по особенностям размножения, также имеет тенденцию к увеличению в сторону водохранилища и левобережных притоков.

Ключевые слова: Ихтиофауна, Волгоградское водохранилища и его притоки, ихтиоэкоморфы, динамика энтропийного индекса

Во второй половине XX столетия многие реки были подвергнуты наиболее мощному из всех известных антропогенных воздействий – русловому зарегулированию. Это привело к созданию на р. Волга каскада крупных водохранилищ, что коренным образом изменило гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режимы водных объектов и стало наиболее значимыми для экосистем бассейна и природно-ландшафтных комплексов (Shashulovsky, Malinina, Kiyashko, 2022).

По мере формирования новых условий Волгоградского водохранилища, также произошла трансформация ихтиоценозов его притоков, которые представляют особый научно-практический интерес. В настоящее время еще не в полной мере разработаны методы наблюдений за состоянием малых водотоков. Недостаточность информации затрудняет разработку мероприятий по охране и защите водной среды от загрязнений (Чермных, 2004). Подобные исследования могут дать новые данные для понимания глобальных процессов и механизмов, происходящих внутри водохранилища, таких как изменение глубин, в том числе обмеление, зарастание мелководий и заиливание участков с малой проточностью (Небольсина, Мосияш, 1995; Михаленко и др., 2009).

Река Волга, протекающая по Саратовской области с севера на юг, разделяя ее на две части: Правобережную и Левобережную. Преобладающая часть водного зеркала водохранилища образована за счет затопления левобережной поймы р.Волги. В правой части пойма не выражена, площадь мелководья незначительна. К Волжскому бассейну относится большая часть рек левобережья – Заволжья (Большой Иргиз, Малый Иргиз, Большой Караман, Малый Караман, Еруслан и др.) и часть рек Правобережья (Терса, Терешка, Чардым, Курдюм и др.).

Изменения в экосистеме можно охарактеризовать с помощью функций распределения видов по обилию и расчетом индексов, не связанных с определенным статистическим распределением. Эти индексы являются функцией видовой структуры и их называют индексами разнообразия. С их помощью характеризуют многокомпонентную видовую структуру сообщества одним числом. Вместе с тем имеется достаточного количество работ, объединяющих водные организмы в группы, в основе которых лежат различные черты экологического и морфологического сходства. В иностранной литературе

в основном работы посвящены влиянию абиотических и биотических факторов среды на распределение рыб в различных экотипах (Peter, Paulovits, Gabor, 1994; Levegue, 1995; Litvinov, Gorman, Cangeux, 1995).

Ихтиологический материал собирали весной (май – июнь), летом (август), осенью (октябрь) и зимой (февраль) с 2019 по 2020 г. в реках Правобережья: Чардым, Курдюм и Левобережья: Большой Иргиз, Малый Караман.

Определение видового состава ихтиофауны осуществляли на основе контрольных обловов и изучении уловов рыболовов-любителей. Таксономическую принадлежность рыб устанавливали по определителю А.Ф. Коблицкой (1981) с учетом уточнений изменений таксономических категорий и латинских названий рыб (Аннотированный каталог..., 1998; Атлас пресноводных рыб..., 2002 а, б).

Опираясь на исследования В.А. Шашуловского (2006), ихтиофауна Волгоградского водохранилища и его притоков, была разделена на группы (ихтиоэкоморфы) по функционально-экологическим принципам: преобладающему местообитанию, особенностям размножения, характеру питания.

Для анализа структуры ихтиоэкоморф водохранилища и его притоков использовали энтропийный показатель К. Шеннона (1963), характеризующий разнообразие и выравненность структуры сообществ.

В последние годы рыбное население Волгоградского водохранилища насчитывает 56 видов. По характеру икрометания широкое развитие получила группа фитофильных рыб. Остальные экологические группы представлены единичными видами. По характеру питания преобладают бентофаги, планктофаги – малочисленны (Шашуловский, 2006).

Ихтиофауна исследованных притоков водохранилища насчитывает 34 вида рыб, относящихся к 8 отрядам, 11 семействам. Наиболее многочисленны карповые (табл. 1).

Таблица. Состав ихтиофауны притоков Волгоградского водохранилища

Вид и его таксономическое положение	Относительная численность			
	Реки Правобережья		Реки Левобережья	
	Чардым	Курдюм	Б. Иргиз	М. Караман
<b>Класс I. Osteichthyes - Костные рыбы</b>				
<b>Отряд I. Clupeiformes - Сельдеобразные</b>				
<b>Сем. 1. Clupeidae Cuvier, 1816 - Сельдевые</b>				
1. <i>Clupeonella cultriventris</i> (Nordmann, 1840) - черноморско-каспийская тюлька			+++	
<b>Отряд II. Esociformes - Щукообразные</b>				
<b>Сем. 2. Esocidae Cuvier, 1816 - Щуковые</b>				
2. <i>Esox lucius</i> Linnaeus, 1758 - обыкновенная щука	+++	+++	++++	++++
<b>Отряд III. Cypriniformes - Карпообразные</b>				
<b>Сем. 4. Cyprinidae Bonaparte, 1832 – Карповые</b>				
3. <i>Abramis ballerus</i> (Linnaeus, 1758) – синец			+	
4. <i>Abramis brama</i> (Linnaeus, 1758) – лещ	++		++++	++++
5. <i>Alburnus alburnus</i> (Linnaeus, 1758) – уклейка (уклея)	+++++	+++++	+++++	+++++
6. <i>Aristichthys nobilis</i> (Richardson, 1846) – пестрый толстолобик			+	
7. <i>Aspius aspius</i> (Linnaeus, 1758) – обыкновенный жерех	++		++	++
8. <i>Blicca bjoerkna</i> (Linnaeus, 1758) – густера	+++	++++	++++	++++
9. <i>Carassius auratus gibelio</i> (Bloch, 1782) - серебряный карась	+++++	+++++	++++	+++++

Вид и его таксономическое положение	Относительная численность			
	Реки Правобережья		Реки Левобережья	
	Чардым	Курдюм	Б. Иргиз	М. Караман
10. <i>Stenopharyngodon idella</i> (Valenciennes, 1844) - белый амур			+	
11. <i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1759 – сазан	++	++		
12. <i>Gobio gobio</i> (Linnaeus, 1758) – пескарь	+	++	+	
13. <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (Valenciennes, 1844) - белый толстолобик			+	
14. <i>Leucaspis delineatus</i> (Heckel, 1843) – верховка	++++	++++	+++++	+++++
15. <i>Leuciscus cephalus</i> (Linnaeus, 1758) – голавль	+		++++	+++
16. <i>Leuciscus idus</i> (Linnaeus, 1758) – язь	+	+++	++++	++
17. <i>Leuciscus leuciscus</i> (Linnaeus, 1758) – елец			+	
18. <i>Pelecus cultratus</i> (Linnaeus, 1758) – чехонь			+	
19. <i>Rhodeus sericeus</i> (Pallas, 1776) – горчак	+		+	
20. <i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758) – плотва	+++++	+++++	++++	+++++
21. <i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus, 1758) – красноперка	+++++	++++	+++++	+++++
22. <i>Tinca tinca</i> (Linnaeus, 1758) – линь	++	+++	+++	+++
<b>Сем. 5. Balitoridae Swainson, 1839 – Балиториевые</b>				
23. <i>Barbatula barbatula</i> (Linnaeus, 1758) – усатый голец				+
<b>Сем. 6. – Cobitidae Swainson, 1838 – Бьюновые</b>				
24. <i>Cobitis taenia</i> Linnaeus, 1758 – обыкновенная щиповка	++	++	+	+
25. <i>Misgurnus fossilis</i> (Linnaeus, 1758) – вьюн			+	
<b>Отряд IV. Siluriformes – Сомообразные</b>				
<b>Сем. 7. Siluridae Cuvier, 1816 – Сомовые</b>				
26. <i>Silurus glanis</i> Linnaeus, 1758 – обыкновенный (европейский) сом	++		+++	+++
<b>Отряд VI. Gadiformes – Трескообразные</b>				
<b>Сем. 8. Lotidae Jordan et Evermann, 1898 – Налимовые –</b>				
27. <i>Lota lota</i> (Linnaeus, 1758) – налим				+
<b>Отряд VII. Syngnathiformes – Иголообразные</b>				
<b>Сем. 9. Syngnathidae Rafinesque, 1810 – Иголовые</b>				
28. <i>Syngnathus nigrolineatus</i> Eichwald, 1831 – черноморская игла	+		++	+
<b>Отряд VIII. Perciformes – Окунеобразные</b>				
<b>Сем. 10. Percidae Cuvier, 1816 – Окуневые</b>				
29. <i>Gymnocephalus cernuus</i> (Linnaeus, 1758) – обыкновенный ерш	+	+	+	
30. <i>Perca fluviatilis</i> Linnaeus, 1758 – речной окунь	+++++	++++	++++	++++
31. <i>Stizostedion lucioperca</i> (Linnaeus, 1758) – обыкновенный судак			++	
32. <i>Stizostedion volgense</i> (Gmelin, 1788) – волжский судак, берш			++	
<b>Сем. 11. Gobiidae Bonaparte, 1832 – Бычковые</b>				
33. <i>Neogobius fluviatilis</i> (Pallas, 1814) – бычок-песочник, речной бычок			+	

Вид и его таксономическое положение	Относительная численность			
	Реки Правобережья		Реки Левобережья	
	Чардым	Курдюм	Б. Иргиз	М. Караман
34. <i>Neogobius melanostomus</i> (Pallas, 1814) – бычок-кругляк, черноротый бычок			+	

Примечание: + – вид представлен единичными особями; ++ – вид с очень низкой численностью; +++ – вид с низкой численностью; ++++ – вид со средней численностью; +++++ – вид с высокой численностью.

Рассматривая результаты оценки, можно констатировать, между водохранилищем и его притоками прослеживается четкое убывание энтропийного индекса для структуры ихтиоэкоморф, выделенных по принципу преобладающего местообитания (рис. 1).

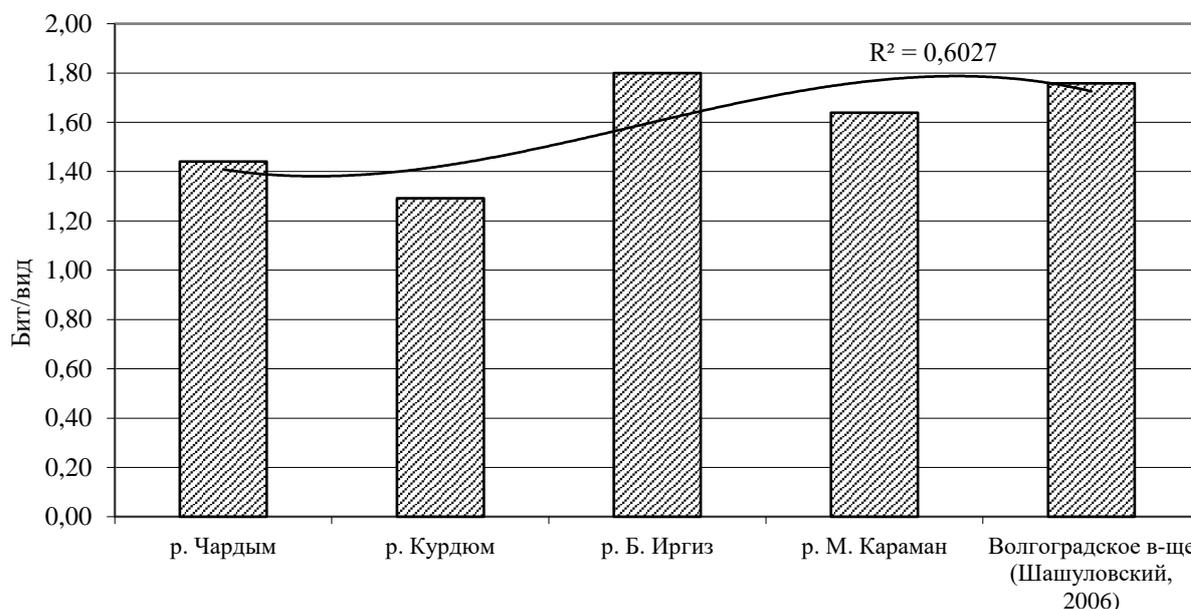


Рисунок 1. Изменение энтропийного индекса структуры ихтиоэкоморф, выделенных в составе ихтиофауны по преобладающему местообитанию

В данном случае рост упорядоченного состояния в сторону водохранилища и левобережных притоков (особенно р. Б. Иргиз), по мнению авторов, объясняется наличием всех четырех биотопов, выделенных Ю.В. Герасимовым и С.А. Поддубным (1993), в отличие от правобережных притоков.

В целом изменение индекса для структуры ихтиоэкоморф, выделенных по особенностям размножения, также имеет тенденцию к увеличению в сторону водохранилища и левобережных притоков (рис. 2).

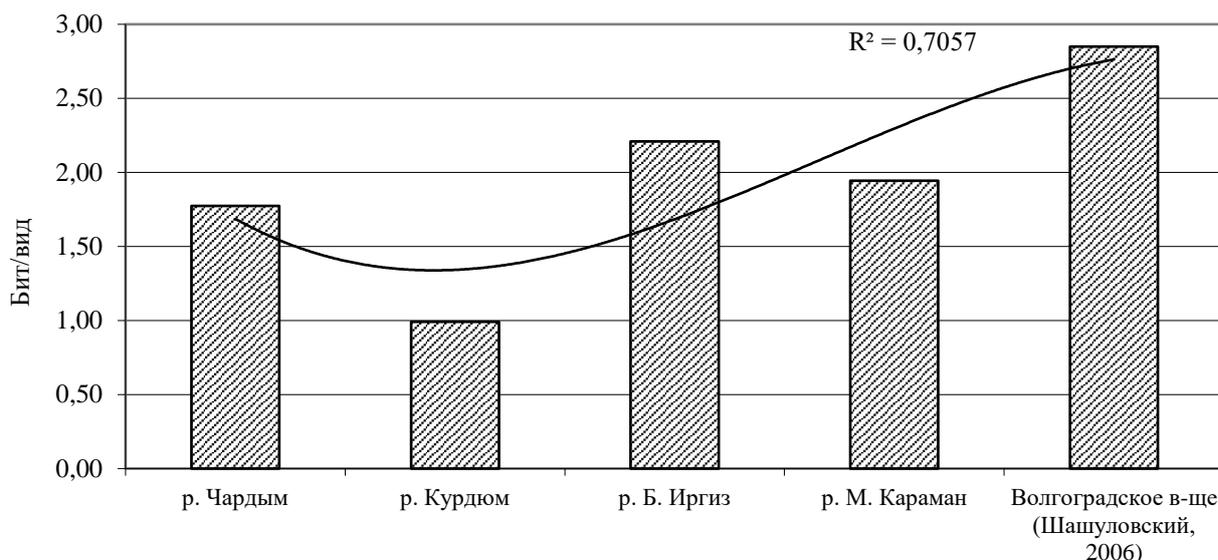


Рисунок 2 – Изменение энтропийного индекса структуры ихтиоэкоморф, выделенных в составе ихтиофауны особенностям размножения (отношение к нерестовому субстрату)

Проведенный анализ выявил четкую положительную динамику энтропийного индекса, указывающую на закономерное снижение упорядоченности системы в реках Чардым и Курдюм. Этот факт может указывать как на практическое отсутствие благоприятных условий для размножения рыб в правобережных притоках, так и на дисбаланс между структурой ихтиоэкоморф и соответствующими экологическими нишами в виду высокого антропогенного влияния (Кияшко, Кияшко, 2021).

Особенно существенными представляются изменения структуры ихтиоэкоморф, выделенных по характеру питания рыб (рис. 3).

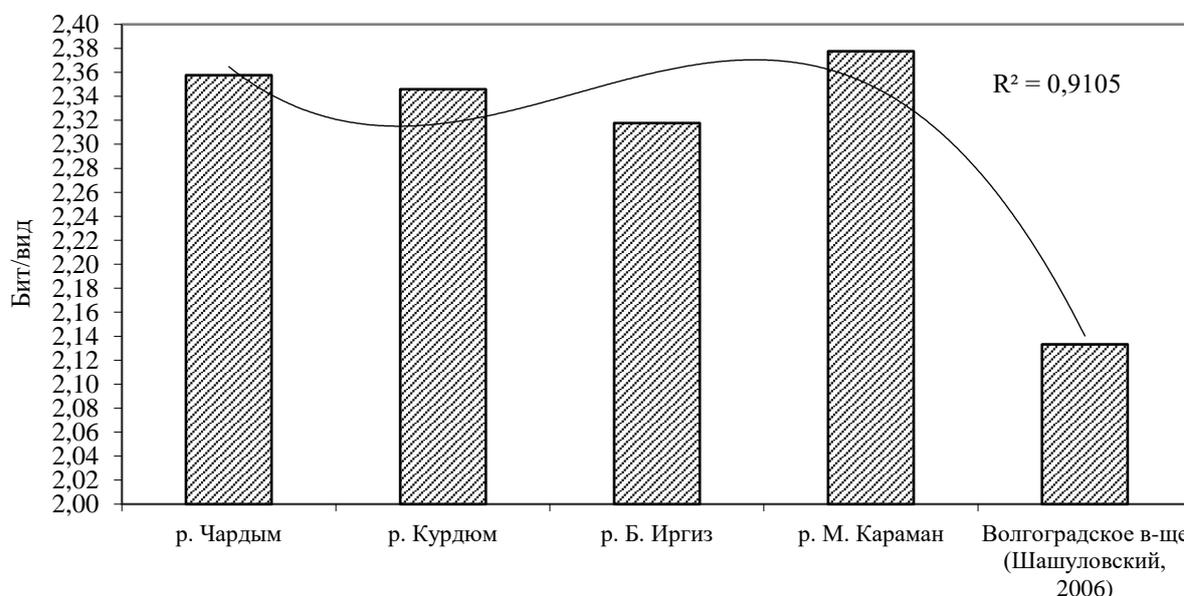


Рисунок 3. Изменение энтропийного индекса структуры ихтиоэкоморф, выделенных в составе ихтиофауны по характеру питания

По характеру питания в ихтиофауне наиболее богато представлены бентофаги. Анализ кормовой обеспеченности исследованных рек показал, что количественные показатели изменяются в зависимости от вегетационного периода и биотопа, но в среднем

правобережные притоки по показателям биомассы зоопланктона и кормового макрозообентоса относятся к категории мало-среднекормных, левобережные – среднекормных (зоопланктон) и высококормных (макрозообентос).

При этом наблюдается более разнообразные и выравненные ихтиофауны малых рек, что связано с относительно равномерным развитием различных групп организмов кормовой базы, в отличие от водохранилища, которое всегда будет следовать за динамикой развития бентосных организмов.

Составленные спектры экологических групп и жизненных форм ихтиоценозов подтвердили экологическую направленность в процессах формирования биоразнообразия ихтиофауны в Волгоградском водохранилище и его притоках.

#### Список литературы

1. Аннотированный каталог круглоротых и рыб континентальных вод России. М.: Наука, 1998. 220 с.
2. Атлас пресноводных рыб России. М.: Наука, 2002 а. Т. I. 379 с.
3. Атлас пресноводных рыб России. М.: Наука, 2002 б. Т. II. 253 с.
4. Берг Л.С. Система рыбообразных и рыб, ныне живущих и ископаемых // Труды Зоологического ин-та АН ССР. 1955. Т. 5, вып. 2. С. 85-517.
5. Герасимов Ю.А., Поддубный С.А. Структура ихтиоценозов водохранилища и факторы, определяющие ее динамику (на примере Рыбинского водохранилища) // Экологические проблемы бассейнов крупных рек: Тез. Международ. конф. Тольятти: Изд-во ИЭВБ РАН, 1993. С. 64-65.
6. Исаев А.И., Карпова Е.И. Рыбное хозяйство водохранилищ. М.: Пищ. пром-сть, 1980. 303 с.
7. Кияшко В.В., Кияшко И.А. Соотношение видового разнообразия ихтиофауны и значений гидрохимических показателей малых рек Саратовской области // Поволж. экологич. журн. 2021. № 4. С. 468-477.
8. Коблицкая А.Ф. Определение молоди пресноводных рыб. М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1981. 208 с.
9. Михаленко Е.Б., Загрядская Н.Н., Беляев Н.Д., Вилькевич В.В. [и др.] Инженерная геодезия. Современные методы геодезических измерений с использованием искусственных спутников земли: учебное пособие. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. 82 с.
10. Небольсина Т.К., Мосияш С.С. Состояние естественного воспроизводства рыб в Волгоградском водохранилище и мероприятия по его улучшению // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1995. Вып. 315. С. 38-46.
11. Шашуловский В.А. Динамика Биологических ресурсов Волгоградского водохранилища : Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского. Саратов, 2006. 50 с.
12. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. 782 с
13. Bin P., Paulovits G. Evolution of fish fauna in Little Balaton Water Reservoir: Pap // Congr. Int. Assoc. Theor, and Appl. Limnol. 1994. Vol. 25, Pt. 4. P. 2164-2168.
14. Bone Q. Myotomal muscle fibre types in scomber and katsuvonus // The Physiological Ecology of Tunas / Eds. G.D. Sharp, A.E. Dizon. New York: Acad. Press., 1978. P. 64-87.
15. Girmnell J. Field test of theories concerning olistrifutational control // Am. Pat. 1917. Vol. 51. P. 115128.
16. Levegue C. L habitat: Etre au bon endroit au bon moment? // Bull. Fr. Peche et piscicult. 1995. Vol. 68, № 337-339. P. 9-20.
17. Litvinov A.G., Gorman R. Biology of Anuer sleeper (*Perccotus gUini.*) in the Delta of the Selenga River, Buryatia, Russia // J. Great Lakes Res. 1996. Vol. 22, № 2. P. 370-378.
18. Lund R. An analysis of the propulsive mechanism of fishes, with reference to some fossie actinopterygians // Ann. Car negie Mus. 1967. Vol. 39. P. 195-218.
19. Shashulovsky V., Malinina Y., Kiyashko V. Pasture Fish Farming in the Reservoirs of the Volga-Kama Cascade as One of the Directions for the Implementation of the Blue Bioeconomy Concept / Arkhipov, A.G. (eds) Sustainable Fisheries and Aquaculture: Challenges and Prospects for the Blue Bioeconomy. Environmental Science and Engineering. Springer, Cham. 2022.

## **ИЗУЧЕНИЕ СОХРАННОСТИ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ КРИОКОНСЕРВИРОВАННОЙ СПЕРМЫ РЫБ ПОСЛЕ ХРАНЕНИЯ В КРИБАНКЕ ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ»)**

К.В. Ковалев, О.Б. Докина, Н.Д. Пронина, О.В. Корабельникова, Д.А. Попов

*Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ»),  
п. Рыбное, [kovalev@vniiprh.vniro.ru](mailto:kovalev@vniiprh.vniro.ru)*

*Аннотация: представлены результаты проверки сохранности коллекционных образцов спермы карповых и осетровых рыб после длительного хранения путем определения их оплодотворяющей способности.*

*Ключевые слова: криоконсервация, криоконсервированная сперма, криобанк, коллекция, образец, оплодотворяющая способность*

Активно развиваемая во всем мире криоконсервация спермы рыб может способствовать улучшению работы рыбоводных хозяйств, обеспечивая круглогодичное, исключая риск несвоевременного созревания производителей, снабжение репродуктивными клетками самцов из криобанков, гибридизацию, половую манипуляцию (андрогенез и гиногенез), обмен генетическим материалом между хозяйствами, введение генов от диких рыб в рыбоводные популяции и развитие генетически полноценного потомства. В ряде случаев криоконсервация спермы может оказаться безальтернативным методом сохранения и восстановления исчезающих видов. (Докина и др., 2024).

При сборе коллекционных образцов сперма от каждого самца отцеживалась в отдельную ёмкость, передерживалась, если было необходимо, в холодильнике и замораживалась на месте с применением полевого оборудования или транспортировалась при температуре тающего льда в лабораторию криобиологии Филиала по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ») для криоконсервации и закладки на хранение в криобанк. Перед замораживанием оценивали качество нативной спермы, определяли её подвижность и, при наличии икры, ставили пробу для определения оплодотворяющей способности. Перед криоконсервацией сперму смешивали с криозащитной средой в соотношении 1:1 и разливали по пробиркам объёмом 1,5 мл. Затем замораживали путём медленного погружения в жидкий азот со скоростью 5 град/мин. (от +5 °С до -15 °С) и 20 град/мин (от -15 °С до -70 °С). Впоследствии, выбранные для проверки образцы криоконсервированной спермы изымали из криохранилища. Перед оплодотворением икры образцы спермы размораживали на водяной бане при температуре 38-40 °С в течение 60 секунд. Размороженные образцы оценивали по подвижности спермиев. Оплодотворение икры размороженной спермой осуществлялось в лабораторных условиях в чашках Петри. В центр чашки помещали порцию икры в количестве 100-150 шт. Сперму разбавляли в отдельной ёмкости активатором в объемном соотношении 1:100 (одна пробирка содержит 1,5 мл смеси спермы с криозащитной средой в соотношении 1:1; таким образом, для разбавления 0,75 мл спермы необходимо 75 мл активатора). Криоконсервированная сперма, разбавленная активатором, выливалась на икру при одновременном распределении икринок колонковой кисточкой по дну чашки Петри. Затем икру промывали чистой водой и оставляли для инкубации. Для каждого образца оплодотворение проводили в трёхкратной повторности. Оплодотворяющую способность образца криоконсервированной спермы определяли путём вычисления среднего процента оплодотворения на стадии четырёх бластомеров. Для исключения влияния некачественной икры на результаты проверки использовали контроль по икре (порция икры, оплодотворённая

нативной спермой) и подсчитывали процент оплодотворения относительно контроля по икре. (Докина и др., 2019, 2020).

С целью получения данных о сохранности коллекционных образцов криоконсервированной спермы, осуществлена проверка (методом определения оплодотворяющей способности) 27 – образцов спермы ангелинского чешуйчатого и ангелинского зеркального карпов (Краснодарский край, Ангелинский рыбхоз). Также было проверено 3 образца спермы севрюги (Адыгейский осетровый завод, Краснодарский край) и 6 вариантов 1 образца спермы калуги (ООО «Биоакустик», г. Клин Московская область), которую получали от одного самца в течении двух дней и каждую порцию криоконсервировали на трех разных криозащитных средах. Результаты проведенных работ представлены в таблицах 1-2. Представлены результаты проверки оплодотворяющей способности криоконсервированной спермы, полученные в рамках одного протокола, то есть в одно время, на одной икре (Ки) и в одних условиях, что даёт возможность сравнивать между собой криоконсервированные образцы спермы от разных самцов. В табл. 1 представлены результаты проверки оплодотворяющей способности образцов ангелинского чешуйчатого и ангелинского зеркального карпов, контроль по икре составлял 94,7 %.

Таблица 1. Результаты проверки оплодотворяющей способности образцов криоконсервированной спермы ангелинского чешуйчатого и ангелинского зеркального карпов после 18 лет низкотемпературного хранения

№ образца	подвижность, %	оплодотворяющая способность, %	оплодотворяющая способность от Ки, %
ангелинский чешуйчатый карп, Краснодарский край, Ангелинский рыбхоз			
21	30	85,2	90,0
22	15	74,0	78,1
23	15	92,5	97,6
24	20	95,3	100,5
25	10	91,7	96,7
26	10	93,2	98,3
27	20	81,1	85,6
28	15	85,6	90,3
29	5	88,8	93,7
30	20	85,3	90,0
41	3	79,8	84,2
48	3	42,8	45,2
49	ед.	32,6	34,4
50	25	86,0	90,7
51	30	95,4	100,6
52	3	50,0	52,7
53	ед.	27,5	29,0
54	30	93,7	98,8
55	30	93,1	98,2
ангелинский зеркальный карп, Краснодарский край, Ангелинский рыбхоз			
31	ед.	7,3	7,7
32	25	92,4	97,5
33	10	91,4	96,4
34	10	90,0	95,0
56	ед.	8,3	8,8
57	ед.	5,9	6,2
58	30	91,3	96,3
59	30	91,1	96,1
<b>Ки</b>	-	<b>94,7</b>	<b>100</b>

Образцы с 21 по 41, а также с 56 по 59 криоконсервированные с использованием одной и той же криозащитной среды показали высокие результаты оплодотворения,

которые соответствуют результатам проверки, проводимой ранее для других образцов криоконсервированных с использованием этой среды. Исключением являются образцы 31, 56 и 57, низкая оплодотворяющая способность которых, скорее всего определяется качеством нативной спермы. Более низкая оплодотворяющая способность образцов 48, 49 и 52 была обусловлена используемой для их криоконсервации экспериментальной криозащитной среды и так же соответствует ранее проведённым исследованиям. Проверка оплодотворяющей способности образцов показала сохранённую им оплодотворяющую способность после 18 лет хранения.

Проверка оплодотворяющей способности криоконсервированной спермы осетровых рыб проводилась на икре русского осетра, контроль по икре составлял 83,7 % (табл. 2).

Таблица 2. Результаты проверки оплодотворяющей способности образцов криоконсервированной спермы калуги и севрюги на икре русского осетра

№ образца	подвижность, %	оплодотворяющая способность, %	оплодотворяющая способность от Ки, %
Калуга, ООО «Биоакустик», г. Клин Московская область (после 2 лет хранения)			
б/н	15	87,7	104,8
1	10	82,5	98,6
5	15	86,9	103,8
б/н	15	85,5	102,2
2	15	91,6	109,4
3	15	82,9	99,0
Севрюга, Адыгейский осетровый завод, Краснодарский край (после 17 лет хранения)			
2	20	24,1	28,8
4	15	13,5	16,1
7	20	15,2	18,2
<b>Ки</b>	-	<b>83,7</b>	<b>100</b>

Определение оплодотворяющей способности проводился на стадиях от 4 до 32 бластомеров. Подвижность нативной спермы калуги составляла 60 %, подвижность размороженной спермы 10-15 %, оплодотворяющая способность оказалась на уровне контроля по икре. Наблюдение за развитием оплодотворённой икры было продолжено, отход на более поздних стадиях был незначительным, выклев для севрюги составил 61,5-93,8 %, для калуги – 64,9-86,2 %.

Таким образом, крупнейшая в России, коллекция образцов криоконсервированной спермы рыб содержащаяся в криобанке ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ») может быть использована для восстановления деградированных естественных популяций, ускорения селекционных разработок, сохранения редких и исчезающих видов. Однако в криобанке имеется большое количество образцов, еще не проверенных по способности к оплодотворению. В основном это образцы, собранные в полевых условиях. Проверка сохранности криоконсервированной спермы, заложенной на хранение, является неотъемлемой частью работы криобанка. Наблюдения за сохранностью криоконсервированных образцов ведутся с момента основания криобанка и позволяют получать новые данные в области криоконсервации спермы рыб, дополнительно оценить протективный эффект криозащитных сред, используемых в разные годы. Также оценка качества спермы имеет важное значение, поскольку позволяет определить качество половых продуктов и повысить эффективность искусственного оплодотворения. По способности нативной спермы различных видов рыб хорошо переносить процедуру криоконсервации и оставаться фертильной после размораживания можно судить о физиологическом состоянии самцов. Накопленные данные по оценке качества криоконсервированной спермы свидетельствуют о том, что длительность хранения не

влияет на её фертильность. Многолетний опыт также показал, что оценка подвижности образцов размороженной спермы не является достаточным критерием качества спермы. Проверка оплодотворяющей способности криоконсервированной спермы в лабораторных условиях на сегодняшний день является, хотя и трудоёмким, требующим наличия икры определённого вида рыб и соблюдения условий инкубации для каждого вида, но объективным критерием, достоверно характеризующим качество криоконсервированного образца спермы и позволяющим прогнозировать результаты оплодотворения при научном и практическом использовании данных образцов.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации грант № 075-15-2021-1084.

#### **Список литературы**

1. Докина О.Б., Ковалев К.В., Пронина Н.Д. Криоконсервация спермы осетрообразных рыб: современное состояние и перспективы // Рыбное хозяйство. 2024. № 2. С. 110-122.
2. Докина О.Б., Ковалев К.В., Пронина Н.Д., Миленко В.А. Эффективные технологии криоконсервации спермы карповых и осетровых рыб // Новейшие генетические технологии для аквакультуры: Материалы Всероссийской науч.-практ. конф. с межд. участием (Москва, МВЦ «Крокус Экспо», 29-31 января 2020 г.). М.: «Перо», 2020. С. 119-134.
3. Докина О.Б., Пронина Н.Д., Ковалев К.В., Миленко В.А., Цветкова Л.И. Усовершенствованная технология криоконсервации спермы карпа в крупномасштабном криобанке // Рыбное хозяйство. 2019. № 5. С. 97-105.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АКВАТОРИИ ОЗЕРА ГУСИНОЕ В 2023 ГОДУ

Е.С. Колпакова

*Байкальский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («БайкалНИРО»), г. Улан-Удэ,  
[el.kolpackowa@yandex.ru](mailto:el.kolpackowa@yandex.ru)*

Аннотация: в марте и июне 2023 г. выполнены работы по оценке состояния северной части акватории оз. Гусиное. Обнаружено 43 таксона донных организмов. Количественные показатели в марте изменялись в пределах 5080-58520 экз./м<sup>2</sup> и 17,3-105,76 г/м<sup>2</sup>, в июне – 1040–141600 экз./м<sup>2</sup> и 3,44–325,5 г/м<sup>2</sup>. Участки с биомассами более 40 г/м<sup>2</sup> оцениваются как политрофные. По совокупности показателей воды северной части акватории озера в 2023 г. характеризовались как умеренно загрязненные.

Ключевые слова: озеро Гусиное, антропогенное воздействие, зообентос, оценка состояния

Озеро Гусиное – водоем на территории Республики Бурятия, обладающий рядом уникальных физико-географических особенностей. Озеро является вторым по величине после озера Байкал водоемом на территории Республики Бурятия. Имеет площадь акватории 164 км<sup>2</sup> (длина около 25 км, максимальная ширина – 8,5 км), максимальную глубину около 27 м и относится к слабопроточным водоемам. В современных очертаниях возраст озера составляет не более 300 лет, до этого на месте одного озера было несколько мелких (Арефьева и др., 1965).

Водоем является значимым экономическим объектом, на берегах которого расположены г. Гусиноозерск, с. Гусиное Озеро, другие населенные пункты, Гусиноозерская ГРЭС, Гусиноозерское осетровое рыбноводное хозяйство (ГОРХ), Холбольджинский угольный разрез и пр. Имеет важное рекреационное значение. Северная часть акватории озера считается наиболее подверженной антропогенной нагрузке из-за расположенных предприятий энергетического комплекса и коммунального хозяйства.

В 2023 г. выполнены исследовательские работы по оценке состояния северной части акватории озера Гусиное в зоне влияния одного из главных объектов антропогенного воздействия – Гусиноозерской ГРЭС. Сбор гидробиологического материала осуществлялся в два этапа: в марте и июне. Станции для отбора гидробиологических проб закладывались в сбросном канале Гусиноозерской ГРЭС, в 100 м от точки сброса подогретых вод, в 800 м от точки сброса, в 1800 м от точки сброса, на участке садковой базы ГОРХ, а также на контрольном участке.

На обследованных станциях грунты и состав растительности были следующими: в сбросном канале – крупнозернистые пески, мелкая галька, элодея канадская *Elodea canadensis*, хара *Chara*, нитчатые водоросли; на садковой базе ГОРХа – крупнозернистые пески с дресвой и заилением, элодея, уруть *Myriophyllum* sp., нитчатые водоросли; в 100 м от сброса подогретых вод – щебень, хара; в 800 м от сброса – среднезернистые пески заиленные, щебень, хара, мох *Fontinalis* sp., рдест; в 1800 м – дресва, хара; на контрольной станции – пески, дресва, щебень, хара.

В структуре зообентоса оз. Гусиное на исследованных станциях было зарегистрировано 43 таксона, относящихся к 11 систематическим группам организмов: малощетинковые черви (*Oligochaeta*), пиявки (*Erpobdella octoculata*, *Glossiphonia concolor*, *Helobdella stagnalis*, *Hemiclepsis marginata*), двустворчатые моллюски (*Euglesa* sp., *Bivalvia* juv., *Sphaerium corneum*), брюхоногие моллюски (*Anisus* sp., *Cincinna* sp., *Gyraulus* sp., *Lymnaeidae* sp.1, *Lymnaea ovata*, *Physa* sp., *Planorbidae* sp.1), бокоплавцы (*Gammarus*

*lacustris*, *Gmelinoides fasciatus*, *Micruropus wohlii*), личинки стрекоз (*Ishnura pumilio*), ручейников (*Athripsodes* sp., *Silo pallipes*, *Ceraclea* sp., *Mystacides nigra*, *Oecetis ochracea*, *Phryganea bipunctata*), поденок (*Caenis horaria*) и комаров-звонцов (*Ablabesmyia* gr. *lentiginosa*, Chironominae sp.1, *Chironomus* sp., *Corynaneura celeripes*, *Cricotopus* gr. *silvestris*, *Cricotopus* sp., *Cryptochironomus* gr. *defectus*, Orthocladiinae sp.1, *Paratanytarsus* gr. *lauterborni*, *Pentapedillum* gr. *exectum*, *Polypedilum* gr. *scalaenum*, *Procladius* sp., *Psectrocladius* sp., *Psectrocladius dilatatus*, Tanypodinae sp.1, *Tanytus* sp.), личинок жуков (*Donacia* sp., *Haliphus* sp.); водные клопы (*Corixa* sp.).

Наибольшее количество таксонов было обнаружено в 800 м от сброса подогретых вод. На всех станциях были отмечены малощетинковые черви и байкальский бокоплав *Gmelinoides fasciatus*. Общее количество таксономических единиц, определенных в 2023 г. в данном районе озера, находилось на уровне исследований прошлых лет.

В марте 2023 г. на исследованных станциях количественные показатели зообентоса изменялись в следующих пределах: общая численность организмов – от 5080 до 58520 экз./м<sup>2</sup>, биомасса – от 17,3 до 105,76 г/м<sup>2</sup>. Наиболее высокие показатели были зарегистрированы в сбросном канале, где численное обилие организмов обеспечивалось за счет амфипод и малощетинковых червей (58,5 и 32,7 %), а биомасса – за счет амфипод *G. lacustris* и *Gm. fasciatus* (49 %), и брюхоногих моллюсков *L. ovata* (33,5 %). Относительно высокими были показатели в районе садковой базы на илах с элодеей – за счет малощетинковых червей (91 % от общей численности и 43 % общей биомассы) и брюхоногих моллюсков *Cincinna* sp. и *L. ovata* (25,2 и 12,5 % общей биомассы). На контрольной станции показатели сообщества оказались наименьшими. Здесь по биомассе доминировали амфиподы *G. lacustris* и *Gm. fasciatus* с примерно равными долями (42 и 45 %), по численности – *Gm. fasciatus*. На станциях в 100 и 800 м удаления от сбросного канала количественные показатели как всего зообентоса, так и отдельных групп близко совпадали. Доминировали по численности комары-звонцы *Paratanytarsus* gr. *lauterborni* (36 и 23 %) и бокоплав *Gm. fasciatus* (20,8 и 29,5 %), по биомассе – *Gm. fasciatus* (40,8 и 41,4 %). Доля бокоплава *G. lacustris* в биомассе сообщества на этих станциях составляла 38,6 и 20,8 %.

В июне численность зообентоса варьировала в пределах от 1040 до 141600 экз./м<sup>2</sup>, биомасса – от 3,44 до 325,5 г/м<sup>2</sup>. Максимальные значения численности и биомассы сообщества были зарегистрированы в потоке подогретой воды сбросного канала. Здесь высокая численность организмов была связана с развитием брюхоногих моллюсков (30,7 % от общих показателей), главным образом *Cincinna* sp. (25,5 %), малощетинковых червей (30,4 %) и амфипод (25,9 %). По биомассе доминировали брюхоногие моллюски (45 %), из которых превалировал вид *Cincinna* sp. (доля от биомассы всего бентоса – 34,6 %). Доля амфипод, представленных видом *Gm. fasciatus*, была на уровне 20,6 %, пиявок – на уровне 19,6 % (доля *Erpobdella octoculata* от биомассы всего бентоса составила 17,6 %). Высокие показатели численности организмов также были отмечены на участке садковой базы за счет амфипод – 66,9 % и олигохет – 24 %; по биомассе доминировали амфиподы – 76,9 %. В сбросном канале, в 100 и 800 м от него как по численности, так и биомассе доминировали амфиподы. Лишь на глубинной станции (1800 м от сброса) доля амфипод в биомассе сообщества оказалась меньше (32,8 %; *Gm. fasciatus* – единственный вид), чем брюхоногих моллюсков (44,5 %; доля *L. ovata* – 38,9 %) и ручейников (21,1 %; *Ph. bipunctata* – единственный вид). Количественные показатели на большинстве станций были соотносимы со значениями в предыдущие годы исследований, но все же превышали их.

По средним значениям общей численности и биомассы зообентоса трофический статус всего озера согласно трофической шкале (Китаев, 2007) можно оценивать в пределах от β-мезотрофного до β-эвтрофного. Так, в 1947 г. биомасса бентоса в среднем составляла 6,4 г/м<sup>2</sup>; в 1982 г. численность – 11,18 экз./м<sup>2</sup>, а биомасса – 9,7 г/м<sup>2</sup>; 1988 г. – 5790 экз./м<sup>2</sup> и 28,42 г/м<sup>2</sup>; 1989 г. – 4951 экз./м<sup>2</sup> и 25,02 г/м<sup>2</sup> (Отчет., 1982); 1990 г. – 6930 экз./м<sup>2</sup> и 32,78

г/м<sup>2</sup>; 1991 г. – 3156 экз./м<sup>2</sup> и 18,97 г/м<sup>2</sup> (Влияние..., 1991); 2000 г. – 3120 экз./м<sup>2</sup> и 9,9 г/м<sup>2</sup> (Сокольников, 1999); 2007 г. – 5695 экз./м<sup>2</sup> и 9,11 г/м<sup>2</sup>; 2009 г. – 5256 экз./м<sup>2</sup> и 24,59 г/м<sup>2</sup> (Отчет..., 2009); 2010 г. – 5320 экз./м<sup>2</sup> и 15,85 г/м<sup>2</sup>; 2012 г. – 9357 экз./м<sup>2</sup> и 16,28 г/м<sup>2</sup>; 2013 г. – 7277 экз./м<sup>2</sup> и 44,30 г/м<sup>2</sup>; 2014 г. – 4785 экз./м<sup>2</sup> и 25,33 г/м<sup>2</sup>; 2017 г. – 5607 экз./м<sup>2</sup> и 15,81 г/м<sup>2</sup> (Рыбохозяйственные..., 2017). Участки северной акватории, исследованные в 2023 г., с биомассами более 40 г/м<sup>2</sup> согласно классификации С.П. Китаева (2007) можно оценивать как политрофные. Особенно это состояние было выражено в сбросном канале и на участке садковой базы.

На основе анализа гидробиологических проб и согласно нормативам РД 52.24.309–2016 была проведена оценка качества вод озера Гусиное. В марте качество вод оз. Гусиное по олигохетному индексу на контрольной станции и на удалении от сбросного канала (100 и 800 метров) соответствовало I классу (условно чистые), в сбросном канале – II классу (слабо загрязнённая), в районе садковой базы – V классу (экстремально грязные). Высокое значение олигохетного индекса на садковой базе было обусловлено развитием на данной станции олигохет, что связано с большим количеством органических веществ на дне, поступающих в результате жизнедеятельности рыб на садковом хозяйстве. Значения олигохетного индекса исследованных в июне станций находились в пределах II класса качества вод (вода слабо загрязнённая) либо в пределах I класса качества вод (вода условно чистая).

Значения индекса сапробности по зообентосу на всех станциях в марте находились в пределах диапазона значений от 1,77 до 2,46, что соответствовало II классу качества вод (слабо загрязнённая). В 100 м от сбросного канала индекс сапробности составил 3,35 (за счет развития *Chironomus* sp.), что характеризует воды на этом участке как загрязнённые – III класс качества вод. По индексам сапробности, которые варьировали от 1,7 до 2,4, воды северной акватории в июне соответствовали II классу качества (вода слабо загрязнённая).

По совокупности показателей воды северной части акватории оз. Гусиное в 2023 г. характеризовались как умеренно загрязнённые.

#### Список литературы

1. Арефьева В.А. и др. Воды Предбайкалье и Забайкалье. М.: Наука, 1965. С. 139-173.
2. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.
3. Отчет «Разработать прогноз возможных изменений экосистем рыбохозяйственных водоемов Сибири и выдать рекомендации по предотвращению отрицательного воздействия на них хозяйственной деятельности в регионе» / Фонды Востсибрыбниипроект. Улан-Удэ, 1982. 122 с.
4. Влияние Гусиноозерской ГРЭС на ихтиофауну озера Гусиное и кормовую базу рыб / Отчет НИР / Фонды Востсибрыбцентр. Улан-Удэ, 1991. 84 с.
5. Сокольников Ю.А. Зоопланктон мелководий Северного Байкала: динамика численности и биомассы, роль сибирских и байкальских видов // Биоразнообразии Байкальской Сибири. Новосибирск, 1999. С. 61-73.
6. Отчёт НИР «Рыбохозяйственный мониторинг оз. Гусиное в зоне воздействия «Водоканал» г. Гусиноозёрска». Улан-Удэ / Фонды Госрыбцентра, 2009. 42 с.
7. Рыбохозяйственные исследования по оценке воздействия сбросных вод ГО ГРЭС на водную биологическую среду р. Тели, оз. Гусиное для нужд филиала «Гусиноозерская ГРЭС» АО «ИНТЕР РАО – Электрогенерация» / Отчет о НИР / Фонды БФ ФГБНУ «Госрыбцентр». Улан-Удэ, 2017. 106 с.
8. РД 52.24.309–2016 «Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши» / Росгидромет. Ростов-на Дону, 2016. 100 с.

## ГИСТОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГОНАД ДИПЛОИДНОЙ И ТРИПЛОИДНОЙ НЕЛЬМЫ

Е.А. Кондакова<sup>\*,\*\*</sup>, А.А. Лютиков<sup>\*</sup>, В.А. Богданова<sup>\*</sup>, В.А. Голотин<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), г. Санкт-Петербург,  
[23eak@mail.ru](mailto:23eak@mail.ru); [katekondakova1989@gmail.com](mailto:katekondakova1989@gmail.com)

<sup>\*\*</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,  
г. Санкт-Петербург

Аннотация: в настоящем гистологическом исследовании были впервые охарактеризованы особенности развития гонад двухлеток триплоидной и диплоидной нельмы. У триплоидных рыб, предположительно самок, показана задержка развития гонад.

Ключевые слова: *Stenodus leucichthys nelma*, триплоидия, гонады, гонии, мейоз, ооциты, пикноз

Искусственная триплоидизация применяется в аквакультуре экономически значимых видов рыб для повышения их продукционных качеств. Тройной набор хромосом нарушает процесс мейоза при формировании зародышевых клеток и тормозит развитие гонад, что позволяет рыбам-триплоидам использовать энергию на рост, а не на созревание (Utter et al., 1983; Thorgaard 1992; Purdom, 1993). Дисфункция воспроизводительной системы триплоидных особей также позволяет снизить риск их влияния на естественный ихтиоценоз водоемов в случае бегства триплоидов с рыбоводных ферм (Schafhauser-Smith, Benfey, 2001; Nynca et al., 2022).

Виды костистых рыб, для которых были получены триплоидные формы, преимущественно принадлежат к семействам Salmonidae, Cichlidae, Siluridae и Cyprinidae (Schafhauser-Smith, Benfey, 2001).

Несмотря на разработку, эксплуатацию и широкую освещенность в научной литературе технологических параметров получения триплоидов в аквакультуре, не всегда удается достичь 100 % триплоидизации (Golroug, 2016).

В связи с этим своевременная диагностика развития системы размножения у триплоидных рыб является актуальной и имеет большое значение для оценки эффективности индуцированной триплоидизации и корректировки параметров получения рыб-триплоидов.

В настоящее время сотрудниками Санкт-Петербургского филиала ВНИРО разрабатываются протоколы получения триплоидов сиговых рыб. Впервые была проведена успешная искусственная триплоидизация перспективного объекта сиговодства – нельмы *Stenodus leucichthys nelma* (Лютиков и др., 2023; Lyutikov et al., 2024). Полученная от триплоидной икры молодь была выращена в промышленных условиях и в возрасте 1+ исследована на предмет состояния гонад (в сравнении с диплоидными особями). Результаты этих исследований представлены в настоящей работе.

Искусственную триплоидизацию нельмы проводили в производственных условиях рыбоводного хозяйства ООО «Форват» (оз. Суходольское, Приозерский р-н, Ленинградская обл.). Икру для эксперимента получали от одной пары производителей, выращенных полностью в промышленных условиях. Из общего объема икры была взята проба для получения триплоидов, другая часть икры не подвергалась обработке и выступала контрольной (диплоидной).

Триплоидизация достигалась за счет воздействия на икру гидростатического удара 650 бар в течение 5 мин спустя 340 градусо-минут после осеменения. Для этого

использовали специализированный коммерческий электрогидравлический аппарат TRC-APV™ (TRC Hydraulics Inc., Канада).

Эффективность триплоидизации икры нельмы была исследована на ранних этапах эмбрионального развития с применением методов проточной цитометрии (Golotin et al., 2023) и приближалась к 100%.

Триплоидную и диплоидную икру инкубировали в стеклянных аппаратах Вейса, а после вылупления молодь выращивали в идентичных условиях сначала в бассейнах, а затем в садках, установленных в озере. В качестве корма использовали стартовые коммерческие корма для сиговых видов рыб производства ООО «Русло» (г. Санкт-Петербург, Россия).

По достижении молодь нельмы возраста 1 год 6 мес. было отобрано по 6 экз. диплоидных и триплоидных рыб с целью исследования гонад. Длина и масса диплоидов в среднем составила  $22,02 \pm 0,44$  см и  $110,3 \pm 9,66$  г, триплоидов –  $24,92 \pm 0,29$  см и  $170,25 \pm 9,72$  г, соответственно.

Гонады были зафиксированы жидкостью Буэна. Серийные парафиновые срезы толщиной 5 мкм были получены на санном микротоме Leica SM 2010R в РЦ РМиКТ СПбГУ и окрашены гематоксилином Карацци и эозином (Biovitrum). Срезы фотографировали с помощью микроскопа, оснащенного камерой Leica DMI6000 в РЦ РМиКТ СПбГУ. Для коррекции изображений использовали программу Adobe Photoshop 7.0.

Состояние яичников диплоидной нельмы соответствовало второй стадии зрелости, ооциты старшей генерации находились на стадии цитоплазматического роста, генеративная часть гонады содержала большое количество оогониев и ооцитов ранней профазы мейоза (рис., А). В семенниках присутствовали гонии (рис., Б).

В гонадах исследованных триплоидных рыб ооциты цитоплазматического роста обнаружены не были. У двух из шести триплоидов среди герминативных клеток были представлены только гонии, что свидетельствует о возможном дальнейшем пути развития гонад по мужскому типу (рис., В). В гонадах других четырех рыб, помимо гоний, присутствовали клетки ранней профазы мейоза, что может свидетельствовать о женском пути развития половых желез. У двух рыб, предположительно самок, наблюдали большое количество гибнущих клеток с пикнотическими ядрами (рис., Г). Также в гонадах были отмечены выстланные эпителием полости с хлопьевидным содержимым.

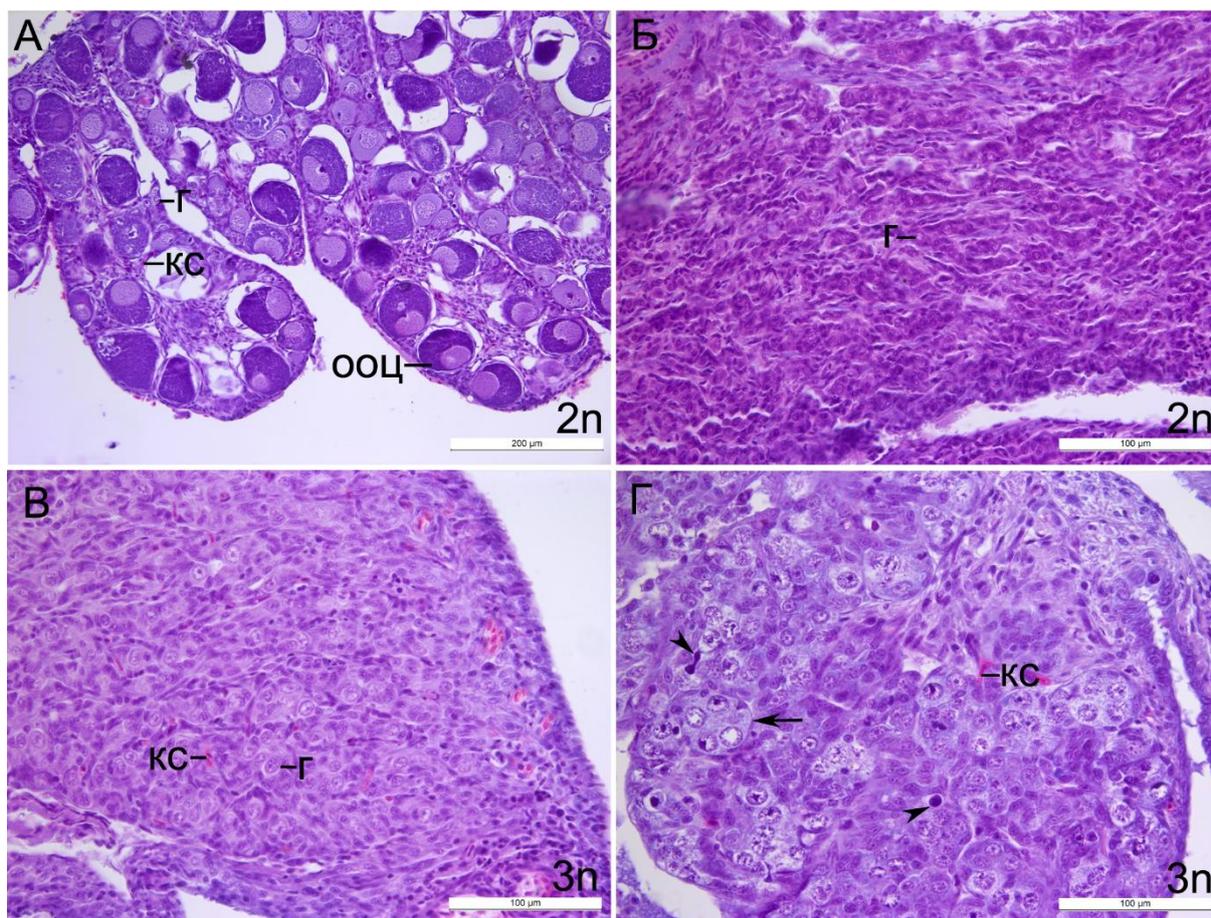


Рисунок – А – яичник диплоидной нельмы; Б – семенник диплоидной нельмы; В – гонада (предположительно, семенник) триплоидной нельмы; Г – гонада (предположительно, яичник) триплоидной нельмы. Стрелка указывает на кластер половых клеток. Наконечник стрелки указывает на гибнущие клетки с пикнотическими ядрами: г – гоний; кс – кровеносный сосуд; ооц – ооцит

Согласно данным литературы, у триплоидных лососеобразных рост ооцитов замедлен, причем степень их развития может различаться: у одних и тех же видов, в частности *Salmo salar*, *Oncorhynchus mykiss*, *Oncorhynchus kisutch*, *Salvelinus fontinalis* разные авторы либо отмечали развивающиеся ооциты, либо развитие ооцитов полностью отсутствовало (обзор Schafhauser-Smith, Benfey, 2001). Отставание в дифференцировке половых клеток, их гибель, связанная с нарушением ранних стадий мейоза и эпителиальные структуры были ранее описаны у триплоидной *O. mykiss* (Han et al., 2010). Как и у *O. kisutch*, морфологические различия между яичниками триплоидной и диплоидной форм нельмы были более выражены, чем различия между семенниками (Johnson et al., 1986).

Таким образом, для триплоидной нельмы возраста 1+ характерно отставание в развитии половых клеток по сравнению с диплоидной. В настоящем исследовании у предполагаемых триплоидных самок, в отличие от диплоидных рыб, не было отмечено ооцитов на стадии цитоплазматического роста. Часть половых клеток триплоидных рыб погибает.

Авторы благодарят РЦ РМиКТ СПбГУ.

#### Список литературы

1. Лютиков А.А., Костюничев В.В., Голотин В.А., Вылка М.М. Предварительные результаты исследований по искусственной триплоидизации сиговых рыб // Развитие и современные проблемы аквакультуры (Конференция «Аквакультура 2023»): сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции (с. Дивноморское, 4-10 сентября 2023 г.) / ред. кол. Б.Ч. Месхи [и др.]; ДГТУ. Ростов-на-Дону: ДГТУ-Принт, 2023. С. 55-59.

2. Benfey T.J. The physiology and behavior of triploid fishes // Rev. Fish. Sci. 1999. Vol. 7. P. 39-67.
3. Golotin V.A., Lyutikov A.A., Filatova T.A., Sharoyko V.A., Apalikova O.V. A rapid and simple procedure for the isolation of embryonic cells from fish eggs // MethodsX. 2023.
4. Golpour A. et al. Induced sterility in fish and its potential and challenges for aquaculture and germ cell transplantation technology: a review // Biologia. 2016. Vol. 71, №. 8. C. 853-864.
5. Han Y. et al. Comparison of reproductive development in triploid and diploid female rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* // Journal of Fish Biology. 2010. Vol. 76, №. 7. C. 1742-1750.
6. Johnson O. W., Dickhoff W. W., Utter F. M. Comparative growth and development of diploid and triploid coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* // Aquaculture. 1986. Vol. 57, №. 1-4. C. 329-336.
7. Lyutikov A. A. et al. The First Success of Whitefish Artificial Triploidization (*Stenodus leucichthys nelma*) // Available at SSRN 4827022. 2024.
8. Nynca J. et al. Ovarian transcriptome analysis of diploid and triploid rainbow trout revealed new pathways related to gonadal development and fertility // Animal. 2022. Vol. 16, №. 8. C. 100594.
9. Purdom C.E. Genetics and Fish Breeding. Chapman and Hall, 277, New York, USA. 1993. 277 p.
10. Schafhauser-Smith D., Benfey T. J. The reproductive physiology of three age classes of adult female diploid and triploid brook trout (*Salvelinus fontinalis*) // Fish Physiology and Biochemistry. 2001. Vol. 25. P. 319-333.
11. Thorgaard G.H. Application of genetic technologies to rainbow trout. Aquaculture. 1992. Vol. 100. P. 85-97.
12. Utter M.F., Johnson O.W., Thorgaard G.H., Rabinovitch P.S. Measurement and potential applications of induced triploidy in Pacific salmon // Aquaculture. 1983. Vol. 35. P. 1-12.

## РЫБОЛОВСТВО НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Ф. Коновалов

*Вологодский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ВологодНИРО»),  
г. Вологда, [alexander-konovarov@yandex.ru](mailto:alexander-konovarov@yandex.ru)*

*Аннотация: в работе рассмотрено современное состояние промышленного и любительского рыболовства и многолетняя динамика уловов водных биоресурсов в крупных озерах Белое, Онежское, Кубенское, Воже, водохранилищах Шекснинское и Рыбинское в границах Вологодской области за период с 1974 по 2023 гг. Описаны закономерности добычи основных видов водных биоресурсов и исследована сезонная динамика их промышленной добычи.*

Ключевые слова: динамика уловов, рыболовство, промысловые виды, Вологодская область

В Вологодской области около 94 % от общего объема ежегодных уловов водных биоресурсов приходится на шесть важнейших рыбопромысловых водоемов – крупные озера Белое, Кубенское, Воже, Онежское, а также Шекснинское и Рыбинское водохранилища (Коновалов, 2024). Целью работы является обобщение сведений о динамике уловов водных биоресурсов за 50-летний период и современном состоянии промышленного и любительского рыболовства на основных рыбохозяйственных водоемах региона. Для этого использованы материалы официальной рыбопромысловой статистики Северо-Западного и Московско-Окского территориальных управлений Росрыболовства по сезонной и многолетней динамике уловов основных видов водных биоресурсов. Характеристика любительского рыболовства приведена по материалам Северо-Западного филиала ФГБУ «Главрыбвод».

Промышленное рыболовство на территории области ведут 27 рыбохозяйственных организаций, в которых работает более 900 рыбаков (Коновалов, 2024). На рыбохозяйственных водных объектах региона сформировано 77 рыболовных участков, 67 из которых расположены на наиболее крупных и значимых водных объектах, где промысел осуществляют 22 пользователя водных биоресурсов.

За период с 1974 по 2023 гг. около 59,9 % всей рыбодобычи в регионе приходилось на водоемы Каспийского бассейна, где в среднем 621,6 т добывалось в Белом озере, 499,5 т – в Рыбинском, а 116,4 т – в Шекснинском водохранилищах. Значительные уловы рыбы в водоемах этого бассейна с одной стороны определяются богатым видовым составом промысловой ихтиофауны, насчитывающей от 15 до 21 вида, а с другой – высокими показателями потенциальной и фактической рыбопродуктивности (Коновалов, 2024). Около 22,5% от общей рыбодобычи в регионе или в среднем 464,4 т за последние 50 лет обеспечивало Онежское озеро, принадлежащее бассейну Балтийского моря. В этом водоеме обитает 15 промысловых видов рыб, однако за последнее десятилетие отмечались низкие промысловые уловы. Остальные 17,6 % уловов в 1974-2023 гг. обеспечивали водоемы Беломорского бассейна, где в озере Кубенское в среднем вылавливалось 263,0 т, а в озере Воже – 101,2 т. В целом Шекснинское водохранилище, озера Кубенское, Воже и Онежское характеризуются низким уровнем промысловой эксплуатации водных биологических ресурсов (Коновалов и др., 2023; Коновалов, 2024).

За последние 50 лет наиболее высокие общие уловы рыбы в водоемах Вологодской области отмечались в 1980-е гг., составляя в среднем около 3050 т (Коновалов, 2024). В 1990-е гг. произошло практически двукратное уменьшение вылова в условиях новых экономических отношений и занижения учитываемых статистикой фактических уловов. В 2000-е гг. отмечалось сокращение вылова в Белом озере за счет спада добычи главных

объектов промысла – судака и снетка (Коновалов, 2019). Однако общего снижения уловов в регионе в тот период не произошло благодаря сравнительно высокой добыче корюшки в Онежском озере. В 2010-е гг. на фоне восстановления объемов вылова в Белом озере наблюдалось сокращение рыбодобычи в Онежском озере, а также в озерах Кубенское и Воже. В целом, начиная с середины 1990-х гг., общий вылов рыбы в регионе остается сравнительно постоянным и рыбодобыча держится около средней отметки в 1600 т (Коновалов, 2024).

Снижение уловов в последние годы определялось в основном негативными причинами социально-экономического характера. Так, особую актуальность приобрела проблема убыли населения, постоянно проживающего в муниципальных районах и округах, включающих акватории этих водоемов (Коновалов, 2024). Особенно напряженная ситуация за последние двадцать лет сложилась на территории Белозерского и Вашкинского округов, включающих в свои границы Белое озеро, где за период с 2002 по 2022 гг. численность населения сократилась на 38 %, а также в Вытегорском муниципальном районе, включающем Онежское озеро, где убыль населения составила 30 %. Негативная ситуация сложилась и на озере Воже, поскольку в Кирилловском и Вожегодском округах население сократилось на 26 %, а также на Шекснинском водохранилище, где в Кирилловском округе и Шекснинском районе население убыло на 21 %. Несмотря на наличие автомобильных дорог, сопутствующей проблемой является и значительная удаленность рыбодобывающих пунктов на водоемах региона от основных потребителей рыбы в крупных городах, особенно на озерах Онежское, Воже и Белое (Коновалов, 2024).

В 1970 – 1990-е гг. главным объектом промысла в Вологодской области являлись онежская корюшка и белозерский снеток, совместно обеспечивавшие 20-2 % от общего объема рыбодобычи в регионе (Коновалов, 2024). С начала 2000-х гг. на фоне продолжительной депрессии популяции снетка в Белом озере главным промысловым видом в водоемах области стал лещ, обеспечивающий в два последних десятилетия 26-28 % совокупных уловов.

Основной тенденцией многолетней динамики уловов является сокращение добычи рыб арктического пресноводного фаунистического комплекса – корюшки (снетка), налима, ряпушки и сига, отражающей сокращение биомассы этих видов при потеплении климата (Коновалов, Борисов, 2015; Коновалов, 2024). Так, за период с 1980-х по конец 2010-х гг. суммарная доля рассматриваемых видов рыб в промысловых уловах в водоемах Вологодской области сократилась в два раза с 37,0 до 18,4 %. Причем в целом за 50-летний период общие уловы налима, ряпушки и сига в регионе уменьшились более чем в 10 раз.

Из других ценных объектов рыболовства за рассматриваемый период в водоемах Вологодской области заметно сократилась добыча судака и щуки (Коновалов, 2024). Так, если в 1970-1980-е гг. средний ежегодный вылов судака в регионе составлял 120-214 т, то начиная с 2000-х гг. за счет снижения биомассы этого вида в озере Белое и ограничений рыболовства он не превышал 100-112 т. В 2020 – 2022 гг. отмечался рост уловов судака в среднем до 178 т за счет вступления в промысел на Белом озере урожайного поколения 2016 г. Средняя доля щуки в общих уловах рыбы в водоемах Вологодской области в течение трех последних десятилетий не превышала 5-6 %, а ее суммарный вылов с 1970-х гг. по настоящее время сократился более чем в 3 раза. Вероятной причиной снижения объемов вылова щуки является уменьшение ее численности в водоемах при высоком прессе любительского рыболовства (Коновалов, Борисов, 2015). Начиная с 1980-х гг. уловы ерша в регионе снизились более чем в 10 раз, что было связано с прекращением его специализированной добычи в Белом и Кубенском озерах мелкочейными механизированными мутниками и слабым рыночным спросом на данный вид. Одновременно с конца 1990-х гг. в Вологодской области отмечалось существенное

сокращение уловов синца за счет уменьшения численности его популяции и постепенной утраты значения в промысле в озере Белое (Коновалов, 2024).

В течение года в среднем за десятилетний период наибольшие промысловые уловы в Вологодской области отмечались в мае, когда в среднем добывалось почти 20,6 % от величины годового вылова рыбы (Коновалов, 2024). Высокая величина майских уловов, когда в регионе действует запрет на добычу леща, судака и щуки, обеспечивался обловом преднерестовых скоплений корюшки в Онежском озере и сетка в Белом озере. В остальные месяцы года наибольшие объемы добычи отмечались в декабре, составляя около 19% от годовых уловов. В частности, в декабре осваивалось почти 49 % от годовой добычи судака, а уловы леща, щуки, налима и берша варьировали от 24 до 35 % совокупного вылова этих видов рыб. Высокие промысловые уловы сохранялись и в остальные месяцы периода подледного лова с января по март, когда в основном добывались лещ, а также судак и щука. С июня и до конца года на водоемах области активизировалась добыча леща, а также мелкочастиковых видов рыб – плотвы, чехони, окуня, берша и других. По мере остывания водной толщи с сентября по ноябрь в водоемах также увеличивался вылов судака и щуки, которые в летние месяцы добывались незначительно.

Неорганизованным любительским рыболовством в Вологодской области занимается около 200 тыс. человек или более 15 % от общей численности населения в регионе (Коновалов, 2024). Из них постоянно ловят рыбу порядка 60 тыс. человек. В 2020 – 2023 гг. в водных объектах Вологодской области, за исключением Рыбинского водохранилища, рыбаками-любителями ежегодно добывалось от 220 до 260 т рыбы, что составляло около 16% от общего. При этом наибольший вылов отмечался в реках региона, составляя 32,4 % от общего, в крупных озерах Кубенское, Белое и Воже в сумме выловлено 45,3 %, в речной части Шекснинского водохранилища – 12,9 %, в прочих озерах и Онежском озере – 9,4 %. В структуре любительских уловов в последние годы повсеместно преобладали окунь (31,0 %), щука (22,6 %), судак (15,6 %) и плотва (10,3 %). В период подледного лова рыбаками-любителями использовались зимние удочки, а иногда жерлицы. В безледный период в основном применялись донная и поплавочная удочки, а также спиннинг, лов на дорожку и троллинг. Последние разновидности орудий лова в настоящее время получили особенно широкое распространение среди любителей.

#### Список литературы

1. Коновалов А.Ф. Многолетняя динамика уловов, численности и биомассы популяции судака (*Sander lucioperca* L.) Белого озера // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 1. С. 59-66. DOI: 10.24143/2073-5529-2019-1-59-66.
2. Коновалов А.Ф. Рыболовство в Вологодской области: современное состояние и многолетняя динамика уловов // Вопросы рыболовства. 2024. Том 25. № 3. С. 27-36. DOI: 10.36038/0234-2774-2024-25-3-27-36.
3. Коновалов А.Ф., Борисов М.Я. Многолетняя динамика рыбного населения водоемов Вологодской области // Принципы экологии. 2015. № 4. С. 22-34. DOI: 10.15393/j1.art.2015.4721.
4. Коновалов А.Ф., Борисов М.Я., Тропин Н.Ю. и др. Современное состояние рыболовства на водоемах Вологодской области и его влияние на промысловые запасы водных биоресурсов // Трансформация экосистем. 2023. Том 6, № 4. С. 5-32. DOI: 10.23859/estr-230423.

## МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕМПЕРАТУРНОЙ АККЛИМАЦИИ СИГОВЫХ РЫБ

А.Г. Королева, Е.А. Вахтеева, А.А. Епифанцев, В.М. Яхненко, О.Ю. Глызина, Л.И. Толстикова, В.М. Черезова, Л.В. Суханова, Т.В. Сидорова, С.А. Потапов, С.В. Кирильчик, Ю.П. Сапожникова

*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск,  
[ankor-2015@yandex.ru](mailto:ankor-2015@yandex.ru), [jsap@mail.ru](mailto:jsap@mail.ru)*

Аннотация: акклимация считается эффективным способом повышения стрессоустойчивости рыб. Используя общепризнанные маркеры благополучия (длину теломер и активность теломеразы), показано, что ранняя температурная акклимация (+6 °С дважды в неделю на стадии икры) положительно влияет на байкальского сига *Coregonus baicalensis* Dybowski, 1874. Не приводя к повреждению теломер, она меняет активность теломеразы и замедляет возрастную потерю теломерных повторов.

Ключевые слова: температурная акклимация, байкальский сиг, теломеры, теломераза

Главным абиотическим фактором в экологии рыб и других эктотермных животных считается температура, которая влияет на многие клеточные процессы и от которой зависят рост и размножение (Volkoff, Rønnestad, 2020). Повышение температуры усиливает потребление кислорода и продукцию его активных форм (АФК), что часто приводит к окислительному стрессу у рыб (Madeira et al., 2013) и к апоптозу (Redza-Dutordoir, Averill-Bates, 2013). Однако предварительная акклимация к определенной температуре позволяет животным легче переносить стресс (Ritchie, Friesen, 2022). На пути от повышения АФК до апоптоза страдают многие компоненты клетки, в том числе теломеры — концевые районы хромосом (Von Zglinicki, 2002; Barnes et al., 2019). Их длина служит маркером благополучия организма (Hausmann, 2010; Monaghan et al., 2022) и регулируется теломеразой и некоторыми другими белками (De Lange, 2005). Температурное воздействие оказывает значительное влияние на длину теломер и активность теломеразы у многих видов рыб (Rollings N., Miller E., Olsson, 2014; Simide et al., 2016; Debes et al., 2016; McLennan et al., 2016; Noreikiene, Kuparinen, Merilä, 2014).

В работе отражены результаты исследования влияния акклимации на ранних этапах эмбриогенеза на благополучие байкальского сига *Coregonus baicalensis* Dybowski, 1874. В качестве маркеров были выбраны теломеразная активность (ТА) и длина теломер (ДТ) в жабрах, которые непосредственно взаимодействуют с внешней средой и обеспечивают организм кислородом.

30 декабря 2022 г. оплодотворенную икру *C. baicalensis* поместили в отдельные аппараты Вейса. В одном аппарате икру содержали при оптимальной температуре 3-5 °С (группа К, контрольные). В другом аппарате спустя месяц после оплодотворения начали регулярное (два раза в неделю) прогревание икры: от исходной температуры 3-3,5 °С до 9 °С (+6 °С) (группа Ак, акклимированные). Процедуру прогревания продолжали еженедельно до начала выклева. После выклева все личинки содержались в отдельных аквариумах при 12 °С, с постепенным повышением температуры до 15-16 °С, при которой жили шестимесячные особи. Всего в эксперименте использовали 74 личинки (табл.).

Таблица. Количество и размер особей в экспериментальных и контрольных группах

Группа	Количество особей (n)	Размер, см (Mean ± SD)
К_л	24	1,58±0,11
Ак_л	15	2,28±0,104
К_6м	19	8,02±2,54
Ак_6м	16	8,97±2,61

У части особей жабры были отобраны через один месяц (К\_л, контрольные личинки, и Ак\_л, акклимированные личинки), у остальных особей – в возрасте шести месяцев (К\_6м и Ак\_6м). Фиксацию материала осуществляли в 96 %-ный спирт (для выделения геномной ДНК) и в жидкий азот (для выделения смеси белка и РНК).

Методы выделения ДНК и белка, а также определения ДТ и ТА описаны в работе (Sapozhnikova, et al., 2023). Так как выборки были небольшие, для сравнения значений ДТ и ТА у контрольных и акклиматизированных особей использовался непараметрический критерий Краскела-Уоллиса (Kruskal-Wallis test). Нулевая гипотеза об отсутствии реакции на акклимацию опровергалась при значении достоверности меньше 0,05. Расчеты и визуализация выполнялись в Statistica v.13.5.0.17.

ДТ у контрольных и акклимированных личинок не отличалась, тогда как ТА была ниже у акклимированных личинок (K-W test,  $p=0,0003$ ) (рис., А). У шестимесячных рыб не было обнаружено отличий ни в ДТ, ни в ТА между контрольными и акклимированными на стадии икры особями (К\_6м и Ак\_6м, соответственно) (рис., А).

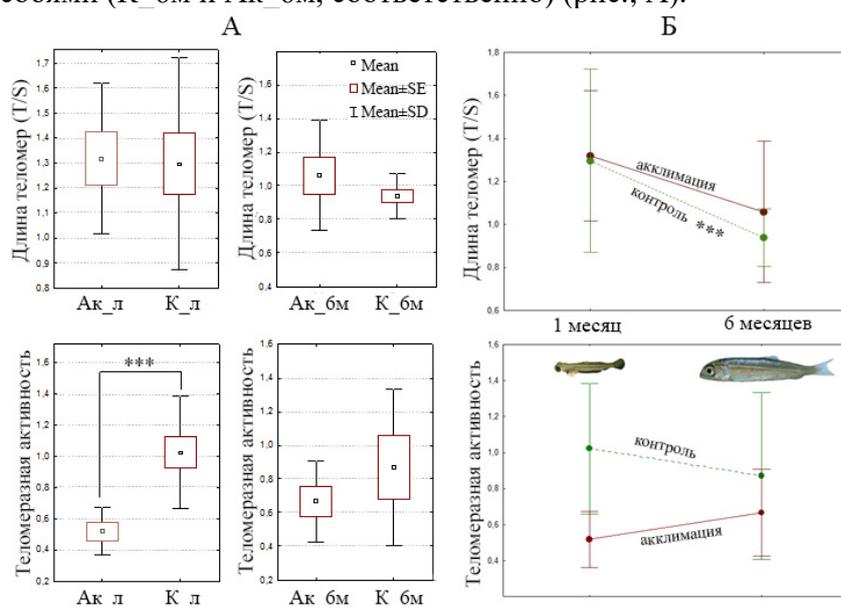


Рисунок. Длина теломер (ДТ) и теломеразная активность (ТА) у личинок и шестимесячных особей байкальского сига *S. baicalensis*. А: сравнение относительных значений ТА и ДТ между контрольными (К) и акклимированными (Ак) особями, К\_л — контрольные особи на стадии личинки, К\_6м — контрольные особи в возрасте шести месяцев, Ак\_л — акклимированные личинки, Ак\_6м — акклимированные шестимесячные рыбы, Mean – среднее, SE — ошибка среднего, SD – стандартное отклонение от среднего. Б: сравнение возрастных отличий в ДТ и ТА у контрольных и акклимированных групп. \*\*\* указывает на статистические отличия  $p<0,005$

Анализ возрастной динамики ДТ за период эксперимента (шесть месяцев) выявил достоверное укорочение теломерных регионов в группе контрольных особей (K-W test,  $p=0,0047$ ) (рис., Б). У акклимированных особей тенденция к укорочению сохранялась, однако не была статистически значимой (K-W test,  $p=0,0675$ ) (рис., Б). Активность теломеразы с возрастом достоверно не менялась (рис., Б).

Недавно была предложена гипотеза тело-гормезиса, которая рассматривает длину теломерных регионов и уровень активности теломеразы как адаптивные признаки (Burbano, Gilson, 2021). Она также предполагает, что их регуляция помогает переживать неблагоприятные условия. У личинок *C. baicalensis* после акклимации на стадии икры ДТ не менялась (рис., А), что говорит об отсутствии сильного стресса и внутриклеточных повреждений. Однако ТА была снижена у акклимированных личинок по сравнению с контролем (рис., А). В этом возрасте рыбы наиболее пластичны, поэтому изменение в ТА может указывать на ответ организма на акклимацию (+6 °С) и на работу механизмов преадаптации. Уже в шестимесячном возрасте отличия в ТА между контрольными и акклимированными симами не зарегистрированы, что указывает на благополучие рыб (рис., А). Акклимация является стрессом, но не настолько сильным, чтобы повлиять на ДТ и дестабилизировать теломеразу. Это указывает на существование гибкой системы защиты целостности хромосом у сегов, при которой не допускается изменений в теломерных регионах, что может служить подтверждением тело-гормезисной гипотезы. Такой же механизм был обнаружен у акклимированного енисейского горбоносого сима *C. fluviatilis*, у которого при температурном стрессе ДТ не менялась, но происходили изменения в ТА (Sapozhnikova, et al., 2023). Стоит отметить, что не у всех лососевых есть такой механизм поддержания ДТ в условиях стресса. У эмбрионов семги *Salma salar* в условиях теплового стресса ДТ увеличивалась (McLennan et al., 2016), а у взрослых особей кумжи *S. trutta* повышение температуры воды приводило к укорочению теломер (Debes et al., 2016). Но эти рыбы не были акклимированы. Исходя из результатов проведенных экспериментов следует, что акклимированные особи становятся более устойчивыми к температурному воздействию. Это важно учесть и более широко применять в аквакультуре, где периодически выходят из строя холодильные установки и холодноводные рыбы гибнут от температурного шока, а также акклимация может помочь сохранить эти виды в условиях изменения климата от человеческой деятельности.

Помимо маркеров благополучия, теломеры считаются маркерами старения (Takubo et al., 2010). Более того, у многих животных теломеры укорачиваются в период активного роста, когда скорость деления клеток и энергетические затраты особенно высоки (например, Frenck, Blackburn, Shannon, 1998). Такая же картина наблюдается у байкальского сима: его теломеры укорачиваются в первые полгода жизни, когда он активно растет (рис., Б). Интересно, что у акклимированных особей такого значительного укорочения не происходит, хотя тенденция сохраняется. Акклимация может позитивно влиять не только на защитные функции животных, но может «омолаживать» организм за счет модуляции молекулярно-генетических процессов. Постоянная активность теломеразы, обнаруженная у одно- и шестимесячных особей байкальского сима (рис., Б), может вносить вклад в эту модуляцию, выполняя свои неканонические функции, в число которых входят защита клеток от окислительного стресса и участие в регуляции некоторых ключевых для пролиферации генов (Peterson, Mok, Au, 2015; Thompson, Wong, 2020).

Таким образом, акклимация на стадии икры оказывает положительный эффект на физиологию сеговых рыб, на что указывает специфические изменения в ДТ и ТА у акклимированных особей *C. baicalensis*: уменьшение ТА у личинок и восстановление ее активности у шестимесячных особей и замедление потери теломер в период быстрого роста рыб.

Работа выполнена на базе УНУ «Экспериментальный пресноводный аквариумный комплекс байкальских гидробионтов» при ЛИН СО РАН (г. Иркутск) и поддержана проектом РНФ № 23-24-00644 (<https://rscf.ru/project/23-24-00644/>).

### Список литературы

1. Volkoff H., Rønnestad I. Effects of temperature on feeding and digestive processes in fish // *Temperature (Austin)*. 2020. Vol. 7. P. 307-320.
2. Madeira D., Narciso L., Cabral H., Vinagre C., Diniz M. Influence of temperature in thermal and oxidative stress responses in estuarine fish // *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.* 2013. Vol. 166. P. 237-243.
3. Redza-Dutordoir M., Averill-Bates D.A. Activation of apoptosis signalling pathways by reactive oxygen species // *Biochim. Biophys. Acta*. 2016. Vol. 1863. P. 2977-2992.
4. Ritchie D.J., Friesen C.R. Invited review: thermal effects on oxidative stress in vertebrate ectotherms // *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.* 2022. Vol. 263. P. 111082.
5. von Zglinicki T. Oxidative stress shortens telomeres // *Trends in Biochemical Sciences*. 2002. Vol. 27. P. 339-344.
6. Barnes R.P., Fouquerel E., Opresko P.L. The impact of oxidative DNA damage and stress on telomere homeostasis // *Mech. Ageing DeVol.* 2019. Vol. 177. P. 37-45.
7. Haussmann M. Telomeres: linking stress and survival, ecology and evolution // *Current Zoology*. 2010. Vol. 56(6). P. 714-727.
8. Monaghan P., Olsson M., Richardson D.S., Verhulst S., Rogers S.M. Integrating telomere biology into the ecology and evolution of natural populations: progress and prospects // *Molecular Ecology*. 2022. Vol. 31. P. 5909-5916.
9. de Lange T. Shelterin: the protein complex that shapes and safeguards human telomeres // *Genes DeVol.* 2005. Vol. 19. P. 2100-2110.
10. Rollings N., Miller E., Olsson M. Telomeric attrition with age and temperature in Eastern mosquitofish (*Gambusia holbrooki*) // *Naturwissenschaften*. 2014. Vol. 101. P. 241-244.
11. Simide R., Angelier F., Gaillard S., Stier A. Age and heat stress as determinants of telomere length in a long-lived fish, the Siberian sturgeon // *Physiol. Biochem. Zool.* 2016. Vol. 89. P. 441-447.
12. Debes P.V., Visse M., Panda B., Ilmonen P., Vasemägi A. Is telomere length a molecular marker of past thermal stress in wild fish? // *Molecular Ecology*. 2016. Vol. 25. P. 5412-5424.
13. McLennan D., Armstrong J.D., Stewart D.C., Mckelvey S., Boner W., Monaghan P., Metcalfe N.B. Interactions between parental traits, environmental harshness and growth rate in determining telomere length in wild juvenile salmon // *Molecular Ecology*. 2016. Vol. 25. P. 5425-5438.
14. Noreikiene K., Kuparinen A., Merilä J. Age at maturation has sex- and temperature-specific effects on telomere length in a fish // *Oecologia*. 2017. Vol. 184. P. 767-777.
15. Sapozhnikova Yu.P., Koroleva A.G., Yakhnenko V.M., Volkova A.A., Avezova T.N., Glyzina O.Yu., Tolstikova L.I., Sakirko M.V., Sukhanova L.V. Thermal preconditioning alters the stability of hump-snout whitefish (*Coregonus fluviatilis*) and its hybrid form, showing potential for aquaculture // *Biology (Basel)*. 2023. Vol. 12. P. 1348.
16. Burbano M., Gilson E. The power of stress: the telo-hormesis hypothesis // *Cells*. 2021. Vol. 10. P. 1156.
17. Takubo K., Aida J., Izumiyama-Shimomura N., Ishikawa N., Sawabe M., Kurabayashi R., Shiraishi H., Arai T., Nakamura K. Changes of telomere length with aging // *Geriatr. Gerontol. Int.* 2010. Vol. 10. P. 197-206.
18. Frenck R.W.Jr., Blackburn E.H., Shannon K.M. The rate of telomere sequence loss in human leukocytes varies with age // *PNAS*. 1998. Vol. 95. P. 5607-5610.
19. Peterson D.R., Mok H.O.L., Au D.W.T. Modulation of telomerase activity in fish muscle by biological and environmental factors // *Comp. Biochem. Physiol. C Toxicol. Pharmacol.* 2015. Vol. 178. P. 51-59.
20. Thompson C.A.H, Wong J.M.Y. Non-canonical functions of telomerase reverse transcriptase: emerging roles and biological relevance // *Curr. Top. Med. Chem.* 2020. Vol. 20. P. 498-507.

## ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ СИГОВ ОЗЕРА ИМАНДРА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ КРАСНОЙ КРОВИ

И.М. Королева\*, Е.А. Заботкина\*\*, П.М. Терентьев\*

\*ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр РАН» Институт проблем промышленной экологии Севера (ИППЭС КНЦ РАН), г.Апатиты,  
[koririn@yandex.ru](mailto:koririn@yandex.ru), [pterentjev@mail.ru](mailto:pterentjev@mail.ru)

\*\*ФГБУН Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,  
пос.Борок, Ярославская обл., [zabel@ibiw.ru](mailto:zabel@ibiw.ru)

Аннотация: проанализированы показатели красной крови, как индикатора гомеостаза рыб, у стенотермного холодолюбивого сига (*Coregonus lavaretus* L.), обитающего в субарктическом оз. Имандра в условиях хронического загрязнения сточными водами предприятий горно-промышленного комплекса и цветной металлургии. Показано, что в современных условиях снизившейся нагрузки, наблюдается ре-адаптация рыб к улучшению качества среды обитания. Произошло сжатие пределов варьирования количественных показателей (концентрации гемоглобина, количества эритроцитов). Цитометрические параметры эритроцитов у сигов из района влияния апатито-нефелинового производства оказались выше, чем таковые у рыб, подвергавшихся воздействию медно-никелевых стоков.

Ключевые слова: ихтиогематология, эритроциты, качество вод, *Coregonus lavaretus*, Имандра

Антропогенное воздействие приобретает все большее значение в динамике водных экосистем, ведущей к дальнейшему отдалению от их естественного развития. В то же время природные условия или среда обитания водных организмов во многом определяют ход внутриводоемных процессов, а также потенциалы стабильности и устойчивости экосистем к антропогенному воздействию. В последние десятилетия в экосистемах внутренних водоемов наблюдаются значительные изменения, которые происходят как под влиянием естественных факторов (длительные и циклические изменения климата и т.п.), так и под влиянием хозяйственной деятельности человека (Моисеенко, 1998). В результате изменяются как структура популяций рыб, так и физиологический статус рыб. В этих условиях особое значение приобретает разработка системы тестов, позволяющих своевременно выявить изменение состояние организма рыб.

Кроветворная система рыб чутко реагирует на изменение факторов водной среды. При патологических состояниях в крови рыб регистрируются морфологически измененные клетки с различной степенью деструкции (Давыдов, 2006). По гематологическим показателям рыб можно судить как о состоянии водоема, так и о накоплении на прилегающей к нему площади водосбора различных загрязнителей, поступающих с водостоком в бассейн. Гематологические исследования считаются одними из наиболее объективных методов оценки состояния организма, но, как правило, изменения не специфичны, то есть по показателям крови нельзя дифференцировать заболевание или токсикоз, хотя они всегда отражает процесс, происходящий в организме, давая оценку клинического состояния (Житенева и др., 1989; Моисеенко, 1998).

Цель работы – определить количественные показатели красной крови и некоторые морфологические характеристики эритроцитов обыкновенного сига в оз. Имандра и выявить возможность использования ихтиогематологических показателей для косвенной оценки уровня загрязнения водной среды.

Озеро Имандра является самым крупным заполярным внутренним водоемом Севера, при нормальном подпорном уровне площадь достигает 876 км<sup>2</sup>. Весь водоем естественно разделяется Йокостровским проливом и проливом Широкая Салма на три больших котловины, называемые Большая, Йокостровская и Бабинская Имандры. Озеро интенсивно

эксплуатируется в интересах гидроэнергетики (каскад Нивских ГЭС), теплоэнергетики (Кольская АЭС), рыбного промысла, хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения. Большая Имандра испытывает наиболее интенсивную нагрузку от промышленных предприятий. На значительной части акватории нарушена природная стабильность химического состава вод – произошел переход от гидрокарбонатного класса к сульфатному, возросла минерализация с 20-30 мг/л до 41-67 мг/л. По содержанию общего фосфора плесы Большая и Йокостровская Имандра относятся к эвтрофному типу. Вследствие окисления накапливаемой органики на придонных горизонтах глубоководных участков формируются области дефицита кислорода, содержание  $O_2$  падает до 3.3 – 4.5 мг/л (Экологическое состояние, 2023).

Обыкновенного сига отлавливали в период открытой воды ставными жаберными сетями. Обработку материала проводили по принятым в отечественной ихтиологии методикам. Отбор биологического материала производили у живых или недавно уснувших рыб. Кровь набирали капилляром из гемального канала после каудэктомии. Дальнейший анализ гематологических параметров выполняли по рекомендованным методам (Методические указания, 1999). Из параметров красной крови были проанализированы: концентрация гемоглобина (Hb) (MCH), общее количество эритроцитов (RBC), средняя концентрация корпускулярного гемоглобина в одном эритроците (MCHC). В условиях большой изменчивости количественных показателей крови, более надежными и стабильными признаются цитометрические индексы, используемые в качестве критерия состояния рыб (Серпунин и др., 2010; Яхненко и др., 2016). В данной работе приводятся данные по размерам большого, малого диаметров эритроцитов и их ядер, их площади и ядерно-цитоплазматическое отношение (ЯЦО).

На основании многолетних наблюдений на водоемах, сохранивших природный гидрохимический состав, была установлено, что содержание гемоглобина у сига в пределах 80-130 г/л можно принять за «норму» для данного вида. В конце 1970-х гг. у сигов в условиях загрязнения наблюдались наибольшие отклонения гематологических показателей по сравнению с рыбами из районов, принятых за контрольные. В районе влияния стоков предприятий горнопромышленного комплекса все показатели были ниже. Так, среднее содержание гемоглобина было меньше по сравнению с контролем в 2 раза –  $63 \pm 3,3$  г/л (табл. 1). Начиная с 1990х гг. началось улучшение физиологического состояния организмов сигов (Moiseenko and el., 2009; Gashkina and el., 2022). В 2006 и 2007 гг. не наблюдалось особей с концентрацией гемоглобина в крови выше нормы. Средняя концентрация гемоглобина и диапазон значений у сигов Бабинской Имандры (условно-фоновой акватории) составлял 78 (44-106) г/л, Йокостровской – 85 (50-106) г/л, а Большой – 86 (56-108) г/л (Гашкина, Моисеенко, 2022). При сопоставлении средних величин за период с 1978-по 1997, видно, что MCHC было больше при меньшем количестве эритроцитов у сигов из Большой Имандры сравнение с таковыми из Йокостровской и Бабинской Имандры (Gashkina and al., 2022).

Все виды загрязнений вызывали схожие изменения морфологии клеток. Наблюдались анизо- и пойкилоцитоз, анизохромазии. Нарушение осморезистентности эритроцитов выявлялось на мазках появлением «фестончатых» краев клеток. В цитоплазме эритроцитов были отмечены вакуоли. Для ядра были характерны явления пикноза или хроматинолиза. Эритроциты в состоянии гемолиза, дегенеративного деления, микроциты и шистоциты встречались у сигов, обитающих по всей акватории водоема. Влияние загрязнения увеличивало процентное содержание таких патологических клеток.

Таблица 1. Динамика показателей красной крови сига в озере Имандра (в числителе приведены средние значения, в знаменателе пределы варьирования)

Период показатели	1978-79 гг.			1996-97 гг.			2018, 2023 гг.		
	МНП*	АНП	Фон	МНП	АНП	Фон	МНП	АНП	Фон
Нв, г/л	88,5 46-128	63,2 10-160	110 24-156	91 54-126	79 56-110	107 76-144	89 48-140	72 51-98	71 48-102
RBC, млн/мм <sup>3</sup>	0,77	0,65	1,04	0,97	0,82	1,02	0,70	0,82	0,81
МСНС, пг	114	98	105	95	92	95	125	98	96
Зрелые эритроциты, %	79	81	95	93	90	94	98,4	-	-

Примечание: \* – здесь и далее зоны влияния: МНП – медно-никелевого производства; АНП – апатито-нефелинового производства.

Выполненный по данным за 2003 г. анализ показал, что содержание гемоглобина у сига в районе влияния медно-никелевого производства в среднем составило 86 (60-122) г/л., в районе воздействия апатито-нефелинового производства оно было выше – 117 (94-132) г/л. Общее содержание эритроцитов в обеих выборках было равным 1 млн./мм<sup>3</sup>. Состав эритроцитов крови у рыб в первом случае отличался более высокими долями незрелых эритроцитов и меньшими размерами эритроцитов, что особенно показательно при сравнении площадей клеток (табл. 2). Содержание микроядер в эритроцитах рыб из обоих мест лова не превышало 1-2 %, амитозы отсутствовали.

Таблица 2. Цитометрические показатели эритроцитов в периферической крови сига оз. Имандра (2003 г.)

Показатели	МНП	АНП
Малый диаметр клетки, мкм	10,22±0,70	10,69±0,88
Большой диаметр клетки, мкм	15,27±0,90	17,04±0,40
Малый диаметр ядра, мкм	4,73±0,50	4,91±0,48
Большой диаметр ядра, мкм	7,20±0,59	7,47±0,43
Площадь клетки, мкм <sup>2</sup>	<b>123±11,5</b>	<b>144±12,8*</b>
Площадь ядра, мкм <sup>2</sup>	26,91±4,15	28,87±3,89
ЯЦО, усл. ед.	0,28±0,06	0,25±0,05

Примечание: \* – различия достоверны при  $p \leq 0,05$ .

Отношение площади ядра и цитоплазмы (NCR) могут свидетельствовать о включении компенсаторных реакций и указывают на уровень метаболизма. По данному параметру различия между двумя выборками были недостоверны. По совокупности всех параметров, можно сделать вывод, что гематологические показатели у сига из акватории, загрязняющейся сточными водами апатито-нефелиновой фабрики, были ближе к показателям, рекомендованным как региональная физиологическая норма (Королева, 2016).

Работа выполнена в рамках государственного задания № 1021051803677-1. НИР № FMEZ-2022-0008.

#### Список литературы

1. Гашкина Н.А., Моисеенко Т.И. Адаптации рыб к снижению антропогенной нагрузки на оз. Имандра // В сборнике: Морские исследования и образование (MARESEDU)-2022. Труды XI Международной научно-практической конф. Тверь, 2022. С. 194-199.
2. Давыдов О.Н., Темниханов Ю.Д., Куровская Л.Я. Патология крови рыб. Киев: Издательство Инкос, 2006. 212 с.
3. Житенева Л.Д., Полтавцева Т.Г., Рудницкая О.А. Атлас нормальных и патологически измененных клеток крови рыб. Ростов-на-Дону: Ростовское книжное издательство, 1989. 110 с.
4. Королева И.М. Гематологические показатели сига обыкновенного *Coregonus lavaretus* в водоёмах Кольского севера // Труды ВНИРО. 2016. Т. 162. С. 37-46.

5. Методические указания по проведению гематологического обследования рыб. № 13-4-2-/1487. Министерство сельского хозяйства. 1999 г. <https://gov.cap.ru/home/65/aris/bd/vetzac/document/201.html>
6. Моисеенко Т.И. Гематологические показатели рыб в оценке их токсикозов // Вопр. ихтиологии. 1998. Т. 38, № 3. С. 371-380.
7. Серпунин Г.Г., Сементина Е.В., Савина Л.В. Морфофизиологические и гематологические показатели молоди сига, выращиваемой на различных кормах // Известия КГТУ. 2010. № 19. С. 196-203.
8. Экологическое состояние озера Имандра. Апатиты: Изд-во Кольский науч. центр, 2023. 221 с.
9. Яхненко В.М., Клименков И.В., Судаков Н.П., Бельшенко А.Ю., Глызина О.Ю., Мамонтов А.М., Сапожникова Ю.П., Суханова Л.В. Морфо-функциональные особенности эритроцитов природных и искусственно выращенных сиговых рыб озера Байкал // Сибирский экологический журнал. 2016. № 2. С. 256-266.
10. Gashkina N.A., Moiseenko T.I., Shuman L.A., Koroleva I.M. The role of trace elements in the adaptation of fish metabolism under reduced pollution: a case study of the subarctic lake Imandra // *Geochemistry International*. 2022. Vol. 60, No. 2. P. 154–169.
11. Moiseenko T.I., Sharov A.N., Vandish O.I., Kudryavtseva L.P., Gashkina N.A., Rose C. Long-term modification of Arctic lake ecosystems: Reference condition, degradation under toxic impacts and recovery (case study Imandra Lakes, Russia) // *Limnologia*. 2009. Vol. 39. P. 1-13.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАВОДСКОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА ГОРБУШИ НА ОСТРОВЕ ИТУРУП, ВЫПОЛНЕННАЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНИКИ ОТОЛИТНОГО МАРКИРОВАНИЯ

Е.А. Косач\*, О.В. Зеленников\*,\*\*

\* Санкт-Петербургский филиал ГНУ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, [oleg\\_zelennikov@rambler.ru](mailto:oleg_zelennikov@rambler.ru)  
\*\* ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ), г. Санкт-Петербург,

*Аннотация: исследовали производителей горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* промыслового стада о. Итуруп с применением техники отолитного маркирования. У забоек рыбоводных заводов присутствовали особи только заводского происхождения, при этом половозрелые рыбы вернулись именно к тем предприятиям, с которых были выпущены мальками. Особи заводского происхождения массово присутствовали во всех выборках. Их улов составил 6466 т, или 80,5 % от общего вылова горбуши.*

Ключевые слова: горбуша, остров Итуруп, нерестовая миграция, отолитное маркирование

Тихоокеанский лосось горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* является главным объектом лососевого промысла; в России его добывают примерно в два раза больше, чем всех остальных лососевых рыб вместе взятых (Шунтов, Темных, 2018). Однако воспроизводят горбушу, фактически, только в Сахалинской области и крайне незначительно в других регионах (Леман и др., 2015). Считается, что горбуша, нерестясь на подрусловом потоке, имеет обширные нерестилища (Heard, 1991; Зеленников, Мякишев, 2023) и хорошо воспроизводится самостоятельно. Надо сказать, что и в Сахалинской области рыбоводы все меньше воспроизводят молодь горбуши, отдавая предпочтение более рентабельной кете (Хованский, 2005). В результате вклад заводского воспроизводства в формирование промысловых стад стал не очевиден (Каев, 2010).

При оценке эффективности заводского воспроизводства лососевых рыб еще недавно (Углова, 2020) заводскими рыбами считались те, которые вернулись, по крайней мере, в базовый водоток рыбоводного предприятия. Соответственно те особи, которые прошли на природные нерестилища считались потомством от естественного нереста. Сейчас, с применением техники отолитного маркирования, мы знаем, что такой способ разделения особей заводского и природного происхождения не оправдан даже в отношении кеты *Oncorhynchus keta* (Зеленников и др., 2023). И конечно, он является несостоятельным для горбуши, которая широко отклоняется от «родных» водотоков. Зная диапазон этого отклонения, мы понимаем, что оценить эффективность заводского воспроизводства горбуши на Сахалине будет непросто. Например, производители с меткой Анивского лососевого рыбоводного завода (ЛРЗ), самого крупного предприятия, специализированного на воспроизводстве горбуши, распространяются по водотокам всего Южного Сахалина (Мякишев и др., 2019). Для выполнения такой задачи более подходит остров Итуруп, где, несопоставимо менее протяженная береговая линия и большая её часть находится в зоне промысла одного предприятия. Однако сложность в том, что в обязательном порядке молодь лососей маркируют только на Федеральных предприятиях. На о. Итуруп работают предприятия частной формы собственности, на которых молодь маркируют эпизодически для решения конкретной задачи. И такое маркирование было выполнено в сезоне 2019-2020 гг. на двух крупнейших ЛРЗ по воспроизводству молоди тихоокеанских лососей – Курильском и Рейдовом.

Цель нашей работы – оценка вклада заводского воспроизводства в формирование промыслового стада горбуши с применением техники отолитного маркирования на примере эксплуатации этого вида у о. Итуруп.

В сезоне 2019-20 гг. на Рейдовом ЛРЗ было выращено 42,8804 млн. мальков горбуши, которых тотально маркировали термическим способом (код метки Н1,2,3). На Курильском ЛРЗ вырастили 59,9532 млн. мальков горбуши, из которых маркировали 45,5 %. На этом предприятии применили сухой способ маркирования (Сафроненков и др., 2000; код метки 1,2,2Н). Помимо этих двух заводов молодь горбуши в 2020 г. выпустили еще с четырех ЛРЗ: Скальный, Минеральный, Бухта Оля и Китовый (рис.). Молодь на этих заводах не метили. Всего в акваторию двух заливов было выпущено 137,0 млн. мальков горбуши, из которых 70,1 млн. (51,2 %) имели заводскую метку. Помимо перечисленных заводов, горбушу вырастили еще на трех предприятиях: ЛРЗ Куйбышевский, Чекист и Саратовский (рис.). Всю молодь на Куйбышевском и Саратовском ЛРЗ маркировали сухим способом с кодом метки 4.2Н.

Отолиты для исследования собирали в июле-октябре 2021 г. в ходе проведения биологических анализов производителей. Рыб для анализов брали на забойках Курильского и Рейдового ЛРЗ, а также из уловов ставных неводов вдоль береговой полосы (точки 10-20; рис.).

Обработку отолитов проводили в лаборатории, где их предварительно очищали от посторонних тканей и при помощи термопластического цемента монтировали на предметные стекла. Затем отолиты шлифовали с помощью дисков разной зернистости до проявления эмбриональной зоны и под микроскопом (Leica DM 1000, производства Сингапур) выявляли маркированных особей. Всего было проанализировано 1754 пары отолитов. Зная улов горбуши в разных районах промысла и долю маркированных рыб в пробах, вычисляли долю заводской продукции в общем вылове.

Как и ожидалось, в каждом из биологических анализов присутствовали производители горбуши заводского происхождения. Наибольшее число маркированных рыб обнаружили у забоек рыбоводных заводов. Например, в выборке от 27 сентября у забойки Курильского ЛРЗ все маркированные особи имели метку этого завода, и доля рыб с меткой – 43,2 % соответствовала доле маркированных мальков.

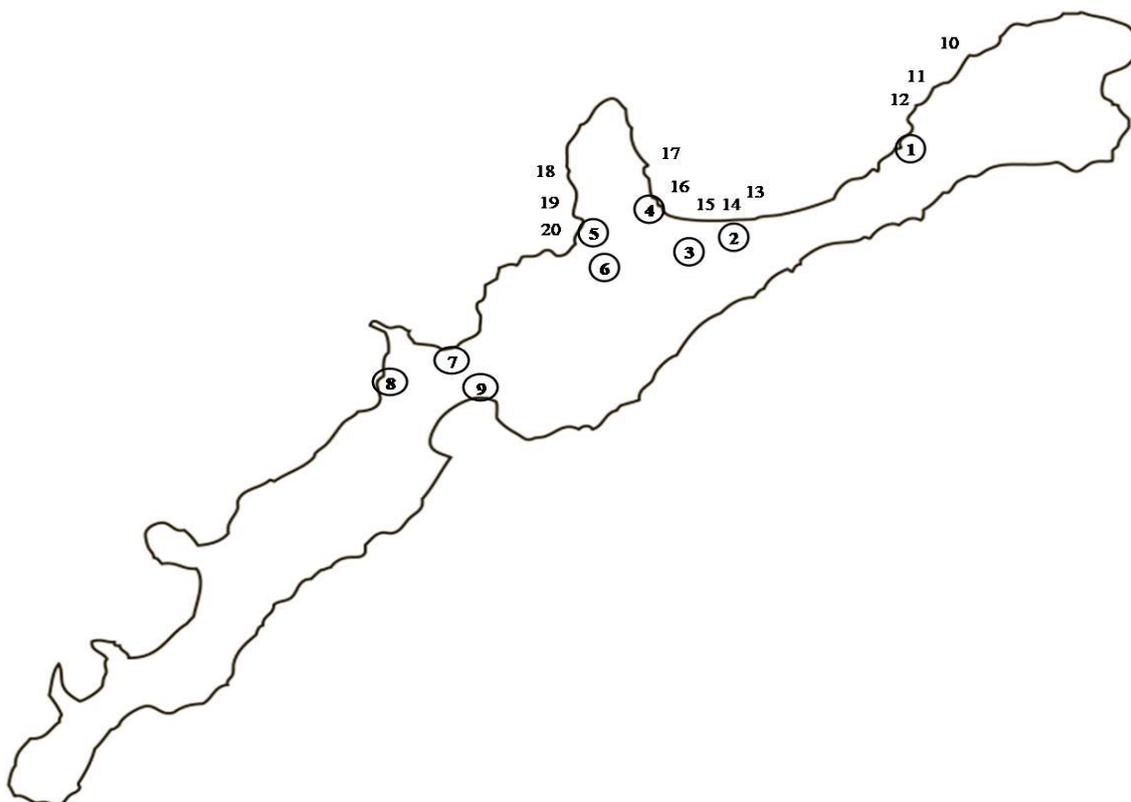


Рисунок. Схема расположения на контурной карте о. Итуруп лососевых рыбоводных заводов: 1 – Скальный, 2 – Рейдовый, 3 – Минеральный, 4 – Бухта Оля, 5 – Китовый, 6 – Курильский, 7 – Куйбышевский, 8 – Чекист, 9 – Саратовский, а также мест постановки неводов в Северной зоне промысла 10-12; в заливе Простор 13-17; в заливе Курильский 18-20. Пояснения в тексте

В северной части острова (точки № 10-12; рис.) уже в начале промысла в большом количестве присутствовали производители заводского происхождения. Например, в выборке от 4 августа почти половина исследованных рыб имела отолитную метку. При этом все три завода Курильский, Рейдовый и Куйбышевский были представлены в сопоставимом количестве – соответственно 20, 16 и 10 особей. В дальнейшем, доля рыб, маркированных на Курильском и Куйбышевском заводах, последовательно сократилась, а особей с меткой Рейдового ЛРЗ напротив возросло. В итоге, в течение всего периода промысла, среди рыб, пойманных в северной части острова, 42,0 % особей имели метку одного из трех предприятий.

Таблица. Число производителей горбуши, маркированных на рыбоводных заводах о. Итуруп и выявленных в августе-октябре 2021 г.

Дата вылова	Изучено отолитов шт.	Отолитов с меткой		Куриль-ский шт.	Рейдо-Вый шт.	Куйбышев-ский шт.
		шт.	%			
Север	393	165	42.0	57	93	15
Простор	595	185	31.3	101	65	19
Курильский	382	220	57.6	168	32	20
Сумма	<b>1370</b>	<b>570</b>	<b>41,6</b>	<b>326</b>	<b>190</b>	<b>54</b>

В кутовой части залива Простор (точки 13-17; рис.) в каждой их проб также присутствовали особи, маркированные на всех трех рыбоводных заводах (табл.). При этом доля рыб с меткой последовательно уменьшалась с 51,5 % в выборке от 6 августа до 7,1 % в выборке от 13 сентября. Можно полагать, что производители заводского происхождения

преимущественно мигрировали в первой половине нерестового хода. В этой зоне промысла также в начале хода преобладали особи, маркированные на Курильском ЛРЗ, а в конце хода – на Рейдовом ЛРЗ. В сумме среди всех исследованных рыб доля особей с меткой составила 31,3 % (табл.). В Курильском заливе доля маркированных производителей была наиболее значительной, в среднем по всем анализам составив 57,6 % от числа исследованных рыб. Вместе с тем и в этой зоне промысла (№ 18-20; рис.) по ходу путины последовательно произошло уменьшение доли рыб с отолитной меткой с 71,4 % в выборке от 28 июля до 41,0 % в выборке от 3 сентября.

Прежде чем оценить вклад рыбоводных заводов в общий улов горбуши, отметим, что в трех выделенных зонах – на севере острова, в заливах Простор и Курильский работают разные бригады рыбаков и улов учитывается отдельно. Согласно статистике, в начале, середине и конце нерестового хода (по 10, с 11 по 25, и после 25 августа) вылов горбуши составил на Севере острова – 138, 774 и 2521 т, в заливе Простор – 92, 669 и 1195 т, и в заливе Курильский – 283, 657 и 1703 т.

Сопоставляя данные по вылову горбуши с долей маркированных особей в каждый период промысла, мы установили, что общий вылов горбуши на о. Итуруп составил 8033 т из которого метку имели особи общей массой 3323 т. Зная, что в сезоне 2019-2020 гг. доля маркированных мальков в общем объеме рыбоводной продукции составила 51,2 %, получили, что суммарный вклад рыбоводных заводов в вылов горбуши составил 6466 т или 80,5% от массы общего улова.

Обобщая полученные данные, в первую очередь отметим, что условия воспроизводства молоди горбуши на Курильском и Рейдовом ЛРЗ позволили сформировать качественную метку, которая надежно сохранилась до полового созревания, и хорошо читалась при исследовании отолитов. По результатам проведенных работ не осталось сомнений в том, что заводское воспроизводство молоди оказывает значительное влияние на формирование промыслового стада горбуши на о. Итуруп. У забоек рыбоводных заводов, присутствовали практически только рыбы заводского происхождения. Они же массово облавливались ставными неводами на любом участке промысла.

#### Список литературы

1. Зеленников О.В., Мякишев М.С. О прогнозирования вылова горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmonidae) на острове Итуруп // Вопросы ихтиологии. 2023. Т. 63, № 2. С. 210-217.
2. Зеленников О.В., Мякишев М.С., Ворожцова А.А., Мартынова А.А., Седунов П.А. Сравнительный анализ производителей кеты *Oncorhynchus keta* (Salmonidae) природного и заводского происхождения, выявленных в общем стаде по результатам отолитного маркирования // Вопросы ихтиологии. 2023. Т. 63, № 4. С. 418-425.
3. Каев А.М. Значение заводского разведения горбуши и кеты для их промысла с Сахалинской области // Рыбное хозяйство. 2010. № 5. С. 57-61.
4. Леман В.Н. Смирнов, Б.П. Точилина Т.Г. Пастбищное лососеводство на Дальнем Востоке: современное состояние и существующие проблемы // Труды ВНИРО. 2015. Т. 153. С. 105-120.
5. Мякишев М.С., Иванова М.А., Зеленников О.В. 2019. К вопросу о мечении молоди лососей и эффективности работы рыбоводных заводов // Биология моря. Т. 45. № 5. С. 342-348.
6. Сафроненков Б.П., Акиничева Е.Г., Рогатных А.Ю. Способ массового мечения рыб // Патент RU 2150827 С1. 2000. Бюл. № 17 (<https://www.fips.ru/cdfi/fips.dll/ru?ty=29&docid=2150827>. Version 12/2022).
7. Углова Т.Ю. Биология, структура нерестовых подходов и промысел горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* о. Итуруп (Южные Курильские острова) : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. 2020. 26 с.
8. Хованский И.Е. Эколого-физиологические и биотехнологические факторы эффективности лососеводства (на примере искусственного разведения тихоокеанских лососей на северном побережье Охотского моря): Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Рыбное, Московская обл.: ВНИИПРХ, 2005. 48 с.
9. Шунтов В.М., Темных О.С. Дальневосточная лососёвая путина-2018: абсолютный исторический рекорд, обеспеченный камчатской горбушей // Бюл. № 13 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. 2018. С. 3-13.
10. Heard W.R. Life history of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) //C. Groot and L. Margolis (eds.). Pacific salmon life histories. UBC Press, Vancouver, British Columbia. 1991. P. 121-230.

## ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГОРНЫЕ ОЗЕРА МЕТОДОМ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

А.Л. Косова, Д.Б. Денисов

*Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН,  
г. Апатиты, [annkosova1976@yandex.ru](mailto:annkosova1976@yandex.ru), [proffessuir@gmail.com](mailto:proffessuir@gmail.com)*

*Аннотация: на основе метода диатомового послойного анализа донных отложений реконструированы изменения качества поверхностных вод за период развития и деятельности предприятий по добыче и переработке апатитонефелиновых руд. Выявлены значительные изменения в видовом составе и структуре диатомовых комплексов, проявляющиеся в смене доминирующих видов, а также в изменениях общей численности, видового разнообразия.*

**Ключевые слова:** донные отложения, диатомовые водоросли, горное озеро, апатит-нефелиновые месторождения, Хибины

Мурманская область относится к одному из наиболее развитых горнорудных регионов Российской Федерации. Запасы многих полезных ископаемых области имеют общероссийское значение, а по апатитонефелиновым – мировое. Одним из самых крупных и богатых месторождений апатитонефелиновых руд является Хибинский массив.

В 1929 г. на базе месторождений Хибин основан трест «Апатит». И, начиная с этого периода, водоемы бассейна р. Большая Белая испытывают мощное многофакторное антропогенное воздействие, связанное как с освоением апатитонефелиновых месторождений, так и строительством г. Кировска. В верховьях р. Вуоннемйок расположен рудник «Восточный», который был введен в эксплуатацию в 80-е годы прошлого столетия. В настоящее время Кировский филиал АО «Апатит» разрабатывает шесть Хибинских месторождений: Кукисвумчорское, Юкспорское, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр, Коашвинское и Ньоркпахкское. В 2006 году Акционерное общество «Северо-Западная Фосфорная Компания» (АО «СЗФК») получило лицензию на право пользования недрами месторождения апатитонефелиновых руд «Олений Ручей», расположенного в восточной части Хибинского горного массива. В 2012 г. завершено строительство первой очереди ГОК «Олений ручей», выполнены пусконаладочные работы в корпусах обогатительной фабрики, получены первые тонны апатитового концентрата. В зону воздействия нового горно-обогатительного комбината входят западная часть оз. Умбозеро, руч. Олений с притоками, оз. Комариное.

Кроме высокого содержания основного полезного компонента –  $P_2O_5$ , щелочные породы массива характеризуются повышенным содержанием Al, F, Cl, Sr, щелочных и щелочноземельных металлов. В результате разработки апатитонефелиновых месторождений происходит интенсивный вынос этих элементов с горнотехнических площадок в окружающую среду. Важнейшим приемником всех типов загрязняющих веществ являются водные объекты.

В силу экономической необходимости масштабы добычи и переработки апатитонефелиновой руды остаются высокими, что приводит к дальнейшему ухудшению качества вод и требует контроля за последствиями техногенного воздействия на водные объекты. Оценка антропогенного воздействия основывается на сравнении современного состояния водоема с природным, «доиндустриальным». Но для большинства водоемов Севера такая информация отсутствует.

Донные отложения, формирующиеся в озерных котловинах, являются замечательными и уникальными природными архивами. Диатомовые водоросли –

традиционный инструмент биоиндикации состояния водных экосистем. Диатомовый анализ донных отложений (ДО) имеет важное значение для палеоэкологических реконструкций. В настоящее время он входит в группу руководящих методов, применяемых для реконструкции исторической динамики окружающей среды. Надежность результатов палеоэкологических реконструкций определяется полнотой данных о региональном флористическом богатстве диатомовых водорослей. Метод диатомового анализа позволяет выявить изменения параметров водоемов Хибинского горного массива в условиях техногенных нагрузок в районах разработок апатитонефелиновых месторождений.

Большой Вудъявр является самым крупным озером Хибинского горного массива. Оно располагается в южной части Хибин. Озеро достаточно подробно изучается с момента начала освоения апатитонефелиновых месторождений (Каныгина, 1939). Детальные гидрохимические и гидробиологические исследования оз. Б. Вудъявр проводятся сотрудниками ИППЭС Кольского НЦ РАН с момента образования Института (1989 г.), и результаты отражены в публикациях (Денисов и др., 2007; Кашулин и др., 2008, 2012; Павлова и др., 2019; Даувальтер и др., 2021; Dauvalter et al., 2022, и др.). Палеоэкологические исследования ДО оз. Большой Вудъявр методом диатомового анализа позволили реконструировать изменения экосистемы водоема до и после начала промышленного освоения месторождений Хибинского горного массива (Денисов, 2007; Кашулин и др., 2008). Колонка ДО, мощностью 28 см, была отобрана в августе 2002 г. Выявлены значительные изменения в структуре диатомовых комплексов: на всем протяжении колонки снизу вверх несколько раз отмечена смена доминирующей группы видов диатомовых водорослей (*Aulacoseira alpigena* (Grun.) Kramm., *Cyclotella rossii* Håkansson → *Asterionella formosa* Hassall → *Aulacoseira subarctica* (Otto Müller) E.Y. Haworth → *Diatoma tenuis* C. Agardh → *Surirella brebissonii* Krammer & Lange-Bertalot, *Stephanodiscus hantzschii* Grunow). Такая смена доминантных групп диатомовых водорослей отражает смену трофического статуса водоема. Также выявлены резкие изменения общей численности, видового разнообразия и активной реакции воды. Обнаружена тенденция к развитию видов - алкалифилов по отношению к рН. За исследованный период в экосистеме оз. Большой Вудъявр произошли коренные изменения, связанные с деятельностью горнопромышленного комплекса на территории водосбора начиная с 1930-х гг. Полностью изменился химический состав вод, трофический статус, скорость процессов седиментации, прозрачность и др.

Колонка ДО, мощностью 24 см, из оз. Комариного, расположенного на юго-востоке Хибинского массива, в 8,9 км на северо-восток от пос. Коашва, была отобрана в октябре 2021 г. Колонка изучалась методами химического и диатомового анализов. В сентябре 2007 г., до начала деятельности ГОК «Олений ручей», были проведены гидрохимические и гидробиологические исследования оз. Комариного (Кашулин и др., 2012). Воды озера имели нейтральную среду и характеризовались невысокими содержаниями общей минерализации и щелочности. Для озера были характерны низкие концентрации основных катионов и анионов, среди которых преобладали натрий и гидрокарбонаты. Среди водорослевых сообществ преобладали представители диатомовых (Bacillariophyta). Доминирующие виды: в фитопланктоне – *Aulacoseira alpigena* (до 41 % от общей численности) – типичный представитель планктона олиготрофных водоемов Кольского полуострова, в фитоперифитоне – *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz. (до 36 %). Индекс сапробности, рассчитанный по фитоперифитону, соответствует бета-олигосапробной ( $\beta$ -o) степени сапробности и III классу качества вод «умеренно загрязненные».

В период 2011–2020 гг. проводился гидрохимический мониторинг оз. Комариного (Даувальтер и др., 2021), который показал значительные изменения химического состава воды: вода озера из нейтральной превратилась в щелочную, увеличилось содержание

основных ионов и изменилось их соотношение (главным образом анионов), увеличилась минерализация воды, значительно выросло содержание соединений биогенных элементов, в первую очередь азота, и некоторых микроэлементов (Sr, Cu, Mo, F).

Результаты диатомового анализа колонки ДО оз. Комариного отражают значительные изменения в видовом составе и структуре диатомовых комплексов, проявляющиеся в смене доминирующих видов, а также в изменениях общей численности, видового разнообразия. Олиготрофный вид *Aulacoseira alpigena* сменился бентосным алкалофильным видом *Achnanthes minutissima* Kütz. (21-33 %) и планктонно-литоральным ацидофильным видом *Tabellaria flocculosa*. В верхних слоях единично отмечен *Stephanodiscus alpinus* Grun., который является надежным индикатором антропогенных преобразований, связанных с поступлением биогенных элементов и других загрязнителей. Индекс сапробности, рассчитанный по индикаторным видам, соответствует классу  $\beta$ -мезосапробных, то есть умеренно загрязненных вод.

Таким образом, причиной резких изменений в экосистемах изученных озер является деятельность апатитовой промышленности в регионе, связанная с непосредственным поступлением загрязнителей в водоемы.

Работа выполнена в рамках тем НИР № FMEZ-2022-0008, № FMEZ- FMEZ-2024-0014. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Список литературы

1. Даувальтер М.В., Даувальтер В.А., Денисов Д.Б., Слукровский З.И. Загрязнение горного озера апатит-нефелинового производства // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2021. № 18. С. 150-154. <https://doi.org/10.31241/FNS.2021.18.027>
2. Денисов, Д.Б. Изменение гидрохимического состава и диатомовой флоры донных отложений в зоне воздействия горнорудного производства (Кольский п-ов) // Водные ресурсы. 2007. Т.34, № 6. С. 719-730.
3. Каныгина А.В. Гидробиологическое и гидрохимическое исследование озера Большой и Малый Вудъявр. Апатиты: Кольская научно-исследовательская база АН СССР.1939. 206 с. (Фонды ФИЦ КНЦ РАН, No 105).
4. Кашулин Н.А., Денисов Д.Б., Сандимиров С.С., Даувальтер В.А., Кашулина Т.Г., Малиновский Д.Н., Вандыш О.И., Ильяшук Б.П., Кудрявцева Л.П. Антропогенные изменения водных систем Хибинского горного массива (Мурманская область). В 2 ч. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2008. Ч. 1. 250 с., ч. 2. 282 с.
5. Кашулин Н.А., Сандимиров С.С., Даувальтер В.А., Кудрявцева Л.П., Терентьев П.М., Денисов Д.Б., Вандыш О.И., Валькова С.А. Аннотированные экологический каталог озер Мурманской области (Восточная часть. Бассейн Белого моря). В 2 ч. Апатиты. Изд-во: КНЦ РАН, 2012. Ч. 1. 221 с.
6. Павлова А.С., Кашулин Н.А., Денисов Д.Б., Терентьев П.М., Кашулина Т.Г., Даувальтер В.А. Распределение химических элементов между компонентами экосистемы арктического озера Большой Вудъявр (Хибины, Мурманская область) // Сибирский экологический журн. 2019. № 3. С. 348-366.
7. Dauvalter V.A., Denisov D.B., Dinu M.I., Slukovskii Z.I. Biogeochemical Features of Functioning of Small Arctic Lakes of the Khibiny Mountains under Climatic and Environmental Changes // *Geochem. Int.* 2022. Vol. 60(6). P. 560-574.

## О СВЯЗИ ИХТИОМАССЫ, РЫБОПРОДУКТИВНОСТИ ОЗЕР И ПОТЕНЦИАЛЬНОГО УЛОВА С ИХ БИОЛИМНИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

В.Г. Костоусов,\* Б.В. Адамович\*\*

\* РУП «Институт рыбного хозяйства», г. Минск, [vkostousov@tut.by](mailto:vkostousov@tut.by)

\*\* Белорусский государственный университет, г. Минск, [belaqualab@gmail.com](mailto:belaqualab@gmail.com)

*Аннотация: на примере озер Беларуси проанализирована зависимость ихтиомассы от ряда биолимнических факторов. Наибольшие коэффициенты аппроксимации установлены для пар со средней глубиной и прозрачностью воды, а также с биомассой фито- и зоопланктона. Предложена регрессионная линейная многофакторная модель зависимости ихтиомассы (общей и промысловой) от указанных показателей. На основании материалов гидроэкологических и ихтиологических исследований на 5 модельных рыбопромысловых озерах определена потенциальная продукция популяций промысловых рыб. Установлено, что величины реального прироста рыбного стада возрастают соответственно тенденции роста уровней трофности озер, расчетная продукция рыбного стада превышала текущий промысловый запас в модельных озерах в 1,6-3,5 раза. Различие реальных и расчетных приростов ихтиомассы в ряду может объясняться как существующей долей хищных видов в структуре рыбного стада, так и эффективностью перехода энергии фитопланктона на более высокие уровни по причине роста удельного значения цианобактерий. Установленная продукция рыб превышает расчетный показатель по доводимому нормативу изъятия, что создает определенный запас ихтиомассы, нивелирующий межгодовые изменения рыболовной нагрузки. Предложены параметры для расчета допустимого объема изъятия рыбопродукции на основании данных по показателям первичной продукции планктона и структуры сообществ первичных продуцентов и рыб.*

*Ключевые слова: озеро, биолимнические показатели, трофический статус, ихтиомасса, рыбопродуктивность, допустимый вылов*

К настоящему времени в Республике Беларусь разработаны методические подходы к установлению рациональных режимов эксплуатации ресурсов рыб на основании установления лимитов допустимого годового вылова в зависимости от отношения угодий к той или иной группе по рыбохозяйственной классификации, для которых определены средневзвешенные величины промыслового запаса рыбного стада. Нормативы допустимого вылова по каждой группе закреплены Правилами ведения рыболовного хозяйства и служат основанием для установления структурами государственного управления лимитов и квот вылова (Правила ведения..., 2021). Расчет определения норм изъятия строился преимущественно на материалах и методике определения промыслового запаса рыбы и соотношения запаса и годового прироста рыбного стада (популяции), базирующийся на данных, полученных ранее при обезрыблении озер и экстраполируемых на другие типы и группы водоемов (Федоров, 1996). Практика применения показала, что при всех своих преимуществах, такой подход не является универсальным, поскольку изначальный анализ охватывал лишь небольшой спектр водоемов одной трофической группы, применение же указанного подхода ко всем категориям угодий вызывало системные ошибки и требовало уточнения. Логично предположить, что расчет норматива изъятия должен базироваться с учетом биопродукционных характеристиках водного объекта, причем используемые показатели должны иметь многолетнюю составляющую, что не для всех водоемов имеется и которую не всегда возможно получить. Проводимые с начала 90-х гг. XX ст. работы по мониторингу состояния запасов рыб в рыболовных угодьях Республики Беларусь позволили систематизировать данные по 276 рыбопромысловым озерам и водоемам фонда запаса, территориально относимым к зонам Белорусского Поозерья (252), центральной части (10) и Белорусского Полесья (14), по которым были установлены состав наличной ихтиофауны и величины ихтиомассы. Площадь анализируемых водоемов колеблется от 1 до 7962 га,

максимальная глубина от 1,0 м до 43,3 м, состав ихтиофауны от 2 до 25 видов, ихтиомасса – от 2,6 до 211,9 кг/га. Собранные материалы были систематизированы в виде табличных баз данных и подвергнуты корреляционному, дисперсионному и регрессионному анализам. При проведении предварительного анализа были выявлены пары признаков, проявляющих установить достоверную корреляционную зависимость с показателями ихтиомассы (Костоусов, 2017). Корреляционный анализ блока данных по анализируемым водоемам показал наличие разностепенных зависимостей по отдельным парам признаков при уровне значимости  $p < 0,05$ :

- достаточно высоких для ихтиомассы и прозрачности воды, средней глубины, биомассы планктонных сообществ ( $r = 0,6-0,84$ );
- меньшее значение для зависимости ихтиомассы от объема ихтиоценоза, показателя кормности (зоопланктон + зообентос), площади водоема ( $r = 0,44-0,54$ );
- незначительную зависимость ихтиомассы от максимальной глубины, биомассы бентоса, некоторых гидрохимических показателей, включая морфо-эдафический коэффициент ( $r = 0,13-0,23$ ).

Проведенный дисперсионный анализ баз данных позволил установить регрессионные парные и множественные зависимости и на их основе определить пары признаков с максимальными коэффициентами корреляции и аппроксимации. Первоначальный парный регрессионный анализ, проведенный по скомпонованным базам не преобразованных данных, показал наличие зависимостей трех типов: степенной  $y = a x^b$ , логарифмической  $y = a \lg x + b$  и сложной квадратической  $y = (-a) x^2 + b x + c$ .

Зависимость ихтиомассы от комплекса абиотических и биотических факторов имела положительную корреляцию с разной степенью напряженности. Поскольку степень взаимосвязи между прямыми значениями ихтиомассы и анализируемыми показателями не носит четкого характера, для дальнейшего построения регрессионных зависимостей по отобранным парам, данные были приведены к единым объемным показателям, а в целях снижения дисперсии и приведения к линейному виду, прологарифмированы. В качестве переменных использованы показатели, имеющие статистически значимую корреляцию с общим или промысловым запасом ихтиоценоза. Из пар с участием факторов биотической природы максимальные уровни аппроксимации выявлены для пар ихтиомасса – биомасса фитопланктона, ихтиомасса – биомасса зоопланктона. Биомасса зообентоса не дает существенной корреляционной зависимости с ихтиомассой. Из абиотических факторов наибольший уровень аппроксимации выявлен для показателей прозрачности воды и средней глубины.

Отмеченные зависимости описывались следующими уравнениями:

- для средней глубины  $y = 0,88 - 0,89x$ ;
- для прозрачности воды  $y = 0,54 - 0,66x$ ;
- для биомассы фитопланктона  $y = 0,29 + 0,07x$ ;
- для биомассы зоопланктона  $y = 0,35 + 0,23x$

где  $y$  –  $\lg$  ихтиомассы,  $x$  –  $\lg$  соответствующего значения показателя.

В соответствии с выбранным направлением построения линейной многофакторной модели полученные данные были вновь сформированы в пары по значениям лимнических и биопродукционных показателей анализируемых озер, по которым отмечена наибольшая степень корреляции с рыбопродуктивностью.

Регрессионный анализ проведен со статистически значимыми переменными:  $\lg$  глубина средняя,  $\lg$  прозрачность,  $\lg$  биомасса зоопланктона,  $\lg$  биомасса фитопланктона. По парам с максимальными значениями коэффициентов корреляции и аппроксимации представлена линейная регрессионная многофакторная модель. Общий вид модели приобрел следующее отображение:

$$Y = \sum_{i=1}^n a_i x_i + b_0 + e \quad (1)$$

После подстановки соответствующих числовых значений уравнение многофакторной регрессии принимает вид:

для *общей ихтиомассы*:

$\lg(\text{общий запас ихтиомассы, г/м}^3) = - 0,82(\lg \text{ глубина средняя, м}) - 0,10(\lg \text{ прозрачность, м}) + 0,056(\lg \text{ биомасса зоопланктона, г/м}^3) + 0,103(\lg \text{ биомасса фитопланктона, г/м}^3) + 1,88;$

для *промысловой части ихтиомассы*:

$\lg(\text{промысловый запас ихтиомассы, г/м}^3) = - 0,81(\lg \text{ глубина средняя, м}) - 0,11(\lg \text{ прозрачность, м}) + 0,048(\lg \text{ биомасса зоопланктона, г/м}^3) + 0,117(\lg \text{ биомасса фитопланктона, г/м}^3) + 1,72.$

По сложившимся к настоящему времени представлениям (Федоров, 1996; Бабаян, 1998) допустимый улов не должен превышать годовой прирост (продукции) ихтиомассы. Однако, как заметил С. В. Шибяев (2006), величина продукции не остается постоянной, а уменьшается в связи с увеличением интенсивности промысла и возрастанием объема вылова. В тоже же время, скорость ее образования, определяемая Р/В-коэффициентами в интервале высоких значений промысловой смертности, постепенно возрастает за счет изменения структуры и относительного омоложения стада. Следовательно, как только улов приблизится к уровню продукции популяции, которая характерна для ее исходного состояния, ее величина сама начнет изменяться и сравняется с уловом, но уже при другом коэффициенте промысловой смертности, отличающемся от заданного значения.

Под продукцией рыб обычно следует понимать суммарный прирост ихтиомассы возрастных групп по всем популяциям, достигаемый за единицу времени (Руденко, 2006). Для естественных водоемов таковой единицей целесообразно считать 1 год. Следовательно, продукция рыб по каждому озеру может представлять собой сумму годовых приростов возрастных групп всех эксплуатируемых популяций. Анализ данных по размерно-возрастной структуре промысловых популяций рыб позволил установить примерную численность, среднюю массу особи по каждой возрастной группе и индивидуальный весовой прирост. Следовательно, сумма приростов возрастных групп по каждой популяции может рассматриваться как продукция популяции с поправкой на численность особей в возрастной группе. Исходя из данных, полученных по основным звеньям трофической цепи, представляется возможным рассчитать продукцию рыб, как консументов 2-го порядка, то есть приняв их продукцию равной 10 % от продукции зоопланктона, который в свою очередь составляет 10 % от валовой первичной продукции планктона. Ниже приведены величины потенциальной рыбопродукции для озер в диапазоне уровней трофности олиго-мезотрофный (ОМ)- мезотрофный (М)- эвтрофный (Э)– высоко-эвтрофный (ВЭ) при расчете от валовой первичной продукции планктона (ВПП) и его деструкции (Д), с учетом того, что содержание органического вещества в пресноводной рыбе составляет около 20 %, и 2,15 мг органического вещества соответствует 1 мг углерода (Алимов, 1989; Книга и др., 2016).

Таблица. Продукционные показатели и промысловый запас рыб модельных озер

Озеро	Площадь, га	Трофический статус	Промысловый запас рыб, кг сырой массы/га	Годовой прирост рыб, кг сырой массы/га	0,1 % от ВПП, кг сырой массы/га	0,1 % от Д, кг сырой массы/га	Доля хищных рыб в ихтиомассе, %	Доля цианобактерий в биомассе фитопланктона, %
Нарочь	7962	ОМ	37,2	12,60	53,26	92,97	15,4	18,49

Мястро	1319	М	57,8	41,38	102,66	96,81	6,5	5,50
Баторино	625	Э	54,6	32,40	88,42	95,43	3,3	16,60
Свирь	2228	Э	51,7	25,5	98,06	183,12	4,7	31,50
Большие Швакшты	956	ВЭ	57,5	41,90	209,63	174,63	4,5	52,20

Из достаточно большого числа проанализированных зависимостей для последующего использования предложена следующая:

$$\text{ПИ} = 22,36 + 0,29 \times \text{ВПП} - 0,63 \text{ Ц} - 0,8 \text{ X} \quad (2)$$

где ПИ – прирост ихтиомассы, кг/(га·сезон);

ВПП – валовая первичная продукция планктона, кг С/(га·сезон);

Ц – доля цианобактерий в фитопланктоне, %;

X – доля хищных рыб в ихтиомассе, %.

#### Список литературы

1. Алимов А. Ф. Введение в продукционную гидробиологию. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 152 с.
2. Бабаян В. К. Предосторожный подход к управлению рыболовством // Рыбное хозяйство. 1998. № 4. С. 30-32.
3. Книга М.В. и др. Биохимический состав тела сеголетков форели // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. 2016. Вып. 32. С. 69-74.
4. Костоусов В.Г. Зависимость ихтиомассы озер Беларуси от некоторых биологических факторов // Водные биоресурсы и аквакультура. 2017. Вып. 1. С. 40-59.
5. Правила ведения рыболовного хозяйства. Утв. Указом Президента Республики Беларусь от 21 июля 2021г. №284. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 28.07.2021, 1/19821 [Электронный ресурс], 2021. Режим доступа: P32100284\_1627419600.pdf
6. Руденко Г.П. Продукционные особенности ихтиоценозов малых и средних озер Северо-Запада и их классификация. СПб: ГосНИОРХ, 2000. С. 7-9.
7. Федоров В.А. Методика оценки рыбных запасов озер Беларуси и определение оптимального коэффициента их промыслового использования на основе прироста рыбного стада // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси: Сб. науч. тр. 1996. Вып. 14. С. 179-195.
8. Шибяев С.В. Основы промысловой ихтиологии. Калининград: Изд. ФГОУ ВПО «КГТУ», 2006. 319 с.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫЯВЛЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ПАНГАСИУСА В РЫБНОЙ ПРОДУКЦИИ МЕТОДОМ ПЦР В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

М.С. Красникова, М.Б. Брюсова, А.Д. Козлова, Н.С. Горбачева, К.Г. Долинская, Е.А. Лозовая, С.П. Яцентюк

ФГБУ «Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов», г. Москва, [pcr-lab@vgnki.ru](mailto:pcr-lab@vgnki.ru)

Аннотация: в работе представлена методика выявления ДНК рыб семейства Pangasiidae в рыбной продукции с помощью ПЦР в режиме «реального времени». Методика апробирована на образцах продукции, распространяемой в торговых точках московском регионе, в пяти пробах обнаружена ДНК пангасиуса, не заявленная в составе. Предложенная методика направлена на повышение эффективности контроля правильности маркировки и выявления подмен рыбной продукции.

Ключевые слова: рыбная продукция, рыба, пангасиус, фальсификация, ДНК, ПЦР в режиме «реального времени»

К пангасиусам относят представителей двух родов семейства Pangasiidae сомообразных рыб. Основными представителями являются *Pangasionodon hypophthalmus* и *Pangasius bocourti*. Происходят они из Юго-Восточной Азии, однако промышленным ловом их не добывают, а разводят в аквакультуре. Природные условия Камбоджи, Лаоса, Таиланда, Китая и, особенно, регион устья реки Меконг Вьетнама, идеально подходят для выращивания пангасиуса. Эти рыбы очень привлекательны для коммерческого разведения благодаря быстрому росту, высокой плодовитости и адаптивности к условиям содержания.

Пангасиус в пищевом отношении обладает высоким содержанием белка, богат жирными кислотами, витаминами и минералами, хорошо усваивается организмом. Однако, выращивание этой рыбы в водах одной из самых загрязненных рек мира приводит к накоплению в ее тканях вредных веществ и микроорганизмов. Так, при сравнении содержания ртути в филе пангасиуса из Вьетнама и трески из Северо-Восточной Атлантики, реализуемых в Италии, в пангасиусе этот показатель оказался в 4 раза выше (Ferrantelli et al., 2017). Ученые из Бразилии выявили опасное превышение содержания алюминия в филе пангасиуса, импортируемого из Вьетнама (Duarte et al., 2019). По данным Федерального агентства по рыболовству, лабораторный мониторинг вьетнамской рыбопродукции, поступающей на территорию Российской Федерации, также неоднократно выявлял ряд нарушений норм и требований Таможенного союза и России (<https://fish.gov.ru/news/2016/05/24/rosselkhoznadzor-otkazalsya-vozobnovit-eksport-pangasiusa-iz-vietnama/>).

Тем не менее, к настоящему моменту поступление пангасиуса из Вьетнама в Россию остается на высоком уровне. Согласно данным Вьетнамской ассоциация экспортеров и производителей морепродуктов (VASEP), в мае 2024 г. экспорт вьетнамского пангасиуса в Россию увеличился в 6,5 раз по сравнению с аналогичным периодом 2023 г. (<http://seafood.vasep.com.vn/key-seafood-sectors/pangasius/news/vietnamese-pangasius-exports-to-russia-accelerate-after-two-years-of-war-30879.html>).

Рыбная промышленность сталкивается со многими проблемами в связи с увеличением производства аквакультуры. Рыбная продукция уязвима для мошенничества, поскольку дорогостоящая рыба может быть заменена дешевой. Особенно это актуально для продукции, которую сложно идентифицировать морфологически. В последние годы все чаще выявляются случаи преднамеренной подмены рыбной продукции (Состояние..., 2018)

и пангасиус является одной из тех рыб, которыми выгодно подменять более ценные виды рыб. Сообщения о подобных фальсификациях неоднократно появлялись в СМИ разных стран.

Фальсификация рыбы может влиять на здоровье потребителей, поэтому рыбная продукция должна быть идентифицирована перед продажей клиентам. В настоящее время для определения видовой принадлежности часто используют метод секвенирования, однако, этот способ подходит только для однокомпонентных продуктов, таких как рыбное филе, но не может использоваться для многокомпонентной продукции. Была поставлена задача разработать методику, позволяющую выявлять ДНК рыб семейства Pangasiidae не только в однокомпонентной продукции, но и в продуктах из нескольких рыбных компонентов.

В работе использованы образцы рыбной продукции (филе, фарш, котлеты, рыбные палочки, крабовые палочки, готовые салаты и др.), отобранной из торговых точек в московском регионе, а также, контрольная панель, включающая 41 образец ДНК промысловых видов костистых рыб, некоторых млекопитающих и птиц, идентифицированная методом секвенирования митохондриального генома.

Выделение ДНК проводили набором ДНК Сорб-ГМО Б (ООО Синтол). Амплификацию проводили с использованием разработанной в ФГБУ «ВГНКИ» системой праймеров и зондов и готовой смеси для ПЦР 5X Fast probe qPCR Mastermix (ООО БелБиоЛаб). Амплификацию и детекцию проводили с помощью приборов Rotor-Gene Q (Qiagen, Германия).

На основании множественного выравнивания нуклеотидных последовательностей разных видов рыб, представленных в базе данных GenBank, были подобраны специфические олигонуклеотиды, комплиментарные фрагменту гена 16S рРНК представителей семейства Pangasiidae. Для контроля качества выделения ДНК и предотвращения получения ложноотрицательных результатов в ПЦР-смесь были введены праймеры и зонд для амплификации и детекции фрагмента ДНК, общего для всех позвоночных животных.

Разработана методика выявления генетического материала пангасиуса в рыбной продукции с помощью полимеразной цепной реакции в режиме «реального времени», подобраны оптимальные условия амплификации. При валидации методика показала высокую эффективность и специфичность. Предел абсолютной чувствительности методики составил  $1 \times 10^4$  копий/мл. Экспериментально показана возможность использования методики для исследования образцов, подвергшихся воздействию температуры, соли или уксуса.

Методика опробована на 111 образцах рыбной продукции, в пяти образцах была обнаружена ДНК пангасиуса, не заявленного производителем в составе пищевого продукта. Выявленные с помощью предлагаемой методики обнаружения подтвердились с помощью секвенирования по ГОСТ 34106-2017.

Таким образом, особенности биологии пангасиуса при нарушении требований выращивания приводят к накоплению в тканях рыбы опасных веществ и микроорганизмов. Относительная дешевизна выращивания Pangasiidae делает экономически выгодной подмену пангасиусом более дорогой морской рыбы, такая подмена некачественной рыбой может нанести вред здоровью потребителя. Для быстрого скринингового выявления фальсификации пангасиусом разработана методика, позволяющая детектировать ДНК рыб семейства Pangasiidae в различных образцах рыбной продукции. С помощью разработанной методики проведено исследование 111 образцов рыбной продукции, в пяти образцах выявлено несоответствие маркировки, что составило 4,5 % выборки.

Полученные результаты подчеркивают необходимость контроля рыбной продукции для сокращения числа фальсификаций на рынке, а предложенная методика может быть полезна для усиления такого контроля.

### Список литературы

1. ГОСТ 34106-2017 Продукция пищевая и сырье. Метод секвенирования фрагментов митохондриального генома животных и рыб для определения видовой принадлежности в однокомпонентной продукции. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/64819/> (дата обращения 27.08.24).
2. Россельхознадзор отказался возобновить экспорт пангасиуса из Вьетнама // Федеральное агентство по рыболовству Российской Федерации. 24.05.2016. URL: <https://fish.gov.ru/news/2016/05/24/rosselkhozndzor-otkazalsya-vozobnovit-eksport-pangasiusa-iz-vetnama/> (дата обращения 29.08.24).
3. ФАО. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры 2018 – Достижение целей устойчивого развития. Рим, 2018. Лицензия:CC BY-NC-SA 3.0 IGO
4. Ferrantelli V., Giangrosso G., Cicero A., et al. Evaluation of mercury levels in Pangasius and Cod fillets traded in Sicily (Italy) // Food Additives & Contaminants. 2012. Part A. Vol. 29(7). P. 1046-1051.
5. Gisele Silva Costa Duarte, Ricardo Massato Takemoto, Mirian Ueda Yamaguchi, Liliane Stedile de Matos and Gilberto Cezar Pavanelli. Evaluation of the Concentration of Heavy Metals in Fillets of Pangasius hypophthalmus (Sauvage, 1878), Panga, Imported From Vietnam // International Journal of Development Research. 2019. Vol. 09(10). P. 30181-30186.

## КУЛЬТИВИРОВАНИЕ БУРЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ПРИМОРЬЕ – ИСТОРИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Т.Н. Крупнова

*Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» (ТИНРО),  
г. Владивосток, [tatiana.krupnova@tinro.vniro.ru](mailto:tatiana.krupnova@tinro.vniro.ru)*

Аннотация: приведены основные достижения в культивировании бурых водорослей в прибрежье Приморья за период с 1972 г по настоящее время. Анализируются успехи в разработке технологий выращивания ламинарии и причины, тормозящие увеличения урожая водорослей.

Ключевые слова: бурые водоросли, морские плантации, культивирование, ламинария, костария, ундария

В последнее время внимание мировой общественности обращено на такой природный ресурс как водоросли – макрофиты, в частности – бурые водоросли, которые служат сырьем для здорового питания, альгинатного производства, а также рассматривается их использование для снижения парникового эффекта за счет поглощения углекислого газа в процессе своего жизненного цикла и выделения кислорода, необходимого для дыхания большинства животных, населяющих нашу планету.

В прибрежье Приморья наиболее востребованной бурой водорослью является ламинария японская *Laminaria japonica* (Aresch.), недавно переименованная в *Saccharina japonica* на основании сравнения нуклеотидных последовательностей фрагментов ДНК при молекулярно-генетическом анализе всех видов ламинарий, произрастающих в разных районах мира. При этом было предложено единый крупный род *Laminaria* разделить на два рода, и ламинария японская отнесена в новый выделенный род *Saccharina* (Lane et al.). Под этим названием она в настоящее время цитируется в научной литературе.

Однако часто в промышленной практике ее называют, как и ранее, ламинария японская (*Laminaria japonica*), в силу традиционного названия, используемого на протяжении многих лет. При этом необходимо понимать, что это не две разные водоросли, а одна с разными названиями.

Ламинария японская в прибрежье Приморья вплоть до семидесятых годов прошлого века произрастала практически на всем донном субстрате, где имелись благоприятные условия (каменистый грунт, хорошая гидродинамика), образуя сплошной водорослевой пояс. В этот период ламинария добывалась в достаточном количестве для заполнения всех имеющихся емкостей перерабатывающих предприятий Приморья. Однако поддавшись моде и информационному прессу об успешном культивировании водорослей в близлежащих странах (Японии, КНДР, КНР) в 1972 г. на базе рыбозавода «Валентин», расположенному в прибрежье среднего Приморья, по приказу Минрыбхоза СССР от 26.02.1972 № 1009 была организована опытно-промышленная плантация по культивированию ламинарии площадью 1 га. Этот исторический момент и считается началом марикультуры водорослей.

С 1972 по 1988 гг. разработаны методы индустриального культивирования, при котором ламинария выращивалась на подвесных плантациях. На основе этих результатов составлена «Инструкция по биотехнологии культивирования ламинарии в двухгодичном цикле» для участков побережья с разными гидрологическими и гидрохимическими условиями, которая успешно применяется водорослевыми хозяйствами до сих пор. Урожай в зависимости от района выращивания составлял от 60 до 120 т с га. При этом требования

промышленности к товарным качествам культивируемой ламинарии состояли в том, чтобы слоевища были идентичны природным и содержали не менее 12-20 % сухих веществ.

Общая площадь подвесных плантаций в те годы составляла более 100 га. При средней урожайности в 50-70 т с га, масса выращенной ламинарии со всех площадей составляла около 5 тыс. т. Суммарная общая биомасса с учетом объема природной ламинарии была на уровне 7000 т. Перерабатывающие модули хозяйств не были готовы к такому количеству ламинарии и урожай с плантаций часто не был собран из-за нехватки морозильных емкостей и короткого периода сбора выращенного урожая – с июня по август. Наблюдался дисбаланс в успехах культивирования и возможности переработки выращенного урожая.

При этом положительным моментом являлся привнос «посевного материала» - зооспор с маточных слоевищ, которые оставались на плантациях и не были собраны, на каменистый донный субстрат у берега. Это способствовало стабилизации запаса природной ламинарии вплоть до середины 80-ых годов прошлого столетия.

Однако в последние десятилетия природные поля значительно сократились. Если до 1970-х гг. величина запаса составляла около 350 тыс. т, то, начиная с 1980-х гг. эта цифра уменьшилась в несколько десятков раз и на протяжении последних двадцати лет запас водоросли колеблется в пределах от 25 до 4 тыс. т. (Прогноз вылова...2018)

При этом растения ламинарии практически по всему побережью распределены мозаично, обширных полей с плотностью, позволяющей вести широкомасштабный промысел, не наблюдается. На многих участках побережья маточные слоевища ламинарии отсутствуют, а там, где они имеются, произрастают на глубинах от уреза воды и до 5 м, что негативно сказывается на самовосстановлении полей в более глубоководных районах, где ранее определялся основной запас. Это связано с биологическими особенностями вида. Так, зооспоры ламинарии в период спороношения после выхода оседают на дно в непосредственной близости от маточных слоевищ. При этом движение зооспор направлено к берегу (Крупнова, 2008). Вследствие такой двигательной ориентации, площади, где были расположены промысловые поля ламинарии на глубине от 8 до 20 м, не охватываются зооспорами, вышедшими из маточных слоевищ, произрастающих на глубине до 5 м, так как зооспоры двигаются к берегу, а не в сторону моря на большие глубины. Вследствие этого, немногочисленные заросли ламинарии смещены на мелководье, где наблюдается значительная прибойность водной массы, которая вызывает уменьшение размеров слоевищ и, соответственно, сокращение количества спороносной ткани, что приводит к снижению общего репродуктивного потенциала. Так, у 100 промеренных маточных слоевищ, отобранных в районе среднего Приморья в 1996 г., общая площадь спороносной ткани в начале октября в период ее максимальной зрелости и выхода зооспор составляла 27 м<sup>2</sup>, а в 2011 г. это значение было намного ниже – 20 м<sup>2</sup> (Крупнова, 2013). Такая тенденция сохраняется и в настоящее время.

Ламинария японская относится к флюктуирующим короткоцикловым быстрорастущим видам, имеющим высокую плодовитость и значительные колебания урожайности поколений, в связи с чем исчезновение полей ламинарии и распространение ее конкурентов за субстрат – корковых водорослей – можно рассматривать как долговременную сукцессию, вызванную первоначально переловом в 80-е годы прошлого столетия, а затем чередой лет с неблагоприятными гидрологическими условиями для развития ее микроскопических стадий – зооспор и гаметофитов (Крупнова, 2012). Такая сукцессия может развиваться на протяжении неопределенного количества лет, поскольку на значительной части донного каменистого субстрата побережья Приморья в настоящее время маточные слоевища ламинарии отсутствуют или находятся в разреженном состоянии. Это препятствует созданию необходимой концентрации зооспор для восстановления новых зарослей, поскольку ламинария имеет групповое размножение в

связи с особенностями оплодотворения. В отсутствие бурых водорослей природные донные каменистые субстраты заселяются известковыми корковыми водорослями. Борьбе с этим явлением, получившим название «исояке», уделяется большое внимание в Японии.

Смещение полей ламинарии в мелководную зону, снижение объемов продуцирования споронной ткани, отсутствие маточных слоевищ в традиционных местах обитания на глубинах в 8-20 м выражается в формировании ежегодного стабильно низкого запаса. При этом основная его доля приходится на северные, малообжитые районы побережья.

Единственным способом восстановления численности ламинарии является проведение работ по искусственному воспроизводству. В этой связи следует отметить, что все рыбозаводы при социализме были планово-убыточными, но, несмотря на это, успешно работали, получая от государства дотации и осуществляя правительственную линию, направленную на социальную выгоду. Под социальной выгодой понималось создание, как крупных рыбозаводов, так и мелких засольных цехов, сезонных бригад, участков по развитию марикультуры на окраинах страны с целью их заселения и сохранения поселков на пограничных территориях, к которым относятся Приморье, Сахалин, Курилы.

Также преследовалась цель накормить население полезной водорослевой продукцией и тем самым укрепить здоровье граждан СССР, а также получить значительное количество сырья для переработки его на альгинат натрия и маннит, поскольку эти вещества в основном закупались за границей.

В настоящее время каждое хозяйство марикультуры должно рассчитывать только на свои собственные средства. Поэтому в период с 1990 до 2000 гг. наблюдался спад марикультурной деятельности, который был вызван переходом и адаптацией от централизованного государственного финансирования к вложению предприятиями собственных средств в производство.

Одним из важных тормозящих моментов в водорослеводстве в переходный период являлась существующая технология переработки водорослей. Практически вся добытая и культивируемая ламинария шла на изготовление консервов, которые закатывались в жестяные баночки, цена которых повысилась и составляла 4 руб. 84 коп. при стоимости самой продукции около 5-8 руб., то есть цена баночки была, чуть ли не выше ее содержимого.

Но, так как полезность ламинарии никто не отменял и спрос на нее не ослабевал, предприятия стали искать более экономичные способы переработки, например, переходить на более дешевую упаковку – пластмассовые баночки и подложки, в связи с чем в последние годы наметилась тенденция увеличения добычи природной ламинарии и объемов ее выращивания на плантациях.

Разработанные методы культивирования ламинарии по индустриальному циклу на подвесных плантациях требуют значительных финансовых затрат, что было допустимо в условиях социализма за счет государственной поддержки.

В настоящее время в Тихоокеанском филиале «ВНИРО» («ТИНРО») проводятся исследования возможности получения товарной ламинарии на участках марикультуры более дешевым пастбищным методом. Для этого экспериментальным путем изучены механизмы распространения зооспор в водной среде в местах размещения маточных слоевищ, получены данные по динамике развития конкурентов ламинарии за субстрат – корковых известковых водорослей, филлоспидикса и костарии, проведены эксперименты по рекультивации ламинарии на субстрате с различной степенью развитости ее основных конкурентов - корковых водорослей. Отработаны механизмы восстановительных работ для закрытых и полукрытых бухт, для участков побережья, прикрываемых от сильного волнения мысами. Результаты исследований воплотились в «Биотехнологию восстановления полей ламинарии», основанную на размещении простимулированных для массового выхода зооспор маточных слоевищ ламинарии в места ее бывшего традиционного

обитания. В настоящее время эта биотехнология с успехом используется на предприятиях марикультуры Приморья с получением урожая до 100-120 т с га.

В 2019 г. вступил в строй современный и оснащенный необходимым оборудованием завод ТИНРО по выращиванию молоди беспозвоночных и рассады водорослей, расположенный на острове Попова. За период с 2019 по 2023 гг. на этом заводе отработана технологическая схема получения урожая товарной ламинарии в форсированном режиме, складывающаяся из оспоривания субстратов-рамок с нитчатым наполнением, выращивания ранних стадий до жизнестойкой рассады в модульном комплексе с регулируемыи условиями среды и передачи рассады на подвесные и донные плантации хозяйств марикультуры. С помощью заводской рассады можно более мобильно восстановить природные поля ламинарии в прибрежье Приморья в тех местах, где они отсутствуют на обширных площадях и, особенно, на участках с плотными поселениями ежа, а также в районах с усиленной гидродинамикой, где пастбищный метод трудно реализуем. Также проводятся эксперименты по выращиванию заводской рассады ундарии, костарии и ламинарии цикориеподобной.

#### Список литературы

1. Крупнова Т.Н. Прогнозирование запасов ламинарии (*Saccharina japonica*) с заблаговременностью в два года. // Изв. ТИНРО. 2012. Т. 170. С. 30-44
2. Крупнова Т.Н. О возможных причинах снижения репродуктивного потенциала и измельчания слоевищ ламинарии японской (*Saccharina japonica*) в прибрежье Приморья. // Изв. ТИНРО. 2013. Т. 175. С. 93-100.
3. Состояние промысловых ресурсов. Прогноз общего вылова гидробионтов по дальневосточному рыбохозяйственному бассейну на 2018 г. Владивосток: Издательский центр ТИНРО-Центр, 2018. 434 с
4. Lane C.E., Mayes C., Druehl L.D., Saunders G.W. A multi-gene molecular investigation of the kelp (Laminariales, Phaeophyceae) supports substantial taxonomic reorganization // J. Phycol. 2006. No. 42. P. 493-512.

## ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ БАЛТИЙСКОЙ СЕЛЬДИ (САЛАКИ)

А.Ф. Кузнецов, И.В. Боркин

Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), г. Санкт-Петербург, [kaf1980@yandex.ru](mailto:kaf1980@yandex.ru)

Аннотация: проанализированы основные этапы истории изучения балтийской сельди, отраженные в работах ихтиологов российской империи, советского периода и современной России, а также некоторых зарубежных исследователей салаки. Выделено 4 основных этапа. Несмотря на большое количество накопленной информации эколого-биологические и промысловые аспекты, а также внутривидовая дифференциация балтийской сельди остаются не решенными. Решение этих вопросов возможно с использованием современных методов молекулярной биологии и генетического анализа.

Ключевые слова: балтийская сельдь, салака, *Clupea harengus membras*, восточная часть Финского залива, Балтийское море

Балтийская сельдь (салака) – *Clupea harengus membras* L. имеет важнейшее значение для населения тех государств, которые имеют выход к Балтийскому морю. Из глубины веков доходят до нас сведения как об успешном промысле сельди на Балтике (Оявеер, 1988), так и информация об экономических проблемах Союза ганзейских городов, вызванных неудовлетворительным промыслом (проловом) этой рыбы (Засосов, 1970).

В истории исследования балтийской сельди можно условно выделить несколько периодов, и в каждом периоде перед научным обществом возникали определенного рода вопросы, ответы на которые они старательно пытались раскрыть в опубликованных работах.

Первый период носит общий описательный характер и включает в себя всю накопленную ранее информацию о салаке, вплоть до конца XIX в.

Одной из ранних научных работ по салаке Балтийского моря, в которой приводятся доказательства существования двух различающихся рас балтийской сельди – весенненерестящейся и осенненерестующей, это монография, написанная Гислером в 1754 г. (Gisler, 1754, цит. по: Раннак, 1970).

Частично описывают распространение, биологию и различные группировки салаки работы ряда ученых, такие как К.М. Бэр (1860), К.Ф. Кесслер, (1864), С. Kupffer (1878) и Н. Meyer (1878).

Второй период в изучении салаки характеризуется подробным исследованием систематики и начинается с работы Ф. Гейнке, посвященной балтийским сельдям «Naturgeschichte des Herings» (Heinke, 1898). Многие знаменитые российские и советские ихтиологи (Суворов, 1910; Рабинерсон, 1925; Берг, 1932; Раннак, 1970; Оявеер, 1988) неоднократно ссылались на данную работу.

В начале XX в. исследованиями салаки занимался Г. Шнейдер «Die Clupeiden der Ostsee» (Schneider, 1908, цит. по Раннак, 1970). В первой русской ихтиологической экспедиции на Балтийском море 1908-1909 гг. в ходе исследований ихтиофауны Е. К. Суворов в своих работах (Суворов, 1910, 1913) привел немало ценного первичного ихтиологического материала, как по салаке, так и по другим видам рыб, впервые описал нерестилища салаки, дал краткую информацию об инкубации ее икры и размерных характеристиках предличинки. Некоторые сведения о салаке также приведены в работах О.А. Гримма (1907), П. Вохла (1916), П.Г. Борисова (1913, 1915, 1940, цит. по: Смирнов, 1971).

Морфометрии салаки восточной части Финского залива посвящена работа А.И. Рабинерсона «К познанию сельди Финского залива» (Рабинерсон, 1925), в которой

приводится сравнение морфометрических характеристик салаки Копорского побережья с салакой бухты Кашпервик, а также с беломорскими сельдями.

Ценную информацию, как о промысле, так и о биологии салаки Финского залива содержат работы В.С. Михина, О.П. Антиповой и В.С. Флоровского (Михин, Антипова, 1932; Флоровский, 1934).

Широкий спектр комплексных исследований по изучению биологии, промысла, кормовой базы и паразитологии салаки, в зависимости от гидрологических условий в Лужской и Копорской губах были начаты ВНИОРХом в 1938-1939 гг. под руководством К.Ф. Телегина, и научного консультанта проф. И.Ф. Правдина (Телегин, 1938, 1940а, 1940б; 1943; Тюрин, 1939). О.П. Антиповой были проведены эксперименты по искусственному воспроизводству салаки, в ходе которых установлены временные интервалы основных этапов эмбриогенеза (1940б).

Следующий период (третий) в исследовании балтийских сельдей начинается с комплексных экспедиций по изучению Балтийского моря (1947-1948 гг., 1955-1956 гг.). Задачи, стоящие перед наукой тех времен – это исследование экологических особенностей популяций салаки, закономерности и причины колебания численности (Раннак, 1971).

В послевоенное время в восточной части Финского залива исследовательские работы по изучению салаки возобновились ГосНИОРХом с 1954 г., с перерывом с 1965 по 1969 г. (Смирнов, 1971). Биология и промысел салаки, а также кормовая база и гидрологический режим в этот период отражены в работах (Телегин, 1955, 1956а, 1956б, 1958, 1961, 1971; Морозова и Быкова, 1953; Морозова, 1967а, 1967б, 1971; Морозова, Быкова, Подаруева, 1971; Гладких и Соколова, 1956; Битюков, 1960, 1961; Остов, 1961, 1965, 1971, 1978; Остов, Михин, 1967). Распределение салаки и состояние ее запасов (Смирнов, 1977).

Динамика численности салаки освещена в работах (Раннак, 1973; Оявеер, Велдре, 1976; Попов, 1983).

Половой цикл салаки подробно описан в работе (Буцкая, Кузнецов, 1977), плодовитость (Раннак, 1970а).

Исследования распределения личинок в Финском заливе отражены в работах (Галкина, Широков, 1978; Шимкун, 1983; Sjöblom, Parmanne, 1978).

Методы и способы прогнозирования численности салаки подробно описаны (Остов, 1961; Остов, 1965; Остов, 1978).

Основная часть работ, отражающая биологические исследования по салаке Балтийского моря начинается с созданием филиалов ВНИРО: в Таллине в 1944 г., в Калининграде и в Риге в 1945 г. (Зенкевич, 1963; Раннак, 1970б).

Исследования по салаке Балтийского моря и Рижского залива опубликованы в ряде работ по биологии и промыслу (Дементьева, 1947, 1954; Борисов, 1948; Казанова, 1951, 1954; Токарев, 1951; Николаев 1952, 1953, 1954, 1955а, 1955б, 1956, 1957а, 1958а, 1958б, 1960а, 1960б, 1961; Бокова, 1954; Валиков, 1954; Дмитриев 1954, 1958; Сушкина, 1954; Бирюков, 1955, 1956; Николаев и Криевс, 1957; Бирюков и Селецкая, 1958; Мантейфель и др., 1958; Алтухов, 1959; Головачев и Воеводин, 1960; Чепурнов, 1963; Раннак, 1954, 1958а, 1958б, 1958в, 1961, 1965, 1966а, 1966б, 1967; Селецкая, 1955, 1956, 1961; Крыжановский, 1956; Лисивненко, 1957, 1958, 1960, 1961; Лишев, 1957, 1966; Бирюков и Селецкая, 1958; Антонов, 1960, 1962, 1968; Оявеер, 1962а, 1962б, 1967а, 1967б; Оявеер и Раннак, 1967, цит. по Смирнов, 1971), а также в работах более позднего периода (Драпацкий, 1973; Ярвик, 1982).

Плодовитость салаки Рижского залива Балтийского моря отражена в работах Л.Е. Анохиной, М.Н. Кривобок, О.И. Тарковской и А.А. Карасиковой (Анохина, 1961, 1964; Кривобок 1961; Кривобок, Тарковская, Карасикова, 1970), эмбриональное развитие – в работах Л.А. Раннак и М.М. Тоом (Раннак, 1958; Тоом, 1958).

Методика отбора проб на питание у молоди салаки разработаны Х.Т. Трауберга и С.А. Конако (1970).

Большой объем материала по сельдям Балтийского моря и его заливов, (в том числе и западной части Финского залива) содержится в работах Л.А.Раннак и Э.А. Оявеера (Раннак, 1970; Оявеер, 1982, 1988).

Новый (современный) период в исследованиях балтийской сельди начался на рубеже XX - XXI вв., когда произошел коллапс в уловах балтийской сельди, затронувший в большей мере промысел салаки в восточной части Финского залива.

В этот период, (и до настоящего времени) перед рыбохозяйственной наукой поставлены задачи исследования влияния абиотических и антропогенных факторов на среду обитания и колебания численности салаки а также прогнозирование и оценка общедопустимого улова (ОДУ).

В настоящее время работы по изучению салаки многоплановы и связаны с особенностями биологии и современными методами промысла (Шурухин, и др. 2003; Попов, 2006; Raid T., et al., 2013; Боркин, и др., 2015, Шурухин и др. 2016; Боркин, и др., 2019, Кузнецов, 2023а) в разных частях ареала ИЭЗ Российской Федерации (Фельдман и др., 1998; Назаров, Константинов, 1998, Труфанова, 2017а, 2017б), питания салаки (Патокина, Фельдман, 1998), выделением факторов, определяющих темпы роста (Федотова, Тылик, 2009; Труфанова, 2018), по паразитофауне салаки (Груднев, 1998), оценкой влияния абиотических факторов (Кудерский, 2013; Амосова, Зезера, Голубкова, 2022; Кузнецов, 2023б), выделением ключевых факторов, влияющих на развитие личинок (Arula et al, 2014; 2022).

Однако, при наличии большого количества накопленной информации, всесторонне охватывающей как эколого-биологические, так и промысловые аспекты, вопросов (в том числе и по внутривидовой дифференциации балтийской сельди) остается слишком много. Их решение в обозримом будущем возможно с использованием современных методов молекулярной биологии и генетического анализа. Это следующий этап в истории изучения данного вида.

#### Список литературы

1. Амосова В.М., Зезера А.С., Голубкова Т.А. Влияние факторов среды на величины запасов рыб в Балтийском море // Труды ВНИРО. 2022. Т.187. С. 110-127.
2. Анохина Л.Е. О характере изменения плодовитости салаки *Clupea harengus membras* нерестящейся в Рижском заливе, в связи с изменениями ее жирности // Тр. НИИРХ СНХ Латв. ССР. Рига, 1961. Т. 3. С. 139-162.
3. Батальянц К.Я. О происхождении внутривидовой дифференциации балтийской салаки // Вопросы ихтиологии. 1965. Т. 5, Вып. 1 (34). С. 46-57.
4. Берг Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Ленинград: Изд. Всесоюз. Инст. озерн и речн. рыб. хоз-ва, 1932. Ч. 1.
5. Берг Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Ленинград: Изд. Всесоюз. Инст. озерн и речн. рыб. хоз-ва, 1933. Ч. 2.
6. Бирюков Н.П. О формировании численности популяций промысловых рыб Балтийского моря // Тр. ВНИРО. 1973. Т. ХСІ. С. 99-109.
7. Битюков Э.П. Питание салаки в восточной части Финского залива // Вопросы ихтиологии. 1961. Т. 1, Вып. 4 (21). С. 725-736.
8. Бокова Е.Н. Питание молоди промысловых рыб балтийского моря // Тр. ВНИРО. 1954. Т. 26. С. 163-187.
9. Боркин С.И., Кузнецов А.Ф., Боркин И. В. Промысел и некоторые черты биологии балтийской сельди (салаки) Финского залива // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: мат-лы VI Всероссийской научно-практической конференции 24-26 марта 2015 г. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2015. С. 33-36.
10. Боркин И.В., Шурухин А.С., Богданов Д.В. Промысел и современное состояние запаса балтийской сельди *Clupea harengus membras* (Linnaeus, 1758) в российских водах Финского залива // Рыбное хоз-во. 2019. № 1. С. 52-55.
11. Буцкая Н.А., Кузнецов Ю.К. Половой цикл салаки (*Clupea harengus membras* L.) восточной части Финского залива // Известия ГосНИОРХ. 1977. Т. 123. С. 28-51.
12. Валиков Н.А. Салака Рижского залива // Тр. ВНИРО. 1954. Т. 26. С. 16-23.

13. Галкина Н.П., Широков Л.В. О распределении численности личинок рыб в восточной части Финского залива // Известия ГосНИОРХ. 1978. Т. 129. С. 43-52.
14. Гладких А.П., Соколова М.Ф. Питание салаки в Финском заливе // Фонды ГосНИОРХ, 1956.
15. Гримм О.А. Предварительные данные по исследованию рыболовства Балтики // Вестник рыбопромышленности. 1907. Т. 22. С. 556-559.
16. Гуцин А.В., Полунина Ю.Ю. Вклад органического вещества половых продуктов сельди-салаки поступающих в экосистему Висленского залива при нересте // Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 243-255.
17. Дементьева Т.Ф. О состоянии запасов трески и салаки в Балтийском // Тр. ВНИРО. 1954. Т. 26. С.79-101.
18. Дмитриев Н.А. Распределение салаки в периоды ее нагула и нереста в открытой части Балтийского моря // Труды ВНИРО. 1954. Т. 26. С. 5-23.
19. Дмитриев Н.А. Различия и сходство биологических признаков беломорских сельдей и балтийской салаки // Труды ВНИРО. 1958. Т. 34. С. 178-184.
20. Драпацкий М.Я. Реализация математической модели для оценки численности каспийских килек и салаки Висленского залива // Тр. ВНИРО. 1973. Т. 91. С. 161-171.
21. Дроздов В. В. Динамика продуктивности популяций сельдевых рыб Балтийского моря - Балтийской сельди (салаки) *Clupea harengus membras* и шпрота (кильки) *Sprattus sprattus balticus* - в связи с факторами среды и промыслом // Вопросы рыболовства. 2017. Т. 18, № 1. С. 52-64.
22. Засосов А.В. Теоретические основы рыболовства : монография. М.: Пищ. пром-сть, 1970. 292 с.
23. Ильенкова С.А., Попов А.Н., Туранова М.Н., Широков Л.В. Колебания численности основных промысловых видов рыб восточной части Финского залива // Известия ГосНИОРХ. 1978. Т. 129. С. 3-9.
24. Казанова И.И. Определитель икры и личинок рыб Балтийского моря и его заливов // Труды ВНИРО. 1954. Т. 26. С. 221-265.
25. Кесслер К.Ф. Описание рыб, которые встречаются в водах Петербургской губернии : монография. СПб: Изд. Русск. Энтомолог. Общества, 1864. Т. 1. 240 с.
26. Кикуте С.К. Некоторые материалы о состоянии и составе запаса салаки в северо-восточной части Балтийского моря // Тр. конф. молодых специалистов НИИРХ СНХ Латв. ССР. Рига, 1962. С. 5-10.
27. Кикуте С.К. Некоторые материалы по плодовитости салаки (*Clupea harengus membras* L.) в северо-восточной части Балтийского моря // Труды БАЛТНИИРХ МРХ СССР, Рига, 1970. Т. 4. С. 256-263.
28. Костричкина Е.М., Стародуб М.Л., Давидюк А.П. К вопросу о нагуле сельдей и шпрота в восточной и юго-восточной Балтике // Рыбохозяйственные исследования в бассейне Балтийского моря. Рига: Изд-во АВОТС, 1980. Тр. БалтНИИРХ. Вып. 15. С. 130-137.
29. Кржыжановский С.Г. Развитие салаки в воде повышенной солености // Вопросы ихтиологии. 1956. Вып.6. С. 100-104.
30. Кривобок М.Н. Зависимость сроков нереста салаки от её плодовитости // Вопросы физиологии рыб : Труды ВНИРО. М.: Изд-во Пищепромиздат, 1961. Т. 44. С. 160-164.
31. Кривобок М.Н., Тарковская О.И., Карасикова А.А. Качество икры салаки различной длины, возраста и плодовитости // Вопросы физиологии рыб: Труды ВНИРО. М.: Изд-во Пищевая пром-ть, 1970. Т. 69. Вып. 2. С. 133-146.
32. Кудерский Л. А. Состояние рыбного населения в восточной части Финского залива в 1946-2009 гг. в связи с природными и антропогенными факторами // Избранные труды. Исследования по ихтиологии, рыбному хозяйству и смежным дисциплинам. Т. 3. СПб.-М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2013. С. 57-79.
33. Кузнецов А.Ф. Промысел балтийской сельди (салаки) *Clupea harengus membras* в восточной части Финского залива в 1991-2022 годах // Рыбное хоз-во. 2023а. № 4. С. 37-42.
34. Кузнецов А.Ф. О гермафродитизме у балтийской сельди (салаки) *Clupea harengus membras* (Clupeidae) в Финском заливе // Вопросы ихтиологии. 2023б. Т. 63, № 6. С.754-758.
35. Лисивненко Л.Н. Этапы развития салаки и ее пищеварительных органов // Труды БалтНИРО. 1958. Вып. 4.
36. Лисивненко Л.Н. Влияние факторов среды на выживание личинок салаки // Тр. ВНИРО. 1960. Т. ХСІ. С. 152-166.
37. Лисивненко Л.Н. Планктон и питание личинок салаки в Рижском заливе Тр. НИИРХ СНХ Латв. ССР. Рига, 1961. Т. 3. С.105-138.
38. Локшина И.Е. Ретроспективный анализ промысла и оценки вызова по данным промысловой статистики // Тр. ВНИРО. 1973. Т. ХСІ. С. 172-180.
39. Морозова П.Н., Быкова В.К. Промыслово-биологическая характеристика салаки в Финском заливе // Отчет наблюдательного пункта за 1952 г. // ВНИОРХ. 1953. 32 с. (Фонды ГосНИОРХ).
40. Морозова П.Н. Салака (*Clupea harengus membras* L.) восточной части Финского залива // Вопросы ихтиологии. 1967а. Т. 7, Вып.4 (42). С. 696-700.

41. Морозова П.Н. Возрастная, размерная и половая структура популяции промыслового стада салаки в восточной части Финского залива // Вопросы ихтиологии и гидробиологии внутренних водоемов. 1967б. Т. 62. С. 211-217.
42. Морозова П.Н., Быкова В.К., Подаруева З.С. Промыслово-биологическая характеристика салаки восточной части Финского залива // Известия ГосНИОРХ. 1971. Т. 76. С. 75-90.
43. Морозова П. Н. Колебания запасов салаки в восточной части Финского залива // Известия ГосНИОРХ. 1971. Т. 76. С. 100-112.
44. Михин В.С., Антипова. О.П. Очерк рыбного хозяйства на Финском заливе // Известия ВНИОРХ. 1932. Т. 15. С. 3-109.
45. Михин В.С., Остов И.М. Распределение форм салаки в восточной части Финского залива // Известия ГосНИОРХ. 1967. Т. 62. С. 218-220.
46. Назаров Н.А., Константинов В.В. Состояние запасов сельди Балтийского моря // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в Балтийском море в 1996-1997 гг. Калининград: АтлантНИРО, 1998. С. 20-25.
47. Николаев И.И. Некоторые факторы определяющие колебания численности салаки и атлантическо-скандинавской сельди // Труды ВНИРО. 1958. Т. 34. С. 154-177.
48. Остов И.М. Влияние гидрометеорологических факторов на урожайность весенне-нерестующей салаки в восточной части Финского залива // Вопросы ихтиологии. 1965. Т. 5, Вып.3 (36). С. 411-418.
49. Остов И.М. Методика прогнозирования относительной численности поколений салаки ВЧФЗ // Известия ГосНИОРХ. 1978. Т. 129. С.10-21.
50. Оявеер Э.А. Биология нереста осенней салаки в Рижском заливе // Труды БАЛТНИИРХ МРХ СССР, Рига: 1970. Т. 4. С. 205-227.
51. Оявеер Э.А., Велдре И.Р. Об изменениях рыбных запасов Финского залива в последние десятилетия // в кн. Рыбохозяйственные исследования в бассейне Балтийского моря / МРХ СССР. БАЛТНИИРХ. Рига: Изд-во Звайгзне, 1976. Вып. 12. С. 114-120.
52. Оявеер Э. А. Балтийские сельди (биология и промысел): монография Москва: Агропромиздат, 1988. 205 с.
53. Педченко А.П., Бойцов В.Д. Особенности многолетней динамики климата и её влияние на распределение и промысел сельдевых видов рыб Балтийского моря // Труды ВНИРО. 2020. Т. 180. С. 44-59.
54. Пидгайко М.Л. Зоопланктон восточной части Финского залива как кормовая база салаки // Известия ГосНИОРХ. 1971. Т. 76. С. 65-74.
55. Попов А.Н. Динамика численности салаки *Clupea harengus membras* L. восточной части Финского и определяющие ее факторы // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ, 1983. Вып. 207. С. 73-84.
56. Попов А.Н. Многолетняя динамика состояния запасов салаки (*Clupea harengus membras* L.) восточной части Финского залива и определяющие ее факторы // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. 2006. Вып. 331. Т. 2. С. 119-139.
57. Попов А.Н. Воздействие экологических факторов на динамику популяции салаки (*Clupea harengus membras* L.) и корюшки (*Osmerus eperlanus* L.) восточной части Финского залива // Водные экосистемы: трофические уровни и проблемы поддержания биоразнообразия : Материалы Всероссийской конференции с международным участием (Вологда, Россия, 24-28 ноября 2008 г.). Вологда, 2008. С. 343-347.
58. Рабинерсон А.И. К познанию сельди Финского залива // Изв. отд. прикл. ихтиол. 1925. Т. 3, Вып. 2. С. 134-150.
59. Раннак Л.А. Нерестовые ареалы, нерест и оценка мощности поколений салаки в водах Эстонской ССР // Тр. ВНИРО. 1954. Т. 26. С. 24-48.
60. Раннак Л.А. Количественный учет эмбрионов и личинок салаки в северной части Рижского залива и основные факторы, обуславливающие их выживаемость // Тр. ВНИРО. 1958. Т. 34. С. 7-18.
61. Раннак Л.А. Плодовитость салаки Финского залива // Труды БАЛТНИИРХ МРХ СССР. Рига, 1970а. Т. 4. С. 228-255.
62. Раннак Л.А. Салака *Clupea harengus membras* L. (Биологические группировки, их изменчивость, микроэволюция и динамика численности) : Автореф. дис. ... д-ра биол. наук: Тарту, 1970б. 78 с.
63. Раннак Л.А. О закономерностях динамики численности весенне-нерестующей салаки // Тр. ВНИРО. 1973. Т. 91. С. 120-131.
64. Смирнов А.Н. Салака Финского залива // Известия ГосНИОРХ. 1971. Т. 76. С. 3-17.
65. Смирнов А.Н. Распределение и состояние запасов салаки в восточной части Финского залива // Известия ГосНИОРХ. 1977. Т. 123. С. 9-27.
66. Суворов Е.К. Работы балтийской экспедиции 1908 г. // Труды Балтийской экспедиции. СПб., 1910. Вып. 1. С. 87-122.
67. Суворов, Е.К. К ихтиофауне Балтийского моря // Труды Балтийской экспедиции. СПб., 1913. Вып. 2.
68. Сушкина А.П. Питание салаки Балтийского моря и Рижского залива // Тр. ВНИРО. 1954. Т. 26. С. 118-136.
69. Телегин К.Ф. Как увеличить уловы салаки // Рыбное хоз-во. 1938. № 12. С. 20-21.

70. Телегин К.Ф. Сырьевая база салаки и освоение открытых участков Финского залива // Фонды ГосНИОРХ, 1940а.
71. Телегин К.Ф. Зимнее распределение салаки в Лужской и Копорской губах // Фонды ГосНИОРХ, 1940б.
72. Телегин К.Ф. Рыболовство в советских водах Балтийского моря // Фонды ГосНИОРХ. Тобольск, 1943. 51 с.
73. Телегин К.Ф. Траловый лов салаки в восточной части Финского залива // Рыбное хоз-во. 1955. № 2. С. 25-26.
74. Телегин К.Ф. Пути развития тралового лова салаки в восточной части Финского залива : монография Ленинград, 1955. 14 с.
75. Телегин К.Ф. Развитие промысла салаки в восточной части Финского залива // Научно-технический бюллетень ГосНИОРХ. 1961. № 13-14. С. 83-87.
76. Телегин К.Ф. Распределение салаки в восточной части Финского залива // Известия ГосНИОРХ. 1971. Т. 76. С. 91-99.
77. Тоом М.М. Опыты по инкубации икры балтийской салаки // Труды ВНИРО. 1958. Т. 34. С. 19-29.
78. Трауберга Х.Т., Конако С. А. Количественно-объемный метод при изучении питания молоди салаки / Х. Т. Трауберга С.А. Конако // Рыбохозяйственные исследования в бассейне Балтийского моря. МРХ СССР. БАЛТНИИРХ. Рига: Изд-во Звайгзне, 1970. Сб. № 5. С. 114-120.
79. Труфанова И.С. Размерно-возрастной состав и численность осенненерестующей сельди *Clupea harengus membras* юго-восточной части Балтийского моря и ее значение для российского промысла в 1992-2015 годах // Труды АтлантНИРО. 2017. Т. 1, № 2. С. 154-165.
80. Труфанова И.С. Сезонное распределение российских уловов и размерно-возрастного состава балтийской сельди *Clupea harengus membras* в 26-м подрайоне ИКЕС Балтийского моря в 1992-2015 годах // Труды АтлантНИРО, 2017. Т. 1, № 3. С. 91-107.
81. Труфанова И.С. Вылов, динамика численности и возрастной состав уловов балтийской сельди открытого моря в 26-м подрайоне ИКЕС в 2011-2017 годах // Труды ВНИРО. 2018. Т. 171. С. 56-67.
82. Труфанова И.С. Характер роста балтийской сельди *Clupea harengus membras* в ИЭЗ России 26-го подрайона ИКЕС в 1993-2017 годах // Труды АтлантНИРО. 2018. Т. 2. №2. С.30-42.
83. Труфанова И.С., Амосова В.М. Долгосрочный прогноз российской добычи сельди в Балтийском море // Труды ВНИРО. 2021. Т. 186. С. 78-90. <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2021-186-78-90>.
84. Тюрин П.В. Орудия рыболовства в Ленобласти: монография. Москва – Ленинград, 1938. 212 с.
85. Федотова Е.А. Промыслово-экологическая характеристика балтийской сельди (*Clupea harengus membras* L.) в исключительной экономической зоне Литвы : Автореф. дис. канд. биол. наук. Калининград, 2010. 24 с.
86. Федотова Е.А., Тылик К.В. Изменения темпа роста балтийской сельди в экономической зоне Литвы Балтийского моря // Рыбное хоз-во. 2009. № 2. С. 62-64.
87. Фельдман В.Н., Назаров Н.А., Зезера А.С. Многолетняя динамика запасов промысловых рыб Балтийского моря и влияние на нее факторов окружающей среды и промысла // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в Балтийском море в 1996-1997 гг. Калининград: АтлантНИРО, 1998. С. 6-12.
88. Флоровский В.С. Введение и изучение дрейферного лова салаки на Финском заливе // Фонды ГосНИОРХ. 1934.
89. Шимкун Ф.В. Распределение личинок салаки (*Clupea harengus membras* L.) в восточной части Финского залива // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. 1983. Вып. 207. С. 96-103.
90. Широков Л.В., Ильенкова С.А., Попов А.Н. Распределение рыб в восточной части Финского залива // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. 1982. Вып. 192. С. 57-59.
91. Шурухин А.С., Попов А.Н., Баранова Л.П. Условия формирования запаса салаки (*Clupea harengus membras* L.) восточной части Финского залива // 6-я международная конференция и выставка AQUATERRA. СПб. 2003. С. 160-166.
92. Шурухин А.С. Современное состояние рыбного промысла и эффективность использования сырьевой базы в Финском заливе Балтийского моря // Труды ВНИРО: Водные биологические ресурсы. 2016. Т. 160. С. 60-69.
93. Шурухин А.С., Боркин И.В., Богданов Д.В. Современное состояние запаса балтийской сельди *Clupea harengus membras* (Linnaeus, 1758) в Российской акватории Финского залива // Труды Всероссийской научно-практической конференции «V Балтийский морской форум» (23-24 мая 2017 г.). Калининград: КГТУ, 2017. С. 93-97.
94. Ярвик А.Р. Удерживающая способность садков ставных неводов на лове весенней салаки // Рыбохозяйственные исследования в бассейне Балтийского моря. МРХ СССР. БАЛТНИИРХ. Рига: Изд-во Авотс, 1982. Вып. 17. С. 113-131.
95. Heincke F. Naturgeschichte des Herings. Published by Otto Salle, Berlin, 1898.
96. Kupffer C. Ueber Laichen und Entwicklung des Herring in der westl. Ostsee. Jahresber. d. Komm. zur wiss. Untersuch. d. deutschen Meere in Kiel. 1878 jarg. IV-VI. Berlin. P. 175-226.
97. Meyer H.A. Beobachtungen über das Wachstum des Herrings im Westlichen Theile der Ostsee. - Jahresber. d. Komm. zur wissenschaftl. Unters.d. deutsch. Meere in Kiel jarg. IV-VI. 1878. Berlin. P. 227-250.

98. Schneider G. Die Clupeiden der Ostsee. Rapp. et Proces-verbaux. Vol. IX. Cons. Perm. internat. pour l'explor. de la mer. 1908. P. 66-111.
99. Sjöblom V., Parmanne R., The vertical distribution of Baltic herring larvae in the Gulf of Finland. Finnish Fisheries Research. 1978.
100. Raid T. et al. Managing the spatial and temporal pattern of Baltic herring trawl fishery: A potential tool for sustainable resource management? // Developments in Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources. 2013. P. 1091-1097. ISBN 978-1-138-00124-4.

## ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ФОРМ (РАС) БАЛТИЙСКОЙ СЕЛЬДИ *CLUPEA HARENGUS MEMBRAS* ПО ОТОЛИТАМ

А.Ф. Кузнецов\*, Д.М. Чижов\*\*

\* Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, [kaf1980@yandex.ru](mailto:kaf1980@yandex.ru)  
\*\* ФГБОУ ВО СПбГУВМ «Санкт-Петербургский государственный университет  
ветеринарной медицины» (СПбГУВМ), г. Санкт-Петербург, [chdan9@mail.ru](mailto:chdan9@mail.ru)

Аннотация: проведены рекогносцировочные исследования разных форм салаки, выловленной на отдельных участках Финского залива в период 2022-2024 гг. в восточной части Финского залива в зависимости от особенностей строения отоликов. Согласно полученным результатам в 98,5% случаев отолики салаки имели тип III по классификации Оявеера. Также отмечено, что средние значения угла отолика уменьшались по мере увеличения возраста.

Ключевые слова: балтийская сельдь, салака, *Clupea harengus membras*, восточная часть Финского залива, Балтийское море, отолик

Балтийская сельдь (салака) является самым массовым промысловым видом в Финском заливе и вторым по значению объектом промысла в Балтийском море (Кузнецов, 2023). Различают две формы (расы) салаки: весеннерестующую и осеннерестующую (Берг, 1933; Смирнов, 1971). Формы салаки можно визуальнo определить в период нереста на нерестилищах по состоянию (стадии зрелости) половых продуктов. Однако в межнерестовый период принадлежность выловленной салаки к какой-либо из указанных форм визуальнo достоверно определить не представляется возможным. Для решения указанной проблемы были разработаны методики, основанные на морфометрии отоликов, предложенная Э. Оявеером (1962). В них учитываются следующие основные характеристики: величина центрального поля (расстояние от центра отолика до внутреннего опакового края первой летней зоны роста), форма первой зоны роста, величина зон роста и угол отолика и др.

Впервые метод для расового анализа исландских сельдей по отоликам внедрил Х. Эйнарссон в 1951 г. (Оявеер, 1988). Первые методические рекомендации по классификации отоликов у балтийской сельди разработали в 60-е годы XX века Э. Оявеер, Г. Раук, затем и А. Комповски, заложив в основу каждой из методик разделение отоликов на 3 основных типа, с последующим выделением дополнительных подтипов (Оявеер, 1962, 1984, 1988; Rauck, 1965; Kompowski, 1969, 1971; Fetter, M., et al., 1992).

Методики Г.Раука и А.Комповского были основаны на исследовании отоликов сельди западной и южной частей Балтийского моря, в то время как Э.Оявеер предложил свою типизацию отоликов, в том числе и для северо-восточной балтийской сельди. Он утверждал, что радиус центрального поля отоликов осенней расы больше, чем у весенней; отолики весенней сельди имеют более глубокие бороздки, чем у осенней; угол между медианами роострума и антироострума больше у весенней салаки; первая зона роста отолика осенней сельди значительно шире по сравнению с последующими зонами, чем у весенней. Также он описал определение сезонных группировок сельдей характерных для соответствующего района моря на основании величины зон роста на отоликах: отолики типа I характерны для Южной и Западной Балтики, а типы II, III характерны для Восточной и Северной Балтики. Но из-за того, что в пробах встречалось 2 и более типа отоликов, он подчеркнул, что полностью различить сельдей разных районов моря по типам отоликов

нельзя (Оявеер, 1988). Также не представляется возможным применение данной методики по неполовозрелым сельдям (Оявеер, 1984).

Данные литературы по определению расы салаки по отолитам в восточной части Финского залива крайне скудны, а числовые значения углов между рострумом и антирострумом – отсутствуют. Также в доступных нам литературных источниках не встречена информация о зависимости между ростом салаки и значением угла отолита.

Согласно наблюдениям Э.А. Оявеера в 1980 г. у салаки в восточной части Финского залива в 99 % случаев встречался III тип отолигов, и лишь 1 % отолигов II-2 типа (по классификации Оявеера) (Оявеер, 1988).

Определение популяционной структуры сельдей по отолитам проводили на материале, собранном в восточной части Финского залива в период 2022-2024 гг. В открытой (мористой) части залива сбор биологического материала проводили из траловых уловов в апреле-мае 2022-2023 гг., комбинированными ихтиологическими сетями – в прибрежной части Нарвского залива – в июне-августе 2023-2024 гг., в районе Стирсудденской банки – в сентябре 2024 г.

Отолиты (сагитту) извлекали из каждой особи согласно методическим пособиям (Чугунова, 1959; Карпушевский и др., 2013; Амосова, Труфанова, 2022) с последующей камеральной обработкой. Отолиты располагали латеральной (наружной) стороной вверх на предметном стекле, под которым находилась миллиметровая бумага. Отолиты погружали в 96% этиловый спирт и просматривали в отраженном свете стереоскопического панкратического микроскопа МСП-2.



Рисунок 1. Основные элементы отолита балтийской сельди

Параллельно проводили фотофиксацию регистрирующих структур при помощи камеры телефона Samsung Galaxy M21, которую устанавливали на окуляр микроскопа. Для определения угла отолита применяли программу LOMO–Microsystems MCview. Для увеличения контрастности изображения использовали выравнивание гистограммы.

Для нахождения угла требовалось отметить центральное поле отолита и провести медианы рострума и антирострума отолита (Оявеер, 1988) (рис. 2, 3). Все данные обрабатывали в программе Microsoft Office Excel.

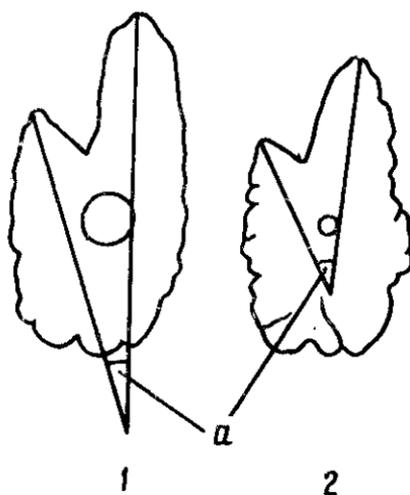


Рисунок 2. Отолиты осенней (1) и весенней (2) группировок сельдей:  $\alpha$  – угол между медианой рострума и антирострума (по Оявеер, 1988)

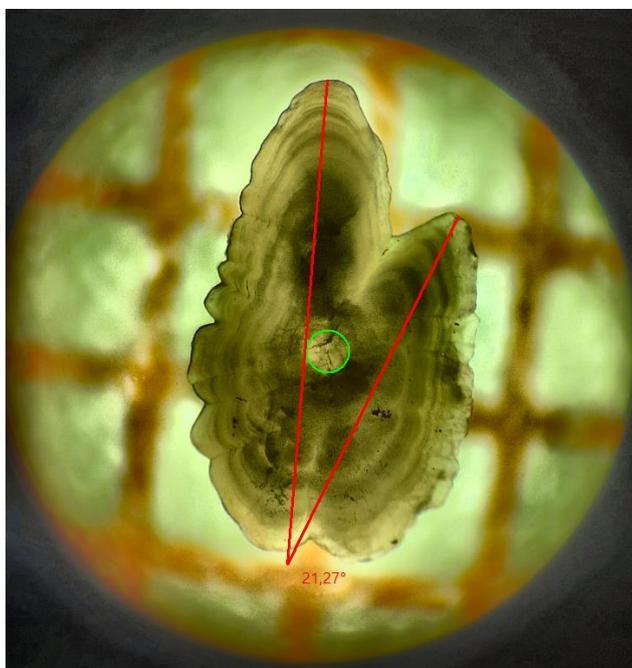


Рисунок 3. Определение угла в отолите. Весенненерестующая салака

Выборка составила 539 отолитов рыб разного возраста (табл. 1).

Таблица 1. Объем обработанных отолитов, экз.

Акватория Финского залива	Число исследованных экземпляров
Открытая часть залива (у о. Гогланд)	280
Нарвский залив (прибрежная часть)	254
Стирсудденская банка	5
Всего	539

Согласно полученным результатам, максимальные отклонения значений угла у отолитов весенненерестующей салаки варьируют в диапазоне от  $10,57^\circ$  до  $37,54^\circ$ , а у осенненерестующей – от  $15,80^\circ$  до  $22,39^\circ$ , среднее значение угла у осенненерестующей салаки (рыба с IV и V стадиями гонад), выловленной в августе и сентябре составляет  $17,86^\circ$  ( $n=8$ ) (табл. 2), в то время как у весенненерестующей салаки, выловленной в апреле-июне, средние значения угла варьируют в пределах от  $19,61^\circ$  до  $22,41^\circ$ .

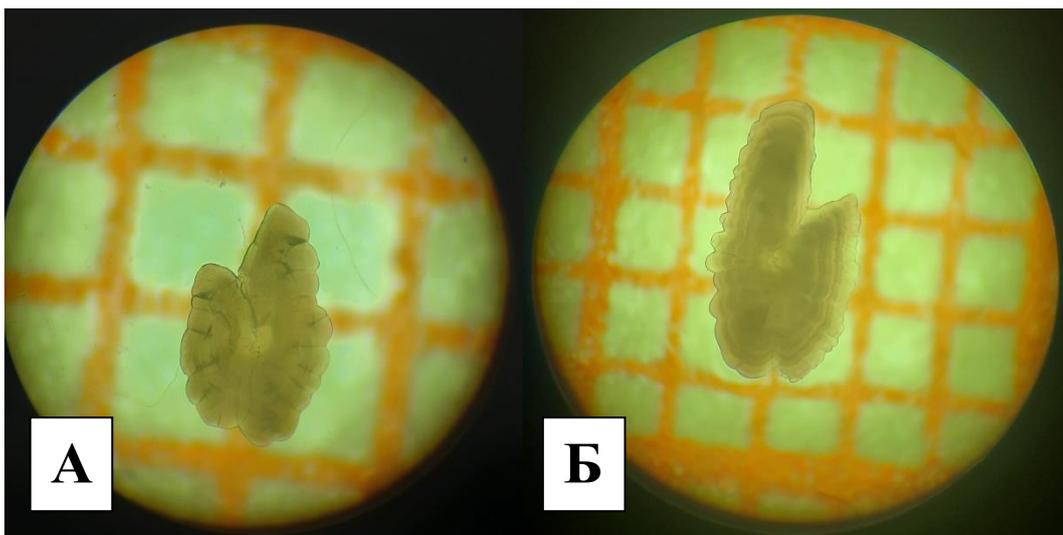


Рисунок 4. А - отолит годовика; Б – отолит четырехгодовика

Отмечена закономерность в снижении средних показателей угла по мере увеличения возраста у салаки (табл. 2). По всей видимости, это связано со спецификой роста отолита. Отолиты молоди округлы, рострум и антирострум развиты плохо (рис. 4а). С увеличением возраста рыбы, отолиты её вытягиваются, при этом угол между рострумом и антирострумом стремится к нулю.

Таблица 2. Значения углов отолитов весеннерестующей салаки на исследованных участках Финского залива

Возраст	Исследуемые показатели				N, экз.
	°min	°max	°cp	± t <sub>m</sub>	
Открытая часть Финского залива, весна 2022-2023 гг.					
1	16,80	36,37	23,76	0,53	65
2	13,49	36,47	23,45	1,12	26
3	10,83	36,00	23,36	0,76	55
4	14,88	25,32	20,66	0,58	23
5	12,56	27,91	20,87	0,40	56
6	12,67	33,93	22,14	0,67	44
7	14,63	24,73	19,74	0,97	11
Σ					280
Нарвский залив, август 2023 г.					
2+	23,83	23,83	23,83	0,00	1
3+	15,72	23,29	19,14	0,72	13
4+	14,46	27,97	19,54	0,51	38
5+	12,72	26,98	20,46	0,82	20
6+	15,62	21,04	18,91	0,90	6
7+	12,88	22,37	18,04	2,29	4
8+	14,91	23,43	18,87	3,03	3
Σ					85

Возраст	Исследуемые показатели				N, экз.
	°min	°max	°ср	± t <sub>m</sub>	
Нарвский залив, июнь 2024 г.					
2	15,81	28,53	23,69	2,37	6
3	11,50	37,54	21,42	0,86	45
4	11,30	34,74	19,49	0,52	69
5	10,57	25,51	17,71	0,54	41
6	17,29	17,60	17,45	0,22	2
7	16,96	16,96	16,96	0,00	1
8	13,21	13,56	13,39	0,25	2
Σ					166

Таким образом, согласно наблюдениям, выполненным в период 2022-2024 гг. в восточной части Финского залива в 98,5 % случаев отолиты салаки имели тип III по классификации Оявеера. Также отмечено, что средние значения угла отолита уменьшаются по мере увеличения возраста, диапазон значений угла у осенней салаки входит в диапазон весенней, среднее значение угла у осенней салаки составляет 17,86°, что меньше чем у весенних салак (от 19,61° до 22,41°).

Таблица 3. Значения углов отолитов осенненерестующей салаки

Место	Возраст	Показатели				N, экз.
		°min	°max	°ср	± t <sub>m</sub>	
Нарвский залив, август 2023 г.	3+	19,32	19,32	19,32	0,00	1
	4+	15,80	17,81	16,81	1,42	2
Стирсудденская банка, сентябрь 2024 г.	5+	16,25	22,39	17,99	1,27	5
Σ						8

Полученные результаты имеют предварительный характер, продолжение исследований в данном направлении имеет большое значение для характеристики структуры промыслового стада балтийской сельди в восточной части Финского залива.

#### Список литературы

1. Берг Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Ленинград: Изд. Всесоюзн. Инст. озерн. и речн. рыб. хоз-ва, 1933. Ч. 2. С. 839.
2. Карпушевский И.В., Константинов В.В., Амосова В.М. и др. Методическое пособие по сбору и первичной обработке биостатистических материалов на промысловых судах в юго-восточной части Балтийского моря. Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 2013. 84 с.
3. Кузнецов А.Ф. Промысел балтийской сельди (салаки) *Clupea harengus membras* в восточной части Финского залива в 1991-2022 годах // Рыбное хозяйство. 2023 № 4. DOI: 10.37663/0131-6184-2023-4.
4. Оявеер Э.А. О различии сезонных рас салаки Северо-Восточной части Балтийского моря по отолитам // Известия АН ЭССР. Сер. биол. 1962. № 3. С. 193-207.
5. Оявеер Э.А. Биология и промысел балтийских сельдей : Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Москва, 1984. 44 с.
6. Оявеер Э.А. Балтийские сельди (биология и промысел). М.: Агропромиздат, 1988. 205 с.
7. Смирнов А.Н. Салака Финского залива // Известия ГосНИОРХ. 1971. Т. 76. С. 3-17.
8. Труфанова И.С., Амосова В.М. Методическое пособие по сбору и первичной обработке биостатистических материалов мониторинга промышленного лова судов, ведущих добычу водных биологических ресурсов в юго-восточной части Балтийского моря. Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»). Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 2022. 112 с.
9. Чугунова Н.И. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: АН СССР. 1959. 163 с.

10. Kompowski A. Types of otoliths of Southern Baltic herring. ICES, C.M. 1969/12.
11. Kompowski A. Typy otolitow sledzi poludniowego Bałtyku. Prace MIR 16. Seria A. 1971. P. 109-141.
12. Rauck G. The structure of otoliths from the Baltic herring: a helpful means for the separation of biological groups. ICES Document, CM 1965/Herring Committee. №. 39. 1965.
13. Fetter M., Groth B., Kestner D., Wyshinski M. Guide for the use of Baltic sprat and Baltic herring otoliths in fisheries studies. Fischerei-Forschung, 1992. P.18-42.

## ГАМЕТОГЕНЕЗ СИМЫ *ONCORHYNCHUS MASOU* В УСЛОВИЯХ ЗАВОДСКОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА В САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.С. Кузьмина\*, М.С. Мякишев\*\*, А.А. Ворожцова\*\*, О.В. Зеленников\*,\*\*\*

\* ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ),  
г. Санкт-Петербург

\*\* Сахалинский филиал ФГБУ «Главрыбвод», г. Южно-Сахалинск

\*\*\* Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, [oleg\\_zelennikov@rambler.ru](mailto:oleg_zelennikov@rambler.ru)

Аннотация: исследовали гаметогенез молоди симы, выращенной в течение полного рыбоводного цикла на Анивском лососевом рыбоводном заводе (ЛРЗ) Сахалинской области. Установили, что дифференцировка пола у личинок произошла в возрасте 70-80 сут, а ооциты периода превителлогенеза у мальков появились во второй половине мая в возрасте 180-190 сут. К середине июля среди самцов выявились особи с более многочисленными гониями, которые, предположительно, станут резидентными.

Ключевые слова: молодь симы, *Oncorhynchus masou*, рыбоводный завод, сперматогенез, оогенез

Тихоокеанского лосося симу *Oncorhynchus masou*, производители которого достигают полового созревания к концу августа – началу сентября, в Сахалинской области воспроизводят на сравнительно холодноводных заводах – Урожайном, Лесном и других, но чаще всего на Анивском ЛРЗ (Мякишев и др., 2019), специализированном для воспроизводства молоди горбуши. С учетом этого обстоятельства именно Анивский рыбоводный завод был выбран для проведения работы, цель которой, описать развитие гонад у молоди симы в течение полного рыбоводного цикла. Несмотря на то, что сима является интенсивно изучаемым видом и часто используется в качестве модельного объекта при исследовании воспроизводительной системы у рыб (Nakamura, 1981; Kagawa et al., 1982; Kanamori et al., 1988; Amano et al., 2004 и др.), ее гаметогенез в течение рыбоводного цикла не описан и изучен фрагментарно. Например, есть лабораторные данные о сроке дифференцировки пола (Персов, 1966) или о состоянии гонад в ранний морской период жизни (Городовская, Сушкевич, 2014). Авторы, в свою очередь, анализировали состояние яичников у самок перед выпуском с заводов и у рыб в возрасте 1+ (Зеленников, 2003, 2019).

Температурный режим на Анивском ЛРЗ принципиально зависит от сезонного изменения температуры воздуха, является обычным для холодноводных заводов, на которых не используют или используют в ограниченном количестве грунтовые воды. К концу августа (к началу работы с производителями симы), температура воды обычно составляет 12-13 °С. Затем в соответствии с осенним похолоданием температура воды к середине ноября понижается до 0,3-0,7 °С и варьирует в таком диапазоне до начала апреля. Затем в соответствии с сезонным прогревом воды, температура к началу июня вновь повышается до 10-12 °С.

Для исследования развития гонад, через каждые 15 сут. по 30-50 особей фиксировали в жидкости Буэна или Серра. Гонады зародышей, личинок и мальков препарировали и обрабатывали гистологически (Микодина и др., 2009). Для каждой особи делали по 50-100 серийных поперечных срезов обеих гонад, которые окрашивали железным гематоксилином по Гейденгайну.

Исследование гонад у молоди симы начали 30 декабря в возрасте 58 сут. от массового вылупления, которое произошло 2 ноября (513,2 градусо-дня, 119 сут. от оплодотворения). Масса личинок в этом возрасте в среднем составила 206,8 мг, а масса желточного мешка – 87,4 мг или 42,3 % от массы тела. Половые железы у рыб были мало

дифференцированными и располагались непосредственно рядом с первично-почечными протоками. Фонд половых клеток у всех исследованных особей был представлен исключительно гониями, число которых варьировало от 1 до 5 в среднем на поперечный срез (рис., А).

Качественно новое состояние гонад у молоди выявили в возрасте 90 сут. (528,0 градусо-дня). Масса рыб за прошедший период изменилась незначительно – до 220,2 мг, а масса желточного мешка в среднем уменьшилась до 56,7 мг или 25,8 %. Очевидно, что увеличение массы тела на этом этапе развития практически компенсировалось уменьшением массы желточного мешка. К этому возрасту в партии молоди симы произошла дифференцировка пола. В яичниках помимо гониев присутствовали ооциты периода ранней профазы мейоза (рис., Б). При этом объем самих гонад практически не изменился.

Ооциты периода превителлогенеза выявили у самок только в возрасте 209 сут. (974,6 градусо-дня), когда молодь уже кормили в течение 25 сут., а ее масса в среднем увеличилась до 576,7 мг. В яичниках всех самок присутствовала генерация ооцитов периода превителлогенеза – в среднем до 10 клеток на срез (рис., В) диаметром до 45-50 мкм. Таким образом, в мае произошел переход от генеративной к вегетативной фазе оогенеза и с этого момента именно рост ооцитов определял увеличение объема и массы гонад. В семенниках, как и ранее, присутствовали только гонии, число которых увеличилось незначительно – до 8-10 на срез.

В возрасте 224 сут. (1028,1 градусо-дня.) масса рыб в среднем увеличилась до 865,5 мг. В яичниках диаметр наиболее крупных ооцитов периода превителлогенеза увеличился до 65-70 мкм, при этом сами ооциты были весьма разноразмерными. Наряду с наиболее крупными клетками, видны ооциты самого начала превителлогенного роста, диаметр которых не превышал 25-30 мкм. Семенники у рыб этого возраста внешне были практически такими же, как и у рыб предыдущего срока фиксации; число гониев на срез в среднем было не более 10-15.

Заключительная фиксация молоди симы на Анивском ЛРЗ была сделана непосредственно перед выпуском в возрасте 252 сут. (1290,2 градусо-дня), когда масса рыб в среднем ожидаемо (Никифоров, Игнатъев, 2008) увеличилась до 1590,5 мг. Несмотря на значительный рост рыб и то, что их масса в течение последнего месяца удвоилась, состояние их половых желез изменилось незначительно. В яичниках по-прежнему присутствовали весьма разноразмерные ооциты периода превителлогенеза (рис., Е). Диаметр наиболее крупных из них увеличился до 110-120 мкм; общее число клеток в среднем на поперечный срез увеличилось незначительно – с 11,5 до 13,7. Можно полагать, что к моменту выпуска молоди с завода формирование старшей, а впоследствии единственной генерации ооцитов в яичниках молоди симы еще продолжалось.

Семенники вновь изменились незначительно. Это были по-прежнему мало дифференцированные железы треугольной или округлой формы в поперечном сечении с крупным продольным кровеносным сосудом в районе мезорхия (рис., Г). Число гониев в среднем на срез составило около 20 клеток. Вместе с тем у самой крупной из рыб, массой 2963 мг, число гониев было не менее 100 шт. на поперечный срез, а в строге семенника присутствовали одиночные ооциты (рис., Д), что, впрочем, хорошо известно для молоди лососевых рыб (Кузнецов, Мосягина, 2009).

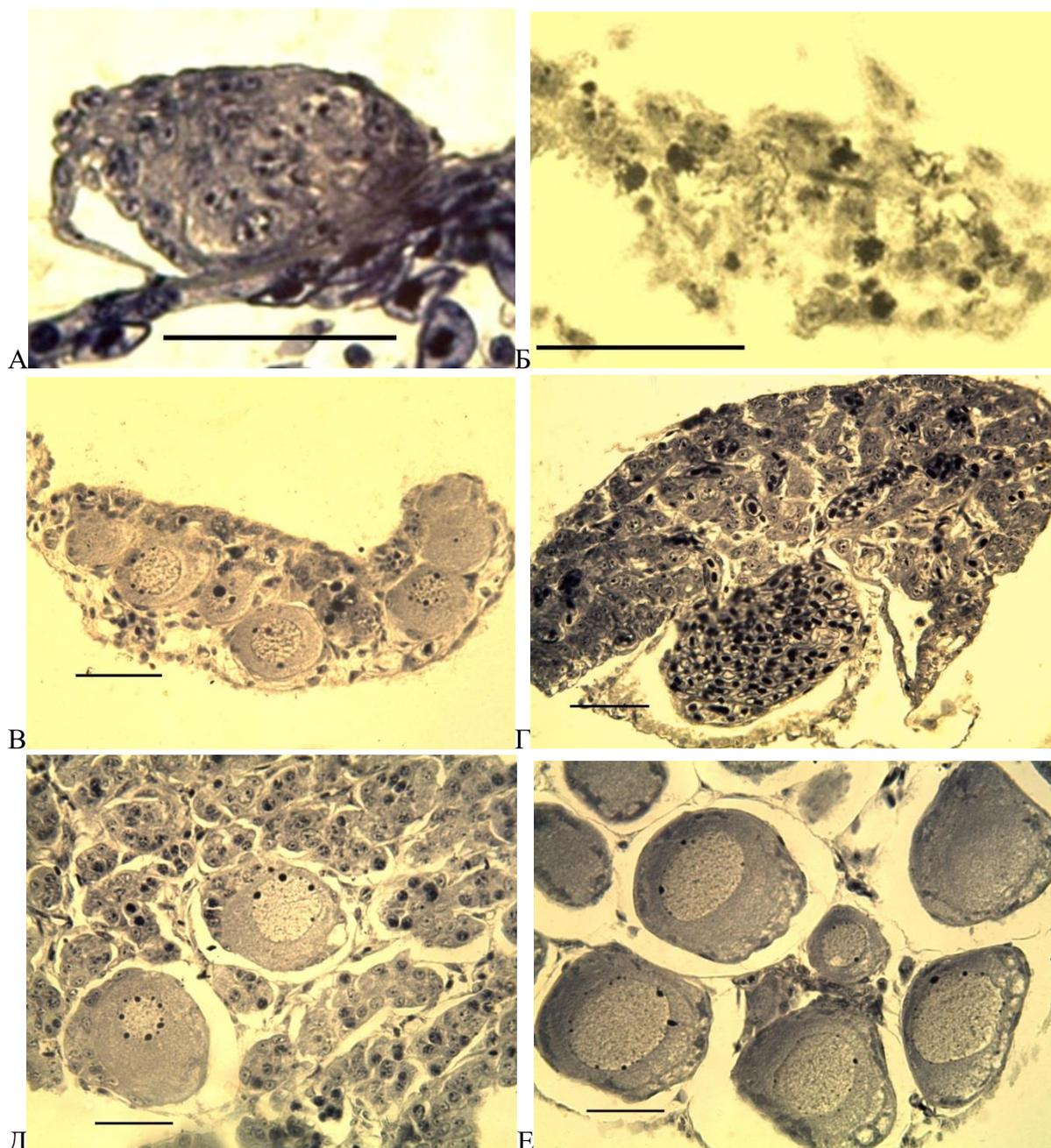


Рисунок. Состояние гонад у молоди симы в возрасте 58 сут. (А), 90 сут. (Б), 209 (В) и 252 сут. (Г, Д, Е). Пояснение в тексте. Шкала = 0,05 мм

Анализируя полученные данные, можно заключить, что при температурном режиме Анивского ЛРЗ дифференцировка пола у личинок симы произошла, ориентировочно, в возрасте 70-80 сут. после вылупления. Затем, еще в течение трех с половиной месяцев состояние гонад у самок и самцов изменилось не существенно. В яичниках старшую генерацию половых клеток составляли ооциты периода ранней профазы мейоза.

Можно лишь отметить, что постепенно уменьшалась доля ооцитов в состоянии зиготены и увеличивалась их доля в состоянии пахитены. Ооциты периода превителлогенеза выявили у самок симы 30 мая, через 25 сут. после начала кормления мальков. Число этих ооцитов в среднем на поперечный срез в июне-июле увеличивалось и, можно полагать, что их единственная генерация к моменту выпуска с завода, еще не была сформирована. Семенники, на протяжении, практически, всего периода развития представляли собой малодифференцированные половые железы, на поперечных срезах

которых присутствовали единичные гонии. Лишь непосредственно перед выпуском в исследуемой группе выявились, предположительно, будущие резидентные особи.

#### Список литературы

1. Городовская С.Б., Сушкевич А.С. Темп развития гонад молоди разных видов тихоокеанских лососей в ранний морской период жизни 2010-2012 гг. // Вестник КамчатГТУ. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. 2014. Т. 17. С. 40–45.
2. Зеленников О.В. Сравнительный анализ состояния яичников у молоди тихоокеанских лососей в связи с проблемой становления моноциклии // Вопросы ихтиологии. 2003. Т. 43, № 4. С. 490-498.
3. Зеленников О.В. Гаметогенез тихоокеанских лососей. 3. Сравнительный анализ состояния гонад у молоди тихоокеанских лососей в связи с формированием плодовитости // Труды ЗИН. 2019. Т. 323, № 4. С. 429-441.
4. Кузнецов Ю.К., Мосягина М.В. Особенности гаметогенеза самцов палии (*Salvelinus alpinus complex*) в условиях специализированного рыбоводного хозяйства // Вестник СПбГУ. 2009. Сер. 3 Биология. Вып.3. С. 58-68.
5. Микодина, Е.В., Седова, М.А., Чмилевский, Д.А. Микулин А.Е., Пьянова С.В., Полуэктова О.Г. Гистология для ихтиологов. Опыт и советы. М.: Изд-во ВНИРО, 2009. 112 с.
6. Мякишев М.С., Иванова М.А., Киселев В.А., Зеленников О.В. Экспериментальный анализ современного воспроизводства симы *Oncorhynchus masu* на рыбоводных заводах Сахалинской области // Известия ТИНРО. 2019. Т. 198. С. 195-208.
7. Никифоров С.Н., Игнатъев Ю.И. Биология молоди симы *Oncorhynchus masou* (Brevoort) (Salmonidae) в водотоках южной части Сахалина // Труды СахНИРО. 2008. Т. 10. С. 57-76.
8. Персов Г.М. Ранний период гаметогенеза у проходных лососей // Воспроизводство и акклиматизация лососевых в Баренцевом и Белом морях / Труды ММБИ. 1966. Вып. 12. С. 7-44.
9. Amano M., Iigo M., Ikuta K., Kitamura S., Okuzawa K., Yamada H., Yamamoti K. Disturbance of plasma melatonin profile by high dose melatonin administration inhibits testicular maturation of precocious male masu salmon // Zool. Sci. 2004. Vol. 21., № 1. P. 79-85.
10. Kagawa H., Young G., Adachi S., Nagahama Y. Estradiol-17 $\beta$  production in amago salmon *Oncorhynchus rhodurus* ovarian follicles: role of thecal and granulosa cells // Gen. Comp. Endocrinol. 1982. Vol. 44. P. 440-448.
11. Kanamori A., Adachi S., Nagahama Y. Developmental changes in steroidogenic responses of ovarian follicles of amago salmon (*Oncorhynchus rhodurus*) to chum salmon gonadotropin during oogenesis// Gen. Comp. Endocrinol. 1988. V. 72. № 1. P. 13-24.
12. Nakamura M. Feminization of masou salmon *Oncorhynchus masou* by administration of estradiol-17 $\beta$  // Nippon suisan gakkaiishi Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 1981. Vol. 47, № 11. P. 1529.

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О БИОЛОГИИ  
РАКА-ОТШЕЛЬНИКА *DIOGENES PUGILATOR* (ROUX, 1828)  
В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ (АЗОВСКОЕ МОРЕ)**

А.В. Кулиш<sup>\*,\*\*</sup>, А.В. Ротер<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»,  
г. Керчь, [andreykulish@mail.ru](mailto:andreykulish@mail.ru)

<sup>\*\*</sup> Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН –  
филиал ФИЦ ФГБУН «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,  
пос. Курортное, г. Феодосия

Аннотация: представлены предварительные сведения о пространственном распространении в Керченском проливе рака-отшельника *Diogenes pugilator*; размерно-весовом составе исследованного материала, характеристики занимаемых им раковин брюхоногих моллюсков, структуре выборки по полу, элементы репродуктивной стратегии, а также данные о инвазировании рака корнеголовым ракообразным *Septosaccus sienoti*.

Ключевые слова; *Diogenes pugilator*, Керченский пролив, распространение, размерно-весовой состав, половая структура, *Septosaccus sienoti*

Акватория Черного моря является местом обитания двух видов раков-отшельников, относящихся к семейству Diogenidae (Кобякова, Долгопольская, 1969; Аносов, 2016). При этом один из них – *Clibanarius erythropus* (Latreille, 1818) является чисто черноморским видом с характерным предпочтением к местообитанию на твердых грунтах, скалах и развалах валунов. Встречается лишь спорадически в предпроливной части Черного моря (Кулиш, Левинцова, 2019). Второй вид раков-отшельников – *Diogenes pugilator* (Roux, 1828) в Керченском проливе, хотя и был впервые указан для южной части Азовского моря (включая Керченский пролив) только в 1955 г. (Старк, 1955), в настоящее время довольно обычен, предпочитая участки с горизонтальными или слабоизрезанными (галька, включения из небольших камней) поверхностями грунта, при плотности до 7 экз./м<sup>2</sup> (Кулиш, Левинцова, 2019).

Несмотря на широкое распространение рака-отшельника *D. pugilator*, сведения о его биологии в Черном море крайне фрагментарны. Что же для Керченского пролива, то они вовсе отсутствуют. Целью работы стало восполнение существующих пробелов в знаниях о биологии данной группы десятиногих ракообразных.

Материалом для работы послужили сборы раков-отшельников *D. pugilator* в количестве 212 экз. из двух участков в западной части Керченского пролива (Камыш-Бурунская бухта). Отлов раков выполнялся путем ручного сбора в период август-октябрь 2023 г. Местами сбора являлись участки с глубинами 0-1,5 м с различными типами грунта и плотностью макрофитов. Учет осуществлялся по линейным трансектам. Фиксация раков-отшельников, а также их лабораторная обработка осуществлялись общепринятыми для работы с Decapoda методами. Определение таксономической принадлежности раковины Gastropoda выполнялось до рода по известным определителям, промеры раковин в соответствии с общепринятой для группы схемой и методикой.

К настоящему времени получены следующие предварительные результаты.

Распространение по биотопам. При сравнении показателей плотности раков-отшельников и частоты их встречаемости по биотопам установлено следующее. Обычными (предпочитаемыми) биотопами для *D. pugilator* являются открытые песчаные и песчано-илистые грунты. В их пределах рак-отшельник встречается всегда, при этом демонстрирует

наибольшие показатели плотности (15-30 экз./м<sup>2</sup>, максимум – 55 экз./м<sup>2</sup>). Сравнительно меньше, в порядке уменьшения частоты и минимальной плотности, *D. pugilator* осваивает биотопы разреженных морских трав (*Zostera* spp.) и зеленых водорослей (*Enteromorpha* spp.). Биотопы открытых илистых и галечниковых грунтов при сравнительно высокой частотой встречаемости (50 и 25 % соответственно) *D. pugilator* характеризуются его минимальными плотностями. В биотопах валунов и плотных дернинах морских трав раки-отшельники встречаются крайне редко и в единичных экземплярах. В биотопах плотных зеленых макроводорослей и бурых водорослей раки *D. pugilator* полностью отсутствовали.

Размерно-весовой состав *D. pugilator*. При выполнении промеров раков-отшельников получены следующие данные. Длина головогруды, как основного промера тела, у *D. pugilator* из Керченского пролива варьировала в пределах от 3,54 до 8,39 мм, при среднем значении 5,93±0,06 мм и модальной группе 5,0-6,8 мм. Индивидуальная масса тела особей в свою очередь изменялась от 0,04 до 0,5 г, при среднем значении 0,19±0,01 г и модальной группе 0,11-0,21 г.

Установлено, что зависимость изменения массы тела рака-отшельника *D. pugilator* из Керченского пролива от длины его головогруды описывается степенной функцией  $y = 0.0026x^{2.3679}$  при  $R^2 = 0.6486$ .

Предпочтения рака-отшельника *D. pugilator* к раковине. Раки-отшельники Керченского пролива в качестве убежища используют раковины трех видов брюхоногих моллюсков: *Tritia* spp. (у 92 % исследованных раков), *Gibbula* spp. (у 6 %) и *Rapana venosa* (у 2 %). Эти данные соответствуют сведениям, полученным авторами ранее для Черного моря (Кулиш, Юшко, 2018). Анализ размерных характеристик отшельников позволяет утверждать, что по мере роста раки вначале используют раковины *Gibbula*, в последующем *Tritia* и лишь при достижении наибольших размеров раковины *R. venosa*. При этом, наибольшее предпочтение *D. pugilator* отдают раковинам моллюсков рода *Tritia*, что, по-видимому, вызвано их наибольшей доступностью. В раковинах *Tritia* обнаружены раки с наибольшим варьированием длины и массы тела, представляющие практически весь вариационный ряд установленных значений, за исключением крайне малых и больших. Таким образом, данный вид раковин может использоваться отдельными особями раков на протяжении всей своей жизни. По-видимому, численность отшельников в проливе критически соотносится с доступными запасами пустых раковин гастропод. Об этом свидетельствует значительная по количеству доля раковин, имеющих значительные обрастания, следы длительной абразии о частицы грунта, механические повреждения (отсутствие первого завитка или макушки, проломы, отверстия). Установлены массовые случаи использования раковин ископаемых моллюсков, интенсивно вымываемых из геологических отложений ложа Керченского пролива. Это подтверждается массовым присутствием отшельников, имеющих крайне разные размера тела, но использующих раковины одного размерного кластера.

При попарном сравнении различных промеров тела раков-отшельников с промерами раковин наибольшие значения корреляции Пирсона ( $r = 0,700-0,736$  при  $p = 0,01$ ) установлены между длиной и шириной головогруды рака с высотой устья раковины и высотой первого её оборота. Несколько меньше коррелируют длина и ширина головогруды рака с высотой раковины, высотой головогруды с высотой первого оборота. Указанное свидетельствует о том, что для рака-отшельника при выборе раковины наибольшее значение имеют размер устья и объем первого её завитка. Кроме того, при попарном сравнении веса тела отшельника и веса используемой им раковины установлено, что убежище рака, как правило, тяжелее раковины в 3,12-3,50 раза.

Структура *D. pugilator* по полу. В выборке рака-отшельника из Керченского пролива доминировали по полу самцы (54 %). Самки составляли всего 20 % от общего количества исследованных особей. Прочие 26 % особей идентифицировать по полу не удалось в связи с атрофией у них половых желез. При этом вторичные признаки (гонопоры) в указанной

группе были не различимы ввиду «паразитической кастрации» находящимися в них корнеголовыми ракообразными. Полученные данные, по мнению авторов, не полностью отражают истинную структуру популяции *D. pugilator* по полу. Они характеризуют лишь особей, совершающих миграцию на мелководные прибрежные участки.

Данные о репродуктивной биологии *D. pugilator*. В период сбора материала доля самок, имеющих кладки, была незначительна (14 %). При этом, эмбрионы в кладках находились на завершающих стадиях своего развития (5-6 стадии по С.С. Зинабадиновой (2020)). Это свидетельствует о завершении у рака-отшельника в период выполнения полевых сборов (сентябрь) репродуктивного сезона.

Абсолютная реализованная плодовитость *D. pugilator* в исследованной выборке составила в среднем 425 яиц. При этом, на шестой стадии эмбрионального развития яйца имели следующие средние значения промеров: больший диаметр яйца ( $D_{max}$ ) – 0,47 мм; меньший диаметр ( $D_{min}$ ) – 0,35 мм; индекс яйца ( $D_{max}/D_{min}$ ) – 1,36; площадь яйца ( $S$ ) – 0,13 мм<sup>2</sup>.

Инвазирование *D. pugilator* в Керченском проливе Rhizocephala. При морфологическом и анатомическом исследовании сборов раков-отшельников установлено массовое их инвазирование корнеголовым ракообразным – *Septosaccus cuenoti*, описанное ранее для популяции *D. pugilator* в бухте Провато (Коктебельский залив, Черное море) (Koulish, Yushko, 2021). Экстенсивность инвазии составила 97,1 %, при интенсивности инвазии – 1 экземпляр паразита на хозяина. Следует отметить, что корнеголовые ракообразные встречались чаще у самцов раков-отшельников (73 %), чем у самок (27 %). При этом, гонады *D. pugilator* при развитии в их теле *S. cuenoti* не всегда приводили к утрате хозяином возможности репродуктивной функции. Так, в сборах были отмечены самцы раков-отшельников, имевших семенники на V стадии развития (семяпроводы заполнены сперматофорами) и самка, несшая на плеоподах абдомена, как собственную кладку яиц, так и интерну (наружное репродуктивное тело) корнеголового паразита.

Представленные в работе материалы являются результатом начального этапа изучения раков-отшельников *D. pugilator* в Азово-Черноморском бассейне. Сведения по биологии рака, по мере сбора материала, будут расширены. Особое внимание авторами будет уделено изучению взаимосвязей в развитии рака-отшельника с инвазирующим его корнеголовым ракообразным, в частности морфо-физиологическим изменениям, происходящим в хозяине под воздействием развивающегося в нем паразита.

#### Список литературы

1. Кобякова З.И., Долгопольская М.А. *Отряд десятиногих – Decapoda* // Определитель фауны Черного и Азовского морей. Киев: Наукова думка, 1969. Т. 2. С. 270-306.
2. Аносов С.Е. Характеристика фауны Decapoda Азово-Черноморского бассейна. Качественные и количественные изменения за последнее столетие : Дис. ... канд. биол. наук: 03.02.10. Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии. М., 2016. 169 с.
3. Кулиш А.В., Левинцова Д.М. Фауна десятиногих ракообразных (Decapoda Latrelle, 1802) акватории Керченского пролива (Азовское море): ретроспектива изучения и современный состав // Водные биоресурсы и среда обитания. 2019. Т. 2, № 1. С. 53-78.
4. Старк И.Н. Изменения в бентосе Азовского моря в условиях меняющегося режима // Труды ВНИРО. 1955. Т. 31. С. 217-239.
5. Кулиш А.В., Юшко Л.В. К вопросу о выборе раковины раками-отшельниками (Diogenidae: Anomura: Decapoda) обитающими в Чёрном море у берегов Крыма (предварительные данные) // Водные биоресурсы и аквакультура Юга России : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2018. С. 148-151.
6. Зинабадинова С.С., Кулиш А.В., Сухаренко Е.В. Об аннотированной шкале эмбрионального развития креветки травяной (*Palaemon adspersus* Rathke, 1837) // Актуальные проблемы техники, технологии и образования : Сборник тезисов докладов участников пула научно-практических конференций (Сочи, 23-27 января 2020 г.) [Электронный ресурс]. Керчь: ФГБОУ ВО «КГМУ», 2020. С. 241-242.
7. Koulish A.V., Yushko L.V. The Invasion Level of the Hermit Crab, *Diogenes pugilator* Roux 1828 (Decapoda, Anomura, Diogenidae), by the Rhizocephala Crustacean, *Septosaccus cuenoti* Duboscq 1912 (Rhizocephala, Peltogastridae) in the Black Sea off the Coast of Crimea // Biology Bulletin. 2021. Vol. 48, No. 8. P. 1240-1249.

## **ПОВЫШЕНИЕ РЫБОПРОДУКТИВНОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩ ВОЛГО-ДОНСКОГО СУДОХОДНОГО КАНАЛА ПУТЕМ РАЗВИТИЯ ПАСТБИЩНОГО РЫБОВОДСТВА**

Н.В. Куценко, Е.В. Випхло, Е.А. Кожурин, Ю.В. Басько

*Волгоградский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ВолгоградНИРО»),  
г. Волгоград, [nikolaykucenko@mail.ru](mailto:nikolaykucenko@mail.ru)*

*Аннотация: в статье приведены данные о современном состоянии фитопланктона как компонента кормовой базы рыб в водохранилищах Волго-Донского судоходного канала, определены возможности рационального освоения его кормовых резервов и произведена оценка экономической эффективности от зарыбления сеголетками и двухлетками белого толстолобика.*

*Ключевые слова: водохранилища Волго-Донского судоходного канала, приемная емкость, рыбопродуктивность, фитопланктон, белый толстолобик*

В современных условиях задач рыбохозяйственного использования, становится направленное формирование ихтиоценоза. На сегодняшний день аквакультура во всем мире развивается высокими темпами, а также является важным поставщиком рыбопродуктов на потребительский рынок (Богерук, 2005; Никоноров, Ананьев, 2007; Куценко и др., 2023).

Волго-Донской судоходный канал, создан в 1952 г. и соединяет Волгу с Доном. От Волги канал проходит по долине р.Сарпа, затем по Волго-Донскому водоразделу, используя долину рек Червлёная и Карповка, выходит в Дон ниже г. Калач-на-Дону. Из общей протяжённости канала в 101 км, 45 км проходит по водохранилищам (Варваровское, Береславское и Карповское).

Наполнение водохранилищ ВДСК осуществляется весной с водосборной площади рр. Червленая и Карповка, в долинах которых они расположены, но основная масса воды поступает из Цимлянского водохранилища за счет перекачки ее тремя насосными станциями. Сначала заполняется цимлянской водой самое верхнее Карповское водохранилище, затем вода перекачивается в Береславское, из которого попадает в нижнее – Варваровское. Уровненный режим водохранилища мало зависит от поступления воды по притокам, а в основном регулируется искусственно в соответствии с техническими требованиями эксплуатации Волго-Донского судоходного канала.

Объективная оценка приемной емкости позволит максимально эффективно использовать ресурсы водохранилищ Волго-Донского судоходного канала для выращивания важных в рыбохозяйственном отношении видов рыб.

Материал собран в комплексных экспедициях в период с 2019-2023 гг. в рамках выполнения госзадания. По результатам наблюдений, проводимых практически круглогодично, среднегодовая биомасса фитопланктона находится на уровне конца июля – начала августа. Отбор проб, учет численности и биомассы проводили с помощью общепринятых методов (Методические..., 1981). Расчет объема выпуска сеголеток белого толстолобика в водохранилища ВДСК был осуществлен в соответствии с приказом Минсельхоза России от 30.01.2015 № 25.

Сообщество планктонных водорослей в характеризуемых водоемах достаточно разнообразно и включает порядка 350 видов и разновидностей, как широко распространенных, так и характерных для небольших, мелководных, слабосоленоватых, интенсивно зарастающих жесткой и мягкой растительностью водоемов (Баринова и др., 2006).

Максимально представлены диатомовые и зелёные 88 и 77 таксонов, соответственно, разнообразны синезелёные 51, остальные отделы представлены небольшим числом видов 1-17. Все эти виды обычны для водоёмов Волгоградской области.

Большая часть биомассы планктонной флоры в водохранилищах представлена синезелеными водорослями: в среднем 35%, с колебаниями 22-50 %; диатомовыми – в среднем 37 %, с колебаниями 20-49 %; зелеными – в среднем 13 %, с колебаниями 6-19 %, криптофитовыми – в среднем 9 %, с колебаниями 7-12 %. На долю прочих (динофитовых, эвгленовых, золотистых, желто-зеленых) приходится всего до 8 % от общих показателей. Подобная структура характерна и для Цимлянского водохранилища (Голоколенова, 2011).

Средняя биомасса фитопланктона водохранилищ ВДСК составляет порядка 6,68 г/м<sup>3</sup> с небольшим снижением от Карповского водохранилища до Варваровского водохранилища.

По продуктивности сообщества исследуемые экосистемы относятся к эвтрофному типу водоемов с чертами мезотрофии. Первичная продукция фитопланктона недостаточно включается в цепи питания, рекомендуется вселение типичного фитопланктофага – белого толстолобика.

При средней биомассе фитопланктона 6,68 г/м<sup>3</sup> и Р/В – 170 используемая белым толстолобиком продукция на 1 га при средней глубине 2 м составляет 11,336 кг. При возможном изъятии 30 % от валовой продукции и кормовом коэффициенте по фитопланктону 30 потенциальная продуктивность по белому толстолобику в водохранилищах ВДСК может составить 43,4 кг/га или в пересчете на площадь акватории 109,2 т (43,4 кг/га\*8390га\*30/100).

При среднем промысловом весе толстолобика 2,6 кг количество вылавливаемых особей составит 41,9 тыс.шт. Максимальная приемная емкость водохранилищ ВДСК по выпускаемой молоди белого толстолобика весом 25 г при 5 % промысловом возврате, составляет 0,84 млн шт. (41,9 тыс.шт.\*100/5) ежегодно.

Наряду с утвержденными навесками выпуска растительных видов рыб в водоемы Волгоградской области, сеголеток – 25 г, наиболее целесообразным с экономической позиции и эффекта биомелиорации является выпуск двухлеток средней массой 150-200 г, что обеспечит более быстрый эффект от нагульного выращивания (Куценко и др., 2023). В таблице представлен расчет объема выпуска молоди белого толстолобика.

Таблица. Расчет объема выпуска молоди белого толстолобика

Толстолобик белый выпуск сеголеток навеской не менее 25 г		
Прогнозируемый объем вылова белого толстолобика	т	109
Средняя масса	кг	2,6
Количество особей	тыс. шт.	41,9
Промысловый возврат от выпуска молоди	%	5
Количество выпускаемой молоди	тыс. шт.	838
Средняя масса выпускаемой молоди	г	25,0
Общая масса выпускаемой молоди	т	20,9
Прогнозируемый объем вылова белого толстолобика при 60 % изъятии	т	65,4
Стоимость выпускаемой молоди	руб. шт.	6
Суммарная стоимость выпуска молоди	млн руб.	5,030
Стоимость продукции, при стоимости рыбы сырца за 1 кг	руб.	150
Суммарная стоимость продукции	млн руб.	9,810
Толстолобик белый выпуск двухлеток навеской 150 – 200 г		
Количество выпускаемых двухлеток	тыс. шт.	190,4
Промвозврат 150 граммовой молоди, %	%	60
Количество рыб в промвозврате от двухлеток	тыс. шт.	114,24
Средняя масса	кг	2,6
Промвозврат от 150 граммовой молоди при 60 % изъятии	т	297

Прогнозируемый объем вылова белого толстолобика при 60 % изъятии	т	178,2
Стоимость выпускаемой молоди	руб. шт.	30
Суммарная стоимость выпуска молоди	млн руб.	5,712
Стоимость продукции, при стоимости рыбы сырца за 1 кг	руб.	150
Суммарная стоимость продукции	млн руб.	44,550

Оценка экономической эффективности от зарыбления сеголетками и двухлетками белого толстолобика предстала на рис.



Рисунок. Возможная экономическая эффективность от осуществления мероприятия по выпуску молоди белого толстолобика в водохранилища ВДСК

Ориентировочные расчеты, основанные на результатах наблюдений, свидетельствуют о наличии в водохранилищах ВДСК большого количества неиспользуемых объемов кормовых ресурсов фитопланктона, позволяющих обеспечить увеличение рыбопродуктивности водоёмов за счёт вселения типичного фитопланктофага – белого толстолобика, развитие нагульного выращивания белого толстолобика обеспечит получение в промвозврате, начиная с третьего года зарыбления, от 60 до 170 т высокорентабельной продукции из толстолобика ежегодно.

#### Список литературы

1. Барина, С.С., Медведева, Л.А., Анисимова, О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. PiliesStudio. Тель Авив, 2006, 498 с.
2. Богерук А.К. Аквакультура России: история и современность // Рыбное хозяйство. 2005. № 4. С. 14-18.
3. Голоколенова Т.Б. Структурно-функциональные характеристики фитопланктона Цимлянского водохранилища (2006-08гг.) // Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге : Докл. II Всерос. науч.-практ. конф., 5-9 октября 2009 г. г. Сыктывкар. Екатеринбург, 2011. С. 155-160.
4. Куценко Н.В., Науменко А.Н., Кожурин Е.А., Грозеску Ю.Н. Особенности стратегии использования промышленным рыболовством водных биоресурсов озера Цаца // Рыбное хозяйство. 2023. № 5. С. 56-62.
5. Никоноров С.И., Ананьев В.И. Комплексные меры по масштабному и ускоренному развитию аквакультуры в Российской Федерации // Рыбное хозяйство. 2007. № 3. С. 33-35.
6. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоёмах. Фитопланктон и его продукция / Ред. Г.Г. Винберг, Г.М. Лаврентьева. Л.: ГосНИОРХ, ЗИН, 1981. 32 с.
7. Приказ Минсельхоза России от 30.01.2015 № 25 «Об утверждении Методики расчета объема добычи (вылова) водных биологических ресурсов, необходимых для обеспечения сохранения водных биологических ресурсов и обеспечения деятельности рыбоводных хозяйств при осуществлении рыболовства в целях аквакультуры (рыболовства)», в редакции приказа МСХ России от 25.08.2015 № 377.

## СОСТОЯНИЕ ПОПУЛЯЦИИ РЕЧНЫХ РАКОВ В АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.В. Левашина, В.В. Барабанов, Н.А. Мягкий, Н.Е. Калашников

*Волжско-Каспийский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»),  
г. Астрахань, [levashinanv@kaspnirh.vniro.ru](mailto:levashinanv@kaspnirh.vniro.ru)*

*Аннотация: работа посвящена состоянию популяции речного рака, который населяет внутренние водные объекты Астраханской области. При этом ресурсный потенциал речных раков для промышленного и любительского рыболовства ограничен и подвержен межгодовым колебаниям. Понимание причин колебаний численности раков необходимо для оценки прогнозов на перспективу, исключая промысловую переэксплуатацию и подрыв сырьевых ресурсов раков.*

Ключевые слова: раки, промысловые запасы, уловы, Астраханская область, р. Волга и ее водотоки

До середины XX в. речные раки были традиционным объектом промысла в водоемах европейской части России. Речные раки служат тест-индикаторами на изменение экологических условий, реагируя на них одними из первых, с другой стороны, раки пользуются коммерческим спросом, высокие вкусовые качества которого ставят их в разряд деликатесов. В настоящее время многие промысловые районы утратили свое значение из-за значительного снижения численности этих гидробионтов. В низовьях р. Волги имеющиеся естественные запасы позволяют вести добычу раков, но объемы уловов по годам различаются (Барабанов и др., 2023).

В Астраханской области речные раки населяют пресные водоёмы. Наиболее плотные концентрации, имеющие промысловое значение, речной рак образует в Волго-Ахтубинской пойме (ВАП), западных подстепных ильменях (ЗПИ) и нижней части дельты р. Волги. Раки относятся к видам с неустойчивым запасом, численность которых под влиянием внешних факторов (гидролого-гидрохимический режим водоёмов и антропогенное воздействие) может резко меняться (Румянцев, 1974; Колмыков, 2001; Барабанов и др., 2023).

Распределение раков в водоемах дельты Волги, Волго-Ахтубинской поймы и западных подстепных ильменях неравномерное. В последние маловодные годы в Волго-Ахтубинской пойме часть водоемов отшнуровывается от основных водотоков и высыхает, зимой некоторые мелководные водоемы могут промерзнуть, что отрицательно сказывается на условиях обитания раков и их выживаемость.

В настоящее время оценка запасов речных раков выполняется методом площадей, результатом которого является количественная оценка, выраженная в абсолютных величинах. Плотность распределения раков оценивается с учётом площади облова одной раколовки и средних уловов раколовок на исследуемой акватории «Методика оценки запасов...» (2011). Первое упоминание о площади облова раколовки представлено в работе В.Д. Румянцева (1974). Получаемые величины запаса необходимо рассматривать как показатели обилия, анализ временного ряда которых указывает на положительную, отрицательную или неопределённую динамику состояния запаса. Для улучшения системы прогнозирования состояния водных биологических ресурсов, соответствия современному методическому уровню и повышения прозрачности и объективности процедуры разработки прогноза общего допустимого улова (ОДУ) необходимо привлекать новые методы оценки эксплуатируемого запаса (Сафаралиев и др., 2023).

Известно, что биологические показатели (средняя длина тела особей в популяции или отдельных возрастных групп, соотношение полов и т. д.) свидетельствуют о состоянии запаса. Отсюда, оценив каждый отдельный показатель и выполнив их интегральную

оценку, можно сделать вывод о качественном состоянии данного промыслового запаса и дать рекомендации по его дальнейшей эксплуатации. Такой подход в оценке запаса назван индикаторным, так как каждый отдельный показатель рассматривается как индикатор одного из свойств запаса (Harford et al., 2021). В ситуации ограниченности данных по запасу и возникающей в связи с этим сложности, в его количественной оценке широко практикуется применение индикаторного подхода в оценке запаса. В основе индикаторного подхода лежит комплексное применение и интерпретация одновременно нескольких индикаторов, которые косвенно отражают состояние запаса. Использование системы мультииндикаторов позволяет получить цельную информацию из разрозненных источников данных и в последующем принять аргументированное решение о дальнейшей эксплуатации запаса. Данный метод позволяет на основе доступных биологических параметров (размерный ряд), относительного улова и значения биомассы провести оценку качественного состояния запаса и на её основе вывести рекомендации о дальнейшей эксплуатации запаса. Использование прямого метода оценки запаса основывается на величине биомассы запаса. Индикаторный метод предлагает и предосторожный, и рациональный подход в управлении промыслом раков (Сафаралиев и др., 2023).

Формирование запасов раков начинается в период их размножения и нагула на нерестовых угодьях дельты р. Волги и Волго-Ахтубинской поймы. Изменение условий и эффективности воспроизводства определяет динамику численности, а, впоследствии, запасы раков. Гидрологический режим поймы и дельты Волги находится в прямой зависимости от годового стока Волги и в значительной мере определяется непосредственно характером развития и размерами весеннего половодья (Колмыков, 2001).

Рыбохозяйственные исследования последних лет показали, что промысловые запасы раков в Волго-Каспийском рыбохозяйственном подрайоне (Астраханская область) находятся в удовлетворительном состоянии, их концентрации в основном сосредоточены в водоемах речного и еричного типа, связанных с основными водотоками, обеспечивающими их относительно стабильный гидрологический режим (Барабанов и др., 2023). Необходимо отметить, что с 2016 по 2023 гг. промысловые запасы речных раков уменьшились в 1,6 раза, составляя в среднем 98,6 т. (таблица). Это связано как с условиями обитания взрослых особей в зимний период, подготовкой к нересту, так и с выживаемостью молоди на полях весной и условиями нагула раков после нереста.

Таблица. Динамика запаса и промысловых показателей раков в Волго-Каспийском рыбохозяйственном подрайоне (Астраханская область)

Годы	Промысловый запас, т	Вылов, т	Ср. улов, кг/раколовку
2016	141,0	10,226	0,08
2017	94,0	10,883	0,10
2018	88,0	13,884	0,09
2019	98,0	5,501	0,08
2020	92,0	15,494	0,10
2021	90,0	14,566	0,09
2022	96,0	3,434	0,08
2023	90,0	14,251	0,10

Эффективность естественного воспроизводства водных биоресурсов, в том числе и раков в низовьях р. Волги ежегодно определяется сочетанием широкого комплекса абиотических, биотических и антропогенных факторов. В 2023 г., вследствие продолжающегося понижения уровня Каспийского моря, прослеживаются изменения, как в наземных, так и в водных экосистемах. Для воспроизводства гидробионтов важную роль имеют циклы весеннего половодья, объём стока р. Волги и температура воды.

Нестабильность гидрологического режима в водоемах, сокращение ареалов размножения и нагула раков может привести к дальнейшему снижению запасов раков.

В последние 8 лет (2016-2023 гг.) по объему стока в половодье один год был многоводным (2020 г.), два года (2017 и 2018 гг.) – средневодными, 3 года (2021-2023 гг.) маловодными и характеризовались низким стоком и небольшой продолжительностью обводнения нерестилищ (2021 г. – 52 сут., 2022 г. – 40 сут., 2023 г. – 51 сут. В многоводные и средневодные годы продолжительность обводнения основных биотопов речных раков составляет в среднем более 60 суток (62-75 сут.) при площади залития около 80-90 %. В маловодные годы эти показатели снижались в 2 раза (продолжительность и площадь залития). Показатели эффективности воспроизводства раков относительно стабильны. Однако пониженные относительно многолетней нормы попуски воды в летнюю межень и в сентябре-ноябре обуславливают низкие уровни воды в водоемах, создавая напряженную водохозяйственную обстановку для обитания раков и выживаемости их молоди, места обитания раков смещаются.

Размерный состав и его изменение являются одними из важных характеристик состояния популяции и его возможных изменений в будущем. В дельте р. Волги в 2023 г. средняя длина раков составила  $10,3 \pm 0,04$  см, средняя масса –  $47,0 \pm 0,1$  г, что несколько ниже уровня 2022 г. (длина  $10,9 \pm 0,04$  см и масса  $50,0 \pm 0,1$  г) (рис. 1).

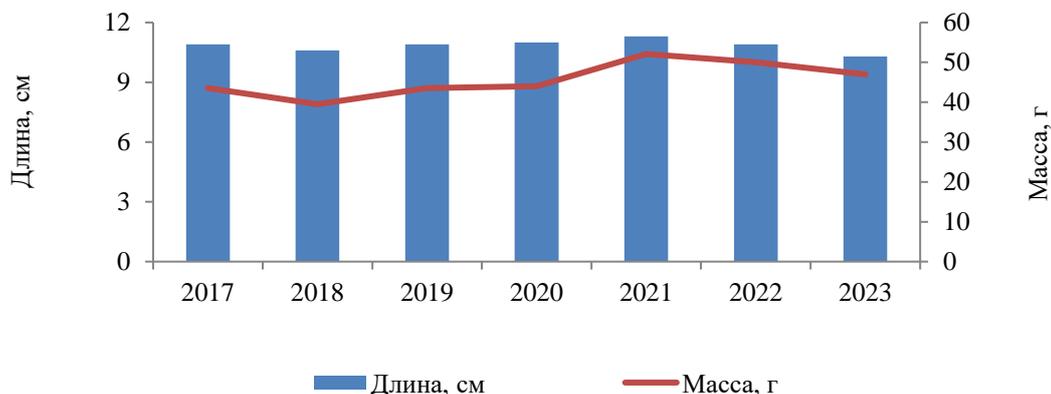


Рисунок 1. Динамика средних показателей длины и массы раков в водоемах дельты р. Волги

В Волго-Ахтубинской пойме популяция раков состояла из особей средней длиной  $10,3 \pm 0,03$  см, массой –  $52,4 \pm 0,11$  г, что несколько меньше уровня 2022 г. (длина  $10,8 \pm 0,03$  см и масса  $54,3 \pm 0,11$  г) (рис. 2).

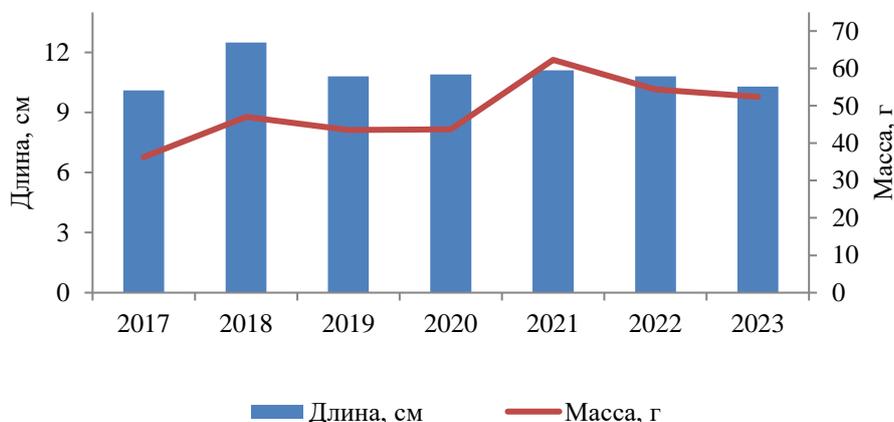


Рисунок 2. Динамика средних показателей длины и массы раков в водоемах Волго-Ахтубинской поймы (ВАП)

При проведении исследований на западных подступных ильменях средняя длина раков составила  $10,0 \pm 0,04$  см, средняя масса –  $43,0 \pm 0,1$  г, что ниже уровня 2022 г. (длина  $11,4 \pm 0,04$  см, масса  $46,8 \pm 0,1$  г) (рис. 3).

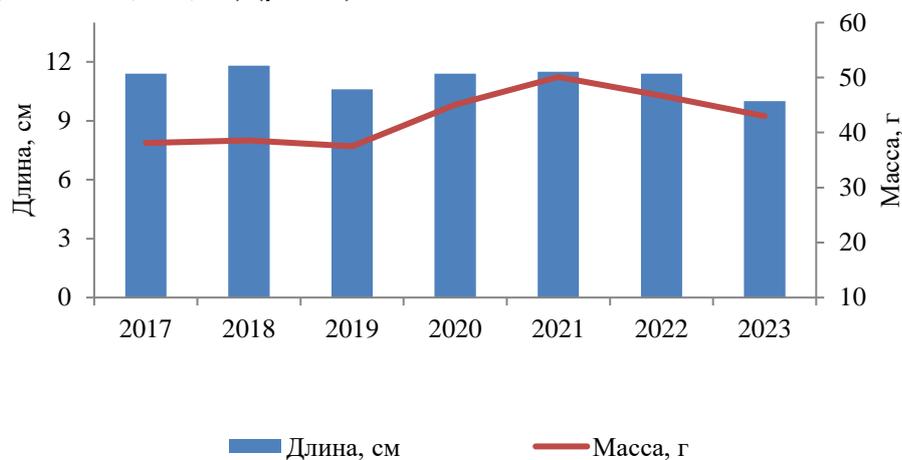


Рисунок 3. Динамика средних показателей длины и массы раков в западных подступных ильменях (ЗПИ)

Во всех районах исследований отмечено некоторое снижение длины и массы раков по сравнению с 2022 г., что возможно связано с неблагоприятными условиями обитания в летний период.

Таким образом, промысловые запасы раков в Астраханской области находятся в удовлетворительном состоянии, с тенденцией к снижению. Причин, вызывающих колебание численности речных раков, немало. Они составляют комплекс различных факторов абиотического и биотического характера, включая и антропогенное воздействие. К факторам абиотического характера можно отнести в первую очередь экстремальные природные явления, в т. ч. паводки, промерзание и пересыхание водоёмов. Основным лимитирующим фактором численности раков и площади их распространения является водность р. Волги, от которой зависит условия их обитания. Эффективность естественного воспроизводства, а следовательно, и промысловых уловов во многом определяется условиями обводнения нерестилищ в период весеннего половодья (апрель–июнь), объемами и сроками подачи воды из Волжско-Камского каскада водохранилищ в низовья р. Волги. Большую роль в регулировании численности раков играют биотические факторы. К ним относятся различные болезни, существенное значение играет пресс хищников, поедающих раков, к которым относятся рыбы (сом, щука), птицы (чайки, цапли и т. д.) и млекопитающие (выдры, норки и т. д.). Кроме этого, незаконные способы лова раков активно способствуют уменьшению их популяции.

Основываясь на многолетнем опыте наблюдений за популяцией раков в водоемах Астраханской области, можно сформулировать два основных направления в деле сохранения промыслового значения водоемов и рационального использования запасов раков в них. Это, прежде всего, научно обоснованный предосторожный подход к прогнозированию состояния запасов и разработке ОДУ раков, а также систематическое совершенствование действующих правил рыболовства с целью оптимизации промысла и регулирования любительского раколовства. Сохранение ракопродуктивных популяций в водоемах Астраханской области может быть обеспечено только совместными усилиями исследователей, сотрудников рыбоохраны и промысловиков.

### Список литературы

1. Барабанов В.В., Левашина Н.В., Пономарев В.В. Современное состояние промысловых запасов раков в Астраханской области // Рыбохозяйственный комплекс России: проблемы и перспективы развития. Материалы I Международной научно-практической конференции (28-29 марта 2023 г., г. Москва), ФГБНУ «ВНИРО» / Под редакцией Колончина К.В., Булатова О.А., Харенко Е.Н., Трубы А.С. М.: Изд-во ВНИРО, 2023. С. 175-180.
2. Методики оценки запасов, определения ОДУ и возможного вылова водных биоресурсов Каспийского бассейна с целью управления рыболовством / Под ред. Судакова Г.А. Астрахань: КаспНИРХ, 2011. 119 с.
3. Румянцев В.Д. Речные раки Волго-Каспия. М.: Пищевая промышленность, 1974. 86 с.
4. Колмыков Е.В. Биологические основы регулирования численности речных раков (*Pontastacus*) дельты Волги : Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Астрахань: АГТУ, 2001. 24 с.
5. Сафаралиев И.А., Барабанов В.В., Мазникова О.А. Индикаторный подход в качественной оценке состояния запаса длиннопалого рака в реке Волга и её водотоках (Астраханская область) // Труды ВНИРО. 2023. Т. 191. С. 25-36.
6. Harford W.J., Amoroso R., Bell R.J., Caillaux M., Cope J.M., Dougherty D., Dowling N.A., Hurd F., Lomonico S., Nowlis J., Ovando D., Parma A.M., Prince J.D. and Wilson J.R. 2021. Multi-indicator harvest strategies for data-limited fisheries: a practitioner guide to learning and design // *Frontiers in Marine Science*. 08 December. P. 1-16. DOI:10.3389/fmars.2021.757877.

## ФИТОПЛАНКТОН РЕКРЕАЦИОННЫХ ОЗЕР ПЕТРОПАВЛОВСКА-КАМЧАТСКОГО КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Е.В. Лепская, О.Б. Тепнин, В.Г. Эльчапаров

*Камчатский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («КамчатНИРО»),  
г. Петропавловск-Камчатский, [lepskaya@list.ru](mailto:lepskaya@list.ru)*

*Аннотация: приведен видовой состав и индивидуальные индексы сапробности водорослей прибрежного и пелагического планктона озер Халактырское, Култучное и отшнурованного от последнего пруда. Рассчитана сапробность и дана оценка трофности оз. Култучное и пруда. Динофлагелляты рода *Palatinus* указаны для Камчатки впервые.*

Ключевые слова: Петропавловск-Камчатский, озера, фитопланктон, биомасса, индекс сапробности, сапробность водоемов

Исторически сложилось, что людские поселения возникали и развивались на берегах рек и озер. Водоемы и водотоки, расположенные в пределах деревень, поселков, городов разнонаправленно эксплуатировались. С одной стороны, водные объекты служили источниками питьевой воды, из них же брали воду для сельскохозяйственных (орошение, водопой и купание домашних животных) и технических (ГЭС, охлаждение ТЭЦ) нужд, с другой – как приемники канализационных, ливневых, технических и других грязных сбросов. К сожалению, озера, расположенные в черте Петропавловска-Камчатского, оз. Халактырское и оз. Култучное не стали исключением.

Озеро Култучное расположено в центре города и более 100 лет назад подпитывалось ключами, а через протоку, соединявшую озеро с Авачинской бухтой, а сейчас забранную в трубу, сюда ежегодно заходили на нерест тихоокеанские лососи, а также корюшка и сельдь. В настоящее время более половины озера засыпано, его площадь составляет 16,9 га, средняя глубина – 3,2 м, максимальная – 6,9 м. В водоем активно сливаются неочищенные канализационные стоки. В приливы придонный водный слой может осолоняться. Озеро включено в культурно-исторический кластер, который намечено активно развивать. На данный момент так называемая экотропа проходит по берегу собственно оз. Култучное и мимо отшнурованного дамбой от основного водоема пруда.

Озеро Халактырское представляет собой реликтовый водоем, занимающий небольшую часть бывшего морского залива. Площадь зеркала озера 220 га, средняя глубина около 4,0 м, максимальная – 12,0 м. В озеро впадает р. Кирпичная, а вытекает р. Халактырка, которая впадает в Авачинский залив. Озеро служит охладителем для ТЭЦ-2, в него же сливается нагретая вода и нелегально иные технические стоки. В местах, где берег застроен, отмечены канализационные сливы. Берега сильно замусорены. При этом в озере ведется несанкционированный лов карася, сазана, белого толстолобика, гольца, а также изредка нерки и кижуча.

Степень изученности фитопланктона озер разная. Первые сведения о водорослях оз. Халактырское опубликованы в начале XX века А.А. Еленкиным по материалам Камчатской экспедиции Ф.П. Рябушинского (Еленкин, 1914). Фитопланктон изучали в 1970-х гг. (Куренков, 2005), случаи «цветений» прибрежной воды *Microcystis aeruginosa* и *Stephanodiscus hantzschii* были отмечены значительно позже (Лепская, 2017; Бегун и др., 2024).

В настоящей работе приведены списки водорослей обнаруженных авторами в планктоне озер Халактырское и Култучное в 2017-2024 гг. и в 2024 г. соответственно, дана экологическая характеристика (степень устойчивости к органическим загрязнениям) водорослей (Баринава и др., 2006), проведено сравнение флор по данному показателю,

рассчитана сапробность оз. Култучное и отшнурованного от него пруда по формуле:  $S = \sum sh / \sum h$ , где  $S$  – сапробность водоема;  $s$  – индекс сапробности отдельного вида;  $h$  – частота встречаемости вида в пробе (Баринова и др., 2006), дана оценка качества воды в этих водоемах по ГОСТ17.1.3.07-82 и оценка экологического состояния по биомассе фитопланктона (Китаев, 2007).

Отметим также, что динофлагелляты рода *Palatinus* для Камчатки указываются впервые (табл.).

В озерах Халактырское и Култучное более 50 % видов имеют индекс сапробности в интервале от 1,0 до 2,0, тогда как в пруду для 55 % видов этот показатель составляет больше 2,0.

Сапробность оз. Култучное и пруда составила для каждого из водоемов 1,71 и 1,88 соответственно. Согласно ГОСТ17.1.3.07-82, эти значения укладываются в интервал 1,51–2,50, что соответствует III классу качества воды или умеренно загрязненным водам.

Таблица. Видовой состав и экологическая характеристика водорослей планктона озер Халактырское и Култучное в период исследований

№	Таксон (AlgaeBase, 2024)	Индивидуальные индексы сапробности	Оз. Халактырское	Оз. Култучное	Пруд
<b>ЦИАНОБАКТЕРИИ (ЦИАНОБАКТЕРИИ)</b>					
1	<i>Anabaena spiroides</i> Klebahn 1895 (syn.* <i>Dolichospermum spiroides</i> (Klebahn) Wacklin, L. Hoffmann & Komárek 2009)	о-β (1,4)	***	***	-
2	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> Ralfs ex Bornet & Flahault 1886	β (2,0)	+	-	-
3	<i>Gomphosphaeria lacustris</i> f. <i>compacta</i> (Lemmermann) Elenkin 1938 (syn. <i>Woronichinia</i> <i>compacta</i> (Lemmermann) Komárek & Hindák 1988)	β (2,0)	+	-	-
4	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing 1846	о-α (1,8)	+	-	-
<b>ДИНОФЛАГЕЛЛЯТЫ (ДИНОФЛАГЕЛЛЯТЫ)</b>					
5	<i>Glenodinium</i> sp.	-	-	+	+
6	<i>Gymnodinium eurytopum</i> Skuja 1948	-	-	+	-
7	<i>Peridinium cinctum</i> (O.F. Müller) Ehrenberg 1832	β-о (1,6)	+	-	-
8	<i>Peridinium palatinum</i> Lauterborn 1896 (syn. <i>Palatinus apiculatus</i> (Ehrenberg) Craveiro, Calado, Daugbjerg & Moestrup)	о (1,0)	-	+	+
9	<i>Peridinium pseudolaeve</i> M. Lefèvre 1926 (syn. <i>Palatinus pseudolaevus</i> (M. Lefèvre) Craveiro, Calado, Daugbjerg & Moestrup 2009)	-	+	-	-
<b>ХЛОРОФИТЫ (ЗЕЛЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ)</b>					
10	<i>Actinastrum aciculare</i> Playfair 1917	-	-	-	+
11	<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim 1882	β (2,0)	-	-	+
12	<i>Brachiomonas</i> cf. <i>submarina</i> Bohlin 1898	-	-	+	-
13	<i>Characium</i> sp.	-	+	-	-
14	<i>Chlamydomonas proboscigera</i> Korshikov 1927	β (2,0)	-	-	+
15	<i>Closterium aciculare</i> T. West 1860	β-о (1,6)	+	-	-
16	<i>Closterium cornu</i> Ehrenberg ex Ralfs 1848	о-х (0,6)	+	-	-
17	<i>Closterium elegans</i> Brébisson 1956 (syn. <i>Closterium setaceum</i> Ehrenberg ex Ralfs)	-	+	-	-
18	<i>Coelastrum astroideum</i> De Notaris 1867	β (2,0)	+	-	-

№	Таксон (AlgaeBase, 2024)	Индивидуальные индексы сапробности	Оз. Халактырское	Оз. Кулпучное	Пруд
19	<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli 1855	β (2,0)	-	+	
20	<i>Coenococcus planctonicus</i> Korshikov 1953	-	-	-	+
21	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C. Wood 1873 (syn. <i>Mucidosphaerium pulchellum</i> (H.C. Wood) C. Bock, Proschold & Krienitz 2011)	β (2,0)	-	+	+
22	<i>Dictyosphaerium tetrachotomum</i> (syn. <i>Hindakia tetrachotoma</i> (Printz) C.Bock, Pröschold & Krienitz)	β-α (2,4)	+	-	-
23	<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Möbius 1894	β (2,0)	-	-	+
24	<i>Lagerheimia longiseta</i> (Lemmermann) Printz 1914	β (2,0)	+	-	-
25	<i>Micractinium</i> sp.	-	+	-	-
26	<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová 1969	β (2,0)	-	-	+
27	<i>Monoraphidium komarkovae</i> Nygaard 1979	-	-	-	+
28	<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová 1969	β (2,0)	-	-	+
29	<i>Scenedesmus acuminatus</i> var. <i>tetradesmoides</i> G.M.Smith 1916	-	+	-	-
30	<i>Scenedesmus armatus</i> (Chodat) Chodat 1913	o-α (1,8)	-	+	+
31	<i>Scenedesmus caudatoaculeolatus</i> Chodat 1926	-	-	+	-
32	<i>Scenedesmus</i> cf. <i>bicaudatus</i>	β (2,0)	-	-	+
33	<i>Pandorina morum</i> (O.F.Müller) Bory 1826	β (2,0)	+	-	-
34	<i>Pediastrum boryanum</i> (Turpin) Meneghini 1840	o-α (1,8)	-	+	-
EUGLENOPHYTA (ЭВГЛЕНОВЫЕ)					
35	<i>Euglena acusformis</i> J. Schiller 1926	-	-	+	+
36	<i>Euglena</i> sp.	-	-	+	+
HETEROCOCONTOPHYTA (BACILLARIOPHYTINA) (ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ)					
37	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen 1979	β-α (2,4)	+	-	-
38	<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg 1838	o-α (1,8)	-	+	-
39	<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin 1964	o (1,0)	-	+	+
40	<i>Cymatopleura solea</i> (Brébisson) W.Smith 1851	o (1,0)	-	+	-
41	<i>Diatoma tenuis</i> C.Agardh 1812	β-α (2,4)	-	+	-
42	<i>Diatoma vulgaris</i> Bory 1824	β-α (2,4)	-	+	+
43	<i>Discostella stelligera</i> (Cleve & Grunow) Houk & Klee 2004	x (0,0)	-	+	-
44	<i>Discostella pseudostelligera</i> (Hustedt) Houk & Klee 2004	o-β (1,4)	-	+	+
45	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières 1830	o (1,0)	-	-	+
46	<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton 1869	α-β (3,6)	+	-	+
47	<i>Fragilaria intermedia</i> (Grunow) Grunow 1881	o-β (1,4)	+	+	-
48	<i>Fragilaria tenera</i> (W.Smith) Lange-Bertalot 1980	o (1,0)	-	+	+
49	<i>Fragilariforma virescens</i> (Ralfs) D.M.Williams & Round 1988	o (1,0)	-	+	-
50	<i>Melosira varians</i> C. Agardh 1827	α-β (3,6)	-	+	-
51	<i>Nitzschia</i> cf. <i>acula</i> (Kützing) Hantzsch 1861	α-β (3,6)	-	+	-
52	<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow 1862	o (1,0)	-	+	

№	Таксон (AlgaeBase, 2024)	Индивидуальные индексы сапробности	Оз. Халактырское	Оз. Култучное	Пруд
53	<i>Nitzschia clausii</i> Hantzsch 1860	о-α (1,8)	-	+	+
54	<i>Nitzschia fonticola</i> (Grunow) Grunow 1881	о-β (1,4)	-	+	-
55	<i>Nitzschia hungarica</i> Grunow 1862	α-β (3,6)	-	+	-
56	<i>Nitzschia pura</i> Hustedt 1954	о-β (1,4)	-	+	-
57	<i>Nitzschia vermicularis</i> (Kützing) Hantzsch 1860	о (1,0)	-	+	+
58	<i>Nitzschia</i> sp.	-	-	-	+
59	<i>Neidium</i> sp.	-	-	+	-
60	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow 1880	α-β (3,6)	-	+	+
61	<i>Stephanocyclus meneghinianus</i> (Kützing) Kulikovskiy, Genkal & Kociolek 2022	о-α (1,8)	-	+	+
62	<i>Tabularia</i> sp.	β-α (2,4)	-	+	+
63	<i>Synedra pulchella</i> (Kützing) Kützing 1844(syn. <i>Ctenophora pulchella</i> (Kützing) D.M. Williams & Round 1986)	β (2,0)	-	+	-
64	<i>Synedra ulna</i> var. <i>biceps</i> (Kützing) Schönfeldt 1913(syn. <i>Ulnaria biceps</i> (Kützing) Compère 2001)	х-β (0,8)	-	+	-
65	<i>Synedra ulna</i> var. <i>oxyrhynchus</i> (Kützing) O'Meara 1875 (syn. <i>Ulnaria oxyrhynchus</i> (Kützing) Aboal 2003)	β-α(2,4)	-	+	-
66	<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg 1832 (syn. <i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère 2001)	о-α (1,8)	-	+	+
CRYPTISTA (КРИПТОФИТОВЫЕ)					
67	<i>Chroomonas marina</i> Butcher, nom. illeg. 1967	-		+	-
68	<i>Cryptomonas</i> sp.	-		+	+

Примечание: \* – действующий синоним из AlgaeBase; \*\* – таксон найден в пробах; \*\*\* – таксон в пробах не найден.

По среднему значению биомассы фитопланктона (Китаев, 2007) оз. Култучное (2,5 г/м<sup>3</sup>) и пруд (2,7 г/м<sup>3</sup>) можно отнести к β-мезотрофным водоемам.

Несмотря на различный видовой состав флоры водорослей, озера Халактырское и Култучное можно отнести к мезотрофным водоемам, тогда как пруд ближе к эвтрофным. В очередной раз хочется отметить, что оценка качества воды в ГОСТ17.1.3.07-82 в большой степени формальна и не отражает в данном случае реального положения. Так, в «жемчужине» Петропавловска-Камчатского, оз. Култучное, купаться категорически не рекомендовано, как и есть выловленных из него карасей. В оз. Халактырском массовое развитие цианобактерии *Aphanizomenon flos-aqua* было отмечено еще в 1909 г. и, вероятно, относится в природным фенологическим явлениям, свойственным данному водоему. Как, впрочем, и массовое развитие *Microcystis aeruginosa*, которое наблюдали в оз. Кроноцкое, водоеме Кроноцкого заповедника и лишённого прямого хронического антропогенного воздействия (Лепская и др., 2014).

Таким образом, экологический анализ планктонной флоры вполне адекватно отражает экологическое состояние водной толщи озер, хотя для выявления полной картины необходимо привлекать и данные химического анализа воды и донных осадков.

### Список литературы

1. Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив. Pilies Studio, 2006. 498 с.
2. Бегун А.А., Лепская Е.В., Орлова Т.Ю. «Цветение» диатомовой водоросли *Stephanodiscus shanzschii* Grunow в Халактырском озере (Камчатка) в 2023 г. // Водоросли: проблемы таксономии и экологии, использование в мониторинге и биотехнологии: Материалы VII Всероссийской научной конференции с международным участием (г. Владивосток, Россия, 16–20 сентября 2024 г.). Владивосток: Научное электронное издание, 2024. С. 24.
3. Еленкин А.А. Камчатская экспедиция Федора Павловича Рябушинского; Ботанический отдел. Выпуск 2. Споры растений Камчатки: 1) Водоросли, 2) Грибы. 1914. 612 с.
4. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.
5. Куренков И.И. Зоопланктон озер Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО, 2005. 178 с.
6. Лепская Е.В. «Цветение» Суапоргосагиота (синезеленые водоросли) в литорали оз. Халактырское (Восточная Камчатка) // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы VIII международной научной конференции, посвященной 70-летию со дня рождения доктора биологических наук П.А. Хоментовского. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2017. С. 239-241.
7. Лепская Е.В., Маркевич Г.Н., Анисимова Л.А., Коломейцев В.В. Фитопланктон и первичная продукция Кроноцкого озера (Кроноцкий заповедник, Камчатка) // Чтения памяти В.Я. Леванидова. 2014. Вып. 6. С. 393-399.

## ЗООПЛАНКТОН КРУПНЫХ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ В РАЗНЫЕ СЕЗОНЫ ГОДА

Е.В. Лобуничева, А.И. Литвин, Н.В. Думнич

Вологодский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ВологодНИРО»),  
г. Вологда, [lobunicheva\\_ekaterina@mail.ru](mailto:lobunicheva_ekaterina@mail.ru)

Аннотация: проанализированы состав, структура и обилие зоопланктона озер Белое, Кубенское, Воже и Шекснинского водохранилища (Вологодская область) в разные сезоны 2016-2023 гг. Выявлены общие черты и специфика зоопланктона водоёмов в подледный период, мае, августе и ноябре.

Ключевые слова: коловратки, ветвистоусые ракообразные, веслоногие ракообразные, сезоны, озеро Белое, Шекснинское водохранилище, озеро Кубенское, озеро Воже

Основой рыбохозяйственного фонда Вологодской области являются крупные водоёмы – озера Белое (озёрная часть Шекснинского водохранилища), Кубенское, Воже и Шекснинское водохранилище. Регулярные исследования зоопланктона этих водоёмов проводятся уже порядка 50 лет. Однако, наблюдения за сезонным циклом развития зоопланктона ограничены. Как правило, исследования планктона охватывали лишь период открытой воды. С 2016 г. Вологодским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» осуществляются ежеквартальные наблюдения за состоянием зоопланктона этих водоёмов. Это позволяет проанализировать особенности планктонного сообщества в основные периоды года – подледный, весна, лето, поздняя осень.

В настоящей работе описаны состав, комплекс доминантов и обилие зоопланктона всех крупных водоёмов Вологодской области в разные сезоны года в 2016-2023 гг. Сбор проб зоопланктона выполнялся на каждом водоёме в марте, мае, августе и ноябре на 3-х постоянных станциях единым орудием лова – малой количественной сетью Джели с размером ячеи 74 мкм. Камеральная обработка проб проводилась в соответствии с общепринятыми методиками (Методические рекомендации..., 1982). Доминантами считали виды с относительной численностью более 5 % отдельно в группах коловраток и ракообразных. В работе проанализированы средние значения численности и биомассы зоопланктона за указанный период.

Зимний зоопланктон водоёмов характеризуется наименьшим видовым богатством. За анализируемый период в крупных водоёмах Вологодской области в подледный период зарегистрировано 52 вида зоопланктеров (Rotifera – 19, Cladocera – 15, Copepoda – 18). Во всех водоёмах регистрировались коловратки родов *Keratella*, *Notholca*, *Polyarthra*, а также *Asplanchna priodonta*, *Kellicottia longispina*. В озере Белом и Шекснинском водохранилище в марте 2017 г., а в оз. Кубенском в 2018 г. зафиксированы коловратки рода *Brachionus*. В отдельные годы в этих водоёмах отмечены *Filinia longiseta* и *F. terminalis*, виды рода *Synchaeta*. *Polyarthra dolichoptera* до 2021 г. регулярно регистрировалась во всех водоёмах, кроме Шекснинского водохранилища, где отмечена лишь в феврале 2016 г.

Среди кладоцер зимой в анализируемых водоёмах регулярно встречались *Daphnia cristata*, *D. galeata*, *Bosmina longirostris*, *B. coregoni*. В отдельные годы в разных водоёмах регистрировались также представители семейства Chydoridae. В составе копепод наибольшее количество видов относилось к роду *Cyclops*. *Cyclops kolensis*, *C. scutifer*, а также *Diacyclops bicuspidatus*, *Eucyclops serrulatus*, *Eudiaptomus gracilis*, *Mesocyclops leuckarti* регистрировались во всех водоёмах.

Наибольшее число доминантов характерно в зимний период для оз. Белого и Шекснинского водохранилища (*Kellicottia longispina*, *Keratella quadrata*, *K. cochlearis*,

*Eudiaptomus gracilis*). При этом набор доминирующих видов в этих водоёмах практически всегда сходен (Лобуничева и др., 2022). В оз. Кубенском комплекс доминирующих видов значительно меняется в разные годы. За 8-летний период наблюдений доминантами в разные годы были 17 видов. Практически ежегодно в этом водоёме зимой регистрируется высокая численность *Cyclops kolensis*. В озере Воже в подледный период чаще всего доминантами являются коловратки *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis* и *Cyclops kolensis*.

Средняя численность зимнего зоопланктона крупных водоёмов Вологодской области в анализируемый период составляла 5,9 тыс. экз./м<sup>3</sup> при биомассе 0,1 г/м<sup>3</sup>. Наименьшее обилие зоопланктона в зимний период характерно для оз. Кубенского (2,0 тыс. экз./м<sup>3</sup>, 0,02 г/м<sup>3</sup>), что связано с низкой численностью в этот период веслоногих рачков. Копеподы формировали основу численности и биомассы зоопланктона в оз. Воже и Шекснинском водохранилище. В оз. Воже, начиная с 2021 г., биомасса копепод превышает 0,1 г/м<sup>3</sup>, достигая максимального значения 0,4 г/м<sup>3</sup>. От 30 до 87 % биомассы этой группы составляли *Cyclops kolensis* и *Eudiaptomus gracilis*. В оз. Белом с 2016 по 2020 гг. в подледный период регистрировалась высокая плотность коловраток, а с 2021 г. наблюдается преобладание в структуре зоопланктона веслоногих рачков.

В весенний период видовое богатство зоопланктона анализируемых водоёмов увеличивается более чем в 2 раза. В мае 2016-2023 гг. в крупных водоёмах региона было обнаружено 111 видов зоопланктеров (Rotifera – 41, Cladocera – 45, Copepoda – 25). Число видов зоопланктеров в разных водоёмах колебалось от 61 в Шекснинском водохранилище до 78 видов в оз. Кубенском.

Кладоцеры весной были представлены как пелагическими, так и фитофильными видами. Наиболее разнообразна эта группа ракообразных была в оз. Кубенском. Лишь в этом водоёме в мае регистрировались *Simocephalus vetulus*, *S. serrulatus*, *Scapholeberis mucronata*, *Rhynchotalona falcata*, *Latona setifera*. В отличие от других водоёмов в оз. Кубенском не были обнаружены виды рода *Bythotrephes*, но отмечался, как и в оз. Воже, *Holopedium gibberum*. Этот рачок, а также *Daphnia hyalina*, *Latona setifera*, *Leydigia acanthocercoides*, *Macrothrix hirsuticornis*, *M. laticornis* регистрировались в водоёмах лишь в весенний период.

Каляниды во всех водоёмах были представлены *Eudiaptomus gracilis*, *Heterocope appendiculata*. *Eudiaptomus graciloides* регистрировался лишь в оз. Кубенском и Воже. В этих же озерах отмечается сравнительно высокое разнообразие циклопов рода *Eucyclops* (4 вида). Среди циклопид наибольшее число видов (6) принадлежит к роду *Cyclops*. *C. abyssorum*, *C. insignis*, *C. kolensis*, *C. scutifer*, *C. strenuus*, *C. vicinus* обнаружены в оз. Кубенском и Шекснинском водохранилище. Среди циклопов лишь в мае в водоёмах были обнаружены *Acanthocyclops vernalis*, *Megacyclops viridis*, *Cyclops insignis*, *C. scutifer*, *Metacyclops gracilis*, *Microcyclops varicans*.

Весной в составе зоопланктона крупных водоёмов Вологодской области доминировало небольшое число видов. При этом набор доминирующих видов был сходен во всех 4 водоёмах. В него входили коловратки *Asplanchna priodonta*, *Kellicottia longispina*, *Keratella quadrata* и наплиусы циклопов. В Шекснинском водохранилище к доминантам принадлежал также *Mesocyclops leuckarti*, в оз. Воже ежегодно в мае отмечается высокая численность копеподитов циклопов.

Средняя численность и биомасса весеннего зоопланктона в крупных рыбохозяйственных водоёмах Вологодской области составляла 76,8 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 0,8 г/м<sup>3</sup> соответственно. Наибольшее обилие зоопланктона наблюдалось в этот период в оз. Кубенском (96,2 тыс. экз./м<sup>3</sup>, 1,1 г/м<sup>3</sup>) и Воже (69,1 тыс. экз./м<sup>3</sup>, 1,0 г/м<sup>3</sup>). Во всех водоёмах основу численности и биомассы формируют наплиусы и копеподиты. В отдельные годы в оз. Кубенском отмечалась высокая численность коловраток.

Летом видовое богатство зоопланктона в водоёмах достигает максимальных значений. Всего в водоёмах в августе 2016–2023 гг. был обнаружен 131 вид (Rotifera – 49, Cladocera – 59, Copepoda – 23). Наибольшее число видов (100) зарегистрировано в оз. Воже, более половины из них – кладоцеры. В этом водоёме отмечено большое количество фитофильных и придонных видов ветвистоусых ракообразных. Наиболее богаты видами во всех водоёмах семейства Daphniidae и Chydoridae. Более 30 видов зоопланктеров отмечались в анализируемых водоёмах лишь летом.

Доминантами зоопланктона во второй половине лета в крупных водоёмах региона являются *Kellicottia longispina*, *Euchlanis dilatata*, *Polyarthra sp.*, *Mesocyclops leuckarti*. В оз. Кубенское и Воже доминантом также является *Thermocyclops oithonoides*. На всех участках Шекснинского водохранилища доминирует *Eudiaptomus gracilis*. В оз. Белом летом часто доминируют *Daphnia galeata* и *Chydorus sphaericus*, в отдельные годы в августе регистрируется очень высокая численность *Conochilus unicornis* (Лобуничева и др., 2022).

Средняя численность зоопланктона в анализируемых водоёмах в августе 2016–2023 гг. составляла 103,1 тыс.экз./м<sup>3</sup>. Основу численности во всех водоёмах формировали веслоногие ракообразные. В этот период в сообществе присутствовали как взрослые особи циклопов, так и науплиусы и копеподиты разного возраста. Во всех водоёмах в августе отмечалась сравнительно высокая биомасса зоопланктона, в среднем 2,7 г/м<sup>3</sup> (от 1,1 г/м<sup>3</sup> в оз. Кубенском до 4,5 г/м<sup>3</sup> в оз. Воже). Наибольшая биомасса во всех водоёмах была характерна для ветвистоусых рачков. В оз. Воже за анализируемый период высокая биомасса зоопланктона (более 4 г/м<sup>3</sup>) в августе наблюдалась в 2018, 2020, 2022 и 2023 гг. Во все указанные годы в озере отмечалась высокая биомасса кладоцер *Sida crystallina*, *Limnospira frontosa*, *Daphnia cucullata*, а в отдельные годы и коловратки *Asplanchna priodonta*.

Поздней осенью зоопланктон крупных водоёмов Вологодской области насчитывал 74 вида. В разных водоёмах число видов изменялось от 38 (оз. Белое) до 46 видов (оз. Воже). Распределение видов по основным таксономическим группам было достаточно равномерным (23–26 видов). В составе сообщества практически не встречаются фитофильные виды, лишь в оз. Воже регулярно отмечается значительное число придонных видов. В составе веслоногих рачков во всех водоёмах увеличивается разнообразие р. Cyclops.

Доминантами в водоёмах в осенний период являются 4–5 видов. Повсеместно доминируют *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis*, *Bosmina coregoni*. На всей акватории Шекснинского водохранилища доминировали также *Daphnia galeata* и *Eudiaptomus gracilis*, в оз. Кубенском – *Keratella quadrata*, *Bosmina longirostris*, *Mesocyclops leuckarti*, в оз. Воже – *Daphnia cristata* и *Eudiaptomus gracilis*.

Наибольшее обилие зоопланктона среди анализируемых водоёмов характерно для оз. Белого (13,2 тыс. экз./м<sup>3</sup>, 0,6 г/м<sup>3</sup>) и Шекснинского водохранилища (34,6 тыс. экз./м<sup>3</sup>, 1,3 г/м<sup>3</sup>). Высокие значения средних численности и биомассы обусловлены массовым развитием в этих водоёмах в 2021–2023 гг. *Daphnia galeata*. Доминирование этого вида в оз. Белом наблюдалось и ранее (Лобуничева и др., 2022). Однако, в речной части водохранилища поздней осенью ранее доминировала лишь *Bosmina coregoni*. Структура планктонных сообществ в оз. Кубенское и Воже сходна с Шекснинским водохранилищем, но обилие зоопланктона существенно ниже (11 тыс. экз./м<sup>3</sup>, 0,2 г/м<sup>3</sup>).

Для зоопланктона крупных рыбохозяйственных водоёмов Вологодской области характерны закономерные сезонные изменения состава, структуры и обилия. Целый комплекс видов отмечается в водоёмах круглогодично. Однако, в каждый сезон регистрируются виды, ежегодно встречающиеся только в водоёмах в данный период наблюдений. Это особенно характерно для подледного и летнего периодов. Состав доминантного комплекса зоопланктона характеризуется значительным сходством в разных

водоёмах в отдельные сезоны. Массовое развитие отдельных видов определяет увеличение обилия зоопланктона в разные сезоны. Дальнейшего изучения, в том числе анализа абиотических параметров водоёмов в совокупности с характеристиками зоопланктона в разные сезоны, требует отмечаемый, начиная с 2020 г. рост обилия зоопланктона.

Авторы выражают благодарность всем сотрудникам Вологодского филиала ФГБНУ «ВНИРО», участвовавшим в сборе полевого гидробиологического материала на крупных водоёмах региона.

#### **Список литературы**

1. Лобуничева Е.В., Литвин А.И., Думнич Н.В. Сезонная динамика зоопланктона Шекснинского водохранилища (Вологодская область) // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. Борок: ИБВВ РАН. 2022. Вып. 97 (100). С. 18–32.
2. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л., 1982. 33 с.

## ОЦЕНКА ПУЛОВ И ПОТОКОВ УГЛЕРОДА В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

Ю.Н. Лукина, М.Б. Зобков, Н.А. Белкина, Н.М. Калинин,  
Г.Э. Здравеннова, С.Р. Богданов, М.В. Зобкова, Е.М. Макарова

*ФИЦ «Карельский научный центр РАН» Институт водных проблем Севера  
(ИВПС КарНЦ РАН), г. Петрозаводск, [jlukina@mail.ru](mailto:jlukina@mail.ru)*

*Аннотация: исследования направлены на решение важной научной проблемы – разработку системы мониторинга парниковых газов в озерно-речных системах РФ, которая обеспечит оценку вклада пресноводных экосистем в глобальную структуру бюджета углерода и интеграцию количественных оценок потоков углерода в поверхностных водах суши в расчеты его баланса в наземных экосистемах. Определены формы содержания и баланс углерода в разные гидрологические сезоны (зимняя межень, весеннее половодье, летняя межень). Дана количественная оценка латерального стока углерода, формирующегося преимущественно за счет органических форм с преобладанием гумусовых веществ. Выполнена оценка биотического баланса и установлено, что во внутриводоемном пополнении водоема углекислым газом ведущая роль принадлежит бактериопланктону. Обоснованы методы количественной оценки эмиссии CO<sub>2</sub> с поверхности водоема. Разработаны авторские конструкции ловушек и выполнены эксперименты по определению эмиссии парниковых газов из донных отложений в воду и из воды в атмосферу.*

Ключевые слова: Углерод, баланс, водные экосистемы, газоперенос, эмиссия, поглощение, латеральный сток

В настоящее время в связи с увеличением концентрации углекислого газа в атмосфере большое внимание уделяется изучению биогеохимического круговорота углерода. Расчет баланса углерода наземных биогеоценозов требует учета экспорта терригенного органического вещества за их пределы, который осуществляет латеральный сток, представляя собой один из ключевых связующих элементов глобального цикла углерода. Северные водоемы, расположенные на заболоченных территориях, где в торфяниках сконцентрировано наибольшее количество углерода наземных экосистем, служат «насосами», перекачивающими углекислый газ из болот в конечные водоемы стока (Chaudhary et al., 2017). Суммарная величина экспорта углерода с территории России в конечные водоемы стока составляет по разным оценкам 56,4-61 ТгС в год (Швиденко и др., 2011; Dolman et al., 2012).

Роль водных объектов не ограничивается исключительно транзитом углерода. Гидрографическая сеть представляет собой «биореактор», в котором происходит трансформация и минерализация терригенного органического вещества до CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> (Гончарова и др., 2023). Вследствие этого пресные воды, как правило, перенасыщены парниковыми газами и характеризуются значительным эмиссионным потоком с поверхности водного зеркала.

Республика Карелия расположена на арктических и приарктических территориях, где болота и заболоченные леса занимают более 30 %. Вода подавляющего большинства озер и рек Карелии, имеющих, как правило, заболоченные водосборы, характеризуется высокой цветностью и содержанием органического углерода, что предопределяет их роль как источников CO<sub>2</sub> в атмосферу. Именно растворенный органический углерод является основным предиктором парциального давления CO<sub>2</sub> в озерах (Larsen et al., 2011).

Исключением из водных объектов гумидной зоны являются крупнейшие озера Европы – Ладожское и Онежское, которые могут характеризоваться поглощающей способностью в отношении CO<sub>2</sub>. Так, для Онежского озера показано, что только в Петрозаводской губе, испытывающей влияние крупного притока (р. Шуя), поставляющего в залив значительную часть CO<sub>2</sub>, сразу после разрушения ледового покрова выявлены

потоки CO<sub>2</sub> с поверхности озера в атмосферу. В то же время глубоководный плес Онежского озера оказался нейтральным в отношении поступления CO<sub>2</sub> в атмосферу или характеризовался поглощающей способностью в отношении этого газа (Chmiel et al., 2020).

Ладожское озеро в 1970-1980-х гг. испытывало мощный антропогенный пресс, который вызвал интенсивное эвтрофирование этого водоема. Несмотря на снижение антропогенной нагрузки в последние годы, здесь отмечаются интенсивные процессы развития фитопланктона, особенно в северном шхерном районе. Эти процессы могут быть причиной выраженной поглощающей способности Ладожского озера в отношении CO<sub>2</sub>. Однако до настоящего времени вклад Ладожского озера в потоки CO<sub>2</sub> в атмосферу не изучался.

Учитывая высокую значимость водных экосистем в биогеохимическом цикле углерода, количественная оценка потоков углерода в поверхностных водах суши и латерального стока из наземных ландшафтов в водотоки и водоемы является крайне важной задачей.

Для ее реализации на водных объектах (р. Сандалка, руч. Чечкин, оз. Чудесная ламба) в заповеднике «Кивач» (Кондопожский район Республики Карелия) в период с 26 марта по 30 сентября 2024 г. выполнены комплексные исследования, включающие: оценку запасов углерода в основных депонирующих средах водоема (донные отложения, вода, биота); оценку параметров, характеризующих газоперенос по водному столбу; определение различных форм углерода в воде и донных отложениях, и оценку объемов выноса углерода с малыми водотоками в сезонном аспекте. Все водные объекты принадлежат Балтийскому бассейновому округу. Водохозяйственный участок и речной подбассейн р. Свирь (включая реки бассейна Онежского озера) относятся к речному бассейну р. Нева (включая бассейны рек Онежского и Ладожского озера).

В настоящем исследовании представлены новые данные о химических параметрах воды в разные гидрологические сезоны (минерализация, газовый состав, рН, органическое вещество и биогенные элементы) и определены формы нахождения углерода в оз. Чудесная ламба. Установлено, что в составе общего углерода преобладает органический (8,6±0,9 мгС/л, 69 % от общего содержания углерода) с доминированием растворенных форм (7,5±0,4 мгС/л, 88 % от общего). Показано, что вариабельность содержания общего углерода в озере связана с изменением в содержании его взвешенных форм, а также CO<sub>2</sub>. Анализ сезонной динамики углекислого газа свидетельствует о широком диапазоне концентраций CO<sub>2</sub> в воде оз. Чудесная ламба (4,4-19,5 мг/л), высокие значения которых отмечены в период ледостава (12,7-19,5 мг/л), а двукратное снижение – после разрушения ледового покрова (в мае). В летний период концентрация углекислого газа сохраняется на уровне весенних значений.

Изучено сезонное распределение различных форм углерода в общем пуле углерода в водотоках. В р. Сандалка в период зимней межени (период ледостава) отмечено повышенное содержание неорганических форм, в составе которых доля CO<sub>2</sub> составляет 14% от общего углерода (5,1 мгС/л), и резкое падение доли неорганического углерода в период весеннего половодья, сопровождаемое снижением концентрации CO<sub>2</sub>. В руч. Чечкин преобладают органические формы (22,4-42,2 мгС/л, 76-88 % от общего углерода), доля неорганического углерода составляет 2-9 % от общего с минимальными значениями в период половодья (конец апреля – начало мая). Установлено высокое содержание в водотоках углекислого газа в подледный период (20 мг/л) и двукратное сокращение после вскрытия льда (10 мг/л).

Дана оценка латерального стока углерода на исследуемом водосборе, свидетельствующая о максимальном выносе всех форм углерода с водотоками в пик весеннего половодья (в устье р. Сандалка в конце апреля 7,8 т/сутки), обусловленное

повышенным выносом общего органического углерода и  $\text{CO}_2$ . После окончания половодья отмечается увеличение выноса неорганического углерода и снижение выноса  $\text{CO}_2$ .

Гидробиологические исследования позволили определить функциональные характеристики планктона (фотосинтез и дыхание), выполнить количественный учет гетеротрофного и сапрофитного бактериопланктона, и оценить скорость бактериального дыхания. Установлено, что во внутриводоемном пополнении оз. Чудесная ламба углекислым газом ведущая роль принадлежит бактериопланктону, который определяет интенсивно идущие процессы деструкции органического вещества. Это связано большим количеством аллохтонного органического вещества гумусовой природы, поступающего с заболоченной территории, которое, во-первых, определяет повышенную цветность воды и низкие рН, лимитирующие фотосинтез, а во-вторых, доступно именно бактериопланктону – главному деструктору органического вещества.

Исследования литологии и химического состава донных отложений выявили, что оз. Чудесная ламба в условиях гумидного климата выполняет функцию накопителя органического вещества. Установлено, что мощность слоя, аккумулярованных органических осадков (со средним содержанием  $C_{\text{орг}}=50\%$ ), сформированных в голоцене, составляет 2 м. Под каждым квадратным метром дна ламбы в донных отложениях захоронено около 70-100 кг  $C_{\text{орг}}$ . Экспериментальные измерения потока углекислого газа из поверхностного слоя донных отложений в водную толщу оз. Чудесная ламба с помощью газовых ловушек выявили высокие скорости потока  $\text{CO}_2$  в зимний период (до  $200 \text{ мгCO}_2/\text{м}^2$  в сутки) и снижение интенсивности потока  $\text{CO}_2$  в летний период ( $\sim 46 \text{ мгCO}_2/\text{м}^2$  в сутки).

В рамках гидрофизических исследований обоснованы методы количественной оценки эмиссии углерода ( $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$ ) с поверхности озера на основе расчета потоков газа через поверхность. Для получения метеорологических и гидрофизических параметров, необходимых для оценки коэффициента газопереноса, на побережье модельного водоема оз. Чудесная ламба установлена метеостанция, в водной толще - автоматические станции для длительных измерений температуры воды, потоков солнечной радиации и скоростей течений. Показано, что в небольшом по площади озере, не испытывающем заметного влияния ветра, поток газа через поверхность вода-воздух зависит, в основном, от двух факторов: градиента концентрации газа на границе вода-воздух и параметров турбулентности в поверхностном слое воды. Установлено, что усиление турбулентности в верхнем слое озера происходит летом в ночные часы за счет радиационного механизма перемешивания. Выполнен выбор метода для расчета коэффициента  $k_{600}$  на основе оценок скорости диссипации кинетической энергии эддисон (E) в поверхностном слое воды. По данным длительных измерений на автономных станциях установлены даты начала и продолжительность периодов накопления (ледостав, летняя стратификация) и усиления эмиссии (весеннее перемешивание после взлома льда, этап заглубления и разрушения сезонного термоклина) парниковых газов.

Таким образом, комплексные исследования по оценке пулов углерода, эмиссии углекислого газа с водной поверхности и латерального стока позволят оценить объемы поглощения парниковых газов водными экосистемами и интегрировать их в расчеты баланса углерода в наземных экосистемах различных природно-климатических зон РФ.

Исследования выполнены в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ».

#### Список литературы

1. Гончарова О.Ю., Тимофеева М.В., Матышак Г.В. Диоксид углерода в почвенных, грунтовых и поверхностных водах арктических и бореальных регионов: роль, источники, методы определения (обзор) // Почвоведение. 2023. № 3. С. 321-338.

2. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Ваганов Е.А. Влияние природных пожаров в России 1998–2010 гг. на экосистемы и глобальный углеродный бюджет // ДАН. 2011. Т. 441, № 4. С. 544-548.
3. Chaudhary N., Miller P., Smith B. Modelling past, present and future peatland carbon accumulation across the pan-Arctic region // Biogeosciences. 2017. Vol. 14, Issue 18. P. 4023-4044.
4. Chmiel H., Hofmann H., Sobek S., Tatyana E., Pashe N. Where does the river end? Drivers of spatiotemporal variability in CO<sub>2</sub> concentration and flux in the inflow area of a large boreal lake // Limnology and Oceanography. 2020. Vol. 65, Issue 6. P.1161-1174.
5. Dolman A. J., Shvidenko A., Schepaschenko D. et al. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion methods // Biogeosciences. – 2012. – N 9. – P. 5323-5340.
6. Larsen S., Andersen T., Hessen D. Climate change predicted to cause severe increase of organic carbon in lakes // Global Change Biology. 2011. Vol. 17. P. 1186-1192.

## СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОНА В КУЙБЫШЕВСКОМ И НИЖНЕКАМСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩАХ В ПЕРИОД ЛЕТНЕГО ЦВЕТЕНИЯ 2018 г.

О.С. Любина, Л.Г. Гречухина

*Татарский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», г. Казань, [olyubina@mail.ru](mailto:olyubina@mail.ru)*

*Аннотация: рассмотрено количественное распределение и структура фитопланктона в Куйбышевском и Нижнекамском водохранилищах на примере данных 2018 г. Практически повсеместно выявлено доминирование цианобактерий, за исключением участков с сохранившимся речным режимом (Камский плес Куйбышевского водохранилища, устье р. Белая в Нижнекамском водохранилище). Опасные концентрации цианобактерий выявлены в Куйбышевском водохранилище.*

Ключевые слова: фитопланктон, цианобактерии, Куйбышевское водохранилище, Нижнекамское водохранилище, структура сообществ, цветение

Мониторинг фитопланктона в пресноводных водоемах наиболее актуален в летний период при бурном развитии цианобактерий, сопровождающемся не только изменением цвета и запаха воды, но и опасностью заражения вод высокотоксичными веществами – альготоксинами (Селезнева и др., 2023). Многие виды цианобактерий (*Microcystis*, *Anabaena*, *Planktothrix*, *Aphanizomenon*, *Anabaenopsis*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Nostoc* и др.), вызывающие цветение в водохранилищах Волги и Камы, способны синтезировать эти вещества (Чернова и др., 2017; Уманская и др., 2023). Такие случаи в Куйбышевском водохранилище были отмечены ранее (Никитин и др., 2012; Степанова и др., 2012). В связи с интенсивностью, частотой и продолжительностью процессов цветения, а также их потенциальной опасностью, существенной необходимостью становятся систематические исследования развития фитопланктона в естественных водоемах, направленные на получение сведений о динамике и спектре условий среды, вызывающих бурное размножение этих организмов (Уманская и др., 2023).

Цель настоящей работы – изучить масштабы цветения цианобактерий в Куйбышевском и Нижнекамском водохранилищах на примере материалов летней съемки 2018 г. для выявления участков этих водоемов с наивысшим развитием данной группы и оценить возможность заражения в них вод альготоксинами.

Для исследования проанализирован массив данных по фитопланктону на 13 разрезах в Куйбышевском и 6 разрезах в Нижнекамском водохранилищах, собранный в позднелетний период (август-сентябрь) 2018 г. в ходе маршрутной экспедиции Татарского филиала ВНИРО «ТатарстанНИРО» на НИС «Академик Берг». На каждом разрезе было выполнено от 1 до 5 станций, в общей сложности 56.

Отбор проб фитопланктона осуществляли интегрально с помощью батометра Руттнера, охватывая весь столб воды через равные интервалы глубин (Мордухай-Болтовской, 1975). Собранный материал фиксировали раствором Люголя. Концентрацию проб осуществляли методом прямой фильтрации дважды через мембранные фильтры диаметром пор 5 и 1,2 мкм под слабым давлением. Идентификацию видов проводили под световым микроскопом при увеличении 400-800 раз. Численность фитопланктона определяли в счетной камере «Горяева» объемом 0,0009 мл, а биомассу – счетно-объемным методом (Федоров, 1979). Для удобства анализа данные были усреднены по плесам.

В результате исследований в Куйбышевском водохранилище было обнаружено 286 таксонов, а в Нижнекамском – 184 таксона видового и надвидового уровней 9 таксономических групп. Таксономический состав фитопланктона изученных водоемов в целом был сходен, но в Куйбышевском водохранилище отмечено большее разнообразие криптофитовых и синезеленых водорослей, а в Нижнекамском – зеленых, диатомовых и золотистых (рис.).

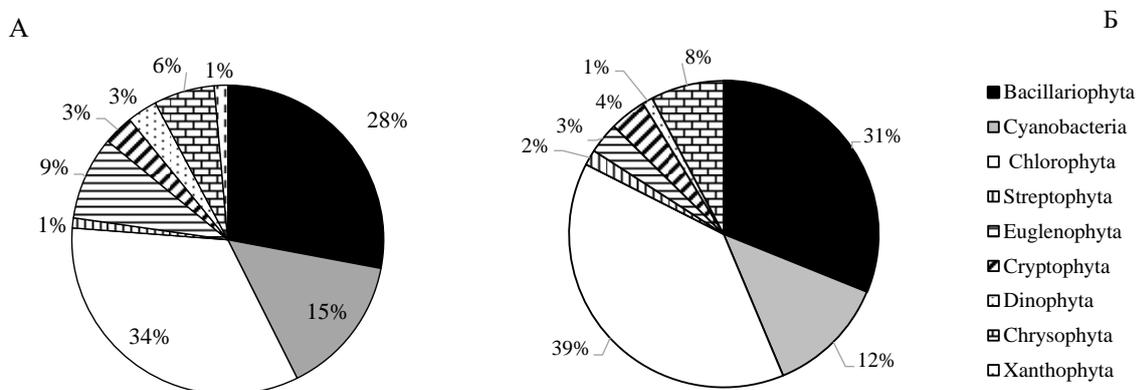


Рисунок. Таксономический состав фитопланктона в Куйбышевском (А) и Нижнекамском (Б) водохранилищах летом 2018 г.

В Куйбышевском водохранилище численность фитопланктона в среднем составила  $2,92 \pm 0,40$  млрд кл./м<sup>3</sup>. По усредненным по плесам данным наибольшие значения этого показателя ( $3,90-4,20$  млрд кл./м<sup>3</sup>) выявлены в центральных участках водоема (Тетюшский и Ундорский плесах), и в верховье (Волжский плес), а минимальные ( $1,60-1,90$  млрд кл./м<sup>3</sup>) – в Волжско-Камском, Камском и Ульяновском плесах. Преобладающей группой повсеместно выступали цианобактерии (24-73 %). В Волжском плесе зеленые, синезеленые (цианобактерии) и диатомовые были представлены сравнительно равномерно (28, 25 и 21 % соответственно). В остальных участках (Волжско-Камском, Камском, Тетюшском, Ундорском и Приплотинном плесах) в основном преобладали цианобактерии, усредненная доля которых варьировала от 35 % (Камский плес) до 74 % (Ундорский плес). Вклад диатомовых в общую численность наибольшим (21-30 %) был в верхних участках водохранилища (Волжском, Волжско-Камском Камском плесах). В центральных и нижних плесах диатомовые вносили не более 7-14 %. Доля зеленых и эвгленовых максимальной была в Волжском плесе (27 и 9 % соответственно), а криптофитовых – в Ульяновском и Приплотинном (27-30 %). В составе доминантов наиболее часто выступали цианобактерии *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault 1886, занимая от 7 до 39 %, и криптофитовые водоросли *Komma caudata* (L.Geitler) D.R.A.Hill 1991 (9-27 %).

В Нижнекамском водохранилище численность фитопланктона в среднем составила  $5,02 \pm 0,61$  млрд кл./м<sup>3</sup>. Максимальный уровень усредненного показателя ( $6,77 \pm 0,92$  млрд кл./м<sup>3</sup>) был приурочен к Верхнему плесу, а минимальный ( $2,35 \pm 0,96$  млрд кл./м<sup>3</sup>) – к Приплотинному. Цианобактерии доминировали в численности практически повсеместно, занимая от 41 % (Центральный плес) до 74 % (Приплотинный плес). Однако, в устье р. Белой преобладали зеленые, криптофитовые и диатомовые (41, 26 и 24 % соответственно). В водохранилище практически повсеместно, кроме устья р. Белая, доминирующим видом выступали цианобактерии *A. flos-aquae*, занимая от 17 до 40 %. В устье р. Белая преобладали криптомонады *K. caudata* (5 до 12 %).

Биомасса фитопланктона в Куйбышевском водохранилище в летний период в среднем составила  $3,17 \pm 0,52$  г/м<sup>3</sup>. Усредненная по участкам водохранилища биомасса

максимальной ( $4,90 \pm 1,53 \text{ г/м}^3$ ) была в Волжском плесе из-за показателей в Свяжском заливе. Чуть меньше уровень цветения ( $3,50\text{-}3,90 \text{ г/м}^3$ ) отмечен в Тетюшском, Ундорском и Приплотинном плесах. Минимальные значения ( $1,70\text{-}1,80 \text{ г/м}^3$ ) для всего водоема зафиксированы в Волжско-Камском и Камском плесах. Наибольшая локальная биомасса микроводорослей ( $11,7 \text{ г/м}^3$ ) выявлена в Усинском заливе (Приплотинный плес) при очень высокой доле цианобактерий (95 %). Группа синезеленых доминировала в Куйбышевском водохранилище повсеместно (30-91 %). Максимальное влияние ее отмечено в центральных и южных плесах. В Камском плесе при минимальном влиянии цианобактерий, высоким был вклад диатомовых, который достигал 40 %. В разных участках водохранилища состав доминирующих видов сильно варьировал, но наиболее часто преобладали цианобактерии *A. flos-aquae* и *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing 1846.

В Нижнекамском водохранилище биомасса фитопланктона в среднем составила  $4,62 \pm 0,86 \text{ г/м}^3$ . Максимальное значение этого показателя, усредненного по районам, было встречено в Верхнем плесе  $7,53 \pm 1,51 \text{ г/м}^3$ . На остальных участках усредненная биомасса варьировала в пределах  $2,50\text{-}2,81 \text{ г/м}^3$ . Максимальный локальный уровень данного показателя ( $13,28 \text{ г/м}^3$ ) был отмечен у левого берега напротив н.п. Камбарка (Верхний плес) при доле цианобактерий 74 %. Эта группа доминировала практически во всех плесах водохранилища, занимая от 53 % (в Центральном плесе) до 87 % (в Приплотинном плесе). Только в устье р. Белая преобладающими таксонами были криптофитовые и диатомовые (35 и 31 % соответственно), а доля синезеленых здесь не превышала 2 %. В Нижнекамском водохранилище практически повсеместно доминантом выступали цианобактерии *A. flos-aquae* (26-46 %), кроме устья р. Белая, где преобладали крупные криптомоны *Cryptomonas reflexa* (M.Marsson) Skuja 1939 (10-14 %).

Таким образом, летнее «цветение» цианобактерий в 2018 г. развивалось практически повсеместно. Минимальный вклад этой группы выявлен в участках с сохранившимся речным режимом (Камский плес Куйбышевского водохранилища, устье р. Белая Нижнекамского водохранилища). Цветение цианобактерий в Нижнекамском водохранилище развивалось интенсивнее и равномернее распределялось по акватории, что обусловлено более обширными мелководными зонами и меньшими средними глубинами, а соответственно, лучшим прогревом слоев воды в данном водоеме. Однако, при более высокой биомассе в этом водоеме структура данного показателя была разнообразнее, следовательно, влияние цианобактерий здесь было ниже.

Анализ литературных данных показал, что биомасса цианобактерий, при которой были отмечены опасные концентрации альготоксинов в воде составляет  $10 \text{ г/м}^3$  и более (Степанова и др., 2012). Подобные значения в 2018 г. были достигнуты в устье р. Уса в Приплотинном плесе Куйбышевского водохранилища ( $11,7 \text{ г/м}^3$  при 95 % вкладе цианобактерий в общий показатель, то есть  $11,1 \text{ г/м}^3$ ) и у левого берега на разрезе Камбарка в Верхнем плесе Нижнекамского водохранилища ( $13,28 \text{ г/м}^3$  при доле цианобактерий 74 %, то есть  $9,8 \text{ г/м}^3$ ). Полученные данные свидетельствуют о том, что в исследованных водоемах при благоприятных для цианобактерий условиях (высокая температура, слабое перемешивание водных масс, замедленное течение) могут возникать опасные для ихтиофауны ситуации с заражением вод альготоксинами. Однако, при более разнообразной структуре сообществ, влияние цианобактерий снижается, а соответственно, и ослабляется вероятность возникновения загрязнения вод их токсинами.

#### Список литературы

1. Мордухай-Болтовской Ф.Д. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.
2. Никитин О.В., Степанова Н.Ю., Мукминов М.Н. Индикация цианотоксинов в природных водах республики Татарстан // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2012. Т. 212. С. 341-344.

3. Селезнева К.В., Селезнева А.В., Селезнев В.А. Влияние массового развития цианобактерий на формирование качества воды Куйбышевского водохранилища // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2023. Т. 25, № 5. С. 164-174.
4. Степанова Н.Ю., Халиуллина Л.Ю., Никитин О.В., Латыпова В.З. Структура и токсичность цианобактерий в рекреационных зонах водоемов Казанского региона // Вода, химия, экология. 2012. № 11. С. 67-72.
5. Уманская М.В., Горбунов М.Ю., Тарасова Н.Г. Цианобактериальные цветения воды в пресноводных континентальных водах: обзор // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2023. Т. 25, № 5. С. 182-194.
6. Федоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: Моск. ун-т, 1979. 168 с.
7. Чернова Е.Н., Русских Я.В., Жаковская З.А. Токсичные метаболиты синезеленых водорослей и методы их определения // Вестник СПбГУ. Физика и химия. 2017. Т. 4, Вып. 4. С. 440-473.

## МОДЕЛЬ РОСТА ЛИЧИНОК СУДАКА В ЗАВОДСКИХ УСЛОВИЯХ

Н.А. Лютикова, А.А. Лютиков, А.Е. Королев

Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), г. Санкт-Петербург, [tokmo@mail.ru](mailto:tokmo@mail.ru)

*Аннотация: представлены результаты исследования ростовых показателей личинок судака при их выращивании в заводских условиях, и разработка модели роста на их основе с использованием уравнения Schnute. Проведено сравнение графиков роста личинок, полученных с помощью модели роста Schnute и рассчитанных с помощью уравнения удельной скорости роста. Полученные методом моделирования показатели средних индивидуальных масс личинок были сопоставимы с фактическими данными (полученными за период выращивания личинок в течение 48 суток). В то время как аналогичные показатели, рассчитанные с использованием уравнения удельной скорости роста, достоверно отличались от наблюдаемых в ходе экспериментального выращивания личинок значений. Таким образом, уравнение Schnute позволяет создать рабочую модель для прогнозирования роста судака в аквакультуре на самых ранних этапах постэмбрионального развития.*

Ключевые слова: *Sander lucioperca*, личинки, аквакультура, модель роста

Моделирование с использованием математического языка (часто с помощью дифференциальных уравнений) позволяет описывать динамику конкретной системы. Такие модели применяются в большинстве научных и промышленных дисциплин. Их использование для описания биологических процессов и систем становится все более популярным. В последнее время эта тенденция также присутствует в аквакультуре.

Объекты аквакультуры характеризуются определенными физиологическими параметрами, которые отражают рост культивируемых организмов в определенный период времени, например, такие как абсолютный и относительный рост, удельная скорость роста. Однако эти параметры сами по себе не подходят для прогнозирования дальнейшего роста выращиваемого объекта, так как являются исключительно эмпирическими (Lugert et al., 2016). Однако в комплексе эти показатели наиболее часто применяют при моделировании роста водных биологических ресурсов в аквакультуре. Для корректировки роста рыб в зависимости от температуры воды в модели используют уравнение теплового коэффициента роста (TGC) (Zardin et al., 2019).

Также известно, что темп роста рыб на разных стадиях жизни не одинаков, что указывает на необходимость использования различных моделей для описания роста рыб в течение отдельных этапов жизненного цикла. До сих пор в рыбоводстве большинство моделей чаще всего основывались на данных о росте рыб среднего возраста или размера, то есть от молодежи до взрослых рыб. Модели, характеризующие рост личинок в аквакультуре, немногочисленны. Тем временем этап личиночного развития является наиболее критическим периодом в жизни рыб и имеет самый высокий уровень смертности.

Таким образом, исследование роста личинок рыб и создание моделей роста позволит лучше изучить механизмы роста ранней молодежи в аквакультуре и даст возможность определить их потребности к условиям окружающей среды, что, в свою очередь, поможет снизить уровень смертности рыб в раннем онтогенезе.

В настоящем исследовании приведены результаты изучения роста судака *Sander lucioperca* от начала питания исключительно на искусственном рационе, а также данные, полученные при использовании (с некоторыми модификациями) одной из существующих моделей для описания роста личинок. Несмотря на широкую освещенность работ по культивированию ранней молодежи судака мы не нашли сообщений о применении моделей роста на раннем этапе его развития.

За основу модели было взято уравнение *Schnute* (1981):

$$G_t = y_1 + (y_2 - y_1) * ((1 - \exp(-RGR * (t - t_1))) / (1 - \exp(-RGR * (t_2 - t_1))))),$$

где  $G_t$  – относительный прирост,  $y_1$ ,  $y_2$  – отношение длина/масса личинок;  $t$ ,  $t_1$  и  $t_2$  – количество сут выращивания;  $RGR$  – относительная скорость роста рыб.

Уравнение не противоречит биологическим принципам, а используемые в модели параметры почти всегда имеют стабильные статистические оценки (*Schnute*, 1981). Ранее на базе этого уравнения была разработана успешная модель роста для другого вида окуনেобразных с очень мелкими личинками, – группера *Epinephelus moara* (Sun, Wang, 2024).

Для модели роста судака были использованы средние индивидуальные показатели массы и длины тела личинок, полученные в первые 48 сут после вылупления, и рассчитанные на их основе общие эмпирические функции роста – относительная скорость роста ( $RGR$ ) и уравнение теплового коэффициента роста ( $TGC$ ). Полученные с использованием модели *Schnute* данные о росте личинок сравнивали с фактическими показателями их роста и с аналогичными показателями, рассчитанными по уравнению удельной скорости роста ( $SGR$ ). Формулы для расчета указанных показателей приведены ниже, а их значения обобщены в табл.

$$RGR = (W_1 - W_0) / W_0 \times 100$$

$$SGR = (\ln W_1 - \ln W_0) / t \times 100$$

$$TGC = (W_1^r - W_0^r) / (T \times t)$$

где  $W_1$  – это конечная индивидуальная масса личинок,  $W_0$  – начальная индивидуальная масса личинок,  $t$  – количество сут выращивания,  $T$  – температура воды (°C),  $r$  – индекс веса (в классической формуле  $TGC$  индекс веса был определен как 1/3 (*Iwama*, *Tautz*, 1981)).

Таблица – Значения некоторых индексов роста личинок судака

Возраст личинок, сут (после вылупления)	$SGR$	$RGR$	$TGC$
3	20,3	50,0	0,0037
6	37,0	203,3	0,0088
9	15,6	59,6	0,0045
13	6,8	31,3	0,0021
21	16,4	272,1	0,0067
38	6,1	182,1	0,0035
48	6,4	90,2	0,0047
<b>За весь период</b>	<b>11,2</b>	<b>18937,5</b>	<b>0,0043</b>

При сравнении полученной модели с моделью роста, основанной на показателе  $SGR$ , а также с фактическими данными, использовали  $t$ -критерий Стьюдента. Различия считались достоверными при уровне значимости  $p \leq 0,05$ .

Результаты исследования представлены на рис. 1 и 2. Отмечено сходство графиков кривых роста личинок, построенных по данным  $SGR$  (среднесуточный прирост) и модели *Schnute*. Однако модель роста *Schnute* имеет бóльшую величину достоверности аппроксимации ( $R^2 = 0,90$ ) и более точно описывает исходные данные.

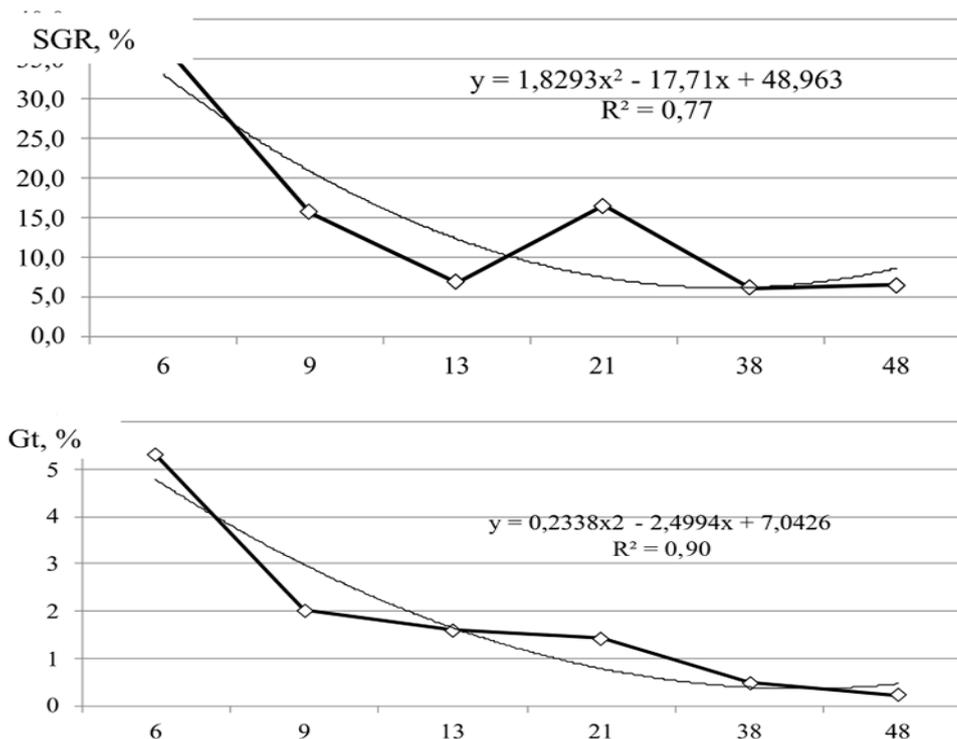


Рисунок 1. Кривая изменчивости показателей SGR (вверху) и Gt (снизу) в процессе выращивания личинок судака. Для построения графика использованы данные роста личинок возрастом от 6 сут с начала кормления, из-за их скачкообразного роста в первые дни жизни после вылупления. По линии абсцисс – сутки выращивания после вылупления

Графики роста личинок судака, построенные по фактическим данным, по модели роста Schnute и уравнению SGR, представлены на рисунке 2. Наиболее близкими друг к другу являются кривые роста, полученные на основе использования фактических данных и по модели Schnute.

Полученные методом моделирования показатели средних индивидуальных масс личинок были сопоставимы (не имели достоверных различий) с фактическими данными за период выращивания личинок в течение 48 суток. В то время как аналогичные показатели, рассчитанные с использованием уравнения удельной скорости роста, достоверно отличались от фактических значений ( $p=0,03$ ).

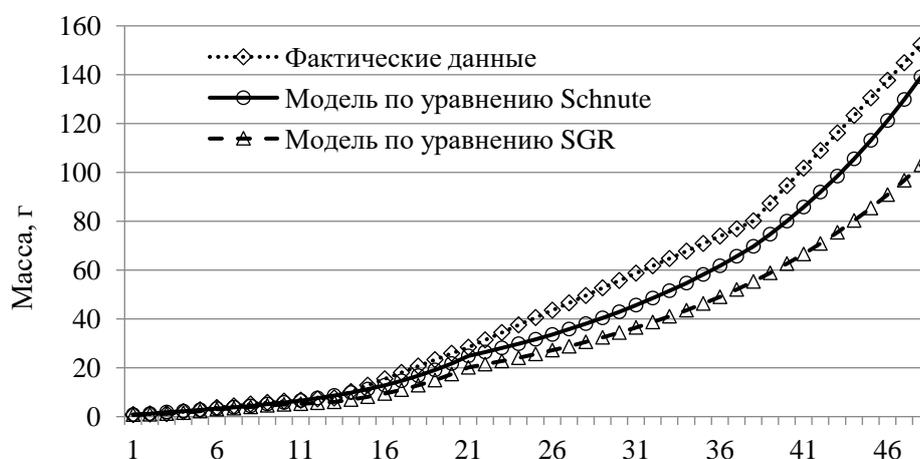


Рисунок 2 – Графики роста личинок судака в аквакультуре, построенные на основе фактических данных, модели роста Schnute и по данным SGR

Таким образом, уравнение Schnute позволяет разработать и использовать модель для прогнозирования роста судака в аквакультуре на самых ранних этапах постэмбрионального развития. Это поможет оптимизировать процессы искусственного выращивания судака на ранних личиночных этапах и повысить эффективность его разведения.

#### Список литературы

1. Iwama G.K., Tautz A.F. A simple growth model for salmonids in hatcheries // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1981. Vol. 38 (6). P. 649-656. <https://doi.org/10.1139/f81-087>.
2. Lugert V., Thaller G., Tetens J., Schulz C., Krieter J. A review on fish growth calculation: multiple functions in fish production and their specific application // *Rev. Aquac.* 2016. Vol. 8 (1). P. 30-42. <https://doi.org/10.1111/raq.12071>.
3. Schnute J.C. A versatile growth model with statistically stable parameters // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1981. Vol. 38 (6). P. 1128-1140.
4. Sun X. Wang Y. Growth models in aquaculture for hybrid and natural groupers based on early development stage // *Aquaculture*. 2024. Vol. 578. P. 740026. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740026>.
5. Zardin A.M.S.O., de Oliveira C.A.L., de Oliveira S.N., Yoshida G.M., de Albuquerque D.T., de Campos C.M., Ribeiro R.P. Growth curves by Gompertz nonlinear regression model for male and female Nile tilapias from different genetic groups // *Aquaculture*. 2019. Vol. 511. P. 734243. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734243>.

**ДИАГНОСТИКА ПЛОИДНОСТИ СИГОВЫХ РЫБ**

А.А. Лютиков\*, М.М. Вылка\*, В.И. Турилова\*\*, Т.К. Яковлева\*\*, Т.А. Филатова\*,  
В.В. Костюничев\*, В.А. Голотин\*

\* Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, [golotin@bk.ru](mailto:golotin@bk.ru)

\*\* Институт Цитологии РАН, г. Санкт-Петербург

*Аннотация: диагностика плоидности является важной неотъемлемой частью научных исследований по изучению плоидности рыб и наукоёмких хозяйств по получению рыб-триплоидов для снижения издержек и повышения общей эффективности в аквакультуре. Статья демонстрирует основные способы диагностики полиплоидии как природной, так и индуцированной, в частности индуцированной триплоидии сиговых на примере *Stenodus leucichthys nelma*. Сиговые являются представителями холодолюбивых объектами пресноводной аквакультуры, эмбриональный период которых занимает до полугода. В этом случае важно провести диагностику на самых ранних этапах эмбриогенеза для своевременного прогнозирования желаемого результата.*

Ключевые слова: триплоидия, идентификация плоидности, хромосомный анализ, ядра клеток крови, световая микроскопия, проточная цитометрия, микросателлиты

Первые успешные опыты по плоидным манипуляциям на хромосомах рыб, сравнение роста и полового созревания в сравнении с контрольными диплоидными рыбами были проведены в 40-50-х годах XX в. Как следствие, индуцированная триплоидизация стала гораздо более частой и распространена теперь на многие виды морских и пресноводных рыб (Maxime, 2008). Получение рыб-триплоидов особенно распространено в связи с тем, что триплоидизация является сравнительно дешёвой манипуляцией модификации генома для получения желаемых товарных характеристик в отличие от относительно более долгих и дорогих работ по выведению межвидовых гибридов и селекционных работ по выведению новых пород рыб.

Для получения триплоидов радужной форели, ближайшим описанным родственником сиговых, обычно используют тепловой шок (Гомельский и Грунина, 1988). К преимуществам этого метода можно, безусловно, отнести возможность проведения процедуры без специального оборудования, что значительно удешевляет процесс. Однако, при получении триплоидов с использованием термошока наблюдаются значительно большая смертность икры, в сравнении с таковой у контрольных диплоидов.

В последствие кроме термошока все чаще стали получать триплоиды с помощью гидростатического давления. По данным исследований (Haffray et al., 2007), смертность икры в процессе инкубации и доля уродливых экземпляров в потомстве, при применении этого метода, оказывались меньше.

Важнейшей методической частью по изучению природной и индуцированной полиплоидии является её своевременная и точная диагностика. В зависимости от потребностей исследования, наличия соответствующего лабораторного оснащения и квалификации персонала, существует несколько подходов к такой диагностике у рыб (рис.).

Самыми простыми являются методы визуальной оценки. Первый способ – цитоморфология на окрашенных мазках крови. Суть метода заключается в измерении диаметров эритроцитов и их ядер (Toth et al., 2005) в ручном визуальном или автоматическом режиме, используя различное программное обеспечение (Schneider et al., 2012), а затем полученные значения используют для расчета объемов клеток и их ядер (Soldatov et al., 2021). Полученные цитоморфологические данные сравниваются и проверяются методами статистики.

Второй визуальный метод основывается на подсчетах максимального количества ядрышек в ядрах эритроцитов на препаратах крови, окрашенных 50 % AgNO<sub>3</sub> (Howell and Black, 2005). Площади ядер считают в графических редакторах. Соотношения объёмов клеток и их ядер коррелируют с их плоидностью. Была использована такая возможность для определения плоидности на поздних этапах эмбриогенеза на клетках крови нельмы (*S. leucichthys nelma*), чира (*Coregonus nasus*), муксуна (*Coregonus muksun*) (рис., А) (Вылка и др., 2023).

Пожалуй, наиболее трудоёмким способом определения плоидности является подсчёт количества хромосом (рис., Б). Для такого анализа из различных тканей готовят хромосомные препараты, взятые на разных стадиях жизни рыб. Высокими митотическими активностями обладают эмбрионы рыб, а также пронефрос взрослых особей (Arai, 1984). Морфологию хромосом, а также подсчёт их количества осуществляется с помощью микроскопа во время клеточного деления – митоза, особенно в середине митоза на стадии метафазы, когда они максимально спирализованы (Кирпичников, 1987). Для того чтобы заблокировать деление хромосом на этой стадии, рыбам делают инъекцию или обрабатывают используемые для приготовления препаратов ткани химическими веществами (колхицин, колцемид (демеколцин), сульфат винбластин), которые предотвращают формирование нити веретена деления (Thorgaard et al., 1981). При отсутствии видовых особенностей количество хромосомратно количеству гаплоидным хромосомным наборам. Так, было показано количественное отличие и подтверждение индуцированной триплоидии нельмы с использованием хромосомного анализа (рис., Б). Показано, что число хромосом в клетках диплоидной рыбы 76, включая 11 пар двуплечих хромосом. В клетках триплоидного животного обнаружено 114 хромосом, включая 33 двуплечие хромосомы.

Наиболее часто используемым способом анализа плоидности служит метод проточной цитофлуориметрии (рис., В), который позволяет достаточно точно и оперативно (при ранних этапах эмбриогенеза или у взрослых особей) оценить плоидность рыб, например, при индуцированной триплоидизации рыб (Thorgaard et al., 1982; Allen Jr. and Stanley, 1983; Лютиков и др., 2023). Материалом для проточного цитофлуориметра служат суспензии живых или фиксированных клеток, содержащих ядро и окрашенных флуоресцентными красителями, такими как DAPI или пропидий иодид, которые довольно специфично связываются с нуклеиновыми кислотами клетки (Riccardi and Nicoletti, 2006). Проточный цитометр способен анализировать огромное количество клеток за малый промежуток времени: размеры клеток и интенсивность их флуоресценции при окрашивании. Таким образом можно по интенсивности излучаемой флуоресценции клеток диагностировать триплоидию у рыб относительно известного диплоидного контроля. Интенсивность флуоресценции коррелирует с количеством наборов хромосом в каждом анализируемом массиве клеток. Ранее авторами была разработана методика выделения эмбриональных клеток рыб на самых ранних этапах эмбриогенеза и апробирована для дифференциальной диагностики индуцированной триплоидии нельмы (Golotin et al., 2023), используя метод проточной цитометрии (рис., В).

При использовании вышеописанных методов, степень генетических различий плоидности оценивают, используя изначально живые клетки или ткани. Эти ограничения являются существенными при работе с субфоссильными и музейными образцами, делающие невозможность изучения плоидности. Поэтому для изучения наиболее доступным является анализ ДНК (Литвинчук и др., 2002). Среди большинства известных методов при анализе ДНК главным недостатком является её внутривидовая изменчивость, затрудняющая анализ плоидности, например, при наличии межвидовой гибридизации (Litvinchuk et al., 1999; Alves et al., 2001; Evans et al., 2004). Анализ коротких повторов ДНК, как правило, лишен этого недостатка, поэтому в этом случае микросателлитный анализ

плоидности ДНК-содержащих тканей таких образцов имеет преимущество. ПЦР-продукты микросателлитных локусов разделяют с помощью гель-электрофореза или капиллярного электрофореза. Анализируя длину фрагментов микросателлитов можно судить об аллелях локуса и об их количествах (повторах) (рис., Г). Как известно диплоидный организм содержит два локуса гомологичных хромосом, поэтому по количеству таких локусов возможно определить также и плоидность (Howard et al., 2023).

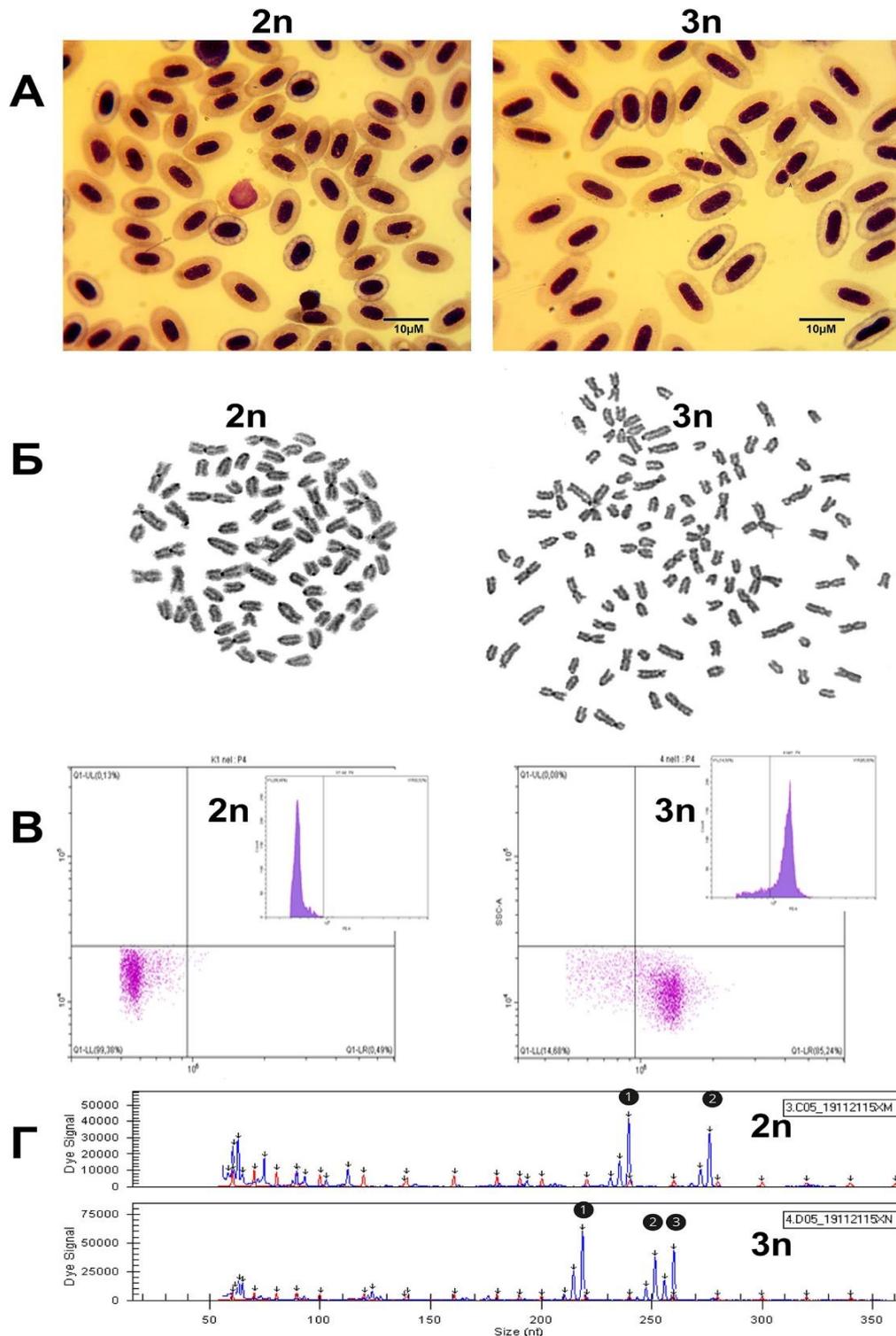


Рисунок. Методы диагностики триплоидии: А – Визуальный метод, основанный на размерах ядер клеток. Слева – клетки крови сеголеток диплоидной нельмы (*Stenodus leucichthys nelma*), справа – клетки

триплоидов нельмы (окраска по Паппенгейму); Б – митотические пластинки предпочки *S. l. nelma* – метод, основанный на подсчёте количества хромосом. Слева – митотическая пластика диплоида (2n, 76 хромосом), справа – триплоида (3n, 114 хромосом). В – Точечные графики и гистограммы распределения содержания ДНК в выделенных эмбриональных единичных клетках нельмы (Golotin et al., 2023), окрашенных иодидом пропидия, полученные методом проточной цитометрии (PE-канал). На оси абсцисс показано содержание ядерной ДНК клеток в фазе G1 клеточного цикла, которое выражается в произвольных единицах интенсивности флуоресценции, все оси и разделительные линии зафиксированы в одинаковых положениях (слева диплоиды, справа – триплоиды); Г – способ определения пloidности фрагментным анализом ДНК. Три отчетливых пика (верхний и нижний графики) или два пика (два графика посередине) свидетельствуют о триплоидии и диплоидии (и/или гомозиготной триплоидии) соответственно. Пики показывают интенсивность флуоресценции при определенных размерах фрагментов. Ранние пики около 50–100 пар оснований являются ошибками ПЦР (Howard et al., 2023)

Таким способом триплоидию можно диагностировать разными способами в зависимости от задач. Все вышеописанные методы в настоящее время используются авторами в научных поисках для диагностики индуцированной триплоидии. Для получения рыб-триплоидов в промышленных условиях особенно важно диагностировать триплоидию, имея два или более научных метода. Особенно важна своевременная диагностика именно на самых ранних этапах эмбриогенеза (на стадии бластулы) для холодноводных сиговых видов рыб, эмбриональное развитие которых происходит до полугода.

Работа выполнена при частичной поддержке проекта РФФ №23-26-00257.

#### Список литературы

1. Вылка М.М., Лютиков А.А., Голотин В.А. Диагностика триплоидии сиговых рыб в поздний эмбриональный период путем сравнения морфологии крови // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса : Материалы XI Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. СПб., 2023. С. 55-57.
2. Гомельский Б.И., Грунина А.С. Искусственная полиплоидия у рыб и возможности её использования в рыбоводстве // Рыбное хозяйство. 1988. С. 54.
3. Кирпичников В.С. Генетические основы селекции рыб. Л.: Наука, 1987. 519 с.
4. Литвинчук С.Н., Казаков В.И., Анацкий С.Ю. Музейные коллекции животных в молекулярно-генетических исследованиях // Успехи современной биологии. 2002. Вып. 122(5). С. 444-448
5. Лютиков А.А., Костюничев В.В., Голотин В.А., Вылка М.М. Предварительные результаты исследований по искусственной триплоидизации сиговых рыб // Развитие и современные проблемы аквакультуры: сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции (с. Дивноморское, 4 – 10 сентября 2023 г.) / ред. кол. Б.Ч. Месхи [и др.]; ДГТУ / Ростов-на-Дону: ДГТУ-Принт, 2023. С. 55-59.
6. Allen Jr. S.K., Stanley J.G. Triploid grass carp: Status and management implications // Fisheries. 1983. Vol. 12(4). P. 20-24
7. Alves J.M., Coelho M.M., Callares-Pereira M.J. Evolution in action through hybridization in an Iberian freshwater fish: a genetic review // Genetica. 2001. Vol. 111. P. 375-385
8. Arai K. Developmental genetic studies on salmonids: morphogenesis, isozyme phenotypes and chromosomes in hybrid embryos // Mem. Fac. Fish. Sci. 1984. Vol. 31(1,2). P. 1-94
9. Evans B.J., Kelley D.B., Tinsley R.C., Melnick D.J., Cannatella D.C. A mitochondrial DNA phylogeny of African clawed frogs: phylogeography and implications for polyploidy evolution // Mol. Phylogenet. Evol. 2004. Vol. 33. P. 197-213
10. Golotin V., Lyutikov A., Filatova T., Sharoyko V., Apalikova O. A Rapid and Simple Procedure for the Isolation of Embryonic Cells from Fish Eggs // Bio Protoc. 2023. Vol. 13(19). P. 0e4836. doi: 10.21769/BioProtoc.4836
11. Haffray P., Aubin J., Houis V., Labbe L., Jalabert B. Comparison of pressure or thermal treatments on triploid yield and malformation up to swim up stage in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Aquaculture. 2007. Vol. 272. P. S265.
12. Howard C., Taggart J.B., Bradley C.R., Gutierrez A.P., Taylor J.F., Prodöhl P.A., Migaud H., Bekaert M. DNA extraction from recently fertilised Atlantic salmon embryos for use in microsatellite validation of triploidy // PLoS One. 2023. Vol. 18(10). P. e0292319. doi: 10.1371/journal.pone.0292319.
13. Howell W.M., Black D.A. Controlled silver-staining of nucleolus organizer regions with a protective colloidal developer: a 1-step method // Experientia. 1980. Vol. 36. P. 1014-1015

14. Litvinchuk S.N., Borkin L.J., Dukia G., Kalezia M.L., Khalturin M.D., Rosanov Y.M. Taxonomic status of *Triturus karelinii* on the Balkans, with some comments about other crested newt taxa // *Russ. J. Herpetol.* 1999. Vol. 6. P. 153-163.
15. Maxime V. The physiology of triploid fish: current knowledge and comparisons with diploid fish// *Fish Fish.* 2008. Vol. 9. P. 67-78.
16. Riccardi C., Nicoletti I. Analysis of apoptosis by propidium iodide staining and flow cytometry. *Nat. Protoc.* 2006. Vol. 1(3). P. 1458-1461.
17. Schneider C., Rasband W., Eliceiri K. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis // *Nat. Methods.* 2012. Vol. 9. P. 671-675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>
18. Soldatov A., Kukhareva T., Morozova V., Richkova V., Andreyeva A., Bashmakova A. Morphometric parameters of erythroid hemocytes of alien mollusc *Anadara kagoshimensis* under normoxia and anoxia // *Ruthenica.* 2021. Vol. 31(2). P. 77-86.
19. Thorgaard G.H., Jazwin M.E., Stier A.R. Polyploidy induced by heat shock in rainbow trout // *T. Am. Fish. Soc.* 1981. Vol. 110. P. 546-550.
20. Thorgaard G.H., Rabinovitch P.S., Shen M.W., Gall G.A.E., Propp J., Utter F.M. Triploid rainbow trout identified by flow cytometry // *Aquaculture.* 1982. Vol. 29. P. 305-309.
21. Toth B., Varkonyi A., Hidas A., Edvine Meleg E., Varadi L. Genetic analysis of offspring from intra- and interspecies crosses of *Carassius auratus gibelio* by chromosome and RAPD analysis // *J. Fish Biol.* 2005. Vol. 66. P. 784-797.

## ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЛИПИДОВ В КОРМЕ НА РЫБОВОДНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТОВАРНОГО СУДАКА

А.А. Лютиков, А.Е. Королев, И.Н. Остроумова

Санкт-Петербургский филиал ГНУ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), г. Санкт-Петербург, [tokmo@mail.ru](mailto:tokmo@mail.ru)

Аннотация: использование экспериментальных изопротеиновых (48%) кормов с различным содержанием липидов – 8, 12 и 16% оказало значительное влияние на рыбоводно-биологические характеристики судака. Кормление судаков кормом с 16% липидов позволило получить наибольший прирост и иктиомассу, снизить кормовой коэффициент и повысить коэффициент усвояемости протеина корма. Выращенные на этом корме рыбы характеризовались высоким коэффициентом упитанности, индексом печени и висцерального жира.

Ключевые слова: *Sander lucioperca*, корма, рыбоводно-биологические показатели

Судак *Sander lucioperca* (L.) является ценным промысловым видом и желаемым объектом любительского рыболовства. Его питательное мясо содержит большое количество незаменимых аминокислот (Polak-Juszczak, Adamczyk, 2009) и высоко ценится потребителями. Примечательно, что диетические качества судака не снижаются при его культивировании индустриальным способом – жирность мяса рыб, выращенных на искусственных кормах, не превышает 2%, что сопоставимо с мясом диких особей (Лютиков и др., 2024).

Из-за ограниченности рынка специализированных кормов при выращивании судака, как правило, используют корма для лососевых рыб, отличающихся повышенной энергетической ценностью. Их использование может оказывать негативное влияние на физиологический статус окуневых, в частности вызывать нарушение функции печени (Kestemont et al., 2001), а в некоторых случаях необратимое жировое перерождение органа (Zakęs et al., 2002).

С другой стороны, повышение диетической метаболизируемой небелковой энергии, главным образом липидов, избавляет пищевой белок от катаболизма и увеличивает его использование для роста рыб (Shimeno et al., 1980; Watanabe et al., 1987; Johnsen et al., 1991; Nematipour et al., 1992).

Таким образом, исследования, направленные на поиск оптимального уровня липидов в кормах для рыб, являются актуальными и носят прикладной характер. В настоящей работе представлены материалы по исследованию влияния кормов с разным уровнем липидов (8, 12 и 16 %) на рыбоводно-биологические и физиологические показатели товарного судака в условиях садковой аквакультуры.

Трехлеток судака выращивали на экспериментальных кормах на рыбоводном хозяйстве ООО «Форват», расположенном на оз. Суходольское (Ленинградская обл.). Материал обрабатывали в лаборатории аквакультуры Санкт-Петербургского филиала ВНИРО (г. Санкт-Петербург).

Подопытные рыбы были получены из ремонтно-маточного стада, выращенного последовательно в бассейнах и садках на искусственных кормах. В двухлетнем возрасте судаки получали экструдированные коммерческие корма для форели Raisio Royal Hercules (Финляндия), в которых белок составлял 46-48 %, жир – 24-26 % (по данным фирмы-изготовителя).

Для эксперимента были отобраны 375 экз. судака со средней индивидуальной массой 98,8 г, которые случайным образом рассажены в три квадратных делевых садка с размером ячеек 12 мм, площадью 4 м<sup>2</sup> и высотой стенки 2 м, при плотности посадки 15

экз./м<sup>3</sup>. Температурный и световой режим были естественными, динамика температур в период исследования приведена на рис. Рыб кормили с использованием автоматических кормораздатчиков, подающих корма каждые 5 мин с 8:00 до 20:00.

Суточная норма кормления в эксперименте в среднем составляла 1,6 % от биомассы рыб в садке, что обеспечивает небольшой избыток корма для насыщения каждой особи. Продолжительность исследований составила 104 суток. Для контроля роста судака каждые 2 недели (за исключением завершающего этапа, составившего 1 месяц) проводили взвешивания не менее 35 рыб в каждой группе.

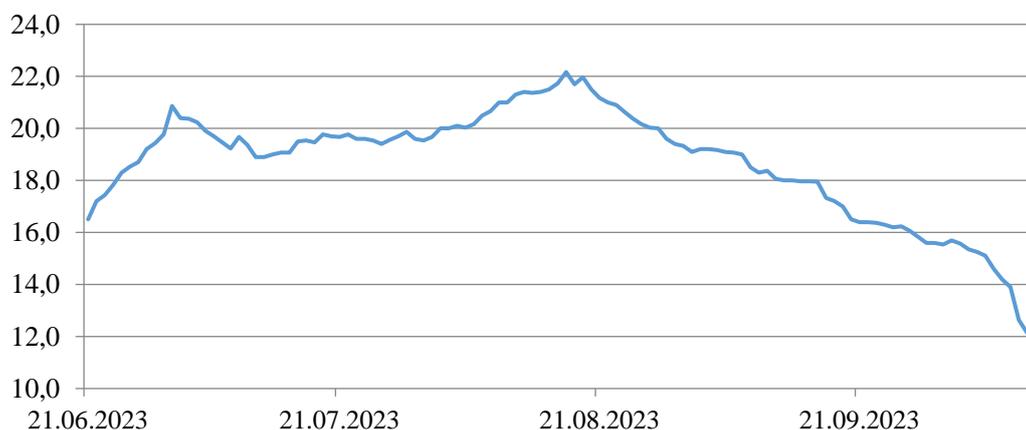


Рисунок – Динамика температур в период исследования, °С

В эксперименте рыбы получали корма с различным уровнем липидов – в рецептуре № 1 содержание липидов в сыром веществе составляло 8,1 %; № 2 – 12,2 %; № 3 – 16,2 %, соответственно. Уровень белка во всех кормах был одинаковым – 48,3 %. Энергетическая ценность кормов имела близкие значения и находилась в диапазоне 16,0-16,5 МДж/кг. Основными компонентами кормов были рыбная и мясная мука, шрот соевый, пшеничная мука, крахмал, соевый белок, дрожжи гидролизные, рыбий жир и льняное масло, премиксы. Корма изготавливали на экспериментальном двухшнековом экструдере с диаметром матрицы 2,0 мм.

По итогам эксперимента исследовали следующие рыбоводные показатели:

Абсолютный прирост массы рыб:  $AWG = W_f - W_i$ ;

Среднесуточный прирост:

$SGR$  (% массы тела в день) =  $100 \times [(\ln W_f - \ln W_i) \times T^{-1}]$ ;

Коэффициент конверсии корма:  $FCR = W_{TFS} \times AWG^{-1}$ ;

Коэффициент эффективности белка:  $PER = (W_f - W_i) \times W_{prot_f}^{-1}$ ;

Коэффициент упитанности (Condition factor),  $CF = 100 \times W_f \times (L_f)^{-3}$

где,  $W_i$  и  $W_f$  – начальная и конечная масса тела (г),  $W_{TFS}$  – масса всего подаваемого корма (г),  $T$  – продолжительность эксперимента (сутки),  $W_{prot_f}$  – масса диетического протеина, а  $L_f$  – конечная общая длина тела.

Смертность определяли в конце эксперимента и выражали в процентах погибших особей от общего числа рыб. Статистическую обработку материала проводили с использованием прикладной программы Stadia (версия 8.0). Для определения различий между группами использовали t-критерий Стьюдента, нормальность распределения определяли по критерию Пирсона. Влияние рациона на показатели роста и соматические индексы были проанализированы отдельно с помощью однофакторного дисперсионного анализа ANOVA. Различия считались значимыми при  $p \leq 0,05$ . В таблицах приведены среднеарифметические значения (M), стандартная ошибка среднего (m), коэффициент вариабельности признака (Cv).

Использование кормов с различным содержанием липидов оказало существенное влияние практически на все рыбоводные показатели, за исключением вариабельности конечной массы (табл. 1). Повышение доли липидов в рационе от 8 до 16% достоверно увеличивало конечную индивидуальную массу рыб, абсолютный и среднесуточный приросты, показатель переваримости белка, коэффициент упитанности и конечную ихтиомассу в эксперименте, а также снижало кормовой коэффициент. С другой стороны, было отмечено снижение выживаемости судака с повышением в рационе липидов (табл. 1).

Таблица 1. Параметры роста судака, получавшего экспериментальные рационы №№ 1-3; значения являются средними ± стандартное отклонение; внутри каждой строки значения с одинаковой надстрочной буквой существенно не различаются ( $P > 0,05$ )

Показатель	Вариант опыта / корма			One-way ANOVA <sup>1</sup>
	№1	№2	№3	<i>P</i> -value
Wi, г	100,9±2,6 <sup>a</sup>	95,9±2,4 <sup>a</sup>	104,7±4,4 <sup>a</sup>	-
Wf, г	243,9±18,3 <sup>a</sup>	248,2±16,1 <sup>a</sup>	278,8±16,4 <sup>b</sup>	<0,001
AWG, г	143,0±5,3 <sup>a</sup>	152,3±6,2 <sup>b</sup>	174,1±4,6 <sup>c</sup>	<0,001
SGR, % day <sup>-1</sup>	0,85±0,03 <sup>a</sup>	0,91±0,02 <sup>b</sup>	0,94±0,03 <sup>c</sup>	<0,001
FCR	1,64±0,09 <sup>a</sup>	1,54±0,11 <sup>a</sup>	1,35±0,05 <sup>b</sup>	<0,001
PER	1,26±0,05 <sup>a</sup>	1,34±0,07 <sup>b</sup>	1,53±0,04 <sup>c</sup>	<0,001
<i>Cv</i> wf, %	13,9±0,34 <sup>a</sup>	14,3±0,45 <sup>a</sup>	11,5±0,16 <sup>a</sup>	n.s.
CF	1,15±0,02 <sup>a</sup>	1,18±0,02 <sup>a</sup>	1,24±0,01 <sup>b</sup>	0,01
Выживаемость, %	5,6	7,2	8,8	-
Ихтиомасса, кг	28,8	28,8	31,8	-

Примечание: <sup>1</sup> – Уровень значимости влияния липидов корма на параметры роста судака, рассчитанный с помощью одностороннего дисперсионного анализа; n.s., non significant ( $P > 0,05$ ). *Wi* и *Wf* – начальная и конечная масса тела; *AWG* – абсолютный прирост; *SGR* – среднесуточный прирост; *FCR* – коэффициент конверсии корма; *PER* – коэффициент эффективности белка; *CF* – коэффициент упитанности.

Индексы внутренних органов судака, получавших различные диеты, имели близкие значения, за исключением достоверного снижения индекса ЖКТ и повышения индекса печени у особей, питавшихся кормами с повышенным содержанием липидов (табл. 2). Рыбы, получавшие корма с наибольшим количеством липидов, имели самый высокий в эксперименте индекс полостного жира. Данный индекс является единственным, на который оказывает влияние жирность корма (табл. 2).

Использование экспериментального корма с идентичным содержанием протеина и (48,3 %) и различной жирностью – 8, 12 и 16 % оказало значительное влияние на рыбоводно-биологические характеристики судака. Кормление судака кормом с 16 % липидов позволило получить наибольший прирост и ихтиомассу, снизить кормовой коэффициент и повысить коэффициент усвояемости протеина корма. Выращенные на корме № 3 рыбы характеризовались высоким коэффициентом упитанности, индексом печени и висцерального жира.

Таблица 2. Индексы внутренних органов и висцерального (полостного) жира судака, получавшего экспериментальные рационы №№ 1-3, %

Показатель	Вариант опыта / корма			One-way ANOVA
	№1	№2	№3	<i>P</i> -value
Сердце	0,09±0,01 <sup>a</sup>	0,11±0,01 <sup>a</sup>	0,10±0,01 <sup>a</sup>	n.s.
Селезенка	0,20±0,05 <sup>a</sup>	0,18±0,06 <sup>a</sup>	0,22±0,04 <sup>a</sup>	n.s.
ЖКТ	2,74±0,35 <sup>a</sup>	2,80±0,14 <sup>a</sup>	2,43±0,18 <sup>b</sup>	n.s.
Гонады	0,24±0,02 <sup>a</sup>	0,25±0,02 <sup>a</sup>	0,29±0,01 <sup>a</sup>	n.s.
Печень	1,78±0,03 <sup>a</sup>	1,94±0,09 <sup>b</sup>	1,96±0,02 <sup>b</sup>	n.s.
Висцеральный жир	3,65±0,09 <sup>a</sup>	3,75±0,11 <sup>a</sup>	4,26±0,21 <sup>b</sup>	<0,001

Результаты настоящей работы согласуются с данными, полученными при исследовании влияния диетических липидов на ростовые показатели окуневых рыб в условиях УЗВ (устройствах замкнутого водоснабжения). Так, судаки с начальной массой 1,4 г лучше росли на более калорийном рационе с 17 % жира, по сравнению с 9 и 13 % (Schulz et al., 2008). Молодь евразийского окуня массой 35 г демонстрировала высокий темп роста на кормах, содержащих 16,3 % липидов и 46,6 % сырого белка, по сравнению с 11,9 % и 49,2 %, соответственно (Mathis et al., 2003). При испытании кормов с различным содержанием липидов – 10, 16 и 22 % на молоди судака с начальной средней массой 51 г лучшие результаты были получены на корме с 16 % жира (Nyina-wamwiza et al., 2005). Рост молоди евразийского окуня массой 23 г, получавшей изопротеиновый корм (40 % белка), содержащий 12 и 18 % липидов, был значительно выше, чем в группе, получавшей рацион с 6 % липидов (Kestemont et al., 2001).

Таким образом, повышение уровня липидов в кормах до 16-18 % оказывает благоприятный эффект на рост окуневых рыб начиная с сеголеток вне зависимости от условий выращивания – УЗВ (с оптимальной для роста рыб температурой) или садковая аквакультура (с динамично меняющимися температурами природного водоема).

#### Список литературы

1. Лютиков А.А., Королев А.Е., Шумилина А.К., Лукина Ю.Н., Вылка М.М., Прищеп А.С. Сравнительная характеристика физиологического состояния судака (*Sander lucioperca* L.) из различных условий обитания: из озера – естественного места обитания, прудов и садков рыбоводного хозяйства // Сибирский экологический журнал. 2024. № 2. С. 229–242.
2. Johnsen F., Hillestad M., Austreng E. High energy diets for Atlantic salmon. Effects on pollution. Fish nutrition in practice, Biarritz (France), June 24-27, 1991 (Kaushik, S.J. & Luquet, P. eds). Les Colloques. 1991. Vol. 61. P. 391-401. INRA Editions, Paris.
3. Kestemont P., Vandeloise E., Mélard C., Fontaine P., Brown P.B. Growth and nutritional status of Eurasian perch *Perca fluviatilis* fed graded levels of dietary lipids with or without added ethoxyquin // Aquaculture. 2001. Vol. 203. P. 85-99.
4. Mathis N., Feidt C., Brun-Bellut J. Influence of protein/energy ratio on carcass quality during the growing period of Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) // Aquaculture. 2003. Vol. 214. P. 453-464.
5. Nematipour G.R., Brown M.L., Gatlin D.M. Effects of dietary carbohydrate: lipid ratio on growth and body composition of hybrid striped bass // J. World Aquacult. Soc. 1992. Vol. 3. P. 128-132.
6. Nyina-wamwiza L., Xu X. L., Blanchard G., Kestemont P. Effect of dietary protein, lipid and carbohydrate ratio on growth, feed efficiency and body composition of pikeperch *Sander lucioperca* fingerlings // Aquaculture Research. 2005. Vol. 36. P. 486-492.
7. Polak-Juszczak L., Adamczyk M. The quality and amino acid composition of fish protein from the Vistula Lagoon - *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*. 2009. Vol. 3 (64). P. 75-83 (in Polish).
8. Shimeno S., Hosokawa H., Takeda M., Kajiyama H. Effects of calorie to protein ratios in formulated diet on the growth, feed conversion and body composition of young yellowtail // *Nippon Suisan Gakkaishi*. 1980. Vol. 46. P. 1083-1087.
9. Schulz C., Huber M., Ogunji J., Rennert B. Effects of varying dietary protein to lipid ratios on growth performance and body composition of juvenile pike perch (*Sander lucioperca*) // *Aquaculture Nutrition*. 2008. Vol. 14. P. 166-173.
10. Watanabe T., Takeuchi T., Satoh S., Ida T., Yaguchi M. Development of low protein high energy diets for practical carp culture with special reference to reduction of total nitrogen excretions // *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 1987. Vol. 53. P. 1413-1423.
11. Zakęs Z., Demska-Zakęs K., Gomułka P. Degenerative changes in the livers of Eurasian perch fed with artificial feed // *Komun. Ryb.* 2002. Vol. 5. P. 13-15 (in Polish).

## ФИТОПЛАНКТОН ВЫБОРГСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В XXI ВЕКЕ

О.А. Ляшенко

Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), г. Санкт-Петербург, lyashenko\_oa@niorh.vniro.ru

Аннотация: Фитопланктон Выборгского залива изучали в 2007-2023 гг. преимущественно в летне-осенний период в нижнем и среднем, частично – верхнем участках. Основными доминантами фитопланктона по численности были цианопрокариоты, по биомассе – цианопрокариоты, диатомовые, криптофитовые водоросли. Количественные показатели развития фитопланктона были аналогичны отмеченным в конце XX в.

Ключевые слова: фитопланктон, Выборгский залив, доминирующий комплекс, цианопрокариоты, диатомовые, криптомонады

Выборгский залив расположен на северо – востоке Финского залива, среди заливов второго порядка он наибольший по площади. Береговая линия сильно изрезана, много островов. Вода значительно опреснена за счет многочисленных притоков, в то же время из акватории Финского залива периодически поступают осолоненные воды. Залив может быть охарактеризован как акватория эстуарного типа. Выделяют три части – верхнюю, среднюю и нижнюю. Верхняя наиболее мелководна с наибольшей площадью литоральной зоны, по мере продвижения к средней и нижней части величина преобладающей глубины, а также прозрачность и солёность возрастают (Еремина и др., 1999; Терешенкова, 2006).

Фитопланктон исследовали в 2007-2023 гг. в различных частях залива, преимущественно в летне-осенний период. Пробы отбирали батометром Паталаса в фотическом слое (до глубины, соответствующей величине утроенной прозрачности по диску Секки) через каждый метр, перемешивали и отбирали интегральную пробу, которую фиксировали и концентрировали посредством фильтрации на мембранный фильтр. Подсчёт водорослей проводили в камере Нажотта, биомассу фитопланктона определяли счетно-объемным методом на основании измерений водорослей в процессе камеральной обработки (Методика изучения..., 1975). Доминирующими считали систематические группы водорослей или отдельные таксоны рангом ниже рода, составляющие не менее 10% общей численности или биомассы фитопланктона, за который принимали всю фотосинтезирующую составляющую планктона.

В нижней части залива фитопланктон исследовали на стандартной станции государственного мониторинга, примыкающей к глубоководной части Финского залива. За период исследований численность фитопланктона здесь изменялась от 2477 до  $39294 \cdot 10^6$  кл./м<sup>3</sup>, биомасса – от 0,09 до 5,07 г/м<sup>3</sup>. В летне-осенний период численно преобладали цианопрокариоты, по биомассе – преимущественно цианопрокариоты диатомовые, криптофитовые, в состав доминантов периодически входили динофлагеллаты, эвгленовые, харовые водоросли. Основными доминантами по биомассе были цианопрокариоты *Aphanizomenon flosaquae*, *Planktothrix agardhii*, *Pseudanabaena limnetica* (?), диатомовая *Diatoma tenue*, криптофитовые рода *Cryptomonas*. В состав доминантов периодически входили эвгленовая *Eutreptiella gymnastica* и фотосинтезирующая инфузория *Myrionecta rubra*.

Средняя часть залива характеризовалась большим диапазоном изменения количественных показателей развития фитопланктона – от 1642 до  $244062 \cdot 10^6$  кл./м<sup>3</sup> и от 0,12 до 11,19 г/м<sup>3</sup>, что связано как с меньшими глубинами, так и значительной изрезанностью береговой линии и большим количеством островов, способствующему формированию локальных гидрохимических и гидрофизических условий на отдельных

участках акватории. По численности преобладали цианопрокариоты, представленные разнообразными представителями планктотрихетового комплекса, а также гетероцистные виды рода *Aphanizomenon*. Ядро доминирующего комплекса по биомассе, как и в нижней части, формировали цианопрокариоты диатомовые и криптофитовые. В составе цианопрокариот, помимо доминантов, отмеченных в нижней части залива, преобладала *Aphanizomenon gracile*, диатомовых – водоросли родов *Skeletonema*, *Aulacoseira*, *Stephanodiscus*, криптофитовых – водоросли рода *Cryptomonas*. В отдельные сроки в состав доминантов входила *M. rubra*.

Сравнение средних для летних и осенних месяцев величин биомассы фитопланктона нижнего и среднего участков залива (рис.) наглядно демонстрирует различия в их продуктивности.

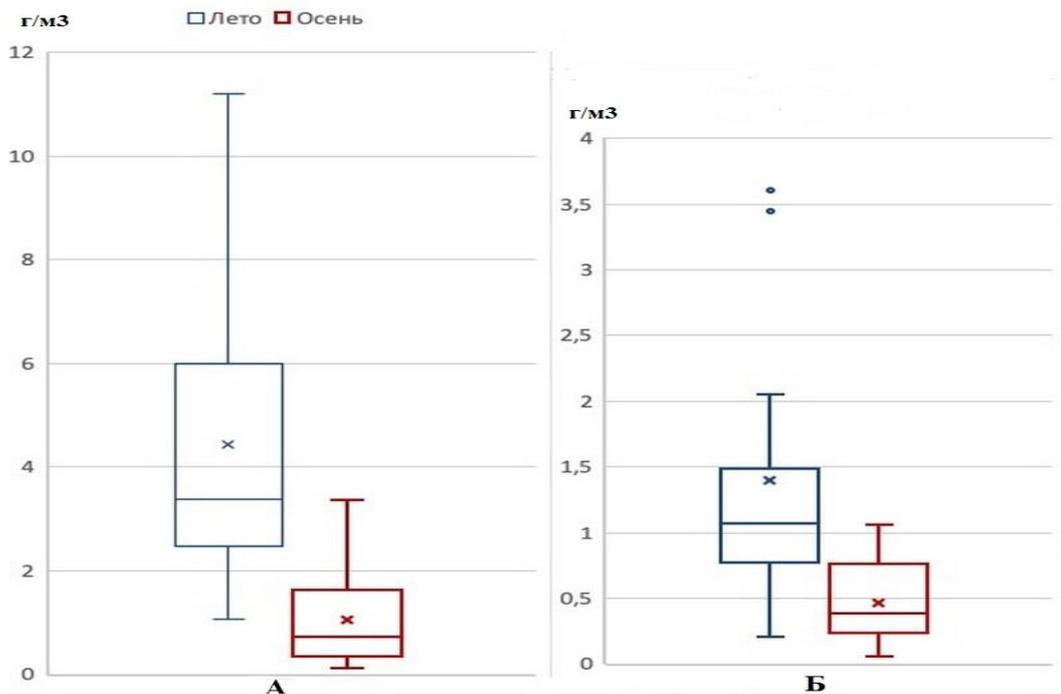


Рисунок. Биомасса фитопланктона среднего (А) и нижнего (Б) участков Выборгского водохранилища по данным 2007-2023 гг.

Верхний участок залива изучен в наименьшей степени. В августе-сентябре 2019 г. численность фитопланктона в бухте Защитной изменялась от 4320 до  $291441 \cdot 10^6$  кл./м<sup>3</sup>, биомасса – от 0,18 до 8,10 г/м<sup>3</sup>. В отличие от других районов, в августе более половины общей биомассы на всех исследованных станциях здесь формировалось за счёт криптононад р. *Cryptomonas*, а максимальные количественные показатели развития фитопланктона при полном преобладании цианопрокариот (планктотрихетовый комплекс и *Aph.gracile*) были отмечены в сентябре.

В целом можно отметить, что для Выборгского залива в летне-осенний период, как и в конце XX-го в., характерно преобладание цианопрокариот планктотрихетового комплекса и представителей рода *Aphanizomenon*, аналогичным был и уровень количественного развития планктонных водорослей (Терешенкова, 2006). Среди наметившихся в последние годы изменений в составе доминирующего комплекса наблюдалось периодическое доминирование фотосинтезирующей за счет симбиоза с водорослями инфузории *M. rubra* (средняя и нижняя части залива), а также эвгленовой *Eutreptiella gymnastica* (нижняя часть залива). Акватория Выборгского залива, как и ранее (Терешенкова, 2006), остается наиболее продуктивной в восточной части Финского залива.

### Список литературы

1. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.
2. Терешенкова Т.В. Сравнительная характеристика летнего фитопланктона Выборгского залива, Лужской и Копорской губ, пролива Бьеркезунд и Мелководного района восточной части Финского залива // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. 2006. Вып. 331. Т 1. С.37-85.
3. Еремина Т.Р., Некрасов А.В., Провоторов П.П. Гидрофизические процессы //Финский залив в условиях антропогенного воздействия. СПб., 1999. С. 5-47.

## ВЫСШАЯ ВОДНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ РЕКИ ЛУГА В РАЙОНЕ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД

Г.Ф. Ляшенко

*Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, [gfl@mail.ru](mailto:gfl@mail.ru)*

*Аннотация: проведено геоботаническое обследование реки Луга в районе сброса сточных вод. Дана характеристика макрофитов, приведен флористический состав.*

Ключевые слова: высшая водная растительность, макрофиты, сточные воды

Высшие водные растения – значимый компонент водных экосистем, формирующий среду обитания гидробионтов, служащий им как убежищем, так и кормом. Их заросли защищают берега от размывания и разрушения, укрепляют дно и влияют на качество воды, служа барьером и фильтром на пути поступающих с берегов и из донных отложений эвтрофирующих и загрязняющих веществ.

Макрофиты тесно связаны с водной средой и хорошо заметны в водоемах, поэтому их количество, жизненное состояние и разнообразие в водных растительных сообществах часто используют в качестве индикаторов качества воды в водотоках.

Обследование высшей водной растительности р. Луга, в районе сброса сточных вод ООО «ПГ «Фосфорит» было выполнено в августе 2020 г. Геоботаническую съемку проводили вдоль левого и правого берегов реки на участке русла от 500 м выше сброса сточных вод до 500 м ниже сброса (рис.).



Рисунок. Схема станций геоботанического описания макрофитов р. Луга

При описании растительности и идентификации макрофитов использовали соответствующие методические руководства (Маевский, 1964; Понятовская, 1964; Распопов, 1995; Корелякова, 1997; Буданцев, Яковлев, 2006). Схема станций геоботанического описания приведена на рисунке. Краткая характеристика мест описания растительности дана в табл. 1.

Растительность располагалась небольшими пятнами вдоль уреза берега реки. В воду распространялась на глубину до 1,5 м. Основные фитоценозы были представлены зарослями кубышкой желтой, стрелолистом обыкновенным, манником большим. Вдоль берега, по урезу, отмечены не широкие (до 1 м) полосы осоки острой. Береговой склон покрыт зарослями ивняка: ива корзиночная, ива трёхтычинковая, ива пятитычинковая, ива филиколистная, а также ольшаником – ольхой серой и ольхой клейкой.

Выше точки сброса сточных вод ООО ПГ «Фосфорит» отмечены фитоценозы осочника, манника, стрелолиста (табл. 2). Наиболее заросшим является левый берег реки. В 50 м выше сброса отмечена куртина манника большого. Прерывистая полоса осочника тянется вдоль всего берега, поросшего ивняком. В 400 м выше точки сброса в р. Луга впадает небольшая речка Падожница, далее, вверх по течению, берег пологий, с небольшой заросшей водной растительностью старицей. Правый берег менее заросший. Здесь преобладают песчаные отмели. Встречаются небольшие куртины стрелолиста и кубышки желтой.

Таблица 1. Характеристика участков геоботанического описания водной растительности на р. Луга в августе 2020 г.

Станция	Н, м	SD, м	T, °C	Характеристика грунтов	Расположение
1	1	0,8	16	Заиленный песок	в 500 м выше по течению от сброса
2	1			Заиленный песок	Контрольная точка 50 м выше от сброса
3	1			Камни, песок	Сброс
4	1			Заиленный песок	100 м ниже от сброса
5	1			Песок	300 м ниже от сброса
6	1	0,9	16	Песок	500 м ниже сброса

Примечание: Н – глубина, SD – прозрачность воды по диску Секки, T – температура воды.

Ниже точки сброса отмечены фитоценозы осочника, жерушника, стрелолиста, лягушатника и кубышки желтой.

Преобладание фитоценозов кубышки желтой вдоль левого берега р. Луга, ниже точки сброса сточных вод, может быть вызвано повышенным содержанием органических веществ в шлейфе сбросного стока. Отдельные пятна зарослей водкраса, встречающихся в фитоценозах кубышки желтой, также могут свидетельствовать о повышенном содержании органического вещества. В данном случае водная растительность выступает в качестве биофильтра и служит как очиститель воды. В то же время с правого берега, ниже точки сброса и напротив сброса сточных вод преобладают фитоценозы стрелолиста и небольшие куртины осочника. Литораль правого берега менее подвержена зарастанию. Общая площадь зарастания акватории реки не превышает 5 %.

Таблица 2. Флористический состав макрофитов р. Луга на обследованном участке

Виды высших водных растений	Район описания			
	Левый берег выше сброса	Левый берег ниже сброса	Правый берег выше сброса	Правый берег ниже сброса
Хвощ речной <i>Equisetum fluviatile L.</i>	+	+		+
Ежеголовник всплывающий <i>Sparganium emersum Rehm.</i>		+		+
Ежеголовник прямой <i>Sparganium erectum L.</i>		+		+
Рдест гребенчатый <i>Potamogeton pectinatus L.</i>		+		+

Виды высших водных растений	Район описания			
	Левый берег выше сброса	Левый берег ниже сброса	Правый берег выше сброса	Правый берег ниже сброса
Частуха подорожниковая <i>Alisma plantago-aquatica L.</i>	+	+		+
Стрелолист обыкновенный <i>Sagittaria sagittifolia L.</i>	+	+++	++	+++
Сусак зонтичный <i>Butomus umbellatus L.</i>	+	+		+
Водокрас обыкновенный <i>Hydrocharis morsus-ranae L.</i>		++		
Полевика побегообразующая <i>Agrostis stolonifera L.</i>	++	+		+
Двукосточник тростниковидный <i>Phalaroides arundinacea (L.)</i>	++	+	+	+
Манник большой <i>Glyceria maxima (C.Hartm.)</i>	++			
Осока острая <i>Carex acuta L.</i>	+++	++	+	++
Камыш озерный <i>Scirpus lacustris L.</i>		+		+
Камыш укореняющийся <i>Scirpus radicans Schkuhr</i>	+		+	
Ряска малая <i>Lemna minor L.</i>	+	+	+	+
Многокоренник обыкновенный <i>Spirodela polyrhiza (L.) Schleid.</i>	+	+	+	+
Роголистник погружённый <i>Ceratophyllum demersum L.</i>	+		+	
Щавель водный <i>Rumex aquaticus L.</i>	+	+		+
Жерушник земноводный <i>Rorippa amphibia (L.) Bess.</i>	+	++	+	
Дербенник иволистный <i>Lythrum salicaria L.</i>	+	++	+	+
Кубышка жёлтая <i>Nuphar lutea (L.) Smith.</i>	+	+++	+	+++
Чистец болотный <i>Stachys palustris L.</i>	+			+

Примечание: ++ – показатель присутствия и обилия растений.

По результатам обследования фитоценозов водной и прибрежной растительности участка реки Луги в районе сброса сточных вод ООО «ПГ «Фосфорит» не обнаружено существенных отличий в флористическом составе и характере зарастания акватории реки ниже сброса сточных вод от не связанных со сбросом сточных вод участков. Можно отметить только большую степень зарастания макрофитами участка реки ниже сброса сточных вод (табл. 2). По всей вероятности, это вызвано притоком биогенных веществ из сбросного коллектора, вследствие чего в прибрежье образуется естественный фильтр из зарослей макрофитов.

#### Список литературы

1. Буданцев А.Л., Яковлев Г.П. Иллюстрированный определитель растений Ленинградской области. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 799 с.
2. Корелякова И.Л. Высшая водная растительность восточной части Финского залива. СПб.: ГосНИОРХ. 1997. 159 с.
3. Маевский П.Ф. Флора средней полосы Европейской части СССР. Л., 1964. 880 с.
4. Понятовская В.М. Учет обилия и особенности размещения видов в естественных растительных сообществах // Полевая геоботаника. М.-Л. Т.3, 1964. С. 209-299.
5. Распопов И.М. Высшая водная растительность больших озер Северо-Запада СССР. Л.: Наука, 1985. 199 с.

## ИНСТРУМЕНТЫ ОПЕРАТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОМЫСЛА КЕТЫ (*ONCORHYNCHUS KETA*) ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

О.А. Мазникова\*, Н.В. Колпаков\*\*, В.Д. Никитин\*\*, Ю.И. Игнатъев\*\*

\* ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва, [maznikovao@vniro.ru](mailto:maznikovao@vniro.ru)

\*\* Сахалинский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО»),

г. Южно-Сахалинск, [kolpakovny@sakhniro.vniro.ru](mailto:kolpakovny@sakhniro.vniro.ru)

[nikitinvd@sakhniro.vniro.ru](mailto:nikitinvd@sakhniro.vniro.ru), [ignatievyui@sakhniro.vniro.ru](mailto:ignatievyui@sakhniro.vniro.ru)

*Аннотация: разноплановость лососевой путины делает Сахалинскую область самым сложным дальневосточным регионом в плане ее организации и проведения что обуславливает поиск и разработку эффективных управленческих решений. В работе представлены инструменты оперативного регулирования промысла кеты заводского происхождения, а также оценки промыслового возврата в 2024 году для юго-восточного побережья о. Сахалин.*

Ключевые слова: кета, *Oncorhynchus keta*, искусственное воспроизводство, Сахалин, промысел, меры регулирования, ЛРЗ

Промысел тихоокеанских лососей играет особую роль в социально-экономическом развитии Дальнего Востока России и Сахалинской области, в частности. Разноплановость лососевой путины делает регион самым сложным дальневосточным субъектом в плане ее организации и проведения, а меры регулирования рыболовства должны разрабатываться с учетом региональных особенностей.

В последние годы Сахалинская область занимает второе место по величине вылова тихоокеанских лососей среди регионов Дальнего Востока (Марченко, 2022; Макоедов и др., 2023; Макоедов и др., 2024) и первое место по количеству рыбоводных организаций. Кета (*Oncorhynchus keta*) является вторым видом тихоокеанских лососей по объемам вылова в регионе, уловы сформированы преимущественно рыбами искусственного происхождения. В 2022-2023 гг. вылов на юго-востоке о. Сахалин составил 9,5-11,2 тыс. т (Макоедов и др., 2023; Макоедов и др., 2024).

На сегодняшний день в регионе функционирует 78 рыбоводных предприятий, занимающихся выпуском тихоокеанских лососей в рамках искусственного воспроизводства и пастбищной (товарной) аквакультуры, сосредоточенные преимущественно на юго-восточном побережье о. Сахалин и на о. Итуруп. Приоритетным объектом разведения в регионе является кета. Так, например, в 2024 г. доля кеты, выпущенной как в рамках искусственного воспроизводства, так и пастбищной аквакультуры, составила около 90 %, на втором месте — горбуша, а суммарный объем выпуска молоди симы и кижуча не превышает 0,1 %.

Существенные изменения в структуру общего выпуска молоди тихоокеанских лососей вносит активное развитие пастбищной (товарной) аквакультуры. Предприятия сконцентрированы преимущественно в районе залива Терпения и на юго-восточном побережье о. Сахалин (56 % всех выпусков). По состоянию на 2024 г. на территории области сформировано 52 рыбоводных участка, а доля выпуска молоди в рамках товарного рыболовства достигает 44,2 %.

Одной из особенностей о-ва Сахалин является близкое расположение рек друг к другу, в том числе базовых водотоков лососевых рыбоводных заводов (далее — ЛРЗ). Начавшийся в 2024 г. массовый переход ЛРЗ от искусственного воспроизводства к пастбищной аквакультуре обуславливает необходимость поиска и разработки новых эффективных принципов организации и регулирования рыболовства кеты.

Для определения вклада каждого ЛРЗ в структуру объема выпуска молоди и, соответственно, оценку промыслового возврата кеты использованы данные, полученные для бассейнов р. Найба (ЛРЗ «Березняковский» и «Соколовский») и оз. Тунайча (ЛРЗ «Охотский») (табл.), а также данные официальной промысловой статистики, предоставляемой Сахалино-Курильским территориальным управлением Федерального агентства по рыболовству.

В связи с интенсификацией ввода в эксплуатацию рыболовных предприятий к 2022 г. на участке побережья м. Тихий – м. Свободный сложилась спорная ситуация, достигшая своего пика в текущем году. На данном участке число заводов возросло до 13, а расстояние между базовыми водотоками в ряде случаев не превышает 2 км. Столь близкое расположение предприятий создает ситуацию, когда при организации добычи (вылова) кеты морскими ставными неводами с длиной центрального крыла 2000 м в устье базовой реки неизбежно будет осуществляться вылов рыбы, выпущенной с соседних заводов, что создает конфликт интересов. В связи со сложившейся ситуацией в адрес Росрыболовства и его подведомственных организаций, органов исполнительной власти субъекта стали поступать многочисленные предложения по организации промысла кеты.

Основными документами, регулирующими рыболовство тихоокеанских лососей, являются Федеральный закон от 20.12.2004 г. № 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биоресурсов» (Федеральный закон..., 2004), Приказы Минсельхоза России: Правила рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна (приказ от 06.05.2022 г. № 285), Об утверждении Порядка деятельности комиссии по регулированию добычи (вылова) анадромных видов рыб от 21.12.2023 г. (№ 932), ежегодные приказы Минсельхоза России, устанавливающие ограничения рыболовства тихоокеанских лососей в соответствии со статьей 26 Федерального закона 166-ФЗ, а также Стратегия промысла тихоокеанских лососей в Сахалинской области (далее – Стратегия) (Стратегии промысла тихоокеанских лососей и гольцов (виды рода *Salvelinus*) Дальнего Востока России (на 2024 год), 2024). Выпуски в рамках товарной аквакультуры регламентированы Федеральным законом «Об аквакультуре (рыбоводстве) и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 02.07.2013 г. № 148-ФЗ (Федеральный закон..., 2013).

На первом этапе решения проблемы в 2023 г. были разработаны и введены ограничения промышленного рыболовства кеты в Восточно-Сахалинской подзоне на участке от реки Мануй до мыса Острый с применением ставных неводов с длиной центрального крыла невода, устанавливаемого от береговой полосы вглубь моря или залива, более 1000 м (Приказ Минсельхоза России от 24.04.2023 № 438).

На втором этапе в качестве эксперимента на одном из участков юго-восточного побережья Сахалина в целях снижения промысловой нагрузки на запасы кеты и обеспечения закладки икры на действующие ЛРЗ специалистами отраслевой науки в случае превышения пользователем величины ожидаемого возврата в базовый водоток предприятия на Комиссии по регулированию добычи (вылова) анадромных видов рыб Сахалинской области (далее – Комиссия) был рекомендован запрет осуществления рыболовства ставными неводами на морских РЛУ.

Результаты вводимых в 2023 г. мер нашли свое отражение в материалах, обосновывающих прогнозируемый объем добычи (вылова) кеты и региональной Стратегии на 2024 г. (Стратегии промысла тихоокеанских лососей и гольцов (виды рода *Salvelinus*) Дальнего Востока России (на 2024 год), 2024).

Для определения величины ожидаемого возврата кеты в базовую реку конкретного ЛРЗ, был разработан алгоритм оценки их вклада в суммарный объем вылова (результаты расчетов представлены в табл.):

1. Индекс численности  $In$  кеты каждого завода определяют по формуле:

$$In = X_{2019Y5} + X_{2020Y4} + X_{2021Y3} + X_{2022Y2} +$$

где  $X_i$  – выпуск млн экз. в  $i$  году (2019, 2020, 2021, 2022),

$Y_j$  – доля (%)  $j$  возрастной группы (2+, 3+, 4+, 5+ лет);

2. Численность кеты (экз.) конкретного ЛРЗ  $N_i$  в возврате рассчитывают по формуле:

$$N_i = (In / \Sigma In) N_p,$$

где  $In$  – индекс численности кеты каждого завода в общем возврате

$\Sigma In$  – сумма индексов численности кеты всех заводов в группе,

$N_p$  – численность возврата кеты для данной группы заводов по прогнозу;

3. Масса возврата кеты (кг)  $M_i$  каждого ЛРЗ рассчитывают по формуле:

$$M_i = N_i m,$$

где  $N_i$  – численность кеты (экз.) конкретного ЛРЗ;

$m$  – средняя масса одной особи, кг.

Безусловно, полученные оценки промыслового возврата будут дополнительно проанализированы по окончании лососевой путины 2024 г., но уже сегодня можно говорить о том, что принимаемые решения об ограничении рыболовства ставными неводами на морских рыболовных участках должно базироваться на общей величине уловов предприятия. Для повышения эффективности мер регулирования и определения объемов вылова для каждого рыболовного предприятия, осуществляющего искусственного воспроизводство, необходимо тотальное мечение выпускаемой молоди кеты и оценка ее выживаемости.

Таблица. Расчётные величины промыслового возврата кеты в 2024 г. для юго-восточного побережья о. Сахалин

Наименование водотока	Выпуск молоди кеты, млн экз. ( $X_i$ )				Возрастной состав, % ( $Y_j$ )				Индекс возврата $I_n$	Возврат	
	2019	2020	2021	2022	5+	4+	3+	2+		$N_i$	$M_i$
										экз.	т
р. Белая (бас. р. Найба)	5,1	12,3	7,8	12,2	1,0	19,2	70,9	8,9	904,5	176371	478,0
р. Б. Такой (бас. р. Найба)	8,4	12,3	10,9	15,1					1153,7	224954	609,6
р. Найба	–	–	1,0	1,0					80,4	15675	42,5
Бассейн р. Найба	13,4	24,6	19,7	28,4					( $\Sigma I_n$ ) 2138,6	( $N_p$ ) 417000	1130,0
р. Ударница	20,4	18,5	19,0	23,8					1932,7	530834	1438,6
оз. Тунайча	3,2	5,1	5,2	11,2					571,1	156851	425,1
Бассейн оз. Тунайча	23,6	23,6	24,2	35,0					( $\Sigma I_n$ ) 2503,8	( $N_p$ ) 687685	1864,0
р. Очепуха	16,2	13,5	10,1	21,9					1184,8	206395	559,3
р. Долинка	2,3	13,6	18,0	18,8					1703,3	296717	804,1
р. Бахура	0,8	–	1,9	0,7					140,1	24404	66,1
р. Залом	2,1	3,0	–	3,1					86,4	15050	40,8
р. Ай	8,2	8,1	13,6	–					1124,7	195922	531,0
р. Фирсовка	28,7	33,7	42,1	40,5					4024,0	700993	1899,7
р. Мануй	4,4	7,3	9,0	–					785,1	136770	370,647
р. Дудинка	–	1,8	–	–					33,6	5853	15,9
р. Баклановка	1,0	–	–	–					1,046	182	0,5
р. Береговая (Черная)	–	0,3	2,7	4,7					239,5	41715	113,0
Сумма по прочим заводам	–								( $\Sigma I_n$ ) 9322,5	( $N_p$ ) 1624000	4401,0
Итого	–								( $\Sigma I_n$ ) 13964,9	( $N_p$ ) 2728686	7394,7

### Список литературы

1. Марченко С.Л. Анализ лососевой путины 2021 г. // Бюллетень № 16 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО, 2022. С. 3-14.
2. Макоедов А.А., Никитин В.Д., Живоглядов А.А., Игнатьев Ю.И., Антонов А.А. Итоги промысла тихоокеанских лососей в Сахалино-Курильском регионе в 2022 г. // Бюллетень № 17 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО, 2023. С. 57-68.
3. Макоедов А.А., Колпаков Н.В., Никитин В.Д., Живоглядов А.А., Игнатьев Ю.И., Антонов А.А. Результаты хозяйственного освоения ресурсов тихоокеанских лососей в Сахалино-Курильском регионе в 2023 г. // Бюллетень № 18 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО, 2024. С. 49-66.
4. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 6.05.2022 № 285 «Об утверждении правил рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна» (с изменениями и дополнениями) (Электронный ресурс). Режим доступа: <https://base.garant.ru/404781783/> (Дата обращения 10.09.2024).
5. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 24.04.2023 № 438 «Об установлении ограничений рыболовства тихоокеанских лососей в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне в 2023 году» (Электронный ресурс). Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/406857070/> (Дата обращения 10.09.2024).
6. Приказ Минсельхоза России от 21.12.2023 № 932 «Об утверждении Порядка деятельности комиссии по регулированию добычи (вылова) анад-ромных видов рыб» (Электронный ресурс). Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_473687/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_473687/) (Дата обращения 10.09.2024).
7. Стратегии промысла тихоокеанских лососей и гольцов (виды рода *Salvelinus*) Дальнего Востока России (на 2024 год) // под общей редакцией Мазниковой О.А. М.: Изд-во ВНИРО, 2024. 82 с.
8. Федеральный закон «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» от 20.12.2004 № 166-ФЗ (Электронный ресурс). Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_50799/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_50799/) (Дата обращения 10.09.2024).
9. Федеральный закон «Об аквакультуре (рыбоводстве) и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 02.07.2013 № 148-ФЗ (Электронный ресурс). Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_148460/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148460/) (Дата обращения 10.09.2024).

## ОСОБЕННОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА ПРИТОКОВ СРЕДНЕЙ СУХОНЫ (ВОЛОГОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Н.Н. Макарёнкова

*Вологодский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ВологодНИРО»),  
г. Вологда, [mackarenckowa@yandex.ru](mailto:mackarenckowa@yandex.ru)*

*Аннотация: исследован фитопланктон притоков Средней Сухоны в летний период 2017-2018 гг. Альгофлора водотоков имеет диатомово-зеленый характер. В реках широко распространены *Cryptomonas reflexa*, *Monoraphidium contortum*, *Navicula cryptocephala*, *N. radiosa*, *Nitzschia acicularis*, *Synedra ulna*. Разнообразие водорослей в притоках невысокое. По уровню биомассы фитопланктона водотоки характеризуются олиготрофными условиями, за исключением р. Царева (мезотрофные).*

*Ключевые слова: фитопланктон, видовое разнообразие, функциональные группы, Вологодская область, малые реки, река Сухона*

Река Сухона, крупнейший водоток Вологодской области (протяженность 558 км, площадь водосбора – 50300 км<sup>2</sup>), вытекает из Кубенского озера, слиянием её с р. Юг образуется р. Малая Северная Двина. Водосборный бассейн р. Сухоны вытянут в широтном направлении. По гидрографическим особенностям р. Сухоны выделяют три участка от истока до устья: Верхняя Сухона (115 км), Средняя (170 км) и Нижняя (273 км). Долина Средней Сухоны имеет отчетливые очертания, ее ширина изменяется от 500 до 800 метров. Значительное количество притоков впадает в р. Сухону на ее среднем участке. В работе приводятся данные о фитопланктоне малых рек-притоков Средней Сухоны: Стрелица, Турица, Шонтас, Тиксна, Царева, Песья Деньга.

Для анализа состава и структуры фитопланктона притоков Средней Сухоны использован материал, полученный в летний период 2017-2018 гг. Пробы объемом 0,5 л были собраны с учетом методических рекомендаций (Садчиков, 2001) из поверхностного слоя воды, зафиксированы раствором Люголя с добавлением формалина, сконцентрированы через отстаивание до 10 мл объема. Обработка проб фитопланктона и идентификация водорослей проводились в камере Нажотта (0,01 мл) с использованием микроскопа Микмед-6 (ОАО «ЛМО», Россия). Таксономическая принадлежность водорослей устанавливалась с помощью «Определителей пресноводных водорослей СССР» (Определитель..., 1951) и другой литературы (Komárek, Anagnostidis, 1999, 2005; Komárek, Fott 2003; Komárek, 2013). Частота встречаемости вида оценивалась как отношение числа проб, в которых он присутствовал, к общему числу проб. Были также рассчитаны индексы разнообразия Шеннона и сходства Серенсена (Мэггаран, 1992). По величине биомассы фитопланктона устанавливался трофический статус водотока (Трифенова, 1990). В работе использована функциональная классификация Рейнольдса (Reynolds, et al., 2002), дополненная другими авторами (Padisák et al., 2009).

В фитопланктоне притоков Средней Сухоны были зарегистрированы 164 таксона рангом ниже рода, большая часть которых (58 %) относится к диатомовым водорослям (табл. 1).

Таблица 1. Количество видов, разновидностей и форм водорослей в фитопланктоне притоков Средней Сухоны

Таксоны	Реки						Всего
	Стрелица	Турица	Шонтас	Тиксна	Царева	Песья Деньга	
Cyanobacteria	2	1	1	6	1	4	11
Bacillariophyta	17	12	41	54	50	52	96
Chlorophyta	7	–	6	12	12	10	34
Chrysophyta	–	–	–	–	2	–	2
Cryptophyta	6	5	3	4	8	2	9
Euglenophyta	2	2	5	1	2	1	8
Dinophyta	–	1	1	–	2	–	4
<b>Всего</b>	<b>34</b>	<b>21</b>	<b>57</b>	<b>77</b>	<b>77</b>	<b>69</b>	<b>164</b>

По видовому богатству также выделялись зеленые водоросли (21 %). В исследуемых водотоках им сопутствовали цианобактерии (7 %), криптофитовые (6 %), эвгленовые (5 %), динофитовые (2 %) и золотистые (1 %) водоросли. Количество обнаруженных видов, разновидностей и форм водорослей в реках составило от 21 (р. Турица) до 77 (рр. Тиксна и Царева). В среднем в пробе встречалось от 6 до 23 видов.

К наиболее распространенным видам диатомовых в исследованных водотоках относились *Navicula cryptocephala*, *N. radiosa*, *Nitzschia acicularis*, *Synedra ulna* (табл. 2). Из зеленых водорослей широко были представлены *Monoraphidium contortum*, из криптофитовых – *Cryptomonas reflexa*.

Таблица 2. Часто встречающиеся (%) таксоны водорослей в фитопланктоне притоков Средней Сухоны

Таксоны	Реки					
	Стрелица	Турица	Шонтас	Тиксна	Царева	Песья Деньга
<b>Bacillariophyta</b>						
<i>Achnanthes lanceolata</i> (Bréb.) Grun.	–	–	+	+	–	33
<i>Amphipleura pellucida</i> (Kütz.) Kütz.	–	–	75	33	+	67
<i>Amphora ovalis</i> (Kütz.) Kütz.	–	+	–	+	33	33
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehr.) Sim.	–	–	–	33	+	+
<i>Cocconeis placentula</i> Ehr.	–	+	+	33	33	33
<i>Cyclotella</i> sp.	–	–	+	33	+	+
<i>Cymatopleura solea</i> (Bréb.) W. Sm.	–	50	+	33	+	33
<i>Cymbella lanceolata</i> (Ehr.) Kirchner	–	–	–	–	+	33
<i>C. minuta</i> Hilse ex Rabenhorst	–	–	+	33	+	67
<i>Cymbella</i> sp.	–	+	–	33	+	33
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	+	–	–	33	+	–
<i>Epithemia sorex</i> Kütz.	–	–	–	–	33	+
<i>Fragilaria capucina</i> Desm.	50	+	+	33	50	67
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kütz.) Kütz.	33	–	+	–	33	50
<i>G. truncatum</i> Ehr.	–	–	+	33	–	–
<i>Gyrosigma</i> sp.	+	–	+	50	+	+
<i>Hippodonta capitata</i> (Ehr.) Lange-Bert.	–	–	75	50	–	50

Таксоны	Реки					
	Стрелица	Турица	Шонгас	Тиксна	Царева	Песья Деньга
<i>Melosira varians</i> Ag.	33	–	+	50	33	33
<i>Meridion circulare</i> (Grev.) Ag.	–	50	+	33	33	50
<b><i>Navicula cryptocephala</i> Kütz.</b>	<b>33</b>	–	<b>75</b>	<b>50</b>	<b>33</b>	<b>50</b>
<i>N. gracilis</i> Ehr.	–	–	–	33	33	33
<i>N. integra</i> (W. Sm.) Ralfs	–	–	–	–	–	33
<i>N. oblonga</i> (Kütz.) Kütz.	–	–	–	33	–	–
<i>N. peregrina</i> var. <i>lanceolata</i> Skv.	–	–	–	33	–	33
<i>N. pupula</i> var. <i>capitata</i> Hust.	+	–	–	+	–	33
<b><i>N. radiosa</i> Kütz.</b>	<b>67</b>	+	<b>100</b>	<b>67</b>	<b>50</b>	<b>33</b>
<b><i>Nitzschia acicularis</i> (Kütz.) W. Sm.</b>	<b>67</b>	–	<b>100</b>	<b>67</b>	<b>33</b>	<b>67</b>
<i>N. flexa</i> Schumann	–	–	–	33	+	33
<i>N. palea</i> (Kütz.) W. Sm.	–	–	–	–	33	–
<i>N. vermicularis</i> (Kütz.) Hantzsch	+	+	100	50	+	50
<i>Pinnularia interrupta</i> W. Sm.	–	–	–	33	+	–
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (Ag.) Lange-Bert.	–	+	–	+	+	50
<i>Surirella angustata</i> Kütz.	33	–	+	33	33	33
<i>S. ovata</i> var. <i>pinnata</i> (W. Sm.) Hustedt	+	–	–	50	–	67
<i>Synedra tenera</i> W. Sm.	+	–	50	+	+	+
<b><i>S. ulna</i> (Nitzsch.) Ehr.</b>	<b>33</b>	+	<b>75</b>	<b>67</b>	<b>67</b>	<b>67</b>
<i>S. ulna</i> var. <i>amphirhynchus</i> (Ehr.) Grun.	–	–	–	33	–	–
<b>Chlorophyta</b>						
<i>Ankistrodesmus gracilis</i> (Reinsch) Korsh.	–	–	–	33	+	–
<i>Closterium moniliferum</i> (Bory) Ehr. ex Ralfs	–	–	50	33	–	–
<i>Coelastrum microporum</i> Näg.	33	–	–	–	–	–
<i>Cosmarium</i> sp.	–	–	+	–	33	–
<b><i>Monoraphidium contortum</i> (Thur.) Kom.-Legn.</b>	<b>50</b>	–	<b>75</b>	+	<b>33</b>	+
<i>M. griffithii</i> (Berk.) Kom.-Legn.	33	–	–	–	33	–
<i>Scenedesmus acutus</i> Meyen	33	–	–	+	–	–
<i>S. ecornis</i> (Ehr.) Chod.	–	–	–	–	33	–
<b>Cryptophyta</b>						
<i>Cryptomonas curvata</i> Ehr.	+	+	+	–	33	+
<i>C. marssonii</i> Skuja	50	+	–	67	–	–
<i>C. obovata</i> Skuja	33	+	–	+	33	–
<i>C. ovata</i> Ehr.	33	+	+	–	33	–
<b><i>C. reflexa</i> (Marsson) Skuja</b>	<b>67</b>	+	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>33</b>
<b>Euglenophyta</b>						
<i>Euglena tripteris</i> (Duj.) Klebs	–	–	50	+	–	–
<i>Trachelomonas volvocina</i> Ehr.	–	+	50	–	–	–
<b>Dinophyta</b>						
<i>Peridinium</i> sp.	–	–	–	–	33	–
<b>Всего таксонов с частотой встречаемости &gt; 30%</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>31</b>	<b>23</b>	<b>27</b>

Примечание: «+» – частота встречаемости вида < 30%, «–» – вид отсутствовал в пробах

Коэффициент сходства Серенсена наиболее высокий между реками Тиксна и Песья Деньга (0,53), Царева и Песья Деньга (0,51) и Царева и Тиксна (0,45). Эти водотоки, со сравнительно высоким видовым богатством, характеризовались значительным преобладанием диатомовых и зеленых водорослей. Разнообразие альгофлоры притоков Средней Сухоны, оцененное индексом Шеннона, невысокое (табл. 3), несколько ниже, чем в других притоках реки (Макарёноква, 2018). Низкое видовое разнообразие в притоках р. Сухоны на разных её участках было продемонстрировано и для зоопланктонных сообществ (Лобуничева, 2007). По уровню видового разнообразия альгоценозов выделялись рр. Шонтас, Тиксна и Песья Деньга.

Исследованные притоки Средней Сухоны по величине биомассы фитопланктона (табл. 3) относятся к олиготрофному статусу, за исключением р. Царева, где средняя биомасса водорослей указывает на мезотрофные условия водотока. При этом численность фитопланктонов в реках не превышала 1 млн. кл./л. На величины количественных характеристик альгоценозов во всех водотоках определяющее влияние оказывали диатомовые (в среднем 28-72% численности и 40-88% биомассы), а в р. Стрелица – также зеленые водоросли (34 % численности) и криптозоны (25 % и 48 %). Значительный вклад в структуре фитопланктона рр. Песья Деньга, Стрелица и Тиксна имели цианобактерии (25 %, 13 % и 12 % численности соответственно), зеленые водоросли – в рр. Шонтас (18 % и 31 %) и Царева (23 % численности), криптозоны – в рр. Турица (30 % и 28 %) и Царева (16 % и 12 %).

В фитопланктоне притоков Средней Сухоны были выделены преобладающие функциональные группы водорослей: В, D, J, Lo, MP, N, P, S1, Tb, W1, W2, X1, X2, Y (табл. 3). Среди них наибольший вес в альгоценозах имели В, D, J, MP, Tb, X2. Под кодом В объединены организмы, которые толерантны к дефициту освещения, угнетаются при повышении рН и стратификации. D-фитопланктоны (диатомовые) тяготеют к мелководьям, хорошо переносят повышенную мутность, чувствительны к снижению уровня биогенов. Группа J объединяет обитателей мелководных интенсивно перемешиваемых богатых питательными веществами водоемов. К ним относятся виды хлорококковых зеленых, в том числе из родов *Pediastrum* Meyen, *Scenedesmus* Meyen, *Tetraëdron* Kütz. MP-организмы живут в мелководных водоемах с высокой мутностью неорганического происхождения. Из них были зарегистрированы виды родов *Cymatopleura* W.Sm., *Cymbella* Ag., *Fragilaria* Lyngb., *Navicula* Bory, *Surirella* Turp. Tb-водоросли типичные представители альгофлоры рек и ручьев. К X2 в сообществе относились криптофитовые водоросли, характеризующиеся высокой пищевой ценностью для фильтраторов.

Таблица 3. Количественные и структурные характеристики фитопланктона притоков Средней Сухоны

Реки	N, млн кл./л	B, г/м <sup>3</sup>	H <sub>N</sub>	H <sub>B</sub>	Основные FG
Стрелица	0,45±0,17	0,17±0,05	1,46±0,77	1,45±0,20	B, D, J, MP, P, Tb, X1, X2, Y
Турица	0,14±0,11	0,11±0,02	1,36±0,35	1,34±0,15	B, D, MP, Y
Шонтас	0,22±0,05	0,47±0,06	2,63±0,20	2,17±0,10	D, MP, N, P, S1, W1, W2, X1, X2
Тиксна	0,37±0,13	0,52±0,11	2,48±0,12	2,08±0,18	B, D, MP, P, S1, Tb, X1, X2
Царева	0,48±0,23	1,54±1,22	1,70±0,21	1,24±0,27	B, D, J, Lo, MP, N, P, Tb, X1, X2, Y
Песья Деньга	0,83±0,52	0,55±0,23	2,35±0,21	1,98±0,17	D, Lo, MP, P, S1, Tb, X1, X2

Примечание: N – численность, B – биомасса, H – индекс Шеннона, FG – функциональные группы

Во всех притоках Средней Сухоны по числу видов преобладали диатомовые водоросли с максимальным количеством их в р. Тиксна. Также широко были

представлены зеленые водоросли, наибольшее их количество встречено в рр. Тиксна, Царева, Песья Деньга. Диатомовые, эвгленовые, криптофитовые, зеленые (за исключением р. Турица) водоросли и цианобактерии встречались во всех обследованных водотоках. Золотистые водоросли были обнаружены в р. Царева, динофитовые – рр. Турица, Шонтас, Царева. Водотоки характеризуются преимущественно олиготрофными условиями, невысоким разнообразием планктонной альгофлоры, представленной видами, хорошо переносящими повышенную мутность.

#### Список литературы

1. Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного фитопланктона. М.: Ун-т и шк., 2003. 157 с.
2. Определитель пресноводных водорослей СССР : в 14 вып. / ред.: Голлербах, М.М., Полянский, В.И., Савич, В.П. М.-Л.: Советская наука, Издательство АН СССР, 1951-1983.
3. Komárek J. Cyanoprocaryota 3. Teil: Heterocytous Genera // Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2013. Bd. 19/3. P. 1-1131.
4. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprocaryota 1. Teil: Chroococcales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. 1999. Bd. 19/1. P. 1-548.
5. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprocaryota 2. Teil: Oscillatoriales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2005. Bd. 19/2. P. 1-759.
6. Komárek J., Fott B. Chlorophyceae (Grünalgaen). Ordnung: Chlorococcales // Die Binnengewässer. Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 1983. Bd. 16. Teil 7. Hälfte 1. 1044 s.
7. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 181 с.
8. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озёрного фитопланктона. Л.: Наука, 1990. 184 с.
9. Reynolds C.S., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L., Melo S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton // Journal of plankton research. 2002. Vol. 24 № 5. P. 417-428.
10. Padisák J., Crossetti L.O., Naselli-Flores L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates // Hydrobiologia. 2009. Vol. 621. P. 1-19.
11. Макарянкова Н.Н. Таксономическая и экологическая характеристика фитопланктона притоков Нижней Сухоны // Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге : Материалы докладов IV Всеросс. науч. конф. с междунар. участием. СПб.: «Реноме», 2018. С. 276–282.
12. Лобуничева Е.В. Видовое разнообразие зоопланктона бассейна реки Сухона (Вологодская область) // Актуальные проблемы биологии и экологии : Материалы докладов I (XIV) Всеросс. мол. науч. конф. Сыктывкар, 2007. С. 135-138.

## ПРИМЕНИМОСТЬ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВЫСОКОГУМУСНЫХ РЕК

Е.М. Макарова

*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН  
(ИВПС КарНЦ РАН), г. Петрозаводск, [emm@bk.ru](mailto:emm@bk.ru)*

*Аннотация: представлены результаты исследования притоков Онежского озера, протекающих по территории г. Петрозаводска, по показателям бактериопланктона и химическому составу воды. Химический состав рек формируется под воздействием заболоченной водосборной территории (высокие показатели цветности, содержания железа) и антропогенной нагрузки. Сообщество бактериопланктона формировалось под влиянием антропогенного загрязнения.*

Ключевые слова: притоки Онежского озера, урбанизированная территория, гидрохимические показатели, бактериопланктон, эколого-трофические группы, пространственное распределение, оценка качества воды

Малые реки в наибольшей степени подвержены влиянию водосборной территории и воздействию антропогенного фактора (Алексеевский, 2000; Богатов, Федоровский, 2017). Малые реки г. Петрозаводска – Лососинка и Неглинка, протекая по территории города, принимают неочищенные стоки ливневой канализации и впадают в Петрозаводскую губу Онежского озера – источник централизованного питьевого водоснабжения городского населения. В нижнем своем течении реки выполняют рекреационную функцию и являются местом отдыха горожан.

Большинство поверхностных водоемов Карелии характеризуются содержанием в воде гумусовых веществ, что отражается в высокой цветности воды и обуславливается высокой степенью заболоченности водосборной территории (до 25 %) (Крупнейшие..., 2015). Специфический природный состав речных вод, связанный с высоким содержанием гумусовых веществ и связанного с ним железа, может изменять влияние антропогенных факторов на экосистемы рек, протекающих по урбанизированной территории. Биота разнонаправлено реагирует на природный (поступление гумусовых веществ) и антропогенный факторы (поступление ливневых стоков). При этом гумусовые вещества оказывают сложное воздействие как на водные экосистемы в целом (Лозовик, 2006; Моисеенко, 2009; Geddes, 2009; Cole et al., 2011; Arvola et al., 2014), так и, в частности, на бактериопланктон – важный индикатор качества воды (Visser, 1985; Tranvik, Höfle, 1987; Jones et al., 1988). Таким образом, высокие концентрации гумусовых веществ могут усложнить оценку экологической ситуации по микробиологическим показателям.

Цель работы – оценить применимость микробиологических показателей в оценке качества воды рек в условиях влияния заболоченной водосборной территории.

Сезонные съемки (май-октябрь) производили в 2015 г. на 4 станциях р. Лососинки (ст. L-1 – за пределами городской черты выше по течению, ст. L-2 – порожистый участок с перепадом высоты около 2 м на городской территории; ст. L-3 – плесовый участок реки на городской территории; L-4 – устье реки на городской территории), 3 станциях – р. Неглинка (ст. N-1 – за пределами городской черты выше по течению; ст. N-2 – срединный участок реки на городской территории; ст. N-3 – устье реки на городской территории). При анализе химического состава воды определяли рН, цветность, содержание растворенного кислорода, БПК<sub>5</sub>, ХПК, содержание взвешенных веществ, общего железа (Fe<sub>общ</sub>), общего (Р<sub>общ</sub>) и минерального (Р<sub>мин</sub>) фосфора, нефтепродуктов по стандартным методикам [Алекин и др., 1973; Руководство..., 1977; ПНД Ф 14.1:2.106-

97; ПНД Ф 14.1:2.110-97; ПНД Ф 14.1:2:4.248-07; РД 52.24.476-2007; ГОСТ 31868-2012; РД 52.24.427-2013]. В ходе микробиологического анализа были определены: общая численность бактерий (ОЧБ), а также численность эколого-трофических групп бактериопланктона (сапрофитные бактерии (СБ), гетеротрофные (ГБ), фенолрезистентные (ФРБ) и углеводородокисляющие (УОБ) бактерии) и показателей присутствия условно-патогенных микроорганизмов (общее микробное число (ОМЧ) и обобщенные колиформные бактерии (ОКБ)) согласно стандартным методикам (Zimmermann et al., 1978; Кузнецов, Дубинина, 1989; Handbook..., 1993; МУК 4.2.1884-04; СанПиН 1.2.3685-21). Для изучения пределов изменчивости химических и микробиологических характеристик и выявления связи между ними были исследованы дополнительно 10 притоков юго-западного (реки Шокша, Пухта, руч. Железный, Большая Уя, Деревянка, Орзega, Нелукса), северо-западного (р. Лижма) и северного (реки Кумса и Вичка) побережий Онежского озера в летний период (Макарова, 2023; Макарова и др., 2023). Для анализа пространственно-временной изменчивости микробиологических показателей и показателей химического состава воды, а также для выявления структуры связи между микробиологическими и химическими показателями притоков Онежского озера использовали метод главных компонент (principal component analysis – PCA).

Результаты исследования показали, что на всем своем протяжении химический состав рек отражает влияние водосборной заболоченной территории, при этом на городских участках рек дополнительно отмечается влияние ливневых и терригенного стоков. С помощью PCA показано, что изменчивость химических показателей воды р. Лососинки определяется сезонными изменениями, р. Неглинка – пространственными.

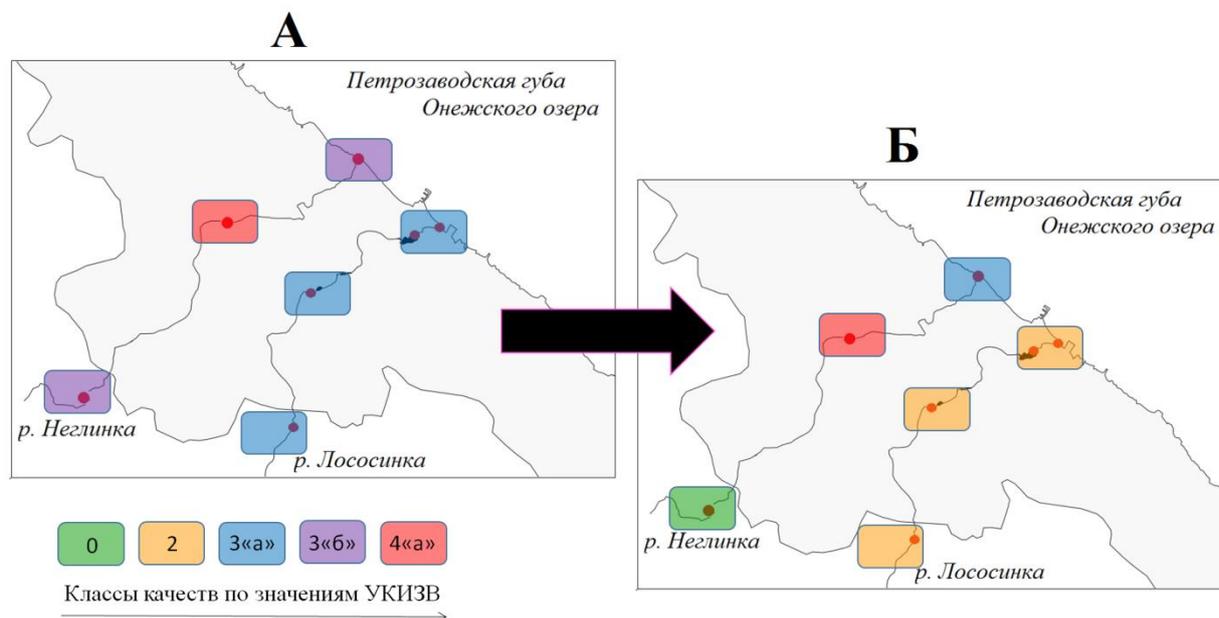


Рисунок. Схема качества воды рек по значениям УКИЗВ на станциях отбора проб, включая все химические показатели (А) и без учета региональных природных показателей (Б)

Для оценки класса качества речных вод по всему комплексу химических показателей рассчитали удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (УКИЗВ), который характеризовал загородные и городские участки рек Лососинки и Неглинка как высоко загрязненные (рис. А). В данном случае большую роль в расчет УКИЗВ внес фактор влияния регионального фона, а именно высокое содержание Feобщ и пониженные значения рН, что не позволяло выделить зоны антропогенного воздействия.

Исключив из расчета УКИЗВ химические показатели, отражающие влияние заболоченной водосборной территории (рН, Fe<sub>общ</sub>), получили новую оценку загрязненности рек (рис., Б), согласно которой удалось более точно выявить антропогенно загрязненные участки водотоков и степень их загрязнения.

При анализе микробиологических данных по результатам РСА выявлено заметное разделение всех проб рек Лососинки и Неглинки на две группы по пространственному признаку: пробы загородных участков рек и пробы городских участков. Численность изученных эколого-трофических групп бактериопланктона на городских станциях увеличивалась в 5–200 раз по сравнению с фоновыми участками.

Для того, чтобы определить, какие показатели химического состава воды влияют на развитие бактериопланктона: показатели, характеризующие влияние заболоченной водосборной территории (рН, цветность, Fe<sub>общ</sub>, ХПК) или показатели, характеризующие влияние антропогенного загрязнения (БПК<sub>5</sub>, содержание взвешенных веществ, Р<sub>общ</sub> и Р<sub>мин</sub>), поступающие с ливневыми водами, был применен РСА. Основой для анализа послужили логарифмированные химические и микробиологические показатели воды по 21 станции 12 притоков Онежского озера. Весьма важно отметить, что этот массив данных включал реки с разной степенью заболоченности водосборной территории и величиной антропогенной нагрузки (Макарова и др., 2023). Это определило широкое варьирование показателей выборки и позволило изучить структуру связей между ними.

По результатам РСА было установлено, что численность бактерий тесно связана с величиной БПК<sub>5</sub>, что также подтверждается значимой положительной корреляцией всех групп бактериопланктона с БПК<sub>5</sub> (коэффициент корреляции Спирмена изменялся в пределах 0,5-0,9). При этом ни одна группа бактериопланктона не была связана с показателями, характеризующими влияние заболоченного водосбора (рН, цветность, ХПК), вошедшими во вторую главную компоненту. Это доказало отсутствие прямого влияния регионального природного фактора на количественное развитие бактериопланктона (Макарова и др., 2023).

Результаты РСА доказывают связь бактерий с влиянием антропогенного фактора на водотоки, поэтому применение комплексных классификаций качества воды, предназначенных для выявления антропогенно измененных участков водных объектов, возможно.

#### Список литературы

1. Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 269 с.
2. Алексеевский Н. И. Концепция геостока и состояние малых рек // Эрозионные и русловые процессы. 2000. С. 68-77.
3. Богатов В.В., Федоровский А.С. Основы речной гидрологии и гидробиологии. Владивосток: Дальнаука, 2017. 384 с.
4. ГОСТ 31868-2012. ВОДА. Методы определения цветности. Москва. 2014. 7 с.
5. Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2015. 375 с.
6. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 288 с.
7. Лозовик П.А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию : Автореф. дис. ... докт. хим. наук. М. 2006. 60 с.
8. Макарова Е.М. Оценка качества воды притоков Онежского озера по показателям бактериопланктона с учетом региональных особенностей химического состава их вод // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы : Сборник материалов VIII Всероссийской конференции по водной экотоксикологии, посвященной 85-летию со дня рождения Бориса Александровича Флёрова. (Борок, 17–20 октября 2023 г.) / Отв. ред. И.И. Томилина. Ярославль: Филигрань, 2023. С. 261–263.
9. Макарова Е.М., Калинкина Н.М., Сабылина А.В. Возможность применения микробиологических показателей для оценки состояния водотоков с высокой цветностью воды (на примере притоков Онежского озера) // Принципы экологии. 2023. № 3(49). С. 36–50.

10. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология: теоретические и прикладные аспекты. М.: Наука, 2009. 400 с.
11. МУК 4.2.1884-04: методические указания. 4.2.1884-04. «Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов»
12. ПНД Ф 14.1:2.106–97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации фосфора общего в пробах природных и очищенных сточных вод фотометрическим методом после окисления персульфатом. М., 1997. 23 с.
13. ПНД Ф 14.1:2.110–97. Методика выполнения измерений содержаний взвешенных веществ и общего содержания примесей в пробах природных и очищенных сточных вод гравиметрическим методом. М., 1997. 13 с.
14. ПНД Ф 14.1:2:4.248–07. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций ортофосфатов, полифосфатов и фосфора общего в питьевых, природных и сточных водах фотометрическим методом. М., 2007. 18 с.
15. РД 52.24.427-2013. Массовая концентрация цинка, меди, железа, марганца и никеля в водах. Методика измерений атомно-абсорбционным методом с атомизацией в пламени / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Ростов-на-Дону, 2013. 26 с.
16. РД 52.24.476-2007. Массовая концентрация нефтепродуктов в водах. Методика выполнения измерений ИК-фотометрическим методом. Ростов-на-Дону, 2007. 27 с.
17. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / под ред. А. Д. Семенова. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 541 с.
18. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
19. Arvola L., Salonen K., Keskitalo J., Tulonen T., Järvinen M., Huotari J. Plankton metabolism and sedimentation in a small boreal lake – a long-term perspective // *Boreal Environment Research*. 2014. Vol. 19. P. 83-96.
20. Cole J.J., Carpenter S.R., Kitchell J.L., Pace M.L., Solomon C.T., Weidel B. Strong evidence for terrestrial support of zooplankton in small lakes based on stable isotopes of carbon, nitrogen, and hydrogen // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2011. Vol. 108. P. 1975-1980. DOI: 10.1073/pnas.1012807108 10.1111/j.1461-0248.2006.00898.x
21. Geddes P. Decoupling carbon effects and UV protection from terrestrial subsidies on pond zooplankton // *Hydrobiologia*. 2009. Vol. 628. P. 47-66. DOI 10.1007/s10750-009-9745-5
22. Handbook of methods in aquatic microbial ecology / Ed. by Paul F. Kemp, Barry F. Sherr, Evelin B. Sherr, Jonatan J. Cole. Washington, Levis Publishers, CRC Press LLC, 1993. 800 p.
23. Jones R.I., Salonen K., De Haan H. Phosphorus transformations in the epilimnion of humic lakes: abiotic interactions between dissolved humic materials and phosphate // *Freshwater Biology*. 1988. Vol. 19. № 3. P. 357-369. DOI: 10.1111/j.1365-2427.1988.tb00357.x
24. Tranvik L.J., Höfle M.G. Bacterial Growth in Mixed Cultures on Dissolved Organic Carbon from Humic and Clear Waters // *Applied and Environmental Microbiology*. 1987. Vol. 53. № 3. P. 482-488.
25. Visser S.A. Physiological action of humic substances on microbial cells // *Soil Biology and Biochemistry*. 1985. Vol. 17. № 4. P. 457-462. DOI: 10.1016/0038-0717(85)90009-4.
26. Zimmermann R., Iturriaga R., Becker-Birck J. Simultaneous determination of the total number of aquatic bacteria and the number thereof involved in respiration // *Applied and Environmental Microbiology*. 1978. Vol. 36. № 6. P. 926-935.

## ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОБЛЫ В ПЕРИОД НЕРЕСТОВОЙ МИГРАЦИИ В ДЕЛЬТЕ р. ВОЛГИ В 2024 г.

О.В. Макеева, Ф.И. Никитин, Р.А. Пономарев, Н.В. Козлова

*Волжско-Каспийский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»), г. Астрахань,  
[makeevaov@kaspnirh.vniro.ru](mailto:makeevaov@kaspnirh.vniro.ru), [nikitinfi@kaspnirh.vniro.ru](mailto:nikitinfi@kaspnirh.vniro.ru),  
[ponomarevra@kaspnirh.vniro.ru](mailto:ponomarevra@kaspnirh.vniro.ru), [kozlovanv@kaspnirh.vniro.ru](mailto:kozlovanv@kaspnirh.vniro.ru)*

*Аннотация: в работе представлены результаты физиолого-биохимических исследований самок воблы в период нерестовой миграции в дельте р. Волги в 2024 г. У 10 % рыб выявлена массовая резорбция ооцитов IV СЗГ. Концентрации общих липидов в мышцах и гонадах рыб, являющихся основными энергетическими биохимическими субстратами организма, были ниже относительно прошлых лет. В результате изучения отмечено ухудшение физиологического состояния воблы.*

Ключевые слова: самки воблы, мышцы, гонады, ооциты, резорбция, общие липиды, водорастворимый белок

По данным ученых Волжско-Каспийского филиала ФГБНУ «ВНИРО» вобла, не так давно являвшаяся самым массовым промысловым видом в дельте р. Волги, составляет в уловах последних лет всего 2-3 %, по сравнению с 2000 г. запас ее сократился в 2,5 раза. Популяция воблы находится в состоянии депрессии. Причинами являются проблемы с гидрологическим режимом р. Волги в весенний период, неудовлетворяющим требованиям естественного воспроизводства рыб, а также влияние антропогенных факторов, нагрузка разнообразного ННН-промысла, снижающие эффективность ее естественного воспроизводства, и соответственно пополнение запасов (Барабанов и др., 2023; Барабанов и др., 2024). Зарегистрировано снижение возрастных и размерно-весовых характеристик вида. В целях сохранения и восстановления популяции воблы было принято решение ввести отдельным приказом Минсельхоза России на 2024 г. запрет на осуществление промышленного и любительского рыболовства вида на водных объектах рыбохозяйственного значения Астраханской области и в Каспийском море, за исключением периода с 20 апреля по 30 апреля 2024 г. (Приказ Министерства сельского..., 2024).

В связи с этим изучение физиолого-биохимического состояния воблы в р. Волге является актуальным, так как это имеет большое значение для характеристики многих важнейших популяционных параметров, таких как воспроизводительная способность популяции, темп роста и других.

Цель исследования – провести физиолого-биохимические исследования воблы в период нерестовой миграции 2024 г.

В весенний период исследованы самки воблы, выловленные в реке Волге. Отобраны биохимические пробы мышц и гонад рыб, гистологические пробы гонад в соответствии с общепринятыми инструкциями (Судаков, 2011). В мышцах определяли содержание общих липидов модифицированным методом с сульфифосфованилиновым реактивом по Цельнеру-Киршу (Кондрахин, 2004) и водорастворимого белка по методу Варбурга и Христиана (Детлаф, 1974) на спектрофотометре Shimadzu-UV-3600. Стадии зрелости гонад (СЗГ), состояние воспроизводительной системы особей исследовали методами классической гистологии (Гистология для ихтиологов, 2009), просмотр препаратов проводился под микроскопом OLYMPUS BX 40. Результаты были обработаны с применением общепринятых методов статистики в программе Microsoft Excel, 2010.

Масса и длина исследованных самок воблы составляли в среднем 164,4 г и 19,8 см соответственно. По результатам гистоморфологического анализа половых желез самок воблы выявлено, что у 14,3% особей гонады преимущественно находились на IV стадии зрелости (рис., а), у 85,7% на IV-V стадии.

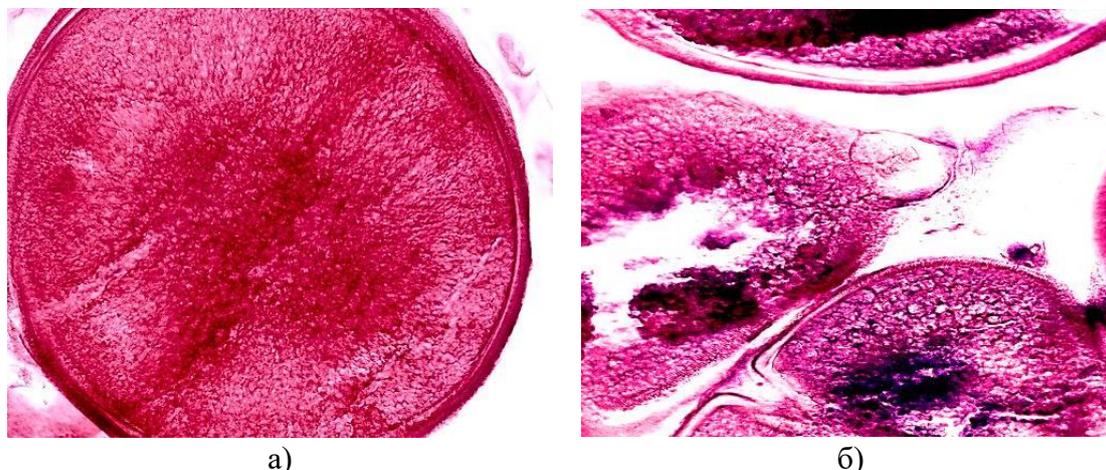


Рисунок. Фрагмент яичника в период нерестовой миграции в р. Волге: а) норма IV СЗГ; б) резорбция ооцитов IV СЗГ (б). Увеличение 10x10

Гистологические исследования гонад самок воблы показали, что индивидуальные показатели степени резорбции колебались в диапазоне 8-53 % ооцитов от числа просмотренных на стекле, массовая резорбция (свыше 50 % ооцитов на срезе) отмечена у 10 % рыб (табл. 1). Доля патологичных ооцитов в среднем составила 26 %. При просмотре гистологических препаратов у ооцитов были выявлены начальные этапы резорбции, которые характеризовались утолщением оболочек клеток, перемешиванием цитоплазмы, изменением состояния желтка (рис., б).

Таблица 1. Состояние гонад самок воблы

Средний процент ооцитов с нарушениями, %	Доля рыб с массовой резорбцией, %
26	10

Отмеченные резорбционные процессы в гонадах воблы находятся на уровне исследований последних лет: 2021-2022 гг. (Перунова, Козлова, 2023), что связано с ухудшениями условий среды обитания, в особенности гидрологического режима р. Волги. Самки воблы с массовой резорбцией гонад, останутся яловыми, что приведет к неудачному нересту, существенным образом снижая репродуктивный потенциал популяции.

Результаты физиолого-биохимических исследований самок воблы представлены в табл. 2.

Таблица 2. Физиолого-биохимические показатели самок воблы (M±σ)

Показатель	Мышцы	Гонады
Общие липиды, %	1,03±0,2	2,05±0,5
Водорастворимый белок, мг/г	70,31±9,1	148,02±29,6

В период нерестовой миграции 2024 г. не отмечено самок воблы с низким содержанием липидов (менее 0,4 %) в мышцах. Исследуемые физиолого-биохимические показатели мышечной ткани и гонад были на уровне среднемноголетних значений последнего десятилетия (Файзулина др., 2014; Никитин и др., 2019;).

Большой запас энергии в виде липидов и белков в мышцах и гонадах способствует успешному протеканию процесса миграции производителей к местам размножения и нереста, высокой эффективности нереста, появления жизнестойкого потомства. Согласно ранним исследованиям 1950-1980 гг. содержание липидов в мышечной ткани производителей воблы, мигрирующих в р. Волгу, составляло 2,5-5,0 % (Шихшабеков, 1985), содержание липидов в гонадах воблы в 1950-1960 гг. варьировало на уровне 3,0-3,5 % (Чепракова, 1962). Количественные характеристики водорастворимого белка сопоставимы с данными 1990-х гг.: в мышцах – 55 мг/г, в гонадах – 120-150 мг/г (Быков, 1999).

Таким образом, проведенные физиолого-биохимические исследования воблы в период нерестовой миграции в р. Волге в 2024 г. выявили ухудшение состояния воблы относительно прошлых лет.

#### Список литературы

1. Барабанов В.В., Левашина Н.В., Клюкина Е.А., Мягкий Н.А. Особенности любительского лова воблы *rutilus rutilus caspicus* (Yakovlev, 1870) в Астраханской области в 2021 г. // Ресурсы дичи и рыбы: использование и воспроизводство. 2023. С. 209-212.
2. Барабанов В.В., Власенко С.А., Разинков В.П., Лепилина И.Н., Левашина Н.В., Фомин С.С., Васильченко О.М., Никитин Э.В., Муханова Р.С., Ткач В.Н., Коноплева И.В., Войнова Т.В., Чакалтана Сепульведа Д.А., Шипулин С.В., Клюкина Е.А., Леонтьев С.Ю. Итоги рыболовства и исследований состояния запасов промысловых видов рыб в Южном рыбохозяйственном районе Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна в период 2000-2020 гг. // Труды ВНИРО. 2024. Т. 195, вып. 1. С. 45-60.
3. Быкова В.П. Справочник по химическому составу и технологическим свойствам рыб внутренних водоёмов. М.: «ВНИРО», 1999. 207 с.
4. Детлаф Т.А., Бродский В.Я., Гаузе Г.Г. Методы биологии развития. Экспериментально-эмбриологические, молекулярно-биологические и цитологические. М.: Наука, 1974. 619 с.
5. Кондрахин, И.П. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики. М.: Колос, 2004. Т. 531. 520 с.
6. Микодина, Е.В., Седова М.А., Чмилевский Д.А. Гистология для ихтиологов. Опыт и советы. М.: «ВНИРО», 2009. 112 с.
7. Никитин Ф.И., Маркина И.А., Макарова Е.Г., Козлова Н.В. Оценка физиологического состояния воблы в р. Волга в период нерестовой миграции // Понт Эвксинский. 2019. С. 84-85.
8. Перунова М.Е., Козлова Н.В. Морфофункциональное состояние гонад карповых рыб в реке Волге в период нерестовой миграции // Актуальные проблемы освоения водных биологических ресурсов Российской Федерации. 2023. С. 455-460.
9. Приказ Министерства сельского хозяйства от 18.03.2024 № 151 «Об установлении запрета рыболовства в отношении отдельных видов водных биологических ресурсов в Волжско-Каспийском рыбохозяйственном бассейне в 2024 г.» (Зарегистрировано в Минюсте России 26.03.2024 № 77643)
10. Судаков Г.А. Инструкции по сбору и первичной обработке материалов водных биоресурсов Каспийского бассейна и среды их обитания. Астрахань: «КаспНИРХ», 2011. 193 с.
11. Файзулина Д.Р., Пономарев С.В., Базелюк Н.Н. Особенности межгодовой динамики физиолого-биохимических показателей некоторых тканей каспийской воблы (*rutilus rutilus caspicus*) по данным 2009-2013 гг. // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2014. Т. 2. С. 92-100.
12. Чепракова Ю.И. Содержание жира в неоплодотворённой икре текущих самок нерестового стада воблы // Труды совещаний Ихтиологической комиссии Академии наук СССР. 1961. Т. 1, вып. 13. С. 3-5.
13. Шихшабеков М.М. Влияние изменённых условий на репродуктивные циклы рыб Южных широт // Особенности репродуктивных циклов у рыб в водоемах разных широт / Академия наук СССР, Ин-т эволюц. морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова. М.: Наука, 1985. С. 134-147.

## ИЗУЧЕНИЕ ЗАМЕНЫ ХОЛИН ХЛОРИДА НА БЕТАИНОВУЮ МЕЛАССУ ПРОИЗВОДСТВА РУСАГРО В КОРМАХ ДЛЯ ГОДОВИКОВ ОСЕТРОВЫХ РЫБ

Е.А. Максим<sup>\*</sup>, М.М. Луговой<sup>\*\*</sup>, Е.А. Яковлев<sup>\*\*</sup>, Д.А. Юрин<sup>\*\*\*</sup>, З.Г. Джалавян<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет  
имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, [eisk.osetr@mail.ru](mailto:eisk.osetr@mail.ru)

<sup>\*\*</sup>ООО «Группа Компаний Русагро», г. Москва, [tech@rusagroup.ru](mailto:tech@rusagroup.ru)

<sup>\*\*\*</sup>ФГБНУ «Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии»,  
г. Краснодар, [4806144@mail.ru](mailto:4806144@mail.ru)

Аннотация: цель проведенных исследований – установить эффективность замены кристаллического холин хлорида на бетаиновую мелассу в кормлении осетровых. В опыте на годовиках стерляди весом от 1,0 до 1,5 кг масса рыбы повысилась при скармливании кристаллического холин хлорида на 1,02 %, при даче бетаиновой мелассы – на 1,20 % по отношению к контрольной. Среднесуточный прирост при применении бетаиновой мелассы на 3,5 % выше по сравнению с кристаллическим холин хлоридом.

Ключевые слова: бетаин, осетровые рыбы, кормление, аквакультура, приросты, рыбоводство

Актуальность товарного выращивания осетровых видов рыб обусловлена сокращением их запасов в естественных водоемах. Разведение осетровых рыб в условиях рыбоводных хозяйств базируется в основном на использовании полноценных комбинированных кормов.

Чтобы улучшить состав кормосмеси в рацион вводят витамины, микроэлементы, синтетические аминокислоты и множество других кормовых добавок, среди которых значительный интерес представляет бетаин, полученный из мелассы при переработке сахарной свеклы.

Бетаин по химической структуре представляет собой триметилглицин, содержащий свободные метильные группы.

Присутствие этого вещества в тканях свойственно живым организмам, так как бетаин является промежуточным продуктом обмена холина, необходимым для образования метионина в клетках. Бетаин участвует в реакциях метилирования, а также способствует поддержанию водного баланса живой клетки.

Поступая в организм с кормом, бетаин улучшает регенерацию кишечного эпителия, структуру мышечной ткани, снижает энергетические затраты на осморегуляцию, повышает устойчивость организма к стрессам и заражению кокцидиями.

Биохимические свойства бетаина свидетельствуют о возможности его использования в качестве кормовой добавки в рационе рыбы наряду с холин-хлоридом.

В связи с этим, целью данного исследования явилось изучение возможности замены добавки холин-хлорида в рационах осетровых рыб путем введения в кормосмесь бетаиновой мелассы.

Основная цель исследований – установить эффективность замены кристаллического холин хлорида на бетаиновую мелассу в кормлении осетровых.

Опыт проходил на стерляди годовалого возраста, живой массой от 1 до 1,5 кг.

Опыт проводился по схеме, представленной в табл. 1. Первая контрольная группа получала рацион без применения бетаина и холин хлорида, во второй опытной группе применялся рацион, содержащий 60 % холин хлорид в количестве 800 г на 1 т корма, в третьей опытной группе применялся рацион, содержащий бетаиновую мелассу в

количестве 1056 г/т корма. Продолжительность проведения эксперимента составляла 60 суток.

Таблица 1. Схема опыта

Группа		Голов в группе	Характеристика кормления
1	1 контрольная	5	Комбикорм
2	2-опытная	5	Комбикорм + 0,08 % кристаллического холин хлорида в составе 1 кг комбикорма
3	3-опытная	5	Комбикорм + 0,1056 % (0,08 %*1,32) бетаиновой мелассы в составе 1 кг комбикорма

По завершении периода скармливания проведен балансовый опыт по изучению переваримости питательных веществ комбикорма по общепринятой методике (Щербина, 2006).

Весь полученный цифровой материал статистически обработан методом вариационной статистики по Стьюденту с использованием программы Microsoft Excel в пределах следующих уровней значимости: \* –  $P < 0,05$ .

Зоотехнические показатели: Измерение основных рыбоводных показателей: навеска, кормовой коэффициент, коэффициент упитанности, переваримость и усвояемость. Промеры и взвешивание проводили еженедельно. Кормовой коэффициент, коэффициент упитанности рассчитывается по общепринятым методикам.

Кормовые показатели: Экспертиза кормов в трех группах – для определения правильности подобранного рациона.

Таблица 2. Основные рыбоводно-биологические показатели выращивания молоди стерляди (период опыта – 90 дней)

Показатели	Группа		
	1 контрольная	2-опытная	3-опытная
Средняя масса рыб, г: начальная	1250,00	1251,00	1250,00
Средняя масса рыб, г: конечная	1430,00	1450,00	1454,60
В % к контролю	100,00	101,02	101,20
Длина тела спустя 90 дней выращивания, см	44,62	44,73	44,69
В % к контролю	100,00	100,25	100,16
Валовой прирост 1 рыбы за 90 дней, г	180,00	199,00	204,60
Среднесуточный прирост, г	2,00	2,21	2,27
В % к контролю	100,00	110,50	113,50
Выживаемость рыбы, %	100,00	100,00	100,00
Коэффициент упитанности	1,61	1,62	1,63

Начальная масса рыб при посадке их в опытные емкости была одинаковой, однако в конце периода выращивания наблюдались значительные различия.

В опыте на годовиках стерляди весом от 1,0 до 1,5 кг масса рыбы повысилась в 2-опытной группе на 1,02 %, во 3-опытной – 1,20 % по отношению к контрольной.

Среднесуточный прирост при применении бетаиновой мелассы на 3,5 % выше по сравнению с кристаллическим холин хлоридом.

Увеличивается коэффициент упитанности на 0,01 показатель при сравнении бетаиновой мелассы с холин хлоридом – без применения (в контрольной группе – выше на 0,02 единицы).

Длина тела у рыб во 2-опытной группе увеличилась на 0,25 % по отношению к контрольной, в 3-опытной группе – 0,16 %, по отношению к контрольной.

Выживаемость рыбы во всех группах составила 100 %.

Физиологическое состояние рыбы стабильно лучше при применении бетаиновой мелассы.

В опыте на годовиках стерляди весом от 1,0 до 1,5 кг снижение затрат кормов на 1 кг прироста, при применении холин хлорида по сравнению с контролем, произошло на 0,1 (8,33 %) показатель, при применении жидкого бетаина на 0,12 (10,00 %), что характеризует улучшение усвояемости корма при применении этой добавки (табл. 3).

Таблица 3. Потребление и затраты кормов стерлядью

Показатели	Группа		
	1 контрольная	2-опытная	3-опытная
Потреблено корма на 1 голову, г	1440,00	1440,00	1440,00
Затраты кормов, кг/кг прироста	1,20	1,10	1,08
В % к контролю	100,00	91,67	90,00

Длина тела у рыб во 2-й опытной группе увеличилась на 0,25 % по отношению к контрольной, в 3-й опытной группе – 0,16 %, по отношению к контрольной.

Выживаемость рыбы во всех группах составила 100 %.

Физиологическое состояние рыбы стабильно лучше при применении бетаиновой мелассы.

Наибольший экономический эффект был получен в 3-опытной группе – 37 877,35 руб., что больше на 32,50 % по сравнению с 2-опытной группой.

#### Список литературы

1. Головин П.П., Головина Н.А., Романова Н.Н. Кадастр лечебных перпаратов, используемых и апробированных в аквакультуре России и зарубе-жом. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. 56 с.
2. Юрина Н.А., Максим Е.А., Мачнева Н.Л. Оптимизация кормовых рационов молоди осетра при использовании спороносодержащих пробиотиков // Аграрная Россия. 2017. № 3. С. 30-33.
3. Казарникова А.В., Шестаковская Е.В. Основные заболевания осетровых рыб в аквакультуре. М.: ВНИРО, 2005. 104 с.
4. Пономарев С.В., Лагуткина Л.Ю., Киреева И.Ю. Фермерская аквакультура: Рекомендации. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. 192 с.
5. Пономарев С.В., Болонина Н.В., Чалов В.В. Рост осетровых рыб при использовании технологии интенсивного выращивания // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2010. № 1. С. 77-85.
6. Пономарев С.В., Гамыгин Е.А., Никаноров С.И. Технологии выращивания и кормления объектов аквакультуры юга России. Астрахань: Нова плюс, 2002. 264 с.
7. Складов В.Я. Состояние товарного рыбоводства в Южном федеральном округе // Труды Кубанского ГАУ. 2012. Вып. 4. С. 86-89.
8. Ушакова Н., Кузнецова З., Пономарев С. Льяной жмых для карповых и осетровых рыб // Комбикорма. 2009. № 8. С. 58-59.
9. Чебанов М.С., Галич Е.В., Чмырь Ю.Н. Руководство по разведению и выращиванию осетровых рыб. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. 136 с.
10. Чиков А.Е., Юрина Н.А., Кононенко С.И., Осепчук Д.В. Способ кормления прудовой рыбы. Краснодар, 2013. 36 с.
11. Щербина М. А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. М.: Изд-во ВНИРО, 2006. 360 с.

## АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПИГМЕНТЫ ФИТОПЛАНКТОНА В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

О.Б. Максимова

*Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, [olgamaximova@mail.ru](mailto:olgamaximova@mail.ru)*

*Аннотация: функциональные характеристики фитопланктона, первыми реагируют на негативное воздействие гидростроительства на водную биоту и могут быть более информативны, чем количественные показатели фитопланктона. При высокой антропогенной нагрузке в фитопланктоне наблюдается увеличение доли вспомогательных пигментов, снижение концентрации хлорофилла «а» и увеличение значений пигментного индекса. При этом, если при незначительном воздействии гидростроительства на фитопланктон, меняются лишь его отдельные функциональные характеристики, то при высокой антропогенной нагрузке описываемые выше изменения затрагивают все параметры.*

Ключевые слова: Финский залив, фитопланктон, фотосинтетические пигменты, мутность, гидростроительство

Финский залив относится к наиболее эвтрофированным районам Балтийского моря из-за сильной антропогенной нагрузки с берега и природных особенностей, обуславливающих высокие концентрации биогенных элементов в воде и как следствие интенсивное развитие водорослей. Одним из ключевых индикаторов эвтрофирования вод является концентрация хлорофилла «а» в воде, определение которой является общепризнанным методом оценки обилия фитопланктона (Eutrophication 2013), а концентрация вспомогательных пигментов (хлорофилл «в», «с» и каротиноиды) помогают оценить степень антропогенной нагрузки на фитопланктон.

Исследование фотосинтетических пигментов фитопланктона проводилось в 2001-2023 гг. на акватории Финского залива на 15 станциях в летний и ранний осенний период.

Концентрация хлорофилла «а», «в», «с» и каротиноидов в восточной части Финского залива в 2001-2023 гг. представлена на рис.

Концентрация вспомогательных пигментов зависит в значительной степени от видового состава фитопланктона и его функционального состояния на момент исследования, однако в среднем по годам их процентное соотношение по отдельным районам исследований мало отличалось. Процентное содержание фотосинтетических пигментов, в среднем по районам, в планктоне составляло: хлорофилла «а» – 39 %, хлорофилла «в» - 10 %, хлорофилла «с» – 14 % и каротиноидов – 41 %. Отношение концентрации каротиноидов к хлорофиллу «а» или пигментный индекс (k/a) в среднем по районам колебался незначительно и составил 1.

Указанные выше параметры фитопланктона можно рассматривать как фоновые.

В последние десятилетия на акватории восточной части Финского залива, в основном в его прибрежье, ведутся различные гидротехнические работы, которые сопровождаются мониторингом основных компонентов биоты (бактерии-, фито-, зоопланктон, бентос и др.), включая функциональные характеристики фитопланктона, такие как содержание основного фотосинтетического пигмента водорослей – хлорофилла «а» и вспомогательных пигментов: хлорофиллов «в», «с» и каротиноидов. Относительное содержание вспомогательных фотосинтетических пигментов часто используется для оценки продукционных возможностей фитопланктона или его

физиологического состояния. Увеличение доли вспомогательных пигментов в фитопланктоне и концентрации каротиноидов (значения пигментного индекса  $k/a > 1$ ) свидетельствует о структурно-функциональных перестройках в фитопланктоне и снижение его функциональной активности, под неблагоприятным воздействием на него факторов внешней среды, как естественных, так и антропогенных (Лаврентьева и др., 2006; Максимова, 2006).

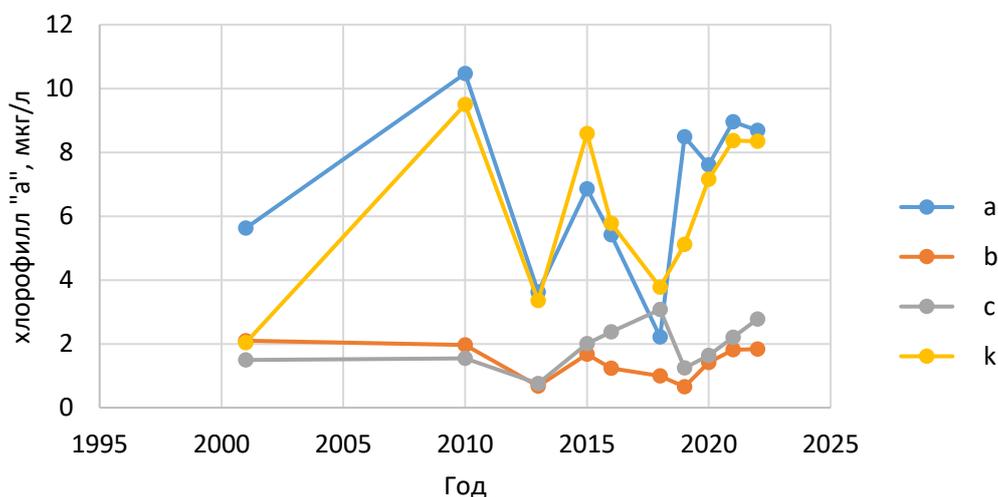


Рисунок. Концентрация хлорофилла «а», «в», «с» и каротиноидов в восточной части Финского залива в 2001-2023 гг.

Видовое разнообразие фитопланктона очень высоко и определяется множеством различных факторов, которые трудно вычленишь. Однако, было установлено, что при достаточно высокой дополнительной мутности воды, вызванной гидротехническими работами возможно исчезновение нитчатых синезеленых водорослей, которые механически осаждаются крупными частицами взвеси, что ведет к снижению концентрации хлорофилла «а». Во время дноуглубления иногда отмечается доминирование крупных бентосных видов диатомовых, поднятых со дна водоема и увеличение доли хлорофилла «с» в планктоне. В местах дампинга грунта, где, как правило, отмечается повышенная концентрация биогенных элементов наблюдается развитие в большом количестве мелкоклеточных зеленых водорослей, имеющих высокую скорость фотосинтеза, что приводит к увеличению доли хлорофилла «в» в планктоне (Максимова, 2006). Следует отметить, что структурные перестройки фитопланктона могут идти по-разному при одинаковых видах гидротехнических работ. Это часто зависит от сезона и места проведения работ. По результатам исследований, фитопланктон на воздействие строительства сначала реагирует изменением своих функциональных характеристик сохраняя свою биомассу.

Эти изменения определяются стандартным спектрофотометрическим методом, рекомендованным ЮНЕСКО (Report of SCOR-UNESCO..., 1964) в ацетоновом экстракте и из-за простоты и быстроты определения могут быть использованы в качестве экспресс метода оценки воздействия гидротехнических работ. В первую очередь, по количеству основного фотосинтетического пигмента водорослей, хлорофилла «а», можно отслеживать межгодовую и пространственную динамику изменения функционального состояния фитопланктона под воздействием гидростроительства. Следует отметить, что подобные изменения не всегда отражаются на биомассе фитопланктона. В таком случае,

давно известная положительная корреляция между биомассой и хлорофиллом «а» (Пырина, 2000, Минеева, 2004) нарушается, так как фитопланктон сохраняет свою биомассу за счет структурных изменений, путем преимущественного развития водорослей с большей долей вспомогательных пигментов, включая каротиноиды, так как они имеют другой спектр поглощения света. Иллюстрацией такой реакции, могут являться данные, полученные в ходе исследования фотосинтетических пигментов фитопланктона при добычи песка в Финском заливе на месторождениях Стирсудден-Кюренниemi, Стирсудденские банки и о. Сескар (Максимова, 2016). В период отсутствия работ в 2015 г. распределение хлорофилла «а» соответствовало распределению фитопланктона. Добыча песка в 2013 г. привела к снижению концентрации хлорофилла «а» по сравнению с контрольным участком, при этом изменение биомассы фитопланктона имело другую направленность.

Для рассмотрения влияния гидротехнических работ на пигментные характеристики фитопланктона, в работе использованы результаты съемок в 2010 и 2011 гг., выполнявшихся в конце июня – начале июля, а также в осенний период в прибрежной зоне восточной части Финского залива в местах проведения гидростроительных работ: в районах портов Усть-Луга и Бронка, а также в районах добычи песка на месторождениях: Стирсудден-Кюренниemi, Стирсудденские банки и о. Сескар. Всего рассмотрено 92 станции, из них 72 выполнено в летний период (температура воды превышала 10 °С) и 20 станций – в осенний (при температуре воды менее 10 °С).

В летний период нами была выявлена положительная корреляция ( $p < 0,05$ ,  $n = 72$ ) температуры воды с содержанием хлорофиллов «а» ( $r = 0,64$ ), «b»  $r = 0,49$ , «с»  $r = 0,64$  и каротиноидов  $r = 0,59$ . Также отмечалась отрицательная корреляция концентрации указанных пигментов с прозрачностью воды (соответственно,  $r = -0,39$ ,  $r = -0,51$ ,  $r = -0,44$ ,  $r = -0,49$ ,  $p < 0,05$ ,  $n = 72$ ). Следует отметить достаточно тесную обратную корреляционную связь между температурой воды и ее соленостью ( $r = -0,65$ ,  $p < 0,05$ ,  $n = 72$ ).

В осенний период, при температуре воды меньше 10 °С, была отмечена обратная связь между концентрацией хлорофилла «а» и температурой воды ( $r = -0,75$   $p < 0,05$ ,  $n = 20$ ). Вспомогательные пигменты включая каротиноиды также имели отрицательную связь с температурой воды, но она была статистически не достоверна. В отличие от летнего периода, температура воды положительно коррелировала с соленостью воды ( $r = 0,79$   $p < 0,05$ ,  $n = 20$ ). Так же, как и в летний период наблюдалась достаточно тесная отрицательная связь между концентрацией хлорофилла «а» с глубиной и прозрачностью воды (соответственно,  $r = -0,64$  и  $r = -0,82$ ,  $p < 0,05$ ,  $n = 20$ ).

В осенне-летний период на всей акватории подвергающейся воздействию гидростроительных работ отмечена зависимость концентрации хлорофилла «а» от мутности воды, которая составляла  $r = -0,42$  при  $p < 0,05$ ,  $n = 25$  при мутности более 10 ЕМФ.

Таким образом, в летний период в отличие от осеннего, концентрация всех фотосинтетических пигментов увеличивалась вместе с повышением температуры воды, в то время как в осенний период данный процесс носил противоположную направленность. Это можно объяснить тем, что в летний период в фитопланктоне преобладают теплолюбивые виды, такие как синезеленые и хлорококковые, имеющие высокий процент содержания хлорофилла «а». В осенний период при температуре воды меньше 10 °С, когда зависимость концентрации хлорофилла «а» от температуры воды отрицательная, фитопланктон представлен преимущественно холодолюбивыми видами, такими как криптомонады, диатомовые и динофлагелляты. Отрицательная связь холодолюбивых видов, таких как динофлагелляты, с температурой воды отмечалась и другими исследователями (Ляшенко, 2020).

Отмеченная отрицательная корреляция между прозрачностью и концентрацией хлорофилла «а» типична для многих водоемов (Бульон, 1983). Характерное понижение температуры воды вместе с ростом солености в летний период объясняется подтоком холодных морских вод из центральной части Финского залива. В осенний период прибрежные воды быстро остывают, и подток соленых вод имеет более высокую температуру, корреляционная связь между обсуждаемыми характеристиками имеет положительную направленность.

При антропогенной нагрузке мутность воды является основным критерием негативного воздействия на водоем в местах гидростроительства.

Результаты данного исследования полностью подтверждают сделанные ранее выводы (Максимова, 2002). В зоне угнетения фитопланктона (мутностью более 5-10 ЕМФ) концентрация хлорофилла «а» уменьшается с увеличением мутности воды.

В более прозрачных водах гидрооптические свойства воды не лимитируют развитие фитопланктона, которое контролируется другими факторами (температурой, соленостью, глубиной). При этом, в этой зоне фитопланктон сам представляет собой основной компонент содержащейся в воде взвеси, определяющей прозрачность воды. Благодаря этому концентрация фотосинтетических пигментов отрицательно коррелирует с прозрачностью воды, то есть наблюдается ситуация типичная для большинства природных водоемов в естественных условиях (Бульон, 1983) при отсутствии антропогенного влияния гидротехнических работ.

Следовательно, функциональные характеристики фитопланктона, первыми реагируют на негативное воздействие гидростроительства на водную биоту и могут быть более информативны, чем количественные показатели фитопланктона. При увеличении антропогенной нагрузки в фитопланктоне наблюдается увеличение доли вспомогательных пигментов, снижение концентрации хлорофилла «а» и увеличение значений пигментного индекса. При незначительном воздействии гидростроительства на фитопланктон, меняются лишь его отдельные функциональные характеристики, то при высокой антропогенной нагрузке описываемые выше изменения затрагивают все параметры.

#### Список литературы

1. Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л., 1983. 150 с.
2. Лаврентьева Г.М., Суслопарова О.Н., Аршаница Н.М., Богданов Д.В., Волхонская Н.И., Макарова С.В., Максимова О.Б., Мицкевич О.И., Лебедева О.В., Огородникова В.А., Терешенкова Т.В., Яковлев А.С. Характеристика современного состояния водной биоты побережья комплекса защитных сооружений (КЗС) Санкт-Петербурга от наводнений (по материалам рыбохозяйственного мониторинга 2003-2004 гг.) // Экологические аспекты воздействия гидростроительства на биоту акватории восточной части Финского залива. Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. Вып. 331. Т. 2. 2006. С. 195-262.
3. Ляшенко О.А., Педченко А.П., Суслопарова О.Н. Мониторинг состояния фитопланктона Лужской губы Финского залива в условиях природного и антропогенного воздействий // Труды ВНИРО. 2020. Т. 179. С. 149-163.
4. Максимова О.Б. Влияние повышенной мутности воды, вызванной гидростроительными работами, на фитопланктон Финского залива // Сб. научн. тр. ГосНИОРХ. 2006. Вып. 331. С. 86.
5. Максимова О.Б. Оценка влияния повышенной мутности воды, возникающей при проведении гидротехнических работ, на структурно-функциональные характеристики фитопланктона: Дисс. ... канд. биол. наук : 03.00.18 : защищена 14.05.2002. СПб., 2002. 182 с.
6. Минеева Н.М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. М.: Наука, 2004. 156 с.
7. Пырина И.Л. Многолетние исследования содержания пигментов фитопланктона рыббинского водохранилища // Биолог. внутр. вод. 2000. № 1. С. 37-44.
8. Eutrophication in the Baltic Sea – Approaches and methods for eutrophication target setting in the Baltic Sea region // Baltic Sea Environ. Proc. 2013. № 133. 134 p.
9. Report of SCOR- UNESCO working group 17 on determination of photosynthetic pigments, June 4-6, 1964. UNESCO, Paris, 1964. 12 p.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОМЫСЛОВОГО СТАДА КЕТЫ *ONCORHYNCHUS KETA* В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ О. САХАЛИН

А.С. Мартынова\*, О.В. Зеленников\*,\*\*

\* ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ),  
г. Санкт-Петербург,

\*\* Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»),  
г. Санкт-Петербург, [oleg\\_zelennikov@rambler.ru](mailto:oleg_zelennikov@rambler.ru)

Аннотация: исследовали кету в стадах 6 рыболовных заводов юго-западной части о. Сахалин. На заводах, которые начали работать после 2017 г, в возврате первых поколений значительно преобладают особи в возрасте 3+. Отмечен масштабный стрейнг кеты между стадами разных заводов. Так, в стаде Ловецкого ЛРЗ, на котором молодь еще не маркировали доля рыб с меткой расположенных севернее трех Федеральных заводов – 29,0 % была незначительно меньше, чем в стаде соседнего Ясноморского ЛРЗ (41,0 %), на котором молодь метят тотально.

Ключевые слова: кета, промысловое стадо, юго-западный Сахалин

Кета юго-западного побережья о. Сахалин, в отличие от кеты из других районов области (Каев, 2003; Каев, Хоревин, 2003; Лапшина, 2017 и другие), является наименее изученной, чему способствуют сразу несколько обстоятельств. Во-первых, реки в этом районе являются сравнительно короткими водотоками горного типа. В абсолютном большинстве этих рек кета нерестится, но нигде не достигает высокой численности. Во-вторых, заводское воспроизводство кеты здесь также было сравнительно небольшим. На современном этапе развития России, до 2009 г. здесь выращивали молодь на 4 лососевых рыболовных заводах (ЛРЗ). В результате по кете стад юго-западного региона есть сравнительно немногочисленные данные, (Хоревин, 1986), или сведения частного плана, например, по состоянию гонад или изменению плодовитости (Хоревин, 1990; Коломыцев и др., 2018). Вместе с тем, в настоящее время исследование стад кеты юго-западного региона становится крайне актуальным в связи с многократным увеличением рыболовного усилия. Его масштаб рассмотрим далее. Отметим лишь, что на сегодняшний день в регионе работает 19 рыболовных заводов. Таким образом, именно сейчас формируются стада кеты и устанавливаются их промыслово-биологические характеристики.

Цель работы – получить и проанализировать первые данные по размерно-возрастной структуре стада кеты трех новых рыболовных заводов и рассмотреть масштаб отклонения маркированных производителей кеты в соседние водотоки.

Материал собирали у забоечных пунктов трех самых южных заводов юго-западного побережья, на которые уже вернулись производители от собственной рыболовной продукции – ЛРЗ Ловецкий, Обутонай и Вольный, а также трех Федеральных заводов – ЛРЗ Ясноморский, Сокольниковский и Калининский. Фактически, проводили исследование стад всех самых крупных рыболовных предприятий юго-западного побережья, на которые уже возвращаются половозрелые рыбы от выпущенной молоди. Материал собирали в ходе проведения биологических анализов. Затем уже в лаборатории определяли возраст производителей по чешуе. При работе с отолитами, сначала их очищали, затем при помощи термопластического цемента (ThermoPlastic Cement 40-8100, производства США) наклеивали на предметные стекла (один отолит на отдельное стекло). Далее при помощи специального станка

шлифовали до эмбриональной зоны и на заключительном этапе просматривали под микроскопом в поисках заводской метки.

Как было отмечено ранее, до 2009 г. молодь кеты в юго-западной части о. Сахалин (как и на западном побережье в целом) выращивали на 4 рыбоводных заводах в количестве 70-80 млн. шт. (табл. 1). В период с 2009 г. по 2017 г. молодь последовательно начали выпускать еще с 4 заводов – Красноярка, ЛРЗ на р. Сова, Павино и Ловецкий. Следует отметить, что продуктивность заводов весьма существенно различалась, однако расширялась география выпуска молоди. После 2017 г. новые рыбоводные заводы вводились в эксплуатацию ежегодно. В табл. 1. приведены данные до 2020 г. Во-первых, поколения молоди, выпущенные в более поздние годы, еще не вернулись на нерест или вернулись частично. Во-вторых, после 2020 г. начали работу еще 8 рыбоводных заводов. Первые поколения молоди с новых предприятий еще также не вернулись на нерест. Расположение всех заводов указано на схеме (рис. 1).

Согласно известным данным в стадах кеты преобладают особи старших возрастных групп – 4+, 5+ и даже 6+. Например, в стаде крупнейшего предприятия региона – Калининского ЛРЗ в период с 2003 по 2015 гг., то есть после реконструкции предприятия в современном виде и до начала работы многочисленных частных заводов, доля рыб старших возрастных групп в среднем составила 70,2 % и только в 2015 г., она была ниже 50 % (Ворожцова и др., 2024).

Таблица 1. Численность молоди кеты (млн шт.) выпущенной с рыбоводных заводов юго-западной части о. Сахалин. 1 – Калининский; 2 – Сокольниковский; 3 – Ясноморский; 4 – Урожайный; 5 – Красноярка; 6 – ЛРЗ на р. Сова; 7 – Павино; 8 – Ловецкий; 9 – Вольный; 10 – Люблино; 11 – Обутонай

Год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Сумма
2001	38,9	18,9	17,5	8,3								83,6
2002	35,2	17,5	17,5	1,6								71,8
2003	34,6	17,7	17,5	3,8								73,6
2004	35,9	16,5	17,5	2,5								72,4
2005	36,4	16,3	17,5	3,8								74,0
2006	36,7	16,3	17,3	3,6								73,9
2007	36,8	16,1	17,6	6,6								77,5
2008	36,3	16,3	17,4	9,4								79,4
2009	35,6	16,1	17,3	5,3	6,9							81,2
2010	35,5	15,6	17,4	5,9	6,7							81,1
2011	34,7	15,5	17,3	6,2	6,5	6,9						87,1
2012	35,3	15,7	17,5	6,0	9,5	13,5						97,5
2013	35,7	15,9	9,0	9,2	1,5	15,2						86,5
2014	35,4	15,7	9,0	9,6	5,7	7,4						82,8
2015	36,1	15,6	9,8	9,1	5,6	10,2	0,9					87,3
2016	38,0	16,8	10,6	13,5	4,7	13,3	2,2					99,1
2017	28,7	12,9	8,1	7,4	3,6	13,9	3,8	22,5				100,9
2018	33,8	15,3	7,9	9,4	3,5	1,5	1,3	19,7	3,6			96,0
2019	36,1	13,7	8,9	7,9	2,1	14,9	3,6	22,4	4,8	8,1		122,9
2020	28,1	12,9	7,5	8,6	2,5	10,5	0,1	18,6	6,4	5,3	11,4	111,9

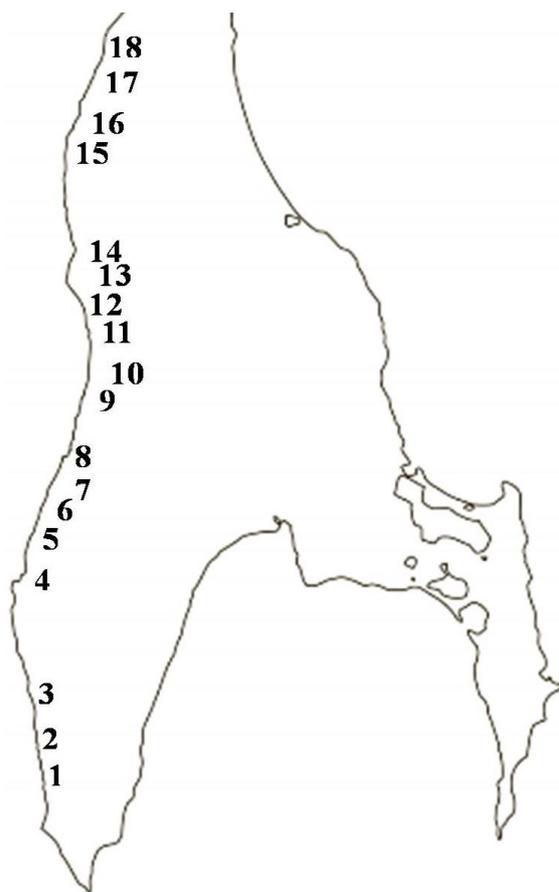


Рисунок 1. Схема расположения рыбоводных заводов (а) в юго-западной части Сахалина: 1. Вольный 2. Оненуси 3. Обутонай 4. Ловецкий 5. Ясноморский 6. Сокольниковский (на реке Заветинка) 7. Калининский 8. ЛРЗ на реке Сова 9. Люблино (на реке Зырянская) 10. р. Малка 11. ЛРЗ на р Пионерка 12. Павино (на ручье Любчинский) 13. р. Душ 14. Красноярка 15. Чеховский 16. ЛРЗ на р. Новоселка 17. Урожайный (на реке Черная Речка) 18. Очаковка. Если река не указана, то ее название совпадает с названием завода. На схеме не указан ЛРЗ Красный (на реке Айнская).

Анализ возрастной структуры стада кеты, создаваемого на Ловецком ЛРЗ, расположенного непосредственно рядом с тремя федеральными предприятиями (рис. 1) в 2021, 2022 и 2023 гг. показал, что возраст производителей принципиально различался в начале и конце нерестового хода, что, впрочем, хорошо известно для кеты, как биологического вида (Salo, 1991). Можно видеть (табл. 2), что в начале хода среди производителей значительно преобладали рыбы старших возрастных групп. К середине хода их доля уменьшалась, а к концу хода уже массово преобладали рыбы в возрасте 3+. Более неожиданным оказалось то, что в среднем, в течение трех лет незначительно, но было больше производителей именно младшего возраста – 3+ (табл. 2).

Таблица 2. Доля (%) производителей кеты разных возрастных групп в стаде Ловецкого ЛРЗ (Невельский район; юго-западное побережье о. Сахалин)

Дата анализа	Число рыб	Доля производителей в возрасте,				
		2+	3+	4+	5+	4+, 5+
02.09.2021	100	—	28,0	71,0	1,0	72,0
11.09.2021	100	—	39,0	59,0	2,0	61,0
21.09.2021	100	1,0	75,0	24,0	—	24,0
25.09.2021	100	2,0	84,0	14,0	—	14,0
<b>среднее</b>		<b>0,7</b>	<b>56,6</b>	<b>42,0</b>	<b>0,7</b>	<b>42,7</b>
03.09.2022	50	—	20,0	78,0	2,0	80,0
09.09.2022	100	—	39,0	58,0	3,0	61,0
17.09.2022	100	2,0	54,0	41,0	3,0	44,0
29.09.2022	50	4,0	84,0	12,0	—	12,0
<b>среднее</b>		<b>1,5</b>	<b>56,6</b>	<b>42,0</b>	<b>0,7</b>	<b>49,2</b>
04.09.2023	100	—	37,0	55,0	8,0	63,0
12.09.2023	100	—	57,0	38,0	5,0	43,0
19.09.2023	100	1,0	65,0	34,0	—	34,0

Дата анализа	Число рыб	Доля производителей в возрасте,				
		2+	3+	4+	5+	4+, 5+
среднее		0,3	53,0	42,4	4,3	46,7

В анализах с ЛРЗ Обутонай и Вольный доля рыб в возрасте 3+ оказалась еще выше – в среднем 71,2 % и 72,0 % соответственно. В дальнейшем предстоит выяснить, насколько закономерным будет преобладание производителей младших возрастных групп в формирующихся стадах кеты на новых рыбоводных заводах.

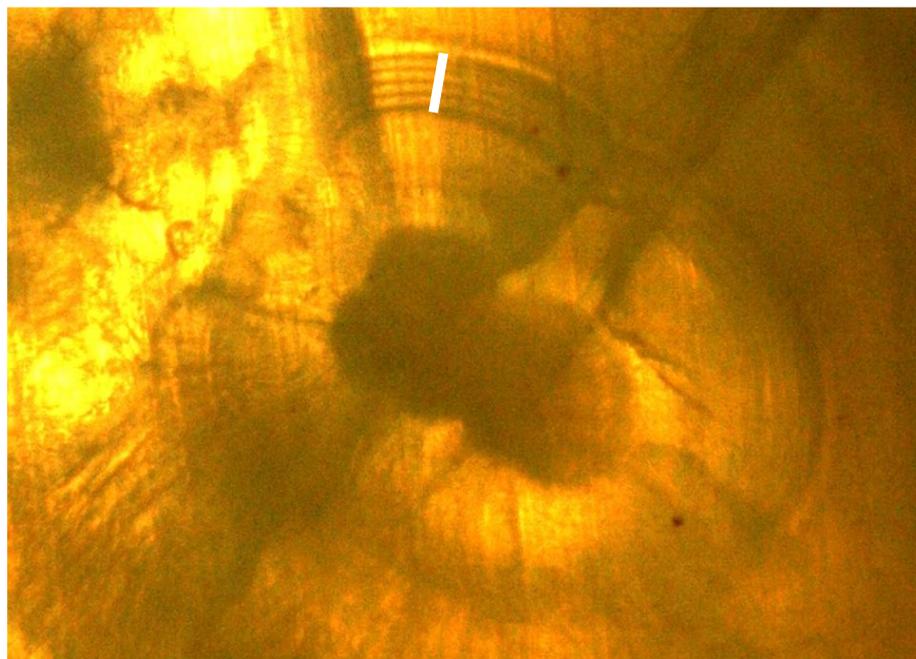


Рисунок 2. Пример метки (обозначенной штрихом) на отолите кеты, сформированной сухим способом на Сокольниковском ЛРЗ

В ходе исследований производителей кеты в стадах федеральных заводов, установлено, что на каждом из них была значительной доля рыб, имеющих отолитную метку (рис. 2). В 2023 г. в стаде Ясноморского ЛРЗ доля маркированных рыб составила 41,0 %. Согласно ранее полученным данным (Зеленников и др., 2023) на численность стада именно этого предприятия оказывает наибольшее влияние естественный нерест. В стаде Калининского ЛРЗ доля маркированных рыб была несколько выше – 48,6 %, а в стаде Сокольниковского ЛРЗ она была максимальной – 73,0 %. Как ожидалось с учетом ранее полученных сведений (Ворожцова и др., 2024), производители кеты, маркированные в раннем возрасте на Калининском, Сокольниковском и Ясноморском ЛРЗ заходили в водотоки не только своих заводов. Первые исследования производителей кеты в реке Ловецкая выявили среди них рыб с отолитными метками заводов расположенных севернее (рис. 2Б). При этом доля маркированных рыб оказалась весьма значительной – 29,0 %. Очевидно, что относительное число рыб с отолитной меткой в стаде Ловецкого ЛРЗ, на котором молодь до сих пор не метили, было не принципиально меньше, чем в стаде Ясноморского ЛРЗ, на котором молодь метили тотально.

Вопреки ранее полученным данным и устоявшемуся мнению, на рыбоводных заводах, вступивших в эксплуатацию после 2017 г. – Ловецкий, Обутонай, Вольный, на которые уже вернулась на нерест рыбы первых выпущенных поколений, в стадах производителей выражено преобладают особи в возрасте 3+. Отмечен также значительный стрейнг кеты, ее перераспределение между соседними водотоками. В целом присутствие в стаде Ловецкого ЛРЗ маркированных рыб ожидалось, и может объясняться

наличием в соседних горных распадках трех Федеральных рыбоводных заводов, на которых осуществляют тотальное отолитное маркирование молоди. Однако доля рыб с заводской меткой – 29,0 % в стаде Ловецкого ЛРЗ, оказалась неожиданно высокой и требует понимания закономерности такой величины.

#### Список литературы

1. Ворожцова А.А., Мякишев М.С., Зеленников О.В. Особенности формирования стад кеты *Oncorhynchus keta* Salmonidae на заводах юго-западного Сахалина, выявленные при использовании методики отолитного маркирования // Вопросы ихтиологии. 2024. Т. 64. № 5. (в печати).
2. Зеленников О.В., Мякишев М.С., Ворожцова А.А., Мартынова А.А., Седунов П.А. Сравнительный анализ производителей кеты *Oncorhynchus keta* (Salmonidae) природного и заводского происхождения, выявленных в общем стаде по результатам отолитного маркирования // Вопросы ихтиологии. 2023. Т. 63. № 4. С. 418-425.
3. Каев А.М. Особенности воспроизводства кеты в связи с ее размерно-возрастной структурой. Южно-Сахалинск: Изд-во СахНИРО, 2003. 288 с.
4. Каев А.М., Хоревин Л.Д. Динамика стада дикой и заводской кеты *Oncorhynchus keta* в р. Тымь, остров Сахалин // Труды СахНИРО. 2003. № 5. С. 47-55.
5. Коломышев В.С., Лапшина А.Е., Зеленников О.В. Состояние яичников у молоди кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum, 1792) осенней и летней рас при ее выращивании на рыбоводных заводах Сахалинской области // Биология моря. 2018. Т. 44, № 1. С. 36-40.
6. Лапшина А.Е. Летняя раса кеты (*Oncorhynchus keta*) острова Сахалин: биологические особенности и возможности заводского разведения : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: ВНИРО, 2017. 23 с.
7. Хоревин Л.Д. Искусственное разведение тихоокеанских лососей в Сахалинской области // Биология моря. 1986. Т. 13, № 2. С. 17-27.
8. Хоревин Л.Д. Изменение плодовитости кеты Юго-Западного Сахалина в результате ее искусственного разведения // Биология моря. 1990. Т. 17, № 1. С. 60-66.
9. Salo E.O. Life history of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) // C. Groot and L. Margolis (eds.) / Pacific salmon life histories. UBC Press, Vancouver, British Columbia, 1991. P. 233-309.

## СТАНОВЛЕНИЕ ПРЭСНОВОДНОЙ ИХТИОФАУНЫ МАТЕРИКОВОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ОХОТСКОГО МОРЯ

С.Л. Марченко

ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва, [slm@vniro.ru](mailto:slm@vniro.ru)

*Аннотация: в зырянско-сартанский криохрон пресноводная ихтиофауна в водных объектах материкового побережья Охотского моря практически полностью деградировала. Только отдельные ее представители сохранились в рефугиумах, располагавшихся в бассейнах крупных рек. Современная пресноводная ихтиофауна региона представлена, главным образом, видами, проникшими в реки региона в послеледниковый период из речных бассейнов Чукотки и Восточной Сибири, а также из р. Амур.*

Ключевые слова: пресноводная ихтиофауна, материковое побережье Охотского моря, зырянско-сартанский криохрон, голоценовый термохрон

Ихтиофауна материкового побережья Охотского моря, простирающегося от р. Пенжина до м. Меншикова (зал. Сахалинский), представлена 63 видами рыбообразных и рыб, из которых 40 видов – пресноводные. Это, главным образом, представители отрядов Лососеобразные (15 видов) и Карпообразные (14 видов). Кроме того, шесть видов принадлежат отряду Окунеобразные, два – Щукообразные и по одному – Миногообразные, Трескообразные и Бычкообразные (Марченко и др., 2022).

В регионе пресноводная ихтиофауна распределена мозаично, что связывают (Коновалов, 1967; Черешнев, 1998), например, с высоким стоянием вод Мирового океана. В периоды трансгрессии, морские воды, заполняли речные долины, вытесняя пресноводную ихтиофауну в предгорные и горные участки рек. Виды, которые не могли приспособиться к новым условиям обитания, вымирали. Вероятность такого сценария подтверждают следы мощного подъема уровня Мирового океана, состоявшегося, по-видимому, в первой трети верхнего (позднего) плейстоцена (Свиточ, 2004). Например, в Северном Приохотье (Ланжинские горы) они представлены приморскими террасами, которые достигают в высоту 82-112 м и простираются вглубь суши по долинам рек на 30–40 км (Ананьева, Смирнова, 1989).

В качестве дополнительной причины мозаичного распределения пресноводной ихтиофауны в регионе упоминают (Черешнев, 1998; Волобуев, Марченко, 2011) геологические процессы, проходившие в недавнем историческом прошлом и оказавшие влияние на гидросеть.

Вместе с тем, на участках рек, не подвергавшихся затоплению морскими водами в периоды высокого стояния Мирового океана, а также расположенных вне территорий с активными тектоническими перестройками, должны были сохраниться пресноводные комплексы, сходные с ранее существовавшими в речных системах или на их отдельных участках (в первую очередь, горных и предгорных), как это в настоящее время наблюдается, например, между р. Амур и реками северо-западного и центрального (бассейны рек Тымь и Поронай) Сахалина (Шмидт, 1950; Линдберг, 1955; Сафронов, Никифоров, 2003; Тесленко, 2005; Богатов и др., 2006; Никитин, Сафронов, 2009; Никитин и др., 2015). Однако этого не наблюдается. Более того, современное распространение в регионе представителей ранее существовавшей пресноводной ихтиофауны (например, камчатский хариус (*Thymallus mertensii*), обыкновенная щука (*Esox lucius*) носит дискретный характер, и в части водных объектов, ранее входивших в общие речные бассейны (например, в палео-Пенжину (Линдберг, 1972), они отсутствуют (Марченко и др., 2022). Эта особенность позволяет предполагать наличие глобального фактора, которым, по-видимому, были изменения климата. Оценка их роли в становлении современного облика пресноводной ихтиофауны материкового побережья Охотского моря стала целью настоящей статьи.

Последнее оледенение — зырянско-сартанский криохрон — охватывало период с 74,0 до 12,4 тыс. лет назад. На суше в северной и центральной частях материкового побережья Охотского моря оно носило горно-долинный сетчатый (Галанин, 2012 а,б), в южной — покровный (Гросвальд, 2009; Василенко и др., 2011) характер.

На севере и в центре региона на протяжении криохрона ледовый и снежный покровы деградировали. Причиной этого был антициклон, который стабилизировался над Северной Пацификой и достиг экстремальных значений в период с 27 до 18 тыс. лет назад. Он сопровождался иссушением выхоложенного воздуха, а также снижением частоты и количества осадков (Brakenridge, 1978; Васильчук, Котляков, 2000; Галанин и др., 2006; Ложкин и др., 2010; Галанин, 2012 а,б; Глотов, Глотова, 2012; Licht et al., 2016). В условиях низких температур освобождение обширных территорий от снежно-ледового покрова, выступавшего в качестве теплоизолятора, привело к развитию криолитозоны, представлявшей собой толщу многолетнемерзлых пород с замедленным водообменом (Глотов, Глотова, 2014, 2015).

Слабые осадки и широкое распространение криолитозоны были причиной регионального истощения ресурсов подземных вод. В сартанский криохрон их поверхность опустилась до глубин не менее 400-450 м, а на участках артезианских бассейнов образовались безводные пески и галечники с отрицательной температурой (Глотов, 2009; Глотов, Глотова, 2014). Показателем неблагоприятного термического режима и дефицита вод на материковом побережье Охотского моря в тот период выступает практически полное отсутствие лесов (Ложкин и др., 2010), которым в силу длительного периода вегетации необходимо наличие свободной воды на протяжении большей части года.

Замедление водообмена в грунтах из-за формирования толщ многолетнемерзлых пород и истощение запасов подземных вод приводило к прекращению стока в реках материкового побережья Охотского моря не только в зимнюю, но, вероятно, и в летнюю межень. Как следствие, малые реки иссякали, а средние и крупные — превращались в цепочки водоемов, слабо связанных между собой (Глотов, Глотова, 2014).

В условиях дефицита вод в зырянско-сартанский криохрон пресноводная ихтиофауна в регионе сохранялась в рефугиумах. Например, обыкновенная щука и камчатский хариус пережили оледенение в бассейне р. Пенжина. Кроме того, камчатский хариус сохранился в бассейне р. Тауй (Коновалов, 1967; Черешнев, 1998). Не исключено, что рефугиумы были и в других районах материкового побережья Охотского моря. Об этом, например, свидетельствует сохранение сибирской ели (*Picea obovata*) в Ямской низменности (Флора и растительность..., 2010; Красная книга..., 2019). Вместе с тем, дискретность распространения в регионе обыкновенной щуки и камчатского хариуса на фоне значительно более широкого распространения речного гольяна (*Phoxinus phoxinus*) свидетельствует о том, что в период оледенения большая часть водных объектов была непригодна для обитания относительно крупных представителей пресноводной ихтиофауны.

Деградация пресноводной ихтиофауны на юге материкового побережья Охотского моря в последний криохрон была связана с покровным ледником, который относительно современной границы берега проникал с моря на сушу на 300-350 км и перекрывал малые и средние по протяженности реки. Кроме того, ледник создавал условия для подпора речных вод, что было причиной формирования прогляционных озёр. Одно из них располагалось на месте верховьев р. Уда и разгружалось в бассейн р. Зея (Гросвальд, 2009; Василенко и др., 2011).

Зырянско-сартанский криохрон в позднем дриасе — раннем голоцене сменился резким глобальным потеплением климата — голоценовым термохроном (Hopkins, 1972; Кинд, 1974; Ложкин и др., 2010). Он сопровождался усилением активности циклонов, что положительно сказалось на частоте и объеме осадков (Глотов, Глотова, 2012). В частности,

увеличение снегозапаса в зимний период способствовало быстрому расселению кедрового стланика (*Pinus pumila*) (Ложкин и др., 2010; Галанин, 2012).

На первых этапах термихрона на материковом побережье Охотского моря в теплый период года в питании рек заметную роль играли талые ледниковые воды, которые могли нанести дополнительный урон пресноводной ихтиофауне, выжившей в зырянско-сартанский криохрон. В частности, их поступление в речные русла, возраставшее на фоне прогрева воздуха, сопровождалось увеличением скорости речного потока и снижением его температуры (Чеботарев, 1975; Важнов, 1976; Михайлов, Добролюбов, 2017). Кроме того, талые воды смывали отложения, сформировавшиеся в результате абразивного воздействия ледников на скальные породы, что приводило не только к увеличению мутности водных объектов до критических для рыб величин, но и к заполнению осадочными породами впадин озер и русел рек (Ендрихинский, 1972; Вейнбергс, 1978).

По мере развития голоценового термохрона на материковом побережье Охотского моря разрушались толщи многолетнемерзлых пород. Снизу они деградировали за счет тепла пород, а сверху – в результате развития интенсивного водообмена на участках водопроницаемых плиоцен-плейстоценовых песчано-гравийно-галечных толщ, в которых, благодаря отепляющему действию воды, возникали сквозные талики. В теплый период года в них, а также в сезонно-талом слое почв накапливались талые и дождевые воды, которые обеспечивали речной сток в сезонные межени. Развитие сквозных таликов в регионе в голоценовый термохрон прослеживалось по заселению речных долин чозенией (*Chosenia arbutifolia*) и тополем душистым (*Populus suaveolens*) (Беликович, Галанин, 2006). Кроме того, из рефугиумов, располагавшихся как на материковом побережье Охотского моря, так и в Восточной Сибири, стали распространяться бореальные виды деревьев и кустарников (например, лиственницы (*Larix*), березы (*Betula*), ивы (*Salex*), ольховый (*Duschekia fruticosa*) и кедровый (*Pinus pumila*) стланики (Шило и др., 2007; Ложкин и др., 2010). Как следствие, в регионе постепенно формировались лесные массивы.

Рост температуры, восстановление атмосферных осадков, ускорение, а местами возобновление водообмена в грунтах, таяние ледников, накопление вод в таликах и сезонно-талом слое почв обеспечили высокую водность озерно-речных систем в голоценовый оптимум. Это способствовало колонизации рек материкового побережья Охотского моря пресноводной ихтиофауной, которая через взаимодействие рек в верховьях проникала из сопредельных бассейнов рек Анадырь, Колыма, Индигирка, Лена и Амур. Дискретное расположение хиатусов предопределило мозаичный характер распределения пресноводных рыб в реках региона.

С потеплением климата расселялись и рыбы, пережившие последнее оледенение в рефугиумах, располагавшихся на побережье Охотского моря. Однако их распространение проходило, главным образом, в границах локальных речных бассейнов. Исключением, по-видимому, было расселение обыкновенной щуки из пенжинского рефугиума на запад – через р. Парень в р. Гижига.

Расселение пресноводной ихтиофауны на юге материкового побережья Охотского моря было связано с отступлением покровного ледника, которое привело к формированию стока рек в Охотское море, а низкое стояние морских вод было причиной образования обширного бассейна пра-Уды. Ее пра-долина, затопленная водами Охотского моря, хорошо прослеживается в структуре морского дна. Проработанность пра-русла и мощные аллювиальные отложения, достигающие 80 м (Вейнбергс, 1978), позволяют предполагать длительное существование бассейна пра-Уды, в который в качестве притоков входили самостоятельные в настоящее время реки. Полноту бассейна пра-Уды отражает современное распространение, например, желтопятнистого хариуса (*Th. flavomaculatus*) от р. Мутэ до р. Мухтеля, и нижнеамурского хариуса (*Th. tugarinae*) от р. Уда до р. Мухтеля (Bogutskaya et al., 2008; Антонов, Книжин, 2011; Антонов и др., 2019). В то же время, байкалоленский (*Th. baicalolenensis*) и ленский (*Thymallus* sp.) хариусы в регионе известны

только из р. Уда (Антонов, Книжин, 2011; Антонов и др., 2019). Это позволяет предполагать, что в водоток они проникли через озерно-речные низменности, имеющие сток как в амурский бассейн, так и в бассейн р. Уда, уже после разрушения бассейна пр.-Уды в результате трансгрессии морских вод.

После стаивания ледников в голоценовый оптимум и последовавшего за ним похолодания климата (около 2,5-5 тыс. лет назад) (Ложкин, 1976; Ellis, Calkin, 1979), сопровождавшегося снижением интенсивности осадков, водность рек материкового побережья Охотского моря уменьшилась, а гидрологическая сеть и пресноводная ихтиофауна приняли современный вид (Глотов, Глотова, 2015; Марченко и др., 2022).

#### Список литературы

1. Ананьева Э.Г., Смирнова Т.И. Корреляция континентальных и прибрежно-морских верхнеплейстоценовых отложений Северо-Западного Приохотья // Четвертичный период: Стратиграфия. М.: Наука, 1989. С. 153-159.
2. Антонов А.Л., Барабанщиков Е.И., Золотухин С.Ф., Михеев И.Е., Шаповалов М.Е. Рыбы Амура. Владивосток: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2019. 318 с.
3. Антонов А.Л., Книжин И.Б. Распространение, особенности экологии и возможные пути формирования ареалов хариусовых рыб (Thymallidae) в бассейне Амура // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2011. № 1. С. 41-48.
4. Беликович А.В., Галанин А.В. Пойменные леса из чозения и тополя на северном пределе ареала в Южной Чукотке // Вестник ДВО РАН. 2006. № 2. С. 39-42.
5. Богатов В.В., Питч Т.У., Стороженко С.Ю., Баркалов В.Ю., Лелей А.С., Холин С.К., Крестов П.В., Костенко В.А., Макаренченко Е.А., Прозорова Л.А., Шедько С.В. Особенности формирования наземной и пресноводной биоты острова Сахалин // Вестник ДВО РАН. 2006. № 2. С. 32-47.
6. Важнов А.Н. Гидрология рек. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1976. 339 с.
7. Василенко Ю.П., Горбаренко С.А., Цзоу Ц. Ледяной покров Охотского моря в позднеплейстоценовом оледенении и голоцене // Вестник ДВО РАН. 2011. № 2. С. 70-77.
8. Васильчук Ю.К., Котляков В.М. Основы изотопной геоэкологии и гляциологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. 616 с.
9. Вейнберге И.Г. Затопленные речные долины на шельфе и связь их образования с колебаниями Мирового океана (на примере шельфа Восточно-Сибирского моря и юго-западной части Охотского моря) / В кн.: Геоморфология и палеогеография шельфа. Материалы XII пленума Геоморфологической комиссии. М.: Наука, 1978. С. 37-42.
10. Волобуев В.В., Марченко С.Л. Тихоокеанские лососи континентального побережья Охотского моря (биология, популяционная структура, динамика численности, промысел). Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2011. 303 с.
11. Галанин А.А., Глушкова О.Ю., Смирнов В.Н. Позднечетвертичная история развития рельефа, климата и растительности // Ландшафты, климат и природные ресурсы Тауйской губы Охотского моря. Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 81-74.
12. Галанин А.А. Возраст последнего ледникового максимума на Северо-Востоке Азии // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI, № 3. С. 39-52.
13. Галанин А.А. Каргинский (МИС 3) возраст последнего ледникового максимума на северо-востоке Азии // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2012. № 3. С. 81-93.
14. Глотов В.Е. Гидрогеология осадочных бассейнов Северо-Востока России. Магадан: Кордис, 2009. 232 с.
15. Глотов В.Е., Глотова Л.П. Роль подземных вод в формировании стока рек бассейна Примагаданского шельфа // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI, № 4. С. 57-66.
16. Глотов В.Е., Глотова Л.П. Химические показатели подземного водообмена в североохотоморской прибрежной зоне // Вода: химия и экология. 2014. № 10. С. 24-31.
17. Глотов В.Е., Глотова Л.П. Геоэкологические и гидрогеологические условия угленосных площадей на северном побережье Охотского моря // Криосфера Земли. 2015. Т. XIX, № 1. С. 3-10.
18. Гросвальд М.Г. Оледенение Русского Севера и Северо-Востока в эпоху последнего великого похолодания. Материалы гляциологических исследований. М.: Наука, 2009. 152 с.
19. Ендрихинский А.С. Плейстоценовые озерные отложения гор Путорана // Геология и геофизика. 1972. № 2. С. 75-85
20. Кинд Н.В. Геохронология позднего антропогена по изотопным данным. М.: Наука, 1974. 254 с.
21. Коновалов С.М. Особенности паразитофауны щуки р. Пенжины // Паразитология. 1967. Т. 1. Вып. 6. С. 539-545.
22. Красная книга Магаданской области. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. Магадан: Охотник., 2019. 356 с.
23. Линдберг Г.У. Четвертичный период в свете биогеографических данных. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1955. 334 с.

24. Линдберг Г.У. Крупные колебания уровня океана в четвертичный период. Биогеографические обоснования гипотезы. Л.: Наука, 1972. 548 с.
25. Ложкин А.В., Андерсон П.М., Браун Т.А., Важенина Л.Н., Матросова Т.В., Минюк П.С., Пахомов А.Ю., Соломаткина Т.Б. Новая летопись изменения климата и растительности северного Приохотья в течение изотопных стадий 4–1 // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2010. № 1. С. 63-70.
26. Ложкин А.В. Растительность западной Берингии в позднем плейстоцене и голоцене // Берингия в кайнозое. Материалы Всесоюзного симпозиума «Берингийская суша и ее значение для развития голарктических флор и фаун в кайнозое», Хабаровск, 10-15 мая, 1973 года. Владивосток, 1976. С. 72-77.
27. Марченко С.Л., Мазникова О.А., Кульбачный С.Е., Кириллова Е.А. Аннотированный список рыбообразных и рыб пресных вод материкового побережья Охотского моря // Труды ВНИРО. Т. 187. 2022. С. 48–64.
28. Михайлов В.Н., Добролюбов С.А. Гидрология. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2017. 752 с.
29. Никитин В.Д., Сафронов С.Н. История изучения, видовой состав, морфология и распространение голянов рода *Rhynchocypris* (Cyprinidae) Сахалина // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2009. Т. 2, № 2. С. 41-44.
30. Никитин В.Д., Живоглядов А.А., Заварзина Н.К., Сафронов С.Н. Ихтиофауна // Естественная история Сахалина и Курильских островов. Водотоки острова Сахалин: жизнь в текучей воде. 2015. С. 151-197.
31. Сафронов С.Н., Никифоров С.Н. Список рыбообразных и рыб пресных и солоноватых вод Сахалина // Вопросы ихтиологии. 2003. Т. 43, № 1. С. 42-53.
32. Свиточ А.А. Геология морского плейстоцена побережий России // Океанология. 2004. Т. 44, № 6. С. 928-939.
33. Тесленко В.А. Фауна веснянок (Insecta: Plecoptera) острова Сахалин и возможные пути ее формирования / В сб. «Растительный и животный мир острова Сахалин (Материалы Международного сахалинского проекта)». Часть 2. Владивосток: Дальнаука, 2005. С. 96-105.
34. Флора и растительность Магаданской области (конспект сосудистых растений и очерк растительности). Магадан: ИБПС ДВО РАН, 2010. 364 с.
35. Чеботарев А.И. Общая гидрология (воды суши): учебное пособие / 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 544 с.
36. Черешнев И.А. Биогеография пресноводных рыб Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 1998. 131 с.
37. Шилов Н.А., Ложкин А.В., Андерсон П.М., Браун Т.А., Пахомов А.Ю., Соломаткина Т.Б. Ледниковым рефугиум *Pinus pumila* (Pall.) Regel на Северо-Востоке Сибири // Доклады Академии наук. 2007. Т. 412, № 3. С. 401-403.
38. Шмидт П.Ю. Рыбы Охотского моря. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1950. 370 с.
39. Bogutskaya N.G., Naseka A.M., Shedko S.V., Vasil'eva E.D., Chereshev I.A. The fishes of the Amur River: updated checklist and zoogeography // Ichthyol. Explor. Freshwaters. Vol. 19. № 4. 2008. P. 301-366.
40. Brakenridge R. Evidence for a cold, dry full-glacial climate in the American Southwest // Quatern. Res. 1978. Vol. 9, № 1. P. 22-40.
41. Ellis J.M., Calkin P.E. Nature and distribution of glaciers, Neoglacial moraines, and rock glaciers, east-central Brooks Range, Alaska // Arctic and Alpine Research. 1979. Vol. 11(4). P. 403-420.
42. Hopkins D.M. The paleogeography and climate history of Beringia during late cenozoic time // Inter-Nord. 1972. № 12. P. 121-150.
43. Licht A., Dupont-Nivet G., Pullen A., Kapp P., Abels H.A., Lai Z., Guo Z., Abell J., Giesler D. Resilience of the Asian atmospheric circulation shown by Paleogene dust provenance // Nature communications. 2016. Vol. 7, № 1. С. 1-6.

## РЫБОВОДНО-ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВПЕРВЫЕ СОЗРЕВАЮЩИХ ДВУХ ГРУПП САМОК КАРПА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИХ СЕЛЕКЦИИ

В.П. Масликов, В.В. Кияшко, И.Ю. Домницкий, Я.В. Александров

*Саратовский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»,  
г. Саратов, saratovniro@vniro.ru*

*Аннотация: проведено исследование рыбоводных и продукционных характеристик впервые нерестующих производителей третьего поколения гибридов карпа (самки местной беспородной группы х самцы внутривидового типа породы карпа парская «Московский чешуйчатый») и карпов возвратного скрещивания. Репродуктивные показатели у самок возвратного скрещивания, как по рабочей, так и относительной плодовитости, отличались более высокими значениями, чем у самок гибридов.*

Ключевые слова: возвратное скрещивание, селекция карпа, рабочая и относительная плодовитость

Основопологающей задачей селекционной работы с рыбами является повышение их продуктивности путем создания новых пород и форм, отличающихся ускоренным темпом роста, повышенной плодовитостью и выживаемостью, устойчивостью к заболеваниям и неблагоприятным условиям естественной и искусственной среды обитания (Голод, 2005).

Эффективность селекционного отбора зависит от генетической гетерогенности, достигающейся скрещиванием между собой неродственных особей, что позволяет значительно повысить разнокачественность породной группы, увеличить генотипическую компоненту и связанную с ней фенотипическую изменчивость, с выявлением их селекционной ценности.

При разработке технологической схемы скрещивания была поставлена цель получения селекционируемого потомства со сплошным чешуйчатым покровом, как наиболее продуктивного и жизнеспособного в условиях Саратовского региона (Масликов и др., 2020). В связи с поставленной целью, для скрещивания, за основу были взяты адаптированный к природным условиям Саратовской области местный беспородный чешуйчатый карп и производители карпа московский чешуйчатый. По результатам исследования рыбоводно-биологической и продукционной характеристик двух поколений гибридов карпа было принято решение произвести возвратное скрещивание породой-улучшителем (московский чешуйчатый) и провести исследования параллельного выращивания 3-го поколения гибридов карпа и карпов возвратного скрещивания до половозрелого возраста со сравнительным анализом их рыбоводно-продукционных характеристик (Масликов, Легкодимова, Сильникова, 2017; Масликов и др., 2022).

Полученные результаты содержания ремонтных групп карпа (гибридов и карпов возвратного скрещивания) в зимовальных прудах и проведенного статистического анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1. Рыбоводно-биологические показатели ремонтных групп карпа за период зимнего содержания

Параметры	Статистические показатели	Группы карпа	
		гибрид	возвратное скрещивание
Масса четырехлеток, г	$X_{cp}$	$2698 \pm 137,39$	$2842 \pm 84,93$
	$C_v, \%$	19,86	11,66
Коэффициент упитанности четырехлеток по Фульгону	$X_{cp}$	$2,54 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,09$
	$C_v, \%$	24,00	13,27
Выживаемость в зимний период, %	-	96,6	96,0

Параметры	Статистические показатели	Группы карпа	
		гибрид	возвратное скрещивание
Масса четырехгодовиков, г	$X_{cp}$	2525,3,3 ± 128,05	2657,3 ± 96,62
	$Cv, \%$	16,12	13,62
Коэффициент упитанности четырехгодовиков по Фультону	$X_{cp}$	2,50 ± 0,1	2,61 ± 0,1
	$Cv, \%$	10,06	9,15
Потеря массы групп карпа за зимний период, %	-	6,4	6,5

Анализ репродуктивных показателей, отобранных для нерестовой компании впервые нерестующих самок двух групп карпа показал, что у самок возвратного скрещивания, как по рабочей, так и относительной плодовитости показатели отличались более высокими значениями, чем у самок гибридов (рис).

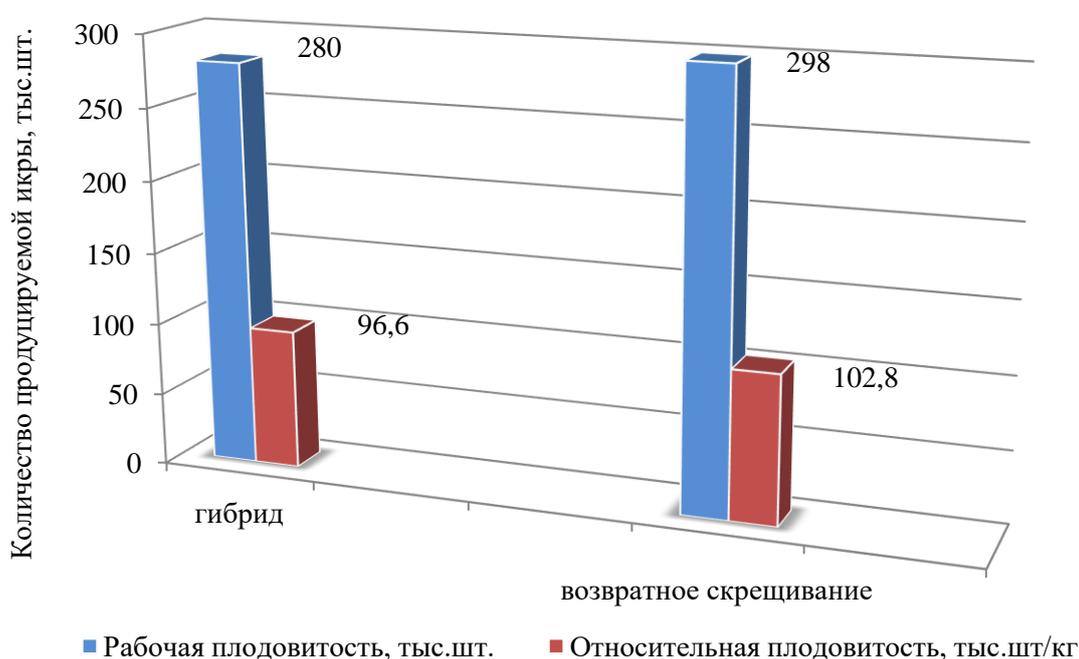


Рисунок. Рабочая и относительная плодовитость впервые нерестующих самок гибридов карпа и карпов возвратного скрещивания

У самцов особых различий по единовременному объему эякулята, концентрации и степени подвижности сперматозоидов у отобранных особей карпа в исследованиях отмечено не было (табл. 2). Оплодотворяемость икры и ее выживаемость в период инкубации незначительно отличались в двух группах карпа, составляя соответственно 90 и 63 % для гибридов карпа и 90-65 % для карпов возвратного скрещивания, и были выше нормативных показателей (не ниже 80 % по оплодотворяемости и выживаемости 55 %) (Сборник нормативно-технологической..., 1986),

Таблица 2. Репродуктивные показатели и результаты инкубации оплодотворенной икры у производителей третьего поколения гибридов карпа и карпов возвратного скрещивания

Показатели	Группы карпа			
	гибрид		возвратное скрещивание	
	самки	самцы	самки	самцы
Среднее количество половых продуктов, полученных от производителей, мл	400	7,8	420	8,0
Диаметр неоплодотворенной икры самок, мм	1,6		1,5	
Степень подвижности сперматозоидов по шкале Персова, баллы		5		5
Средний процент оплодотворения икры, %	90		90	
Выживаемость икры за период инкубации, %	63		65	

Обобщая полученные данные по рыбоводно-биологической оценке впервые нерестующих производителей третьего поколения гибридов карпа и карпов возвратного скрещивания и их репродуктивных показателей следует отметить более высокий процент выживания четырехгодовиков гибридов карпа и их меньшую степень исхудания за зимний период, что можно объяснить их большей адаптацией к внешним условиям в результате селекционного отбора в предшествующих двух поколениях. С другой стороны, в результате возвратного скрещивания с породой улучшителем (московский чешуйчатый), репродуктивные показатели по рабочей и относительной репродуктивности у самок карпа возвратного скрещивания отличались более высокими значениями (соответственно 298 тыс. шт. и 102,8 тыс. шт./кг), чем у самок гибридов (280 тыс. шт. и 96,6 тыс. шт./кг);

#### Список литературы

1. Голод В.М. Предпосылки селекции форели // Генетика, селекция и племенное дело в аквакультуре России. 2005. С. 26-110.
2. Масликов В.П., Легкодимова З.И., Сильникова Г.В., Кияшко В.В., Александров Я.В. Селекционный отбор гибридного маточного стада по рыбопродуктивным показателям потомства // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2020. № 2. С. 40-47.
3. Масликов В.П., Легкодимова З.И., Сильникова Г.В. Относительные признаки телосложения сеголеток и двухлеток гибридного карпа первого и второго селекционных поколений на опытных прудах экспериментальной базы Саратовского отделения ФГБНУ «ГосНИОРХ» // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2017. № 8. С. 23-28.
4. Масликов В.П., Легкодимова З.И., Кияшко В.В., Домницкий И.Ю., Александров Я.В. Рыбоводно-биологические и продукционные характеристики гибридов карпа первого и второго поколений селекции // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2022. № 11. С. 743-752
5. Сборник нормативно-технологической документации по товарному рыбоводству. М.: «Агропромиздат», 1986. Т. 1. 260 с.

**КАЧЕСТВО ВОД ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА  
ПО МАТЕРИАЛАМ ИССЛЕДОВАНИЙ 2021 г.**

М.М. Мельник\*, Ю.А. Зуев\*, Ю.В. Крылова\*\*, О.А. Ляшенко\*, О.Б. Максимова\*,  
А.Ю. Тамулёнис\*, А.А. Хозяйкин\*, А.Е. Трифонов\*, О.А. Павлова\*

\*Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, [melnik\\_mm@niorh.vniro.ru](mailto:melnik_mm@niorh.vniro.ru)  
\*\*ФГБУН Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (ИБВВ РАН),  
п. Борок, Ярославская обл.

*Аннотация: проведенные летом и осенью 2021 г. комплексные работы являются продолжением многолетних научных исследований Санкт-Петербургского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга) по оценке состояния среды обитания водных биологических ресурсов Ладожского озера. На основе полученных данных выполнена оценка качества вод и состояния основных компонентов водной биоты Ладожского озера, прямо и косвенно формирующих кормовую базу рыб (фитопланктон, зоопланктон и зообентос). По результатам исследований показана стабильность экологического состояния большинства участков акватории Ладожского озера в 2021 г.*

Ключевые слова: Ладожское озеро, мониторинг, гидрохимические показатели, фитопланктон, зоопланктон, макрозообентос, хлорофилл

Ладожское озеро – крупнейший пресноводный водоем Европы многоцелевого использования, характеризующийся высокой концентрацией различных производств (Антропогенное эвтрофирование..., 1982; Ладога, 2013 и др.). Рыбная промышленность – одна из традиционных отраслей экономики Ленинградской области и Республики Карелия, играет важную роль в социально-экономическом развитии регионов (Румянцев, Кудерский, 2010). Размеры Ладоги и наличие смешанных биотопов определяют большое разнообразие ее ихтиофауны. Проведение регулярных мониторинговых исследований необходимо для объективной оценки и выявления тенденций изменения качества вод и состояния гидробиоценозов, формирующих кормовую базу рыб Ладожского озера.

Целью работы является оценка качества вод и современного состояния гидробиоценозов Ладожского озера в 2021 г.

Анализ осуществляли на основе данных, полученных в ходе комплексных экспедиционных исследований в весенне-летний и осенний сезоны 2021 г. по стандартной ежегодной сетке станций (25 точек отбора проб), охватывающей все основные районы озера (рис.). Исследования проводили с использованием стандартных методов сбора, обработки и анализа гидрохимических, токсикологических, гидробиологических и других натуральных материалов.

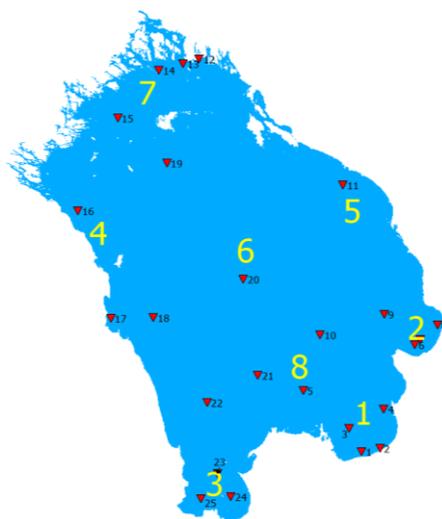


Рисунок. Схема станций отбора гидрохимических, токсикологических и гидробиологических проб в Ладожском озере: 1 – Волховская губа, 2 – Свирская губа, 3 – Шлиссельбургская губа, 4 – Западный район, 5 – Восточный район, 6 – Глубоководный район, 7 – Шхерный район, 8 – Склоновый район

Качество вод оценивали по гидролого-гидрохимическим и токсикологическим характеристикам. *In situ* с помощью автоматического многопараметрического зонда Aqua Troll 500 определяли следующие гидрохимические параметры: электропроводность, общую минерализацию, окислительно-восстановительный потенциал, концентрацию растворённого кислорода, процент насыщения кислородом, рН. Гидрологические параметры включали температуру и глубину, измеряемые океанографическим зондом SBE-19 V2, и прозрачность воды. Содержание биогенных элементов (фосфор, азот) определяли с использованием спектрофотометра ПЭ-5300В по стандартным методикам (РД 52.24.382-2019 и др.). Перечень определяемых токсикологических параметров включал тяжёлые металлы (кадмий, свинец, медь, марганец) (М 02-2406-13), нефтяные углеводороды (НУВ) (ПНД Ф 14.1:2:4.5-95) и показатели острой и хронической токсичности по тест-объекту *Daphnia magna* Straus (Биологические методы..., 2007). Уровень трофии озера оценивали по содержанию общего фосфора на основе критериев Р. Карлсона (Carlson, 2007).

Состояние гидробиоценозов оценивали по гидробиологическим показателям (фитопланктон, зоопланктон, макрозообентос, содержание фотосинтетических пигментов), определяемым по общепринятым методикам (Методические рекомендации..., 1981, 1983, 1984 и др.).

Результаты исследования важнейших рыбохозяйственных параметров, характеризующих качество вод Ладожского озера на современном этапе, представлены в таблице.

Таблица. Средние значения определяемых гидрохимических параметров и уровень трофии в исследованных районах Ладожского озера в 2021 г.

Сезон	Концентрация O <sub>2</sub> , мг/л	Насыщение O <sub>2</sub> , %	рН	Eh, mV	P <sub>общ</sub> , мгP/л	Уровень трофии по P <sub>общ</sub> (Carlson, 2007)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л
весна	12,35	101,5	8,2	114,5	0,013	мезотрофный	<0,01
осень	9,9	98,9	7,7	163	0,020	мезотрофный	<0,01

Примечание: O<sub>2</sub> – концентрация растворённого кислорода; % O<sub>2</sub> – процент насыщения кислородом; Eh – окислительно-восстановительный потенциал; P<sub>общ</sub> – содержание общего фосфора; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – концентрация иона аммония.

Концентрация растворённого кислорода, процент насыщения кислородом, рН среды, окислительно-восстановительный потенциал и содержание аммония характеризуют условия обитания гидробионтов в Ладожском озере как благоприятные.

Содержание общего фосфора в Ладожском озере с первой половины 1980-х гг. имело тенденцию к снижению (Петрова, Игнатьева, 2021). Весной и осенью 2021 г. его средняя концентрация (0,018 мгР/л), соответствовала мезотрофному уровню (Carlson, 2007). Наиболее низкие концентрации фосфора отмечались в северной части акватории, по мере продвижения в южном направлении содержание  $P_{\text{общ}}$  постепенно увеличивалось, достигая максимума в юго-восточной части Ладожского озера в зоне влияния рек Волхов и Сясь.

Полученные данные показывают, что в настоящее время средние величины содержания общего фосфора в воде Ладожского озера остаются в пределах многолетних значений (Современное состояние..., 2021) и позволяют характеризовать трофический статус водоема по содержанию биогенных элементов как мезотрофный. В то же время на разных участках Ладожского озера уровень трофии может изменяться от олиготрофного до эвтрофного, что связано с продукционно-лимнологической и гидрологической неоднородностью водных масс. Так, по данным 2021 г. наиболее низкие концентрации  $P_{\text{общ}}$ , соответствующие олиготрофному уровню, выявлены в восточной и северной частях озера, а максимальные, соответствующие эвтрофному статусу – в районах выраженного антропогенного воздействия: в Волховской и Шлиссельбургской губах (до 0,049 мгР/л), вблизи населенных пунктов в северной шхерной части – города Питкяранта, Лахденпохья, Ляскеля и пос. Импилахти, а также в г. Приозерск (0,033-0,049 мгР/л) и в районе устья р. Бурная (0,052 мгР/л).

Концентрация аммонийного азота в 2021 г. менялась в диапазоне от 0 до 0,075 мг/л, не превышая ПДКвр, что свидетельствует о преобладании в Ладожском озере окислительных процессов над восстановительными и о благоприятных условиях обитания гидробионтов.

Одними из наиболее опасных загрязнителей в водоемах являются ионы тяжелых металлов вследствие их способности накапливаться во всех звеньях экосистемы, в том числе и в гидробионтах. По результатам исследований в 2021 г. превышение ПДКвр кадмия, свинца, марганца и нефтяных углеводородов в целом для Ладожского озера не выявлено.

Токсикологические эксперименты по биотестированию с использованием тест-объекта *Daphnia magna* Straus не выявили острой и хронической токсичности вод Ладожского озера. Исключение составили пробы воды из Волховской губы, в которых отмечена хроническая токсичность по показателю «выживаемость», и пробы воды из центрального района озера и северных акваторий в районе городов Питкяранта, Ляскеля, Приозерск, демонстрирующие хроническую токсичность по показателю «плодовитость». Сравнение полученных данных с результатами наблюдений предыдущих лет показывает положительную динамику снижения уровня токсичности на некоторых участках Ладожского озера.

Таким образом, в 2021 г. по совокупности гидрохимических и токсикологических показателей экологическое состояние основной части Ладожского озера характеризуется как стабильное и удовлетворительное для обитания гидробионтов, трофический статус оценивается в целом как мезотрофный. В то же время на отдельных, наиболее подверженных антропогенному воздействию участках акватории Ладоги, зафиксированы превышения средних многолетних значений важнейших показателей, характеризующих состояние среды обитания водных биоресурсов.

Состояние гидробиоценозов и кормовую базу рыб оценивали по количественным и качественным показателям зоопланктона и зообентоса, формирующих основную кормовую ресурс для рыб планкто- и бентофагов. В связи с отсутствием в Ладожском озере рыб-фитофагов фитопланктон участвует в формировании кормовой базы рыб как первичный продуцент, потребляемый консументами непосредственно или через микробную петлю.

В 2021 г. в фитопланктоне Ладожского озера были обнаружены водоросли 10 систематических групп: цианопрокариоты, золотистые, диатомовые, рафидофитовые,

криптофитовые, динофитовые, желтозелёные, эвгленовые, зелёные, харовые. Всего в июне отмечено 136, в августе – 143 таксона планктонных водорослей рангом ниже рода.

В комплекс доминантов фитопланктона обследованной акватории озера по численности в июне 2021 г. входили цианопрокариоты *Aphanizomenon flos-aquae*, *Planktothrix agardhii*, *Aphanocapsa holsatica*, *Aphanothece clathrata* f. *brevis*, *Woronichinia naegelianiana*, криптофитовая *Chroomonas acuta*, желтозелёная *Tribonema affine*, диатомовые *Aulacoseira islandica*, *A. subarctica*, *Fragilaria crotonensis*; в сентябре – цианопрокариоты *A. flos-aquae*, *W. naegelianiana*, *A. holsatica*, *Microcystis aeruginosa*, *Dolichospermum flosaquae*, диатомовая *F. crotonensis*, криптофитовая *C. acuta*, зелёная *Botryococcus braunii*.

Доминантами по биомассе в июне были *A. flos-aquae*, диатомовые *Tabellaria fenestrata*, *F. crotonensis*, *Aulacoseira islandica*, *A. granulata*, *A. subarctica*, *Melosira varians*, криптофитовые рода *Cryptomonas*, золотистая *Dinobryon divergens*, рафидофитовая *Gonyostomum semen*. В сентябре доминировали *T. fenestrata*, *F. crotonensis*, *A. islandica*, *A. granulata*, *A. subarctica*, *A. ambigua*, *M. varians*, *M. moniliformis*, криптофитовые рода *Cryptomonas*, *A. flos-aquae*, *P. agardhii*. *D. flos-aquae*, *D. divergens*, *G. semen*.

В июне общая численность фитопланктона изменялась в диапазоне от 358 млн. кл./м<sup>3</sup> в Шхерном районе до 9723 млн кл./м<sup>3</sup> в Волховской губе; биомасса варьировала от 0,50 г/м<sup>3</sup> в Шхерном районе до 5,31 г/м<sup>3</sup> в Восточном районе. В сентябре минимальные значения численности отмечались в Западном районе (784 млн. кл./м<sup>3</sup>), максимальные – в Волховской губе (до 62360 млн. кл./м<sup>3</sup>); биомасса изменялась от 0,56 г/м<sup>3</sup> (Восточный район) до 1,65 г/м<sup>3</sup> (Волховская губа).

Средние значения биомассы фитопланктона различных районов Ладожского озера в 2021 г. находились в пределах диапазона величин, отмеченных для этих районов в предыдущие годы наблюдений. Начиная с 1990-х гг. XX в. количественные показатели фитопланктона Ладожского озера варьировали в относительно небольших пределах, внутри которых межгодовые вариации в значительной степени определялись погодными условиями, внутрисезонной сукцессией видов и внутриводоемными процессами (Сухопарова, Терешенкова, 1995; Летанская, Протопопова, 2003; Терешенкова, Ляшенко, 2009; Суслопарова и др., 2011; Современное ..., 2021 и др.).

Для оценки функционального состояния фитопланктона использовались концентрации хлорофилла «а» и вспомогательных пигментов – хлорофиллов «b», «с» и каротиноидов), а также величина пигментного индекса (соотношение концентраций каротиноидов и хлорофилла).

В 2021 г. концентрация хлорофилла «а» в исследованных районах Ладожского озера варьировала от 1,11 до 10,02, составляя в среднем 4,53 мкг/л. Концентрация вспомогательных пигментов изменялась в пределах: хлорофилла «b» – 0,20-1,96, в среднем 1,01 мкг/л; хлорофилла «с» – 0,11-2,70, в среднем – 1,42 мкг/л; каротиноидов – 1,50-8,50, в среднем – 4,95 мкг/л. Значения пигментного индекса по станциям колебались от 0,66 до 3,91, в среднем составляя 1,77.

Максимальные значения хлорофилла «а», как и в предыдущие годы, были отмечены в Свирской губе, минимальные – в Шхерном районе (май-июнь) и Склоновом районе (август). Концентрации вспомогательных пигментов на исследованных участках распределялись равномерно. В 2021 г. средние значения концентрации хлорофилла «а» по районам существенно изменялись (в 2-6 раз). По многолетним наблюдениям концентрация хлорофилла «а» в Ладожском озере в среднем за сезон варьировала от 2,5 до 7,4 мкг/л. Среднее значение хлорофилла «а» (4,53 мкг/л) для всей исследованной акватории Ладожского озера в 2021 г. укладывается в пределы межгодовых колебаний средних величин рассматриваемого показателя: по многолетним наблюдениям, начиная с 70-х гг. XX в., его содержание в Ладожском озере достаточно стабильно, изменяясь в пределах 2,5-7,4 мкг/л (Ладога, 2013), что по классификации В.В. Бульона (1983) соответствует мезотрофному статусу.

Видовой и количественный состав зоопланктона в 2021 г. был типичен для весенне-летнего периода. Показатели численности зоопланктона весной существенно варьировали по районам от 5,52 до 183,56 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомассы – от 0,109 до 0,945 г/м<sup>3</sup>. В летне-осенний период средние количественные показатели имели меньший разброс величин, чем в весенне-летний и изменялись по численности от 60,55 до 75,19 тыс. экз./м<sup>3</sup>, по биомассе – от 0,662 до 1,169 г/м<sup>3</sup>.

В многолетнем аспекте глубоководный (центральный) и шхерный (северный) районы характеризуются низкими количественными показателями зоопланктона. В 2021 г. отмечены более высокие биомассы на акватории склонового района по сравнению с предыдущими периодами исследования.

По биомассе зоопланктона все районы Ладожского озера в весенне-летний период 2021 г. по классификации Пидгайко (Пидгайко и др., 1968), можно охарактеризовать как «малокормные» (биомасса менее 1 г/м<sup>3</sup>). В летне-осенний период большинство районов характеризовались как «среднекормные» (биомасса от 1 до 2 г/м<sup>3</sup>). На всех исследованных участках Ладожского озера по биомассе преобладали ракообразные кладоцеры и копеподы, служащие кормовыми объектами для молоди всех видов рыб и рыб-планктонофагов. Большинство рыб-планктонофагов является визуальными хватателями, выбирающими, в первую очередь, наиболее крупных зоопланктеров – ракообразных (Гиляров, 1987 и др.). Основная зона нагула рыб-планктофагов (молодь всех видов, а также половозрелые корюшка, ряпушка) приурочена к Свирской, Волховской и Шлиссельбургской губам, а также мелководным участкам западного района, которые характеризуются высокими величинами численности и биомассы зоопланктона, что обеспечивает благоприятные для рыб кормовые условия.

В последнее десятилетие, включая 2021 г., в большинстве районов Ладожского озера наблюдается тенденция снижения обилия сообщества макрозообентоса в межгодовом и сезонном аспектах. Наиболее беден видовой состав зообентоса глубоководного района, а наибольшим фаунистическим разнообразием характеризовалась восточная часть Волховской губы.

Среднее значение биомассы кормового бентоса в 2021 г. составило 2,40 г/м<sup>2</sup>, что в два раза с лишним ниже показателя 2020 г. (5,48 г/м<sup>2</sup>). Можно предположить, что такое снижение запасов кормового бентоса связано с чрезвычайно низким прогревом водных масс в Ладожском озере в весенне-летний период 2021 г.

Биомассы кормового бентоса (Пидгайко и др., 1968) в Ладожском озере в мае-июне 2021 г. в Волховской и Свирской губах, западном, шхерном, склоновом и глубоководном районах оценивали как «малокормные», в восточном районе и Шлиссельбургской губе – как «высококормные». К сентябрю 2021 г. кормовое значение восточного района по биомассе макрозообентоса снизилось до категории «среднекормные», в Шлиссельбургской губе его уровень соответствовал статусу «малокормный».

Снижение количественных показателей макрозообентоса именно в мелководных, хорошо прогреваемых районах юго-восточной части Ладожского озера являлось характерной особенностью вегетационного сезона 2021 г. При этом в донных сообществах сократилось обилие хирономид и олигохет, характерных для эвтрофных и мезотрофных вод. В то же время наблюдалось увеличение доли в сообществах реликтовых ракообразных – амфипод *Monoporeia affinis* и *Pallaseopsis quadrispinosa*. Эти типичные представители олиготрофных водоемов составляют основу питания наиболее ценных рыб-бентофагов Ладожского озера – сига и палии.

Результаты гидрохимических и токсикологических исследований Ладожского озера в 2021 г., характеризующие экологический статус среды обитания водных биоресурсов, свидетельствуют, что гидрологические характеристики находились в естественном диапазоне для существования ихтиофауны и других гидробионтов, а периодические превышения нормативов содержания некоторых тяжелых металлов (меди и марганца) не

являлись критичными для рыбного населения озера, что косвенно подтверждалось отсутствием острой токсичности проб воды и высокими значениями концентрации растворённого кислорода в период открытой воды. По совокупности токсикологических и гидрохимических показателей самыми неблагоприятными для жизнедеятельности гидробионтов признаны акватории в зоне влияния рек Волхов и Сясь (южная часть озера), и городов северной шхерной части озера (Питкяранта, Лахденпохья, Ляскеля, Импилахти), которые наиболее подвержены антропогенному воздействию промышленных и коммунально-бытовых сточных вод. Наиболее благоприятные условия для обитания водных биоресурсов сформировались в центральном глубоководном районе Ладожского озера. Состав и структура планктонных и бентосных сообществ Ладожского озера в мае-сентябре 2021 г. соответствовали среднемноголетним значениям, характерным для малокормных водоемов.

Таким образом, результаты комплексных исследований Санкт-Петербургского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), характеризующие качество вод и кормовую базу Ладожского озера в 2021 г., свидетельствуют о стабильности экологического состояния большинства участков акватории озера в рассматриваемый период.

#### Список литературы

1. Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера / Под ред. Н.А. Петровой. Л.: Наука, 1982. 304 с.
2. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. ФР 1.39.2007.03222. М.: Акварос, 2007. 52 с.
3. Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л. 1983. 150 с. Ладога // Под ред. В. А. Румянцева, С.А. Кондратьева. СПб.: Нестор-История, 2013. 468 с.
4. Гиляров А.М. Динамика численности пресноводных планктонных ракообразных. М.: Наука, 1987. 191 с.
5. Ладога: монография / Ред. В.А. Румянцева, С.А. Кондратьева. СПб.: Нестор-История, 2013. 568 с.
6. Летанская Г.И., Протопопова Е.В. Осенний мониторинг фитопланктона Ладожского озера (1992-2002 гг.) // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды. Материалы II Международной научной конференции 22-26 сентября 2003 г., Минск – Нарочь. Минск, 2003. С. 299-301.
7. М 02-2406-13 Методика количественного химического анализа. Определение металлов в питьевой, минеральной, природной, сточной воде и в атмосферных осадках атомно-абсорбционным методом. СПб. 2013. 29 с.
8. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Фитопланктон и его продукция. Л., 1981. 32 с.
9. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. Л., 1983. 33 с.
10. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л., 1984. 33 с.
11. Петрова Т.Н., Игнатъева Н.В. Биогенные элементы // Ладога / Под ред. В.А. Румянцева, С.А. Кондратьева. СПб.: Нестор-История, 2013. С. 187-202.
12. Пидгайко М.Л., Александров Б.М., Иоффе Ц.И. и др. Краткая биолого-продукционная характеристика водоемов Северо-Запада СССР // Изв. ГосНИОРХ. Т. 67. 1968. С. 205-228.
13. ПНД Ф 14.1:2:4.5-95 Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в питьевых, поверхностных и сточных водах методом ИК-спектрометрии – М. Федеральный центр анализа и воздействия техногенного воздействия (ФБУ «ФЦАО»). 1995. (Издание 2011). 18 с.
14. РД 52.24.382-2019 Массовая концентрация фосфора общего и фосфора валового в водах. Методика измерений фотометрическим методом после окисления персульфатом калия. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2019. 28 с.
15. Румянцев В.А., Кудерский Л.А. Ладожское озеро: общая характеристика, экологическое состояние // Общество. Среда. Развитие. 2010. № 1. С. 171-182.
16. Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата / Под ред. С.А. Кондратьева, Ш.Р. Позднякова, В.А. Румянцева. СПб.: РАН, 2021. 640 с.
17. Сулопарова О.Н., Мицкевич О.И., Огородникова В.А., Терешенкова Т.В. Сезонные и межгодовые изменения основных компонентов экосистемы (фито-, зоопланктон, макрозообентос) Южной Ладоги по

- результатам исследований в 2009-2010 гг. // Исследование экосистем крупных рыбопромысловых водоемов Северо-Запада России: Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. Вып. 341. СПб.: Нестор-История, 2011. С. 201-243.
18. Сухопарова Е.Ю., Терешенкова Т.В. Характеристика фитопланктона южной части Ладожского озера по материалам рыбохозяйственного мониторинга (1989-1992 гг.) // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. Вып. 314. 1995. С. 101-134.
19. Терешенкова Т.В., Ляшенко О.А. Современное состояние летнего фитопланктона южной части Ладожского озера (по данным рыбохозяйственного мониторинга) // Рыбохозяйственное исследование больших озер Северо-Запада Европейской части России. Сб. научн. трудов ФГНУ «ГосНИОРХ». Вып. 334. 2009. С. 5-32.
20. Carlson R.E. Estimating Trophic State / R.E. Carlson // LakeLine. 2007. Vol. 27, № 1. P. 25-28.

**ДОННАЯ ФАУНА НИЖНЕКАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

А.В. Мельникова

*Татарский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТатарстанНИРО»),  
г. Казань, [d.bugensis@mail.ru](mailto:d.bugensis@mail.ru)*

Аннотация: в вегетационный период 2023 г. зообентос Нижнекамского водохранилища был представлен 95 таксонами, из которых большая часть приходилась на отряд Diptera. Основной вклад в развитие донных беспозвоночных по численности вносили Crustacea, а по биомассе – Mollusca. В пространственном аспекте высокое разнообразие наблюдалось в Верхнем плесе, тогда как обилие было максимально на Приплотинном участке.

Ключевые слова: зообентос, численность, биомасса, таксономическое разнообразие, распределение, структурные показатели, р. Кама

Нижнекамское водохранилище одно из крупнейших искусственных водохранилищ Республики Татарстан, а также третье и самое нижнее среди Камских водохранилищ. В рассматриваемом водоеме бентос формировался по классической схеме, характерной для многих водохранилищ такого типа. В конце XX в. и начале XI в. наблюдалось снижение кормового бентоса, но при этом общая биомасса донных беспозвоночных, особенно в озеровидных участках водохранилища, наоборот, возрастала (Миловидов, 1985; Горшкова, 2006). Зообентос был представлен преимущественно вторичноводными беспозвоночными – хирономидами рода *Chironomus* и *Cryptochironomus*, олигохетами рода *Tubifex* и моллюсками *Viviparus*, *Unio* и *Anadonta* (Горшкова, 2006). В 2006-2012 гг. зообентос насчитывал около 50 таксонов с общей численностью 1934 экз./м<sup>2</sup> при биомассе – 205,30 г/м<sup>2</sup> (Шакирова и др., 2013). В конце лета 2017 г. таксономическое разнообразие уже составило 61 единицу, численность и биомасса зообентоса – 8056±2334 экз./м<sup>2</sup> и 319,29±190,91 г/м<sup>2</sup>, соответственно (Мельникова, Ахметзянова, 2018). Актуальность статьи заключается в описании современного состояния донного сообщества Нижнекамского водохранилища.

Сбор материала проводили в вегетационный период 2023 г. на акватории Нижнекамского водохранилища на разрезах: 1) в районе г. Менделеевска, 2) у нп Красный Бор, 3) у нп Каракулино и 4) у нп Камбарка. На каждом из них отбирали пробы на правобережной и левобережной сторонах и в русловой части с помощью дночерпателя Петерсена (площадь захвата 1/25 м<sup>2</sup>) по общепринятым стандартным методам в гидробиологии (Методика ..., 1975; Методические..., 1984). В результате было отобрано и обработано около 70 проб донных беспозвоночных, камеральную обработку которых выполняли в лабораторных условиях в соответствии с общепринятыми методами (Руководство ..., 1983, 1992). Для оценки достоверности различий в пространственном распределении значений индексов и количественных показателей применяли дисперсионный анализ способом ANOVA (Tukey's HSD test), при этом данные сначала преобразовывались в нормальное распределение по формуле  $\log_{10}(x+1)$ .

В 2023 г. на Нижнекамском водохранилище фауна донных беспозвоночных была представлена 92 таксонами (из них 80 рангом до вида), относящихся к группам: Nematoda (1), Annelida (Polychaeta – 1, Oligochaeta – 11 и Hirudinea – 5), Mollusca (Bivalvia – 12 и Gastropoda – 7), Hydracarina (1), Crustacea (Cumacea и Mysidacea – по 2 и Amphipoda – 10) и Insecta (Ephemeroptera и Odonata – по 2, Lepidoptera и Hemiptera – по 1, Trichoptera – 4 и Diptera – 30). Следовательно, основу таксономического разнообразия на исследуемом водоеме формировали двукрылые насекомые, представленные двумя семействами Ceratopogonidae (1 таксон) и Chironomidae (29).

В среднем в одной пробе регистрировалось  $10 \pm 1$  таксонов. Наиболее часто в выборках встречались олигохета *Limnodrilus* sp. (в 86 % отобранных проб), корофиум *Chelicorophium sowinskyi* (Martynov, 1924) (73 %) и брюхоногий моллюск *Lithoglyphus naticoides* (Pfeiffer, 1828) (68 %). Эти виды можно отнести к группе «руководящие или основные», однако более 88 % выявленных таксонов характеризовались как «случайные или редкие» (встречаемость которых  $< 25$  %).

В пространственном отношении таксономическое разнообразие зообентоса увеличивалось вверх по течению р. Кама в пределах водохранилища. Так на Приплотинном участке было обнаружено минимальное число таксонов (40), а Верхнем плесе – наибольшее (64). На всех рассматриваемых участках основу таксономического разнообразия формировали представители отряда Diptera (рис. 1).

На акватории Приплотинного плеса в качестве «доминантов» были *Limnodrilus* sp. ( $P=67$  %) и *L. naticoides* (61 %). В Центральном плесе «руководящими» видами выступали *Limnodrilus* sp. (100 %), *C. sowinskyi* (80 %), а к «доминантам» относилась еще и полихета *Hypania invalida* (Grube, 1860) (60 %). В верховье водохранилища наибольшей частотой встречаемости характеризовались *L. naticoides* (75 %), *C. sowinskyi* (71 %) и *Limnodrilus* sp. (67 %).

Общая численность зообентоса в среднем за вегетационный период на Нижнекамском водохранилище составила  $4772 \pm 1133$  экз./м<sup>2</sup>, биомасса –  $473,71 \pm 129,50$  г/м<sup>2</sup>. Основу плотности формировали ракообразные ( $1789 \pm 578$  экз./м<sup>2</sup> за счет семейства Corophiidae) и моллюски ( $1872 \pm 797$  экз./м<sup>2</sup> за счет класса Bivalvia), а по биомассе – преимущественно моллюски ( $468,74 \pm 128,96$  г/м<sup>2</sup> также благодаря значительному вкладу Bivalvia). Роль других групп в количественных показателях донных беспозвоночных, особенно по биомассе, была незначительной. Наибольшие значения индекса доминирования (*Id*) по численности были выявлены у *C. sowinskyi* (4,24), *Limnodrilus* sp. (2,26) и *L. naticoides* (2,07). Вклад их в общие значения зообентоса составил 50 %. По биомассе существенную роль играли моллюски *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897) (*Id* = 1,72), *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) (1,34) и *Unio pictorum* (Linnaeus, 1758) (1,27). Доля их в формировании общей биомассы донной фауны составила 91 % общих значений.

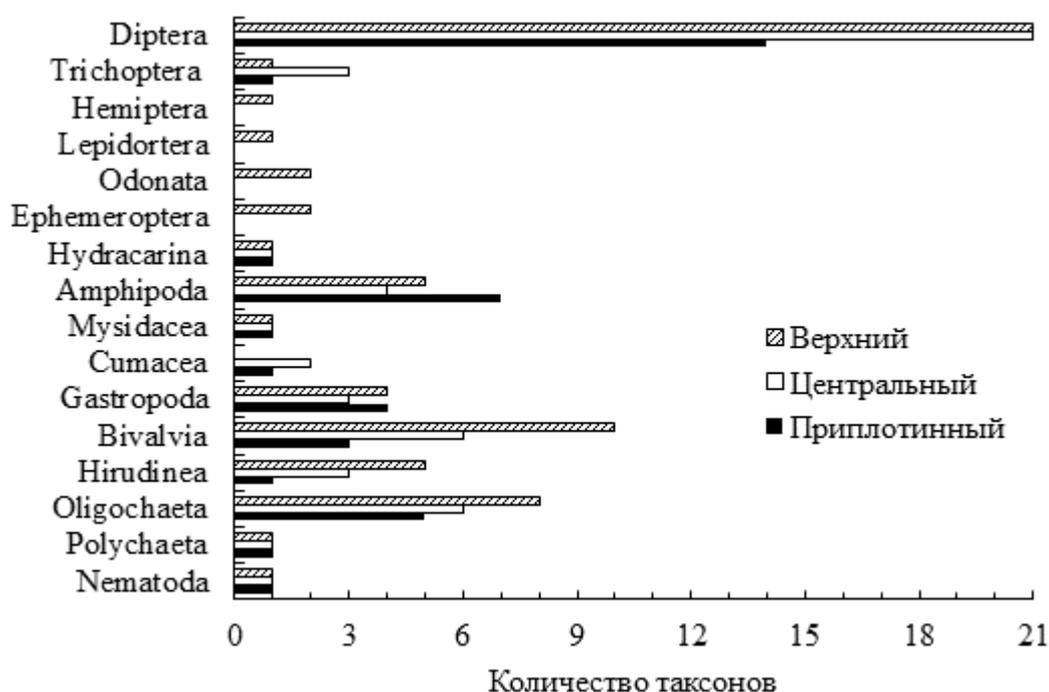


Рисунок 1. Таксономическое разнообразие донной фауны по плесам Нижнекамского водохранилища в 2023 г.

Анализ динамики изменения количественных показателей зообентоса по плесам показал увеличение их значений вниз по течению р. Кама, однако дисперсионный анализ не выявил достоверных отличий (ANOVA:  $p > 0,05$ ; рис. 2).

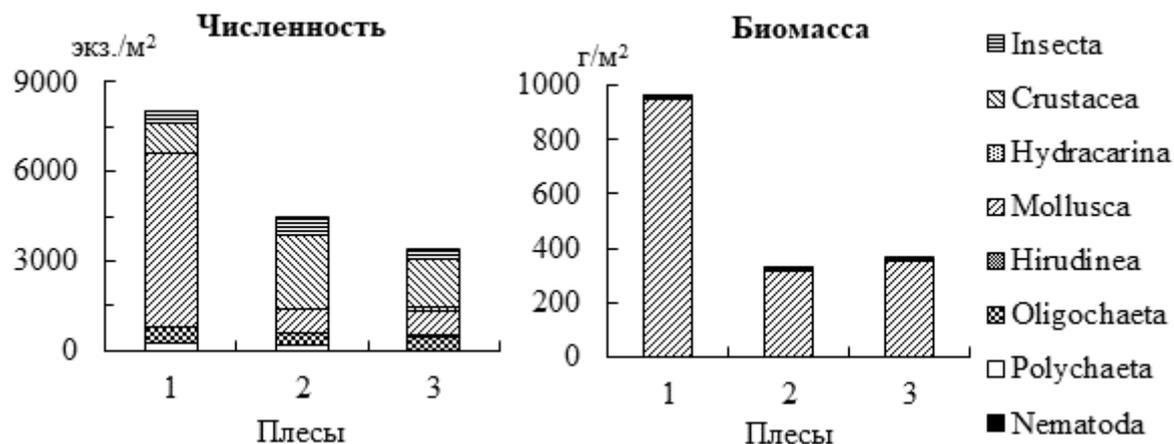


Рисунок 2. Распределение количественных показателей основных групп донной фауны по плесам Нижнекамского водохранилища в 2023 г., где 1) Приплотинный, 2) Центральный и 3) Верхний плесы

На Приплотинном участке основу численности донной фауны формировали представители типа Mollusca, тогда как на Центральном и Верхнем плесах доминировали ракообразные. На всех рассматриваемых участках по биомассе преобладали моллюски, преимущественно за счет представителей групп *Bivalvia*. Вклад других групп был незначителен. Существенную роль в обилии зообентоса в низовье водохранилища играла *D. bugensis*. На других участках водоема по численности доминировал *C. sowinskyi*, а по биомассе в Центральном плесе – дрейссены, в верховье – *U. pictorum*.

Анализ структурных показателей развития донного сообщества на Нижнекамском водохранилище выявил, что в вегетационном периоде 2023 г. отмечалось невысокое видовое разнообразие (индекс Шеннона составил  $2,067 \pm 0,104$  бит/экз.) и богатство ( $d = 0,20 \pm 0,01$ ), что свидетельствует о преобладании в водоеме одного или нескольких видов по численности. Согласно индексу выравненности в водоеме наблюдалось одинаковое развитие компонентов донного комплекса ( $e = 0,67 \pm 0,03$ ). Экологическое состояние (благополучие) сообщества донных беспозвоночных в Нижнекамском водохранилище, оцениваемое по индексу преобладающей жизненной стратегии или экологического благополучия ( $D_E$ ; Денисенко, 2006), характеризовалось как переходное от экологически благополучного к стрессовому ( $D_E = -0,295 \pm 0,04$ ). Минимальные значения индексов  $H_N$  и  $e$  были отмечены в Верхнем плесе, а наибольшие – в Приплотинном участке. Тогда как по другим показателям существенных изменений в пространственном аспекте не выявлено (в пределах ошибки). Дисперсионный анализ методом ANOVA достоверных отличия значения рассматриваемых структурных индексов по плесам не показал ( $p > 0,05$ ).

Таким образом, по результатам проведенных исследований донная фауна Нижнекамского водохранилища в вегетационный период 2023 г. была представлена 92 таксономическими единицами, относящихся к группам Nematoda, Annelida, Mollusca и Arthropoda. Анализ продольного распределения зообентоса показал, что наибольшее таксономическое разнообразие характерно для верховья, а минимальное – для низовья. Зообентос по численности в среднем составил  $4772 \pm 1133$  экз./м² и по биомассе –  $473,71 \pm 129,50$  г/м². Основную роль в формировании плотности играли моллюски и ракообразные, а по биомассе – только моллюски. По имеющимся литературным данным по Нижнекамскому водохранилищу и результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что в последние годы наблюдается рост качественных и количественных

показателей донных беспозвоночных. В основном данное увеличение связано с возрастающей ролью инвазионных видов в сообществе зообентоса.

#### Список литературы

1. Горшкова А.Т. Специфика структуры водных экосистем Нижнекамского водохранилища и ее роль в определении экологической ситуации // Актуальные проблемы гидроэкологии. Сборник научных трудов. Казань: Отечество, 2006. С. 174-189.
2. Денисенко С.Г. Информационная мера Шеннона и ее применение в оценках биоразнообразия (на примере морского зообентоса) // Морские беспозвоночные Арктики Антарктики и Субантарктики. Сер. Исследования фауны морей. Вып. 56 (64). СПб., 2006. С. 35-46.
3. Мельникова А.В., Ахметзянова Н.Ш. Сообщество донных беспозвоночных Нижнекамского водохранилища по данным исследований 2017 года // Современное состояние Нижнекамского водохранилища : Сборник научных трудов. Казань: ФГБНУ «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л. С. Берга» (ФГБНУ «ГосНИОРХ»), 2018. Вып. 15. С. 51-62.
4. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Под ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовской. М.: Наука, 1975. 240 с.
5. Методические указания по принципам организации системы наблюдений и контроля за качеством воды водоемов и водотоков на сети Госкомгидромета в рамках ОГСНК. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 40 с.
6. Миловидов В.П. Зообентос Нижнекамского водохранилища в первые годы его существования // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ, 1985. Вып. 240. С. 119-129.
7. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.
8. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 180 с.
9. Шакирова Ф.М., Говоркова Л.К., Анохина О.К. Современное состояние Нижнекамского водохранилища и возможности рационального освоения его рыбных ресурсов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15, № 3(1). С. 518-527.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ВСЕЛЕНИЯ МОЛОДИ БЕЛОГО ТОЛСТОЛОБИКА В ЧЕБОКСАРСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ, ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ПРОМЫСЛОВОЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

А.Е. Минин, Л.М. Минина

*Нижегородский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («НижегородНИРО»),  
г. Нижний Новгород, [minin@nizhegorod.vniro.ru](mailto:minin@nizhegorod.vniro.ru), [minina@nizhegorod.vniro.ru](mailto:minina@nizhegorod.vniro.ru)*

*Аннотация: впервые приведены данные исследований по опыту вселения двухлетков белого толстолобика в Чебоксарском водохранилище в ходе проведения работ по искусственному воспроизводству. По результатам проведенных уловов ставными сетями за период с 2008 по 2020 гг., данных промысловой статистики проанализированы встречаемость, индексы численности и биомассы белого толстолобика, его смертность. В ходе работ установлено, что выпущенные в 2008 г. в Чебоксарское водохранилище 152 тыс. экземпляра двухлеток белого толстолобика появились впервые в уловах на пятый год (2012 г.) после зарыбления водоема. Обеспеченность кормовой базой, фитопланктоном, в водохранилище хорошая (5,1 г/м<sup>3</sup>). Темп роста белого толстолобика в Чебоксарском водохранилище находится в соответствии с широтным расположением водоема. Для повышения рыбопродуктивности водохранилища белый толстолобик рекомендуется для вселения в водоем.*

*Ключевые слова: искусственное воспроизводство, Чебоксарское водохранилище, белый толстолобик, темп роста, промышленное рыболовство*

Значительный потенциал внутренних водоемов России часто недоиспользуется (Аббакумов, 2017; Коровушкин и др., 2017). На большинстве водохранилищ волжского каскада в связи с нацеленностью промысла на вылов коммерчески ценных видов (судака, леща, сома и др.) происходит их элиминация. В структуре рыбного населения начинают преобладать второстепенные промысловые виды (плотва, окунь и др.), которые обладают значительным воспроизводственным потенциалом, но не имеют высокого темпа роста (Постнов и др., 2012; Шакирова и др., 2021).

Значительный вклад в повышение рыбопродуктивности водоемов могут внести растительноядные рыбы, например белый толстолобик. Вселение растительноядных рыб позволяет рационально использовать природные ресурсы внутренних водоемов за счет получения товарной продукции уже на втором звене трофической цепи. Другие представители рыбного населения дают товарную продукцию на третьем – мирные рыбы или даже на четвертом – хищники – эвене пищевой цепи (Руководство по биотехнике..., 2000). С каждым уровнем продукция падает приблизительно на порядок. Соответственно получение рыбной продукции за счет растительноядных видов приблизительно в 10 и более раз больше чем за счет других видов рыб.

Кроме быстрого роста у толстолобика имеется еще целый ряд положительных свойств. Во-первых, эта крупная быстрорастущая рыба отличается вкусным и полезным мясом, которое принадлежит к разряду диетической пищи (Асанов, 2023). Во-вторых, основным кормом для белого толстолобика является фитопланктон, который в избытке присутствует в водохранилищах, вызывая «цветение» воды (Заделенов, Щур, 2009). И в-третьих, является главным биологическим мелиоратором по предотвращению этого «цветения» и оздоровлению водной среды.

Несмотря на столь положительные свойства белого толстолобика не рекомендуют выращивать в 1-2-ой рыбозонах. Отчасти это, правда, поскольку в южных регионах он растет значительно быстрее. В то же время предварительный анализ результатов выпусков белого толстолобика в Горьковское и Чебоксарское водохранилища показал, что данный вид прекрасно рос, набирал массу и был очень востребован у промысловиков.

Целью настоящей работы является подробное рассмотрение эффективности искусственного выпуска двухлетков белого толстолобика, проведенного в 2008 г. в Чебоксарское водохранилище на акватории Нижегородской области. Результаты работы будут способствовать оценке целесообразности искусственных выпусков данного вида в Чебоксарское водохранилище и аналогичные водоемы.

Материалом для начала исследования послужили данные ФБГУ «Главрыбвод» о выпуске двухлетков белого толстолобика в Чебоксарское водохранилище в 2008 г. в границах Нижегородской области. Массовый выпуск данного вида в водохранилище проводился впервые.

Для анализа использовались данные рыбохозяйственного мониторинга, проводимого Нижегородским филиалом ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» и данные промысловой статистики за период 2008-2020 гг.

В ходе исследований по данным научно-исследовательских уловов оценивались в динамике следующие параметры стада белого толстолобика: массовые промеры, индексы численности, линейно-весовой рост, смертность. Кроме этого отслеживалась кормовая база белого толстолобика – биомасса фитопланктона. Всего было проанализировано: 1282 сетепостановки ставных сетей с шагом ячеи от 45 до 90 мм, 189 сетесплавов плавными сетями с шагом ячеи 40-120 мм, 271 траление 18-ти метровым донным тралом с шагом ячеи в кутке 30 мм.

Для определения возраста рыб проводилось обратное расчисление по чешуе (Котляр, 2004).

Методика оценки общей смертности заключалась в построении в пакете Excel кривой улова и аппроксимации её экспоненциальной функцией. Найденное уравнение (1) типа:

$$N_t = N_0 \cdot \exp(-Z \cdot t) \quad (1)$$

содержит параметр  $Z$  – мгновенный коэффициент общей смертности.

Перевод мгновенного коэффициента в годовой осуществлялся по формуле (2):

$$\varphi_Z = 1 - e^{-Z} \quad (2)$$

Осенью 2008 г. с 7 по 30 октября было проведено 8 выпусков двухлетков белого толстолобика общим количеством 152460 экземпляров. Средневзвешенная навеска составляла 155 г при разбросе от 100 до 300 г.

Впервые после выпуска молоди белого толстолобика его экземпляры были обнаружены в 2012 г. Встречаемость вида в научно-исследовательских уловах была в течение периода 2012-2017 гг. Всего было поймано 217 экземпляров толстолобика, из которых 186 были пойманы ставными сетями. Улов на усилие возрастал с 2012 до 2014 г. (возраст 7+), а затем началось его убывание (табл. 1). Уловы в плавные сети и донный трал были незначительные, соответственно 11 и 20 экземпляров.

Таблица 1. Динамика показателей сетных уловов толстолобика в Чебоксарском водохранилище

Год	Возраст	Количество, экз.	Улов на усилие, экз./сеть	Средняя промысловая длина, см	Масса, г
2012	5+	7	0,002	43,0±0,44	1493
2013	6+	98	0,031	45,4±0,53	1751
2014	7+	30	0,082	49,8±1,35	2296
2015	8+	45	0,028	61,8±0,55	4322
2016	9+	2	0,003	66,0±0,00	5241
2017	10+	4	0,001	76,8±1,89	8155

Анализ зависимости длина – масса рыбы показал (рис. 1), что она достоверно описывается функцией

$$W = 0,0244 * L^{2,9304} \quad (3),$$

где  $W$  – масса рыбы в граммах, а  $L$  – промысловая длина в сантиметрах.

Аналогично была найдена зависимость массы рыбы от возраста, которая также хорошо описывается уравнением

$$W = 73,184 * t^{1,9428} \quad (4),$$

где  $W$  – масса рыбы в граммах, а  $t$  – возраст рыбы (годы). Достоверность высокая –  $R^2=0,87$ .

Темп роста белого толстолобика в Чебоксарском водохранилище (2 рыбоводная зона) находится в соответствии с широтным расположением водоема. Массы в 10 кг данный вид набирает в нем в среднем за 12 лет. В условиях 3-й рыбоводной зоны (Пензенская обл.) данный показатель набирается в 10 лет (Асанов, 2023), а в более южных районах (Астраханская обл.) – в 8 лет (Аббакумов, 2017).

Следует отметить, что темп роста белого толстолобика по сравнению с аборигенными видами очень высокий и сравним только с ростом хищных видов – щуки и сома (четвертое звено трофической цепи).

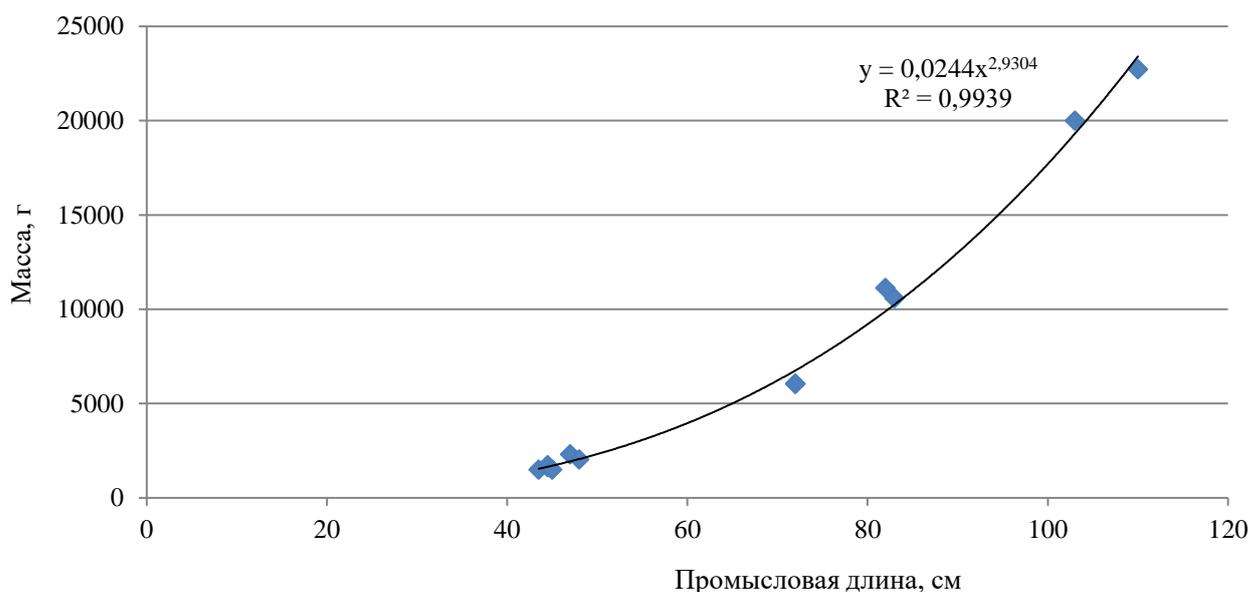


Рисунок 1. Зависимость массы рыбы от промысловой длины белого толстолобика в Чебоксарском водохранилище

По уровню развития кормовой базы, биомассы фитопланктона, Чебоксарское водохранилище является высококормным водоемом, что несколько компенсирует прогреваемость водной среды. Средняя биомасса фитопланктона за исследованный период составила  $5,1 \pm 1,02$  г/м<sup>3</sup>. По современным оценкам приемной емкости водохранилища (рекомендации НижегородНИРО) 10 % от продукции фитопланктона достаточно для получения 400 т рыбной продукции за счет вселения белого толстолобика, что составляет половину от промышленной добычи на водоеме.

С 2018 г. в научно-исследовательских уловах белый толстолобик не регистрировался. В то же время в статистике промышленных уловов он появился в 2015 г. и встречался до 2020 г. (рис. 2).

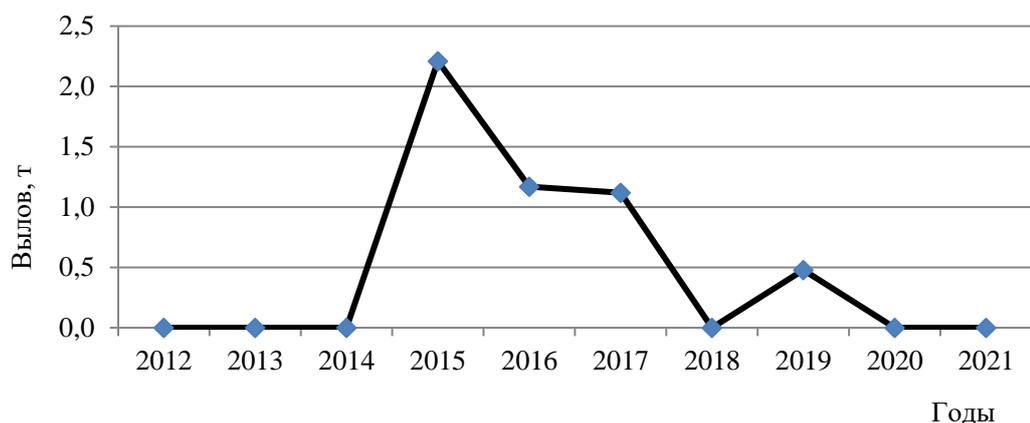


Рисунок 2. Динамика промышленного вылова белого толстолобика на Чебоксарском водохранилище

Всего за указанный период официально добыто 5 т толстолобика. Незначительный улов объясняется несвоевременной разработкой рекомендованного вылова (РВ) на внезапно появившийся объект водных биоресурсов. По всей видимости, толстолобик был в уловах и до 2015 г., когда появился рекомендованный вылов.

Расчет численности стада белого толстолобика по динамике индексов численности в сетных уловах показал, что она должна была быть близкой к нулю уже в 2017 г., что не соответствует действительности. Поэтому для ее расчета был взят метод, основывающийся на промышленном вылове, то есть за реперные точки биомассы запаса были взяты уловы в соответствующие годы (см. рис. 2): 2015, 2016, 2017 и 2019. Так как биомасса не может быть равна улову, иначе была бы выловлена вся рыбы, то показатели реперных уловов были удвоены, то есть принималось допущение о вылове 50 % от имеющегося запаса (табл. 2).

Таблица 2. Динамика биомассы и численности белого толстолобика в Чебоксарском водохранилище

Год	Возраст	Биомасса, т	Масса 1 экз., г	Численность, экз.
2008	1+	23,63	155	152460
2009	2+	19,19	619	31025
2010	3+	14,46	1082	13368
2011	4+	10,90	1287	8464
2012	5+	8,21	1493	5499
2013	6+	6,19	1751	3534
2014	7+	4,66	2296	2031
2015	8+	4,42	4322	1023
2016	9+	2,34	5241	447
2017	10+	2,24	8155	275
2018	11+	1,50	9144	164
2019	12+	0,96	10683	90
2020	13+	0,85	12338	69
2021	14+	0,64	14107	46
2022	15+	0,48	15992	30
2023	16+	0,37	17991	20

Исходная биомасса рыбы при вселении известна. Недостающие биомассы по годам были получены по регрессии экспоненциальной функцией (рис. 3). На следующем этапе по навескам возрастных групп была рассчитана численность этих групп по годам. Оценка общей смертности экспоненциальной функцией показала, что для возрастных групп 1+ –

3+ она составляет 70 % ( $Z = -1.217$ ,  $R^2=0,97$ ), а для последующих – 41 % ( $Z = -0,525$ ,  $R^2=0,99$ ).

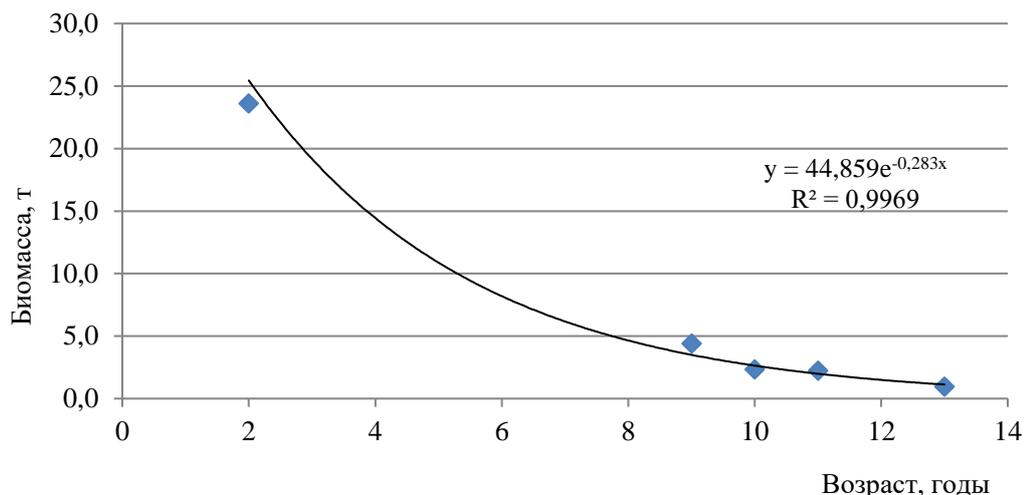


Рисунок 3. Динамика биомассы запаса белого толстолобика на Чебоксарском водохранилище

Таким образом, проведенные исследования показали, что небольшой экспериментальный выпуск двухлеток белого толстолобика в Чебоксарское водохранилище водных биоресурсов ФГБУ «Главрыбвод» должен своевременно согласовываться с научными организациями для своевременной разработки РВ. Кормовая база и условия обитания для белого толстолобика благоприятны, что позволяет его рекомендовать как промысловый объект ВБР. Вселение белого толстолобика в Чебоксарское водохранилище значительно повысит его рыбопродуктивность и окажет благоприятный экологический эффект на водоем.

#### Список литературы

1. Аббакумов В.П. Рыбохозяйственное использование промысловых популяций растительноядных видов рыб в водоемах Волго-Каспийского и Северо-Каспийского рыбохозяйственных подрайонов // Рыбное хозяйство. 2017. № 4. С. 67-71.
2. Асанов А. Ю. Особенности темпа роста толстолобика (*Hypophthalmichthys*) в водоемах Приволжской возвышенности в пределах Пензенской области // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2023. № 1. С. 42-54.
3. Заделенов В.А., Щур Л.А. Влияние рыбы-сестофага белого толстолобика *Hypophthalmichthys molitrix* на состояние фитопланктона в Берешском водохранилище (Красноярский край) // Вестник КрасГАУ. 2009. № 8. С. 89-97.
4. Коровушкин А.А., Бышов Н.В., Борычев С.Н., Лазуткина Л.Н., Нефедова С.А., Кондакова И.А., Богданчиков И.Ю., Правдина Е.Н., Федосова О.А. Перспективы разведения растительноядных рыб // Вестник РГАТУ. 2017. № 4 (36). С. 48-55.
5. Котляр О.А. Методы рыбохозяйственных исследований (ихтиология). Рыбное: 2004. 180 с.
6. Постнов Д.И., Минин А.Е., Клевакин А.А. Динамика рыбных запасов и возможности их освоения на Горьковском и Чебоксарском водохранилищах // Рыбное хозяйство. 2012. №1. С. 60-63.
7. Руководство по биотехнике разведения и выращивания дальневосточных растительноядных рыб. М.: ВНИИПРХ, 2000. 211 с.
8. Шакирова Ф.М., Северов Ю.А., Анохина О.К., Горшков М.А., Валиева Г.Д., Гранин А.В., Ахтямова Р.К. Анализ состояния запасов основных промысловых рыб Куйбышевского водохранилища за период 2000-2018 гг. и эффективность их использования промыслом // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. 2021. № 1. С. 38-50.

## ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРОФНОСТИ В ГОРЬКОВСКОМ И ЧЕБОКСАРСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩАХ

А.Е. Минин\*, Л.М. Минина\*, Р.К. Катаев\*, Д.В. Мушаков\*, Е.А. Фролова\*, Д.А. Журова\*, Т.Р. Самохвалова\*, В.В. Вандышева\*, Е.Л. Воденеева\*\*, Т.В. Лаврова\*\*

\**Нижегородский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («НижегородНИРО»), г. Нижний Новгород, [minin@nizhegorod.vniro.ru](mailto:minin@nizhegorod.vniro.ru), [minina@nizhegorod.vniro.ru](mailto:minina@nizhegorod.vniro.ru), [kataev@nizhegorod.vniro.ru](mailto:kataev@nizhegorod.vniro.ru), [mushakov@nizhegorod.vniro.ru](mailto:mushakov@nizhegorod.vniro.ru), [frolova@nizhegorod.vniro.ru](mailto:frolova@nizhegorod.vniro.ru), [gurova@nizhegorod.vniro.ru](mailto:gurova@nizhegorod.vniro.ru), [tr.sam@list.ru](mailto:tr.sam@list.ru), [vandisheva@nizhegorod.vniro.ru](mailto:vandisheva@nizhegorod.vniro.ru)*

\*\**Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, институт биологии и биомедицины, г. Нижний Новгород, [vodeneeva@mail.ru](mailto:vodeneeva@mail.ru), [tlav@mail.ru](mailto:tlav@mail.ru)*

Аннотация: впервые для Горьковского и Чебоксарского водохранилищ проанализирована пространственная изменчивость совокупности параметров биопродуктивности. Комплексная оценка трофности проводилась по индексам, вычисленным путем суммирования для каждого отдела водохранилища условных баллов по типам трофности.

Ключевые слова: трофность, Горьковское водохранилище, Чебоксарское водохранилище, хлорофилл *a*, фитопланктон, зоопланктон, зообентос, биомасса рыб

Состояние биопродуктивности водохранилищ является важнейшим фактором, учитываемым при разработке прогнозных показателей вылова водных биоресурсов. Оценка трофности водоёмов традиционно производится с помощью нескольких индексов по отдельности или путём расчёта их суммарной оценки (Поддубный и др., 1990; Моисеенко и др., 2006). В то же время работ, в которых описываются закономерности распределения всего комплекса показателей биопродуктивности по акватории водохранилищ, сравнительно немного, а для Горьковского и Чебоксарского водохранилищ их нет вовсе. Целью работы является выявление особенностей пространственного распределения биологических показателей трофности Горьковского и Чебоксарского водохранилищ.

Материал собирался в период с 2015 по 2022 гг. Отбор проб воды на анализ фотосинтетических пигментов фитопланктона осуществляли в поверхностном горизонте воды, для определения хлорофилла «*a*» (Хл *a*) использовали спектрофотометрический метод (Lorenzen, 1967), общее количество исходных данных составило 346 проб. Отбор проб фитопланктона проводили с поверхностного горизонта, всего обработано 372 пробы. Сбор проб зоопланктона выполняли согласно стандартным методикам с использованием планктонной сети Джели путем вертикального траления, общим количеством 283 пробы. Отбор проб организмов зообентоса осуществляли с помощью дночерпателей с площадью захвата 0,1-0,25 м<sup>2</sup>, всего отобрано 473 пробы. Обработку гидробиологического материала проводили в соответствии с общепринятыми методиками (Методика..., 1975; Медников, Старобогатов, 1961; Методические..., 1984). Ихтиологический материал собирали в процессе траловых и неводных съёмов в соответствии со стандартными методами (Котляр, 2004; Сечин, 2010). Всего проведено 210 притонений мальковой волокушей, 122 мальковым неводом, 412 тралений пелагическим и 203 донным тралом. Биомассу рыб вычисляли умножением средней численности на средневзвешенную массу одной особи данного вида.

Для каждого из отделов водохранилищ определяли среднемноголетнее значение трофности по отдельному параметру. В целях комплексного анализа трофности выполняли нормирование среднемноголетних показателей путём присвоения условных баллов на основе шкал С. П. Китаева (2007) и Г. П. Руденко (2014) (табл. 1). Далее суммировали

полученные баллы, получая общую оценку продуктивности для каждого из отделов водохранилищ.

Таблица 1. Нормирование признаков трофности

Классы биологических показателей (Китаев, 2007)					Классы рыбопродуктивности (Руденко, 2014)		Баллы
Трофность водоёма	Концентрация хлорофилла <i>a</i> , мг/м <sup>3</sup>	Биомасса фитопланктона, г/м <sup>3</sup>	Биомасса зоопланктона, г/м <sup>3</sup>	Биомасса зообентоса, г/м <sup>2</sup>	Трофность водоёма	Ихтиомасса, кг/га	
α-олиготрофный (очень низкий)	< 1,5	< 0,5	< 0,5	< 1,25	олиготрофный с признаками дистрофии	28-65	1
β-олиготрофный (низкий)	1,5-3	0,5-1	0,5-1	1,25-2,5	олиготрофный с признаками мезотрофии	66-86	2
α-мезотрофный (умеренный)	3-6	1-2	1-2	2,5-5	мезотрофный	87-150	3
β-мезотрофный (средний)	6-12	2-4	2-4	5-10	мезотрофный с признаками эвтрофии	151-204	4
α-эвтрофный (повышенный)	12-24	4-8	4-8	10-20	эвтрофный с признаками дистрофии	205-249	5
β-эвтрофный (высокий)	24-48	8-16	8-16	20-40	эвтрофный	250-269	6
гипертрофный (очень высокий)	> 48	> 16	> 16	> 40	эвтрофный с признаками гипертрофии	270-348	7

В целом практически все рассматриваемые показатели биологической продуктивности обоих водохранилищ повышаются от верхних отделов к нижним, но снижаются в приплотинном отделе (табл. 2, рис.). Сходные явления были выявлены и для многих других равнинных водохранилищ (Рахуба, Тихонова, 2017; Базаров, 2018; Герасимов, 2018; Козлов, Вершинина, 2019; Крылов и др., 2019).

Таблица 2 – Среднемноголетние значения (2015-2022 гг.) показателей трофности Горьковского и Чебоксарского водохранилищ

Отдел	Концентрация <i>Хл a</i> , мг/м <sup>3</sup>	Биомасса фитопланктона, г/м <sup>3</sup>	Биомасса зоопланктона, г/м <sup>3</sup>	Биомасса бентоса, г/м <sup>2</sup>	Биомасса рыб, кг/га
Горьковское водохранилище					
Верхнеречной	11,0	3,0	0,5	29,0	62,6
Костромской разлив	21,4	4,5	1,8	20,9	60,6
Среднеречной	18,1	2,4	0,7	23,4	94,5
Озерный	24,8	5,7	1,4	10,6	107,0
Приплотинный	21,2	6,1	1,6	15,9	83,6
Среднее по водохранилищу	19,3	4,3	1,2	20,0	81,7
Чебоксарское водохранилище					
Верхнеречной	14,5	3,4	0,7	16,0	57,7
Окский отрог	62,4	11,1	0,3	180,7	143,3

Отдел	Концентрация $Хл\ a$ , мг/м <sup>3</sup>	Биомасса фитопланктона, г/м <sup>3</sup>	Биомасса зоопланктона, г/м <sup>3</sup>	Биомасса бентоса, г/м <sup>2</sup>	Биомасса рыб, кг/га
Среднеречной	27,8	9,3	0,6	53,0	103,3
Озерный	14,9	4,9	0,9	47,2	118,7
Приплотинный	13,8	5,0	0,9	69,6	80,5
Среднее по водохранилищу	26,7	6,7	0,7	73,3	100,7

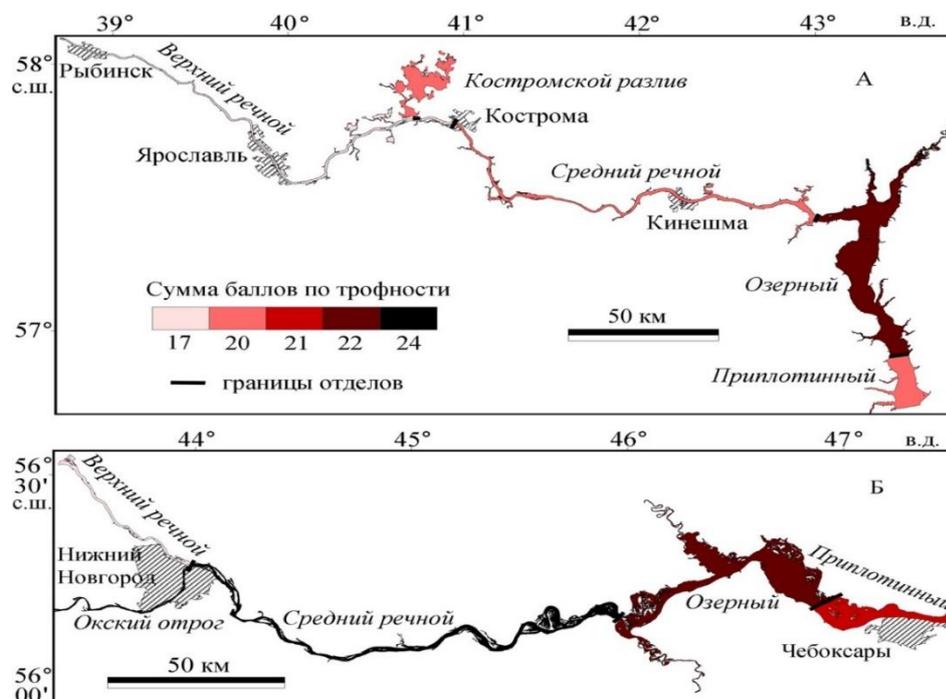


Рисунок. Интегральная оценка трофности отделов Горьковского (А) и Чебоксарского (Б) водохранилищ по сумме баллов. Отделы подписаны курсивом

Как и в других водохранилищах (Биологические..., 1984), гидрологические условия являются определяющими в распределении продуктивности участков рассматриваемых водохранилищ. В связи с сохранением лотических условий, верхнеречной и среднеречной участки являются транзитными для первичной продукции – происходит перенос органических веществ в нижние по течению участки. Влияние подпора плотины и последующее замедление течения на озерном участке обуславливает концентрирование продукции. Причиной снижения трофности в приплотинных отделах являются их большие глубины.

Помимо этого, Чебоксарское водохранилище имеет особенности распределения продукции, обусловленные притоком высокопродуктивных водных масс р. Ока. Так, наиболее продуктивными являются Окский отрог, оказывающий влияние и на средний речной отдел.

Комплексное изучение биопродукционных особенностей водохранилищ позволило получить информацию о зонах с высокой продуктивностью. Чебоксарское водохранилище в целом по биологической продуктивности является более производительным, чем Горьковское.

#### Список литературы

1. Базаров М.И. Плотность и видовое разнообразие рыбного населения Угличского водохранилища по данным тралово-акустической съёмки // Волга и ее жизнь: сборник тезисов докладов Всероссийской конференции / Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН / Борок, 22-26 октября 2018 г. Ярославль: Филигрань, 2018. С. 6.

2. Биологические ресурсы водохранилищ. М.: Наука, 1984. 278 с.
3. Герасимов Ю.В., Малин М.И., Соломатин Ю.И., Базаров М.И., Бражник С.Ю. Распределение и структура рыбного населения в водохранилищах Волжского каскада в 1980-е и 2010-е гг. // Труды ИБВВ РАН. 2018. Вып. 82(85). С. 82-106. DOI: 10.24411/0320-3557-2018-1-0014.
4. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.
5. Козлов А.В., Вершинина И.В. Применение гидробиологических показателей для оценки экологического состояния крупных водоемов (на примере Чебоксарского водохранилища) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 11. С. 15-20.
6. Котляр О.А. Методы рыбохозяйственных исследований (ихтиология). Рыбное, 2004. 180 с.
7. Крылов А.В., Мэндсайхан Б., Аюушсурен Ч., Цветков А.И. Зоопланктон русловых участков разнотипных водохранилищ аридной зоны: влияние уровня режима и метеорологических условий // Трансформация экосистем. 2019. №2 (1). С. 59-74. DOI: 10.23859/estr-180325.
8. Медников Б.М., Старобогатов Я.И. Рэндом-камера для подсчета мелких биологических объектов // Труды ВГБО. 1961. Вып. 11. С. 426-428.
9. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 239 с.
10. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах: Зообентос и его продукция / под ред. Салазкина А.А., Алимова А.Ф., Финогенова Н.П. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 52 с.
11. Моисеенко Т.И., Гапеева М.В., Рогов А.В. Оценка биопродуктивности водоемов с помощью ГИС // Сделано в России. 2006. Т. 114. С. 1080-1085. Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relam.ru/articles/2006/114.pdf>. (дата обращения: 15.09.2023).
12. Поддубный А.Г., Баканов А.И., Сметанин М.М., Терещенко В.Г., Широков С.В. Опыт экологического районирования Рыбинского водохранилища // Экологическое районирование пресноводных водоемов. Рыбинск, 1990. С. 83-144.
13. Рахуба А.В., Тихонова Л.Г. Пространственная оценка трофических характеристик Куйбышевского водохранилища // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2017. Т. 26. №1. С. 15-20.
14. Сечин Ю.Т. Биоресурсные исследования на внутренних водоемах. Калуга, 2010. 204 с.
15. Lorenzen C.J. Determination of chlorophyll and pheopigments: Spectrophotometric equations // Limnol. Oceanogr. 1967. Vol. 12. №2. Pp. 343-346.

## ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КОЛЛЕКЦИЯ ГОСНИОРХ. ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ВЕДЕНИЕ БАЗЫ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

Д.К. Митрюшкина, М.Н. Киселева, О.В. Апаликова

*Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, [Mitryushkina@niorh.vniro.ru](mailto:Mitryushkina@niorh.vniro.ru)*

*Аннотация: сохранение генетических ресурсов животных и устойчивое управление ими имеет решающее значение для глобального сохранения биоразнообразия, продовольственной безопасности и средств к существованию населения. Генетические коллекции способствуют более глубокому и тщательному изучению популяций. Перспективной системой маркирования видов рыб из природных популяций и одомашненных стад, является их генетические характеристики.*

Ключевые слова: генетическая коллекция, ДНК-маркеры, восстановление, сохранение популяции

Рыболовство и рыбоводство – одни из древнейших форм хозяйственной деятельности человека – по мере роста масштабов технического прогресса к настоящему времени столкнулись с последствиями изменения популяционно-генетической структуры объектов промысла, снижением их численности, а в некоторых случаях и с полным исчезновением популяций. Отметим, как одну из наиболее актуальных к настоящему моменту задач, сохранение генетического материала для восстановления популяций водных биоресурсов, численность и генетическое разнообразие которых снижаются с каждым годом. В последние десятилетия произошло резкое сокращение запасов ценных видов рыб, многие из которых являются эндемиками внутренних водоемов России и оцениваются как ее национальное достояние.

Для поиска подходов к их решению в 1977 г. в ФГБУ «ЦУРЭН» («Центральное управление по рыбохозяйственной экспертизе и нормативам по сохранению, воспроизводству водных биологических ресурсов и акклиматизации») был образован научно-консультативный совет (НКС) по генетике и селекции рыб. Среди главных направлений НКС были определены: организация селекционно-племенной работы в стране; развитие популяционной генетики, генетический мониторинг и сохранение генетических ресурсов; частная генетика рыб и кариология, включая формирование живых коллекций и создание криобанков геномов гидробионтов; молекулярная генетика и молекулярно-генетическая паспортизация, хромосомная и генная инженерия и др (Дубина и др., 2017).

В 2002 г. НКС по генетике и селекции рыб участвовал в подготовке слушаний в Комитете по экологии Государственной Думы по вопросу сохранения генофонда растений и животных, результатом которых было принятие поправки в ст. 60 Федерального закона «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ.

Формирование и поддержание генетических коллекций, как правило, осуществляется в государственных селекционно-генетических центрах и институтах соответствующих направлений (например, ВИР, ВНИИГРЖ РАН и т.д.), а также федеральных университетах.

Различные типы антропогенных воздействий привели не только к снижению численности и продуктивных качеств рыб, но и к разрушению генетической структуры популяций - потере оптимального уровня генетического разнообразия, которое является одним из важнейших условий поддержания численности природных популяций и успеха разведения культивируемых видов (Convention on Biological..., 1998).

Для стремительно развивающейся рыбохозяйственной отрасли особенно значимо создание генетических коллекций водных биоресурсов.

Классическое определение *генетической коллекции* — это совокупность форм какого-либо вида, которые характеризуются наследственными различиями по одному или нескольким признакам.

Целям искусственного воспроизводства водных биоресурсов Северо-Западного региона России служит генетическая коллекция, сформированная в Санкт-Петербургском филиале ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга») и включает в себя, главным образом, образцы тканей промысловых видов рыб Северо-Западного региона России, а также Сибири.

Коллекция насчитывает более двух тысяч проб, как образцов от диких рыб, так и образцы ткани рыб из аквакультуры. Коллекция включает выборки *C. lavaretus*, *C. muksun*, *C. peled*, *C. albula*, *C. nasus*, *C. sardinella*, *S. alpinus*, *S. l. nelma*, *S. trutta*, *Clupea harengus membras* из водоемов оз. Ладожское, оз. Онежское, оз. Ковжское, Финский залив, реки Обь, Лена, Собь и др.

Для каждого образца ткани, поступившего в коллекцию сопроводительная информация о видовой принадлежности, месте и дате отбора проб. Сопроводительный лист может быть, как в бумажном, так и в электронном виде. Вся информация определяет ценность коллекционного образца, поэтому она должна быть наиболее полной и подробной. В самой лаборатории все имеющиеся данные структурируются и оформляются в таблицу, в который так же указывается дата поступления проб и примечания, по которым быстро и легко будет проведена дальнейшая работа с образцом.

Формирование базы генетических данных образцов генетической коллекции водных биоресурсов происходит следующим образом (рис. 1).



Рисунок 1. Этапы формирования базы генетических данных

Для получения генетических данных в настоящее время используются такие молекулярно-генетические маркеры, как PCR-RFLP (Polymerase Chain Reaction – Restriction Fragment Length Polymorphic DNA, ПЦР-ПДРФ), SCoT (Start Codon targeting), полные нуклеотидные последовательности митохондриальных и ядерных генов.

PCR-RFLP включает в себя основные ключевые моменты: многократное умножение малых концентраций определенных фрагментов ДНК в биологическом материале (PCR) и ферментативное «разрезание» амплифицированных участков в полимеразной цепной реакции, по специфичным последовательностям – сайтам рестрикции (RFLP) (рис.2). Выявляемый полиморфизм обусловлен нуклеотидными различиями в сайтах рестрикции. Различия в размерах фрагментов – продуктов рестрикции выявляются с помощью гель-электрофореза. Учитывая данные по всем использованным рестриктазам, как, например, *AluI*, *ApaI*, *BmeI8I*, *Kzo9I*, можно выстроить филогению комплексных гаплотипов исследованных образцов. Данный метод достаточно информативен для получения генетических данных благодаря свойствам мтДНК: её кольцевая структура обеспечивает устойчивость, лучше сохраняется; её в клетке много; большая многокопийность; полиморфная молекула, высокая скорость накопления мутаций; передается по материнской линии.

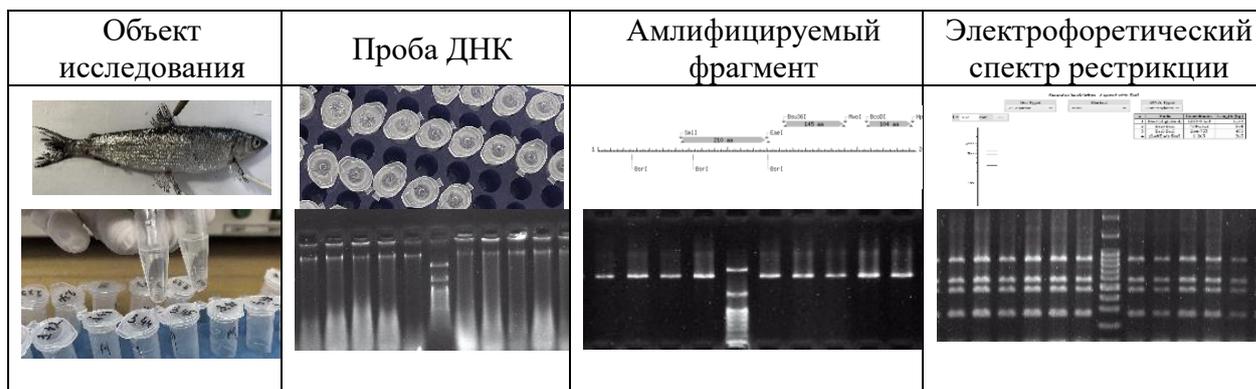


Рисунок 2. Этапы исследования мтДНК, примеры электрофоретических спектров

SCoT-маркеры, основанные на амплификации последовательностей, содержащих стартовый кодон ATG (кодирующий метионин, или кодон начала трансляции). Данная система маркеров была создана для исследований внутривидового полиморфизма сельскохозяйственных культур в селекционных целях (Collard, Mackill, 2009). Благодаря включению ATG как одной из частей функционального гена в состав ПЦР продуктов, генерируемых методом SCoT-маркеров, предполагается существование корреляции между ПЦР-продуктами и функциональными генами, а также соответствующими им признаками (Collard, Mackill, 2009). SCoT-маркеры являются доминантными показателями. Этот метод показал воспроизводимые достоверные результаты в исследованиях, изучающих генетические взаимосвязи видов растений и животных (Cong Luo at al, 2010; Gorji at al, 2011; Al-Soudy at al, 2018).

Для молекулярно-генетической дифференцировки эволюционно близких видов сиговых рыб – ряпушки европейская и сибирская; муксун и пыжьян исследуются участки ядерного генома. В настоящее время активно проводятся исследования в этом направлении, в результате которых будут получены данные для комплекса рибосомальных генов, включая ITS1, муксуна и пыжьяна.

База генетических данных по отдельным выборкам ведется в электронном виде и включает индивидуальные характеристики для каждой исследованной пробы (рис.3).

№ пп	№ выборки	проба	вид	ND5-ND6 mtDNA													ГПТ цветом
				<i>Ava</i> II <i>Bme</i> 18I	<i>Bsp</i> 1286I <i>Mil</i> 1	<i>Bsr</i> 1 <i>Bse</i> II	<i>Bst</i> NI <i>Mva</i> I	<i>Mbo</i> I <i>Kzo</i> 9I	<i>Dra</i> I	<i>Fok</i> I	<i>Hinf</i> I	<i>Msp</i> I	<i>Nci</i> I <i>Asu</i> C2I	<i>Ple</i> I <i>Pps</i> I	<i>Rsa</i> I	<i>Sau</i> 96I <i>Asp</i> S9I	
1	70 C	Shn32	<i>S.leucichthys nelma</i>	A	A	A	A	B	A	A	B	A	A	A	A	A	♂
2		Shn33	<i>S.leucichthys nelma</i>	A	A	A	A	B	A	A	B	A	A	A	A	A	♂
3		Shn34	<i>S.leucichthys nelma</i>	A	A	A	A	B	A	A	B	A	A	A	A	A	♀
4		Shn35	<i>S.leucichthys nelma</i>	A	A	A	A	B	A	A	B	A	A	A	A	A	♂
5		Shn36	<i>S.leucichthys nelma</i>	A	A	A	A	B	A	A	B	A	A	A	A	A	♂
6		Shn37	<i>S.leucichthys nelma</i>	A	A	A	A	B	A	A	B	A	A	A	A	A	♂
7		Shn38	<i>S.leucichthys nelma</i>	A	A	A	A	B	A	A	B	A	A	A	A	A	♀
8		Shn40	<i>S.leucichthys nelma</i>	A	A	A	A	B	A	A	B	A	A	A	A	A	♀
9		Shn41	<i>S.leucichthys nelma</i>	A	A	A	A	B	A	A	B	A	A	A	A	A	♂

Рисунок 3. Часть таблицы с комплексными гаплотипами, полученными методом PCR-RFLP

Поддержание и пополнение генетической коллекции образцов водных биоресурсов синхронизировано с ведением базы генетических данных коллекционных проб, структура которой была разработана авторами для фиксации полученных данных и будет совершенствоваться по мере использования дополнительных маркерных систем.

Таким образом генетические коллекции являются необходимой научной составляющей любой отрасли сельского хозяйства, служат материальной базой для расширения знаний о наследственной изменчивости, норме реакции отдельных генотипов с целью совершенствования селекции значимых для развития сельского хозяйства объектов. Сравнительный анализ генетической структуры природных и искусственно

созданных популяций наиболее ценных промысловых видов рыб на основе характеристик, имеющихся в базах генетических данных, является современным инструментом оценки эффективности методов искусственного воспроизводства, предназначенных для пополнения природных популяций и позволяет определять стратегию восстановления природных популяций водных биоресурсов.

#### Список литературы

1. Дубинина В.Г., Алексеев А.П., Ананьев В.И. [и др.] Межведомственная ихтиологическая комиссия: история, деятельность, результаты и бездумное её разрушение // Экосистемы: экология и динамика. 2017. Т. 1, № 4. С. 101-171.
2. Федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ (ред. от 10.07.2023). «Об охране окружающей среды». Первое официальное опубликование: «Российская газета». № 6. 12.01.2002 Шифр: 7-ФЗ. Действует с 12.01.2002.
3. Al-Soudy A, El-Sayed A, El-Itriby HA, Hussein EHA. Assessment of the Genetic Diversity, Breeds Structure and Genetic Relationships in Four Egyptian Camel Breeds using Microsatellite and Start Codon Targeted (SCoT) Markers // J. Biodivers Endanger Species. 2018. Vol. 6.
4. Collard, B.C.Y. Mackill, D.J. Start Codon Targeted (SCoT) polymorphism: A simple novel DNA marker technique for generating gene-targeted markers in plants // Plant Molecular Biology 2009. Vol. 27. P. 86-93.
5. Cong Luo, Xin-Hua He, Hu Chen [et al.] Analysis of diversity and relationships among mango cultivars using Start Codon Targeted (SCoT) markers // Biochem Syst Ecol. 2010. Vol. 38. P. 1176-1184.
6. Convension on Biological Diversity // Biol. Intern. 1992. Vol. 25. P. 22-39.
7. Gorji A.M., Poczai P., Polgar Z., Taller J. Efficiency of arbitrarily amplified dominant markers (SCoT, ISSR and RAPD) for diagnostic fingerprinting in tetraploid potato // Am. J. Pot Res. 2011. Vol. 88. P. 226-237.

## О РАСПРОСТРАНЕНИИ ТРОСТНИКА ВЫСОЧАЙШЕГО (*PHRAGMITES ALTISSIMUS* (BENTH.) MABILLE) В МЕЛКОВОДНОЙ ЗОНЕ ЧУДСКО-ПСКОВСКОГО ОЗЕРА

К.Б. Михайлова

Псковский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПсковНИРО»),  
г. Псков, [kristina.pismo@yandex.ru](mailto:kristina.pismo@yandex.ru)

Аннотация: рассматриваются особенности распространения инвазивного вида *Phragmites altissimus* (Benth.) Mabilille на мелководьях Чудско-Псковского озера (российская сторона). Проанализированы основные морфометрические параметры побегов тростника высочайшего в Псковском и Чудском озёрах за период с 2019 по 2023 гг. Данный вид в условиях изучаемой территории проходит полный жизненный цикл, формирует соцветия, развитые плоды, вытесняет виды местной флоры, имеет явную тенденцию к расширению популяций.

Ключевые слова: *Phragmites altissimus*, инвазивный вид, Чудско-Псковское озеро, мелководная зона

В настоящее время изучение эколого-биологических особенностей адвентивных видов в зоне инвазии относится к первоочередным задачам ботанико-экологических исследований. Изучение закономерностей адаптационных механизмов инвазионных видов к новым условиям обитания дают возможность прогнозирования распространения и осуществления контроля численности (Виноградова и др., 2013; Борисова, Шилов, 2017).

Из 20 видов, относящихся к роду *Phragmites* Adans, на территории России встречаются 7 видов (Цвелёв, Пробатова, 2019), среди которых *Ph. altissimus* (Benth.) Mabilille, видовая самостоятельность которого недавно доказана с помощью молекулярно-филогенетических методов анализа (Носов и др., 2020). Тростник высочайший обладает высокой инвазивностью, наблюдаемой за последнее время в северной Евразии, прежде всего в лесной зоне России, где он считается адвентивным видом (Цвелёв, 2011).

С начала 1990-х гг. этот североафриканско-евразийский вид стал распространяться на север, поднимаясь с юга по Дону и Волге (Parchenkov, 2001), продвигаясь по сырым местообитаниям вдоль железных дорог, расселяясь по побережью Балтийского моря (Папченков, 2008).

Трансграничный Чудско-Псковский озёрный комплекс – четвёртый по величине занимаемой площади (3555 км<sup>2</sup>) пресноводный водоём Европы, расположенный на границе между Россией и Эстонией, относящийся к бассейну Финского залива Балтийского моря. Водоём состоит из трёх частей (озёр), различающихся по ряду лимнологических показателей: северной – Чудского озера (площадь 2611 км<sup>2</sup>; средняя глубина 8,3 м); южной – Псковского озера (708 км<sup>2</sup>; 3,8 м) и соединяющего их пролива – Тёплого озера (236 км<sup>2</sup>; 2,5 м) (Гидрометеорологический режим..., 1983). По содержанию фосфора Псковское озеро относится к гипертрофным водоёмам, Чудское озеро по этому показателю считается эвтрофным, а Тёплое озеро занимает промежуточное положение (Кондратьев и др., 2010). Для Чудско-Псковского водоёма характерны ежегодные колебания уровня воды (Псковско-Чудское озеро, 2012).

Основная роль в зарастании мелководных побережий Чудско-Псковского озера среди гелофитов принадлежит *Phragmites australis* (Cav.) Trin. et Steud. В настоящее время заросли тростника южного в Псковском, Тёплом и южной части Чудского распространены вдоль всей береговой линии, а также окружают многочисленные острова. Нет сплошных зарослей на восточном побережье и в северной части Чудского озера (рис. 1.). Здесь тростник располагается вдоль берега только отдельными куртинами. Ширина зарослей колеблется от 50 до 1000 м (чаще всего 150-300 м) и зависит, в первую очередь, от ширины

отмели. Глубина, на которой встречается в озере тростник, изменяется от 0,05 до 1,6 м (Судницына и др., 2009).

Максимальную высоту генеративного побега тростника (4,70 м) эстонские ботаники обнаружили на западном берегу Чудского озера в 2001 г. у дер. Меэрапалу, а вегетативного побега (3.95 см) в том же году у дер. Laossina на западном берегу Псковского озера (Freiberg L., 2007). Возможно, это были первые находки на водоёме инвазийного вида тростника высочайшего.

Впервые для Псковской области данный вид приводится Г.Ю. Конечной (2014). Цель работы заключалась в изучении особенностей морфологического строения *Ph. altissimus* в мелководной зоне Чудско-Псковского озёрного комплекса (русская сторона).

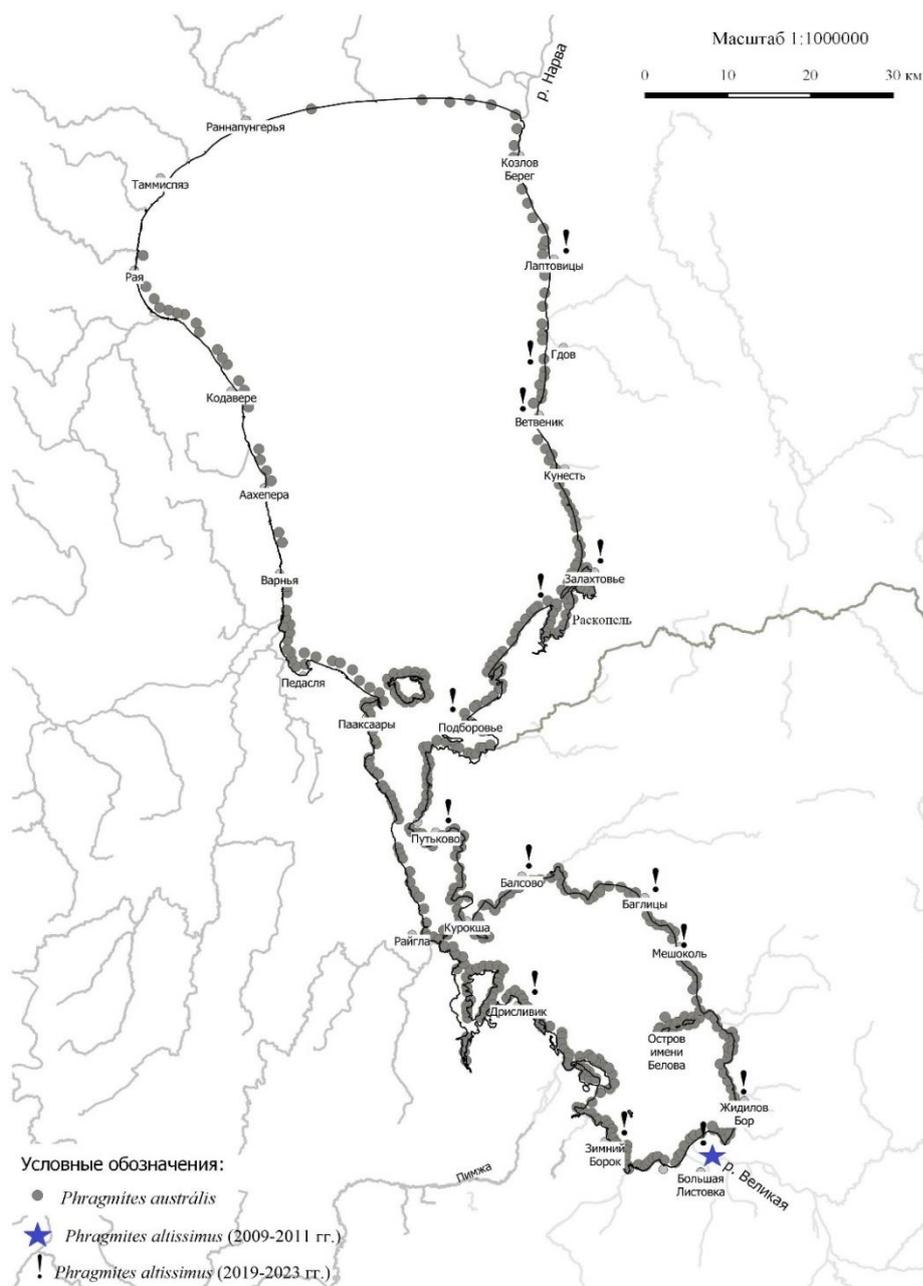


Рисунок 1 – Картосхема расположения стационарных станций мониторинга макрофитов, схема зарастания Чудско-Псковского озера тростником южным и тростником высочайшим

Исследование популяций тростника на российской стороне Чудско-Псковского озера проводилось в рамках мониторинга высшей водной растительности в период с 2007 по 2023 гг. в конце июля – начале августа на 18 стационарных станциях-трансектах (10

станций в Псковском озере и 8 – в Чудском) (рис. 1). Станции располагаются на двух основных типах мелководий – прибрежные открытые мелководья (12 станций) и прибрежные защищённые мелководья (6 станций) (Поддубный, 2013). В монодоминантных зарослях тростника проводили отбор укосов с помощью стандартной учётной рамки площадью 0.25 м<sup>2</sup>. В лабораторных условиях были выполнены определения фитомассы (абсолютно-сухой вес), числа побегов, длины надземной части побегов и диаметра побегов в самом толстом месте нижнего междоузлия. Расчёты статистических показателей проводились с использованием программы Excel 2013 и BioStat v5.

Впервые *Ph. altissimus* был отмечен в 2009 г. на сухом берегу в дельте р. Великой (станция Большая Листовка). Была обнаружена небольшая (2 м × 3 м) группа растений с широкими листьями и хорошо развитыми метёлками. По литературным данным, в условиях Европейской России тростник высочайший не формирует генеративных органов и размножается только вегетативным путём (Капитонова, Дюкина, 2005; Швецов и др., 2007; Папченков, 2008 и др.). В 2011 г. «пятно» тростника увеличилось в размерах и продвинулось в сторону открытой воды, а в 2016 г. оно находилось на глубине 0,6 м. В 2019 г. тростник высочайший был обнаружен на многих станциях мониторинга как в Псковском, так и Чудском озере (Талабск, Видовичи, Лаптовицы, Раскопел и др.) Он хорошо отличается от тростника обыкновенного не столько большей высотой и шириной листьев, сколько верхушкой побегов (рис. 2).



Рисунок 2. Соцветия тростника высочайшего (слева) и южного (справа) на станции Дрисливик (Псковское озеро).

Его метёлка, более крупная (20-40 см) и густая, имеет светлую окраску и всегда направлена вверх. Кроме того, она формируется раньше, чем у тростника обыкновенного.

Хотя, по литературным данным сообщества этих видов не смешиваются и конкурентные отношения не обнаруживаются, но, как справедливо заявляет В. Г. Папченков (2008), «это, скорее всего, явление временное, и после периода адаптации более мощный вегетативно размножающийся вид может потеснить местный тростник». Так, в 2023 г. *Ph. altissimus* был отмечен уже на всех станциях мониторинга, и почти на всех образовывал густые монодоминантные заросли, вытеснив сообщества тростника южного и камыша озёрного (рис. 1).

Морфометрические параметры исследованных растений приведены в табл.

Следует отметить, что диагностическими признаками, отличающими тростник высочайший от тростника южного, кроме структурных особенностей соцветия, высоты побега более 4 м, является ширина листа, достигающая 5 см. Листья шириной 5 см и более (максимальное значение 54,6 см) мы обнаружили неоднократно, а максимальная высота побегов составила 427 см. Исследователи отмечают, что этот вид в условиях вторичного ареала обычно не достигает нормальных размеров (Капитонова и др. 2020).

Таблица. Морфометрические показатели генеративных побегов популяции *Phragmites altissimus* на станциях мониторинга на Чудско-Псковском озере (2019-2023 гг.)

Название признака	Псковское озеро	Чудское озеро
Высота, м	$\frac{3,49 \pm 0,15}{2,86 - 4,27}$	$\frac{3,29 \pm 0,11}{2,78 - 3,71}$
Длина соцветий, см	$\frac{28,8 \pm 1,7}{23 - 34}$	$\frac{28,5 \pm 1,1}{25 - 32}$
Диаметр стебля, мм	$\frac{11,6 \pm 0,46}{10,1 - 12,7}$	$\frac{11,6 \pm 0,39}{10,6 - 12,8}$
Ширина листьев, мм	$\frac{48,4 \pm 0,51}{37,4 - 54,6}$	$\frac{45,5 \pm 0,90}{37,8 - 52,3}$

Таким образом, *Ph. altissimus* в условиях изучаемой мелководной зоны Чудско-Псковского озёрного комплекса имеет выраженную тенденцию к расширению популяций и дальнейшему распространению по территории. Он благополучно проходит полный жизненный цикл, формирует хорошо развитые соцветия, плоды, быстро размножается вегетативным путём.

Требуется дальнейший мониторинг популяций тростника высочайшего на территории Чудско-Псковского водоёма и изучение конкурентных отношений с местными видами.

#### Список литературы

1. Борисова Е.А., Шилов М.П. Тростник высочайший (*Phragmites altissimus* (Benth.) Mabilie в Ивановской области // Российский журнал биологических инвазий. 2017. № 4. С. 18-27.
2. Виноградова Ю.К., Галкина М.А., Майоров С.Р. Изменчивость таксонов рода *Bidens* L. и проблемы гибридизации // Российский журнал биологических инвазий. 2013. № 4. С. 2-15.
3. Гидрометеорологический режим озёр и водохранилищ СССР. Чудско-Псковское озеро. ред. А. А. Соколова. Л. Гидрометиздат. 1983. 162 с.
4. Капитонова О.А., Платунова Г.Р., Беляков Е.А. К морфологии *Phragmites altissimus* (Benth.) Nabile (Poaceae) // Гидробиотика 2020 : Материалы международной конференции по водным макрофитам (Борок, Россия, 17-21 октября 2020 г.). Ярославль: Филигрань, 2020. С. 70-71.
5. Капитонова О.Н., Дюкина А.Р. О новой находке тростника высочайшего (*Phragmites altissimus*) в Удмуртии // Вестник Удмуртского ун-та. 2005. № 10. С. 126-128.
6. Кондратьев С.А., Голосов С.Д., Зверев И.С., Рябченко В. А., Дворников А.Ю. Моделирование абиотических процессов в системе водосбор – водоём на примере Чудско-Псковского озера. СПб., 2010. 102 с.
7. Конечная Г.Ю. Итоги ботанических работ 2014 года в национальном парке «Себежский» // Проблемы устойчивости эколого-хозяйственных и социально-культурных систем трансграничных регионов : Материалы междунар. науч.-практич. конф., 20-21 октября 2014 г. Псков, 2014. С. 264-265.
8. Носов Н.Н., Гнутиков А.А., Пунина Е.О., Мачс Э.М., Конечная Г.Ю., Родионов А.В. О различии видов тростника (*Phragmites*, Poaceae) по молекулярно-филогенетическим данным // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2020. Т. 19, № 1. С. 8-13.
9. Папченков В.Г. О распространении *Phragmites altissimus* (Benth.) Nabile (Poaceae) // Российский Журнал Биологических Инвазий. 2008. № 1. С 36-41.
10. Поддубный С.А. Защищённые мелководья Верхневолжских водохранилищ и их экологическое значение // Вода, химия и экология. 2013. № 11. С. 35-40.

11. Псковско-Чудское озеро / Науч. ред.: Т. Тимм, А. Раукас, Ю. Хаберман, А. Яани. Тарту, «Eesti Loodusfoto», 2012. 472 с.
12. Судницына Д.Н., Мельник М.М., Борисов В.В. Роль тростника в зарастании береговой зоны Чудско-Псковского озера // Псковский регионолог. журн. 2009. № 7. С. 71-79.
13. Цвелёв Н.Н. О родах тростник (*Phragmites* Adans.) и змеевка (*Cleistogenes* Keng) семейства злаков (Poaceae) в России // Новости сист. высш. раст. Т. 43. СПб.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. С. 30-40.
14. Цвелёв Н.Н., Пробатова Н.С. Злаки России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2019. 646 с.
15. Швецов А.Н., Щербаков А.В., Крылов А.В. *Phragmites altissimus* (Benth.) Nabile (Gramineae) в бассейне Верхней Оки // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2007. Т. 112, вып. 3. С. 67-68
16. Freiberg L. Pilliroo *Phragmites australis* levik ja omadused Peipsi järves / Masters thesis. Tartu, Limnoloogiakeskus. 2007, 79 p.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ (ДЗЗ) ПРИ ИЗУЧЕНИИ НЕРЕСТИЛИЩ ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ

С.Г. Михалап

*Псковский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПсковНИРО»), г. Псков, [ivanov@mail.ru](mailto:ivanov@mail.ru)*

*Аннотация: заливаемые участки лентических водоемов играют ключевую роль в нерестовых миграциях рыб, создавая экотонные местообитания. Использование данных дистанционного зондирования Земли позволяет эффективно отслеживать изменения нерестовых площадей даже в труднодоступных местах акваторий водоемов. В данной работе продемонстрирован методический подход по вычислению площади нерестового участка на примере юго-восточной части Псковского озера с использованием спутниковых данных Landsat и ГИС-технологий.*

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), нерестилища, внутренние водоемы, ГИС, пространственный анализ

Заливаемые части лентических водоемов и речные поймы играют огромную роль в жизни водных экосистем, поскольку являются основными зонами нерестовых миграций и воспроизводства большинства обитающих в водоемах видов рыб. Места нереста являются местообитаниями экотонной природы, образующимися в месте контакта сред «вода-суша», где временное затопление выступает в роли ключевого фактора, определяющего разнообразие нерестовых биотопов, условий воспроизводства и продуктивности данной временной экосистемы.

Особенностью нерестилищ является то, что в период его существования оно, как правило, залито тонким (относительно средней глубины основного водоема), слабопроточным слоем воды, что приводит к его быстрому прогреву. На участках заливной части водоема, вследствие значительного прогрева, фотосинтез происходит более интенсивно и наблюдаются исключительно высокие темпы развития всех групп кормовых гидробионтов, которые впоследствии обеспечивают питание интенсивно растущей молоди рыб.

Вместе с тем, неустойчивый термический режим и колебания уровней воды на мелководных участках создают дополнительные риски для развития и выживания икры и молоди рыб.

Хорошо известно, что площадь ежегодно формирующихся нерестилищ находится в прямой зависимости от уровня воды (Шкура, Демьяненко, 2015). На больших территориях и в труднодоступных местах отслеживать изменения нерестовых площадей является невыполнимой задачей, которая, в настоящее время, может быть успешно решена при помощи общедоступных данных дистанционного зондирования Земли, данных с различных роботизированных летательных и подводных аппаратов, которые уже показали свою эффективность в решении подобного рода задач (Raoult et al., 2020; Дуленин и др., 2021; Дуленин, Свиридов, 2022). Тем не менее, применение подводных дронов и БПЛА, при всей их эффективности, сопряжено с рядом трудностей, основные из которых заключаются в высокой стоимости подобных аппаратов, необходимости подготовки высококвалифицированного персонала, способного собирать данные в полевых условиях и наличием относительно коротких рядов данных, полученных для локальных участков.

Спутниковые данные ДЗЗ доступны, имеют большие ряды непрерывных наблюдений (первый спутник программы Landsat был запущен в 1972 г. и с тех пор архив данных программы ежегодно пополняется тысячами новых снимков), покрывают практически всю поверхность Земли, а развитие современных ГИС-технологий и других алгоритмов обработки геопространственных данных позволяют достаточно быстро освоить процесс анализа данных ДЗЗ и выполнять адаптированные задачи, направленные на получение объективной информации о состоянии природных систем.

Среди недостатков работы с архивами спутниковых данных ДЗЗ следует отметить достаточно низкое, по сравнению с БПЛА разрешение космоснимков (30 м в одном пикселе для Landsat и 10 м – для Sentinel), а также наличие облачности, которая сильно затрудняет или делает невозможной работу с отдельными космическими сценами. Однако вышеупомянутые недостатки компенсируются возможностью работы с огромным количеством объектов и длинными рядами данных (по программе Landsat собран архив космоснимков за более чем 50-летний период), а также получением дополнительной информации о температуре поверхности и характеристиках растительности, благодаря наличию мультиспектральных данных, позволяющих вычислять т.н. вегетационные индексы.

В качестве примера, иллюстрирующего каким образом можно получить данные о заливаемых площадях, которые на определенный период времени становятся нерестилищами, в исследовании использовали юго-восточную часть Псковского озера, которая на протяжении последних десятилетий служит нерестилищем для большинства обитающих в водоеме весенненерестующих фитофильных видов рыб, в частности для щуки, плотвы, леща, снетка и окуня. Все процедуры подготовки и последующих вычислений заливаемых участков озера были выполнены в программе QGIS 3.30.1.

Самыми полноводными месяцами в 2024 г. были апрель и май, а наиболее низкими уровнями воды традиционно характеризуются осенние и зимние месяцы. Для расчета площади заливаемой части юго-восточной части Псковского озера из репозитория космических снимков Landsat 8 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) были получены две безоблачные сцены за 20 мая и за 15 августа, которые в текущем временном промежутке характеризуются наибольшими различиями по площади водной поверхности Псковского озера, после чего для каждой из сцен был рассчитан индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), который является показателем радиационного типа теплообмена и наиболее часто применяется для описания состояния биомассы растительности. Однако значения этого же индекса можно использовать для контрастирования водных поверхностей, которые при расчете NDVI имеют отрицательные значения.

Перед работой, для устранения неточностей в дальнейших расчетах, была произведена радиометрическая коррекция, которая производилась с помощью радиометрических коэффициентов из MTL-файла, который скачивается в составе архива космической сцены, согласно формуле из руководства пользователя Landsat 8 (2019):

$$\rho_{\lambda} = \frac{(M_{\rho} \times Q_{cal} + A_{\rho})}{\sin(\theta_{SE})}$$

где  $\rho_{\lambda}$  – значение отражения TOA (верхней части атмосферы) с поправкой на солнечный угол;

$M_{\rho}$  – коэффициент мультипликативного масштабирования для конкретного канала (REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_X, где X - номер канала);

$A_{\rho}$  – коэффициент аддитивного масштабирования для конкретного канала (REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_X, где X - номер канала);

$Q_{cal}$  – откалиброванные стандартные пиксельные значения продукта (Digital Numbers, DN);

$\theta_{SE}$  – местный угол высоты солнца в центре сцены в градусах (SUN\_ELEVATION).

После радиометрической коррекции производился расчет самого индекса NDVI при помощи инструмента QGIS «калькулятор растров», формула которого, адаптированная для спутника Landsat 8 приведена в табл.

Таблица. Расчетные формулы индекса NDVI в общем виде и адаптированные для каналов спутника Landsat 8) (B – номер канала спутника)

Наименование вегетационного индекса	Общая формула	Формула для спутника Landsat 8
NDVI	$(NIR - RED)/(NIR + RED)$	$(B5 - B4)/(B5 + B4)$



Рисунок. Площадь заливаемой части юго-востока Псковского озера по данным снимков Landsat 8 за 2024 г.

После получения рассчитанных значений индекса NDVI для мая и августа, они были классифицированы при помощи модуля QGIS Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) и переведены в векторный формат, после чего были произведены вычисления площади заливаемой части озера, путем вычисления разности площадей водной поверхности озера, полученной для мая и августа. Данная процедура была выполнена при помощи стандартного модуля работы с векторными данными QGIS «геообработка». Визуализация проведенных вычислений представлена на рис., где представлена площадь заливаемой юго-восточной части Псковского озера на фоне рассчитанных значений индекса NDVI, где водная поверхность представлена в оттенках голубого цвета, а суша – в различных оттенках зеленого, интенсивность которого характеризует степень развития фитомассы. Общая площадь заливаемой части озера составила 90,8 га. Поскольку площадь нерестилищ ежегодно изменяется, ее вычисление служит важным фактором, который может быть использован для определения успеха размножения весенненерестующих видов рыб.

Таким образом, использование данных ДЗЗ дает в руки исследователей доступный инструмент, позволяющий получать объективную ежегодную информацию о площади формирующихся нерестилищ, что может быть использовано для прогнозирования процессов размножения рыб и его успешности.

#### Список литературы

1. Цыплаков Э. П. Возможные уловы и рекомендации по увеличению численности рыб и регулированию их промысла // Тр. Тат. отд. ГосНИОРХ. 1972. Вып. 12. С. 201-240.

2. Шкура В. Н., Демьяненко А. В. Водный режим пойменных нерестилищ на малых и средних реках бассейна реки Дон // Мелиорация и гидротехника. 2015. № 2 (18). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vodnyy-rezhim-roymennyh-nerestilisch-na-malyh-i-srednih-rekah-basseyna-reki-don>.
3. Дуленин А.А., Дуленина П.А., Коцюк Д.В., Свиридов В.В. Опыт и перспективы использования малых беспилотных летательных аппаратов в морских прибрежных биологических исследованиях // Труды ВНИРО. 2021а. Том 185. С. 134-151. DOI: 10.36038/2307-34972021-185-134-151.
4. Дуленин А.А., Свиридов В. В. Отработка инструментальных методов учёта площади нерестилищ сельди в Охотском море // Вопросы рыболовства. 2022. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otrabotka-instrumentalnyh-metodov-uchyota-ploschadi-nerestilisch-seldi-v-ohotskom-more>.
5. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. Version 5.0, 2019. Department of the Interior U.S. Geological Survey. 106 p.
6. Raoult V., Colefax A.P., Allan B.M., Cagnazzi D., et al. Operational Protocols for the Use of Drones in Marine Animal Research // Drones. 2020. Vol. 4. 64. 35 p. DOI:10.3390/drones4040064

## РЫБНОЕ НАСЕЛЕНИЕ МАЛЫХ РЕК СРЕДНЕЙ ВОЛГИ НА ТЕРРИТОРИИ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ, РЕСПУБЛИК МАРИЙ ЭЛ И ЧУВАШСКОЙ

О.А. Морева, А.А. Клевакин

Нижегородский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («НижегородНИРО»),

г. Нижний Новгород, [moreva@nizhegorod.vniro.ru](mailto:moreva@nizhegorod.vniro.ru)

Аннотация: на основании анализа собственных и литературных данных по распространению рыб и миног в Волжском бассейне уточнен список видов рыб, обитающих в малых реках на территории Нижегородской области, Республик Марий Эл и Чувашской. Рассмотрена принадлежность рыб, обитающих в малых реках, к различным фаунистическим комплексам и особенности распространения видов в рассматриваемом регионе.

Ключевые слова: рыбы, миноги, малые реки, ареал, Средневолжский бассейн

В работе представлены результаты собственных исследований авторов – сотрудников Нижегородского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» за период 2002-2017 гг.: исследовано 220 малых рек, протекающих по территории Нижегородской области, Республик Марий Эл и Чувашской. Количество обследованных водотоков примерно соотносилось с долей площадей указанных субъектов Российской Федерации на исследованной территории: Нижегородская область около 65 % (166 рек), Республика Марий Эл около 20 % (31), Чувашская Республика около 15 % (23). Количество исследованных участков на водотоке соответствовало его длине и разнообразию биотопов. Для выполнения ихтиологических работ применялись мальковая волокуша (ячей 4,0 мм, длина 10 м), мальковый невод (ячей 8,0 мм, длина 30 м) и ихтиологические сачки (ячей 4,0 мм). Всего отловлено и проанализировано более 238 тыс. экз. рыб из 1035 ловов.

Также для получения полной картины распространения рыб и миног был проведен анализ литературных источников по данному региону (Пузанов и др., 1955; Ефремов, Балдаев, 1971; Душин, 1978; Шабалкин, 2003).

В Нижегородской области, Марий Эл и Чувашии протекает свыше 13 тысяч рек и ручьев. Рассматриваемая территория расположена между 54<sup>0</sup> и 58<sup>0</sup> с.ш. и принадлежит к бассейну Средней Волги (участок от устья Оки до устья реки Кама), где р. Волга протекает вдоль северной окраины Приволжской возвышенности (Возвышенное Предволжье), а ее Левобережье (Лесное Заволжье) представляет собой совокупность низинных равнин и возвышенных увалов. При этом в Нижегородской области равнозначно представлены оба этих ландшафта, 96 % территории Марий Эл относятся к Левобережному Заволжью, а 97 % территории Чувашской Республики расположены в Правобережном Предволжье.

Рыбное население малых рек рассматриваемой территории (без учета устьевых участков водохранилищ) отличается меньшим видовым разнообразием, чем ихтиофауна Волги, и насчитывает 42 вида из 9 отрядов, то есть 76,4 % всех отмеченных здесь видов рыб. Оно представлено следующими видами:

*Lampetra planeri* (Brandt, 1869) – европейская ручьевая минога,

*Acipenser ruthenus* (Linnaeus, 1758) – стерлядь,

*Thymallus thymallus* (Linnaeus, 1758) – европейский хариус,

*Esox lucius* (Linnaeus, 1758) – обыкновенная щука,

*Abramis brama* (Linnaeus, 1758) – лещ,

*Abramis ballerus* (Linnaeus, 1758) – синец,

*Abramis sapa* (Pallas, 1814) – белоглазка,

*Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758) – уклейка,

*Alburnoides bipunctatus* (Bloch, 1782) – быстрянка,

*Aspius aspius* (Linnaeus, 1758) – обыкновенный жерех,

*Blicca bjoerkna* (Linnaeus, 1758) – густера,  
*Carassius carassius* (Linnaeus, 1758) – карась обыкновенный,  
*Carassius auratus* (Linnaeus, 1758) – азиатско–европейский карась,  
*Chondrostoma variable* (Jakowlew, 1870) – волжский подуст,  
*Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758) – сазан, карп,  
*Gobio gobio* (Linnaeus, 1758) – обыкновенный пескарь,  
*Leucaspius delineatus* (Heckel, 1843) – обыкновенная верховка,  
*Leuciscus cephalus* (Linnaeus, 1758) – голавль,  
*Leuciscus idus* (Linnaeus, 1758) – язь,  
*Leuciscus leuciscus* (Linnaeus, 1758) – обыкновенный елец,  
*Pelecus cultratus* (Linnaeus, 1758) – чехонь,  
*Phoxinus phoxinus* (Linnaeus, 1758) – гольян обыкновенный,  
*Phoxinus perenurus* (Pallas, 1814) – озерный гольян,  
*Rhodeus sericeus* (Pallas, 1776) – горчак,  
*Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758) – плотва,  
*Scardinius erythrophthalmus* (Linnaeus, 1758) – красноперка,  
*Tinca tinca* (Linnaeus, 1758) – линь,  
*Barbatula barbatula* (Linnaeus, 1758) – усатый голец,  
*Cobitis taenia* (Linnaeus, 1758) – обыкновенная щиповка,  
*Cobitis melanoleuca* (Nichols, 1925) – щиповка сибирская,  
*Misgurnus fossilis* (Linnaeus, 1758) – вьюн обыкновенный,  
*Romanogobio albipinnatus* (Lukasch, 1933) – белоперый пескарь,  
*Silurus glanis* (Linnaeus, 1758) – обыкновенный сом,  
*Lota lota* (Linnaeus, 1758) – налим,  
*Pungitius pungitius* (Linnaeus, 1758) – колюшка девятииглая,  
*Stizostedion lucioperca* (Linnaeus, 1758) – обыкновенный судак,  
*Perca fluviatilis* (Linnaeus, 1758) – речной окунь,  
*Gymnocephalus cernuus* (Linnaeus, 1758) – обыкновенный ерш,  
*Percottus glenii* (Dybowski, 1877) – ротан,  
*Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) – бычок–кругляк,  
*Neogobius iljini* (Vasiljeva et Vasiljev, 1996) – бычок–головач,  
*Cottus gobio* (Linnaeus, 1758) – обыкновенный подкаменщик.

Рыбы малых рек Нижегородской области, Республик Марий Эл и Чувашской по своему зоогеографическому происхождению относятся к 8 фаунистическим комплексам. Закономерно наиболее широко представлены виды бореального равнинного и понтического пресноводного комплексов: бореальный равнинный – 33,3 % (14 видов), понтический пресноводный – 28,6 % (12), пресноводный амфибореальный – 14,3 % (6), бореальный предгорный – 9,5 % (4), арктобореальный 4,8 % – (2), понтический морской – 4,8 % (2), арктический пресноводный – 2,4 % (1), китайский равнинный – 2,4 % (1).

В трех рассматриваемых регионах по видовому составу рыбное население различается не значительно, но отличается по представленности видов в разных ландшафтных зонах. Среди выбранных для детального анализа 10 бассейнов малых рек были выявлены следующие особенности: среднее количество видов в бассейне реки – 22 (от 17 до 25), из них не менее 6 видов принадлежат к понтическому пресноводному комплексу и они более представлены в лесных реках Заволжья (по 8-9 видов); не менее 9 видов относятся к бореальному равнинному, причем наибольшее количество данных видов обитает в реках Предволжья (по 12-13). Арктобореальный комплекс в ряде заволжских рек представлен европейской ручьевой миногой, а в реках Предволжья – девятииглой колюшкой. Представитель арктического пресноводного комплекса отмечен только в заволжских реках. Виды, относящиеся к бореальному предгорному комплексу, более

характерны для рек Заволжья (до 3), к пресноводному амфибореальному – не более 1 вида в каждом бассейне.

Рыбное население малых рек менее подвержено биологическим инвазиям, чем ихтиофауна водохранилищ. Из видов-вселенцев здесь можно отметить только ротана (широко распространен, относится к китайскому равнинному комплексу), бычков кругляка и головача, принадлежащих к понтическому морскому комплексу (единичные находки), составляющих 7,1 % ихтиофауны.

Явное саморасселение выявлено только у трех вышеуказанных видов. Ротан очень активно заселяет малые водоемы на всей рассматриваемой территории. Бычковые широко представлены в устьевых участках притоков первого порядка Чебоксарского водохранилища (кругляк, цуцик, головач, песочник, пуголовка) (Морева, Клевакин, Логинов, 2012). В притоках рек Ветлуги и Суры бычковые не обнаружены, но в р. Оке они распространены и отмечаются в отдельных малых реках ее бассейна, например, кругляк нами отмечен в р. Теше, другими авторами – в окских притоках вне рассматриваемого региона (Иванчев, Иванчева, 2010). Дальность распространения бычковых в малых реках может быть значительной: в р. Б. Юнге - кругляк в 10 км от устья, в р. Цивиле и р. М. Цивиле – кругляк в 22 км от устья, а головач – в 54 км от устья, в р. Теше – кругляк в 24 км от ее впадения в р. Оку, то есть в 228 км от Чебоксарского водохранилища.

Колюшку девятииглую (арктобореальный комплекс) скорее следует относить к аборигенным редким малочисленным видам Средней Волги. Этот вид вероятно сохранился здесь с послеледникового периода (Морева, Клевакин, Минина, 2022). Его находки, как и европейской ручьевой миноги (также представитель арктобореального комплекса) происходят зачастую случайно или во время проведения специализированных ихтиологических исследований.

По рассматриваемой территории проходит северная граница ареала обыкновенного горчача в Волжском бассейне (примерно по 55-57<sup>0</sup> с.ш., не заходит севернее границы таежной зоны) (Морева, Клевакин, Минина, 2024), южная граница ареала европейской ручьевой миноги в бассейне Средней Волги (не заходит южнее 56<sup>0</sup> с.ш. и за пределы границы лесной зоны), а также южная граница ареала европейского хариуса (лесная зона Заволжья) и северная граница ареала озерного гольяна (по полученным данным, самая северная точка отмечена в бассейне Керженца в черте г. Семенов). Южная граница ареала обыкновенного гольяна имеет сложную конфигурацию: в малых реках Приволжской возвышенности он наиболее распространен в Сурском бассейне на участках с наибольшими высотами, но отсутствует в большинстве малых рек междуречья Оки и Суры, в тоже время в малых реках Заволжья он широко представлен (Морева, Клевакин, Минина, 2024).

В рыбном населении малых рек данного региона отсутствуют особо ценные и редко встречаются ценные виды водных биологических ресурсов (представлены стерлядь и судаком, отмеченными только в самых крупных из рассматриваемых рек). В тоже время малые реки являются основными местами обитания редких и исчезающих видов рыб и миног, 10 видов которых (23,8% ихтиофауны) занесены в региональные Красные книги. Из 10 видов круглоротых и рыб Красной книги Нижегородской области 9 обитает в малых реках, а для 6 из них (европейская ручьевая минога, обыкновенный горчак, обыкновенный гольян, русская быстрянка, девятииглая колюшка, обыкновенный подкаменщик) именно малые реки являются основными местообитаниями (Постановление..., 2024). Из 12 видов Красной книги Республики Марий Эл 10 обитает в малых реках, а 7 характерны для них (Список редких..., 2009). Из 10 видов Красной книги Чувашской республики – 8 и 5. В тоже время в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой на малые реки их биологическое разнообразие падает, например, для территории Чувашии стерлядь, европейская ручьевая минога, обыкновенный подкаменщик в настоящее время считаются исчезнувшими (Приказ..., 2023).

На основании вышеизложенного можно сделать заключение, что рыбное население малых рек Нижегородской области, Республик Марий Эл и Чувашской отличается достаточной стабильностью, хотя около 7 % ихтиофауны относится к инвазионным видам и прослеживается тенденции в активном освоении ими малых водоемов региона. Кроме того, малые реки служат местом обитания 80-90 % видов круглоротых и рыб, занесенных в региональные Красные книги, и таким образом обеспечивают поддержание биологического разнообразия в Средневолжском бассейне. Распространение рыб и миног в малых реках Нижегородской области, Республик Марий Эл и Чувашской имеет связь ландшафтной зональностью, здесь проходят границы ареалов таких видов, как европейская ручьевая минога, европейский хариус, обыкновенный горчак, обыкновенный и озерный гольян.

#### Список литературы

1. Душин А.А. Рыбы реки Суры. Саранск, 1978. 94 с.
2. Ефремов П.Г., Балдаев Х.Ф. Рыбы рек и озер Марийской АССР. Йошкар-Ола, 1971. 118 с.
3. Иванчев В.П., Иванчева Е.Ю. Круглоротые и рыбы Рязанской области и прилегающих территорий. Рязань, 2010. 292 с.
4. Морева О.А., Клевакин А.А. О необходимости занесения колюшки девятиглазой (*Pungitius pungitius*) в Красную книгу Нижегородской области // Редкие виды живых организмов Нижегородской области: сборник рабочих материалов Комиссии по Красной книге Нижегородской области. Вып. 5. Нижний Новгород: Мининский университет, 2022. С. 142-148.
5. Морева О.А., Клевакин А.А., Логинов В.В. Рыбное население устьевых участков малых рек – притоков Чебоксарского водохранилища // Бассейн Волги в XXI-м веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ: Сборник материалов докладов Всероссийской конференции. Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, 22-26 октября 2012 г. Ижевск, 2012. С. 189-192.
6. Морева О.А., Клевакин А.А., Минина Л.М. О распространении обыкновенного (европейского) горчака *Rhodeus sericeus* в Волжском бассейне на северной границе ареала // Рыбохозяйственный комплекс России: 300 лет российской академической науке. II Международная научно-практическая конференция. Москва, 2024. С. 258-263.
7. Морева О.А., Клевакин А.А., Минина Л.М. О распространении обыкновенного гольяна *Phoxinus phoxinus* (Сургинidae) в Волжском бассейне на южной границе ареала // Охрана и рациональное использование животных и растительных ресурсов. Материалы международной научно-практической конференции в рамках XIII международной научно-практической конференции «Климат, экология, сельское хозяйство Евразии». Молодежный, 2024. С. 233-237.
8. Постановление Правительства Нижегородской области от 25 апреля 2024 года № 212 «Об утверждении перечней видов (подвидов, популяций) живых организмов, занесенных в Красную книгу Нижегородской области и в приложения к Красной книге Нижегородской области».
9. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Чувашской республики от 2 августа 2023 г. № 584 «Об утверждении Перечня объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Чувашской Республики, и признании утратившими силу некоторых приказов Министерства природных ресурсов и экологии Чувашской Республики».
10. Пузанов И.И., Козлов В.И., Кипарисов Г.П. Животный мир Горьковской области (позвоночные). Горький, 1955. 588 с.
11. Рыбное население бассейна реки Суры: видовое разнообразие, популяции, распределение, охрана: монография / А.Б. Ручин, О.Н. Артаев, А.А. Клевакин [и др.]. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2016. 272 с.
12. Список редких и исчезающих видов животных, включенных в Красную книгу Республики Марий Эл (утв. постановлением Правительства Республики Марий Эл от 24 марта 2009 г. № 75 «О порядке ведения Красной книги Республики Марий Эл»).
13. Шабалкин В.М. Рыбы и рыбообразные Чувашии // Экологический вестник Чувашской республики. Серия Природа и природные ресурсы Чувашской республики. Чебоксары, 2003. Вып. 33. 48 с.

## ИЗМЕНЕНИЕ ПРОТЕОМА ПЕЧЕНИ *Danio rerio* ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГЛИФОСАТА И ПРОДУКТА ЕГО ДЕГРАДАЦИИ

А.А. Морозов, В.В. Юрченко

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук (ИБВВ РАН), п. Борок, Ярославская обл., [aleksey.a.morozov@gmail.com](mailto:aleksey.a.morozov@gmail.com); [victoria.yurchenko@rambler.ru](mailto:victoria.yurchenko@rambler.ru)*

Аннотация: данное исследование посвящено изучению влияния гербицида глифосата и продукта его деградации, аминотетрафосфоновой кислоты, в концентрациях, встречающихся в водной среде, на организм модельного вида рыб *Danio rerio*. Обнаружено влияние данных ксенобиотиков на большое число метаболических путей в печени рыб, включая систему окислительного фосфорилирования.

Ключевые слова: стресс, гербицид, рыбы, протеомика, метаболизм

Глифосат (N-(фосфометил)-глицин) входит в тройку самых популярных в мире действующих веществ гербицидов (Mohd Ghazi et al., 2023). Данное вещество разрешено к применению в нашей стране, входит в состав большого числа коммерческих препаратов гербицидов и применяется на парах и полях, предназначенных под посев различных яровых культур, а также землях несельскохозяйственного назначения – охранных зонах линий электропередач и просеках, трассах газо- и нефтепроводов, насыпях и полосах отчуждения железных и шоссейных дорог, аэродромах и промышленных территориях (Ежегодник ..., 2023; Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов ..., 2024).

Глифосат умеренно устойчив в окружающей среде, его период полураспада может составлять десятки дней (Grandcoin et al., 2017). Основной продукт деградации глифосата – аминотетрафосфоновая кислота (АМФК). Ее источником в природе также могут быть аминотетрафосфонаты, которые применяются в качестве моющих средств, антикоррозионных агентов, комплексообразователей в текстильной промышленности, а также противообрастающих агентов для мембран на водоочистных сооружениях (Grandcoin et al., 2017).

После применения глифосат и АМФК могут попадать в водные объекты в результате смыва с поверхности обработанных растений, сноса загрязненных почвенных частиц, выщелачивания с обработанных территорий, ветрового переноса аэрозоля и переноситься до нескольких километров вниз по течению от места обработки (Vereecken, 2005; Blake, Pallett, 2018).

Согласно данным, опубликованным в последние годы, в поверхностных водах глифосат и АМФК встречаются на уровне от нанограммов до микрограммов, достигая сотен микрограммов в некоторых районах, например, 168,4 мкг/л глифосата в эвтрофном водохранилище в Бразилии (Cristofaro et al., 2021), 221 мкг/л глифосата и 117 мкг/л АМФК в пруду вблизи сельскохозяйственных угодий в Аргентине (Brodeur et al., 2021), и даже экстремальных значений 3,7 и 5,8 мг/л глифосата в малых реках, пересекающих сельскохозяйственные и городские районы на юго-востоке Бразилии (Lima et al., 2023).

Проблеме влияния системных гербицидов на организм нецелевых организмов, в частности рыб, уделяется большое внимание, однако существенно меньше работ, посвященных эффектам воздействия глифосата в относительно низких, реалистичных концентрациях, а также исследованию возможных негативных эффектов АМФК (обзоры Klátyik et al., 2024; Morozov, Yurchenko, 2024).

Цель исследования заключалась в изучении изменений белкового профиля печени модельного вида рыб *Danio rerio* в ответ на действие глифосата и АМФК в концентрациях, встречающихся в природных водах, в контролируемых условиях эксперимента.

Эксперимент проводили с учетом международных норм по гуманному обращению с животными (Directive 2010/63/EU). Взрослые особи *D. rerio* подвергались воздействию глифосата (100 мкг/л), АМФК (100 мкг/л) и их смеси (50 + 50 мкг/л) в течение 14 суток. В качестве действующих веществ использовали коммерческие препараты Sigma-Aldrich: N-(Phosphonomethyl)glycine (Glyphosate) 96 % (105953) и (Aminomethyl)phosphonic acid 99 % (324817). Эксперимент проводили в двух повторностях. По окончании эксперимента от 6 особей из повторности (то есть от 12 рыб из опытной группы/контроля) отбирали пробы печени. Каждую пробу гомогенизировали на льду в 0,1М-фосфатном буфере в соотношении 1:3. Затем от каждой пробы отбирали аликвоту гомогената для получения одной суммарной пробы гомогенатов печени рыб из каждой опытной группы и контроля. Пробы замораживали в жидком азоте и транспортировали в нем в лабораторию ЦКП «Протеом человека» (ИБМХ, г. Москва).

Объединение проб скрывает различия между индивидуальными протеомами, однако известно, что для большинства белков экспрессия в суммарной пробе соответствует средней экспрессии в отдельных образцах, ее составляющих, поэтому объединение помогает преодолеть ограничения ресурсов и является приемлемой процедурой в протеомике, поскольку позволяет легко обнаружить основные различия и сходства между группами (Zolg, 2006; Diz et al., 2009; Morro et al., 2020).

Идентификация белков в печени рыб проводилась методом безметковой количественной оценки с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. Пробы плазмы обрабатывали с помощью детергента додецилсульфата натрия; растворенные пробы концентрировали с использованием фильтров STrap (англ. suspension trapping) (Zougman et al., 2014). Полученную суспензию белковых частиц затем подвергали гидролизу трипсином. Образовавшуюся смесь пептидов концентрировали для последующего анализа с помощью хроматографической системы Ultimate 3000 RSLCnano, соединенной с масс-спектрометром Q Exactive HF-XHybrid Quadrupole-Orbitrap (Thermo Fisher Scientific). Каждую пробу плазмы анализировали в трех повторностях. Анализ полученных спектров проводили при помощи программы MaxQuant v. 2.0.3.0 с использованием поискового алгоритма Andromeda и базы данных UniProt (Swiss-prot и TrEMBL, протеом UP000000437). Достоверно идентифицированными считали белки, для которых было обнаружено два и более пептидов. Количественную оценку относительного обилия белков в пробах плазмы выполняли в программе MaxQuant на основе алгоритма MaxLFQ (Cox et al., 2014).

Дальнейший анализ полученных данных проводился согласно рекомендациям Aguilan et al. (2020) в программе Microsoft Excel. Значения интенсивности LFQ были преобразованы в  $\log_2$  и нормализованы по среднему арифметическому и уклону, затем была проведена процедура импутации данных. Далее для каждого белка рассчитывали его относительное обилие в опытных группах (по показателю кратности изменения относительно контрольной группы) и определяли статистическую значимость этих изменений по значениям  $p$ , полученным для  $t$ -теста. К числу дифференциально экспрессированных относили белки, кратность изменения которых была больше 2 при статистической значимости  $p < 0,05$ . Функциональный анализ идентифицированных белков проводили с помощью баз знаний Gene Ontology и KEGG.

В пробах печени *D. rerio* было идентифицировано 1718 белков. Количество дифференциально экспрессированных белков в опытных группах составило 77 (глифосат, 100 мкг/л), 72 (АМФК, 100 мкг/л) и 194 (глифосат, 50 мкг/л + АМФК, 50 мкг/л).

Функциональный анализ идентифицированных белков показал, что данные варианты экспозиции вызвали нарушение регуляции белков, участвующих в репарации ДНК, регуляции формы клеток, организации структур цитоскелета и внеклеточного матрикса, двигательной активности микрофиламентов, внутриклеточном транспорте, регуляции сериновых протеиназ, протеолизе, метаболизме аминокислот и жирных кислот,

фосфолипидов, холестерина, ретинола, гликопротеинов и углеводов, а также воспалении, иммунном ответе, метаболических путях некроптоза и апоптоза. Кроме того, глифосат вызвал увеличение относительного обилия белков, участвующих в биосинтезе гема и коагуляции крови, а также уменьшение количества ферритина (выполняет роль основного внутриклеточного депо железа у животных) и пирролин-5-карбоксилатредуктазы (участвует в биосинтезе пролина). Действие АМФК характеризовалось увеличением количества митохондриального гомолога белка ES1 (участвует в аутофагии) и уменьшением – прекурсора вителлогенина (участвует в оогенезе), кальмодулина (кальций-связывающий многофункциональный белок) и протимозина альфа (многофункциональный белок). Кроме того, тестируемые концентрации глифосата и АМФК вызвали нарушение регуляции белков окислительного фосфорилирования. Наиболее выраженный эффект наблюдался при совместном действии глифосата и АМФК.

Результаты данного исследования показали, что глифосат и АМФК в концентрациях, встречающихся в природных водах, затрагивают большое число сигнальных путей и таким образом влияют на различные аспекты метаболизма рыб.

#### Список литературы

1. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов по состоянию на 4 сентября 2024 г. URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rasteniievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rastenyi/industry-information/info-gosudarstvennaya-usluga-po-gosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i-agrokhimikatov/>
2. Ежегодник «Состояние загрязнения пестицидами объектов природной среды Российской Федерации в 2022 году» (Приложение). Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун», 2023. 88 с. URL: [https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/ezhegodniki/pest/pest\\_2022.pdf](https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/ezhegodniki/pest/pest_2022.pdf)
3. Blake R., Pallett K. The environmental fate and ecotoxicity of glyphosate // *Outlooks on Pest Manage.* 2018. Vol. 29. P. 266-269.
4. Cox J., Hein M.Y., Luber C.A. et al. Accurate proteome-wide label-free quantification by delayed normalization and maximal peptide ratio extraction, termed MaxLFQ // *Molecular & Cellular Proteomics.* 2014. Vol. 13. P. 2513-2526.
5. Diz A.P., Truebano M., Skibinski D.O.F. The consequences of sample pooling in proteomics: An empirical study // *Electrophoresis.* 2009. Vol. 30. P. 2967-2975.
6. Grandcoin A., Piel S., Baures E. AminoMethylPhosphonic acid (AMPA) in natural waters: its sources, behavior and environmental fate // *Water Resources.* 2017. Vol. 117. P. 187-197.
7. Klátyik S., Simon G., Oláh M., et al. Aquatic ecotoxicity of glyphosate, its formulations, and co-formulants: evidence from 2010 to 2023 // *Environmental Sciences Europe.* 2024. Vol. 36. Art. 22.
8. Mohd Ghazi R., Nik Yusoff N.R., Abdul Halim N.S., et al. Health effects of herbicides and its current removal strategies // *Bioengineered.* 2023. Vol. 14. Art. 2259526.
9. Morozov A., Yurchenko V. Glyphosate and aminomethylphosphonic acid impact on redox status and biotransformation in fish and the mitigating effects of diet supplementation // *Veterinary Research Communications.* 2024. <https://doi.org/10.1007/s11259-024-10481-2>
10. Morro B., Doherty M.K., Balseiro P. et al. Plasma proteome profiling of freshwater and seawater life stages of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // *PLoS ONE.* 2020. Vol. 15. Art. e0227003.
11. Vereecken H. Mobility and leaching of glyphosate: a review // *Pest Management Science: formerly Pesticide Science.* 2005. Vol. 61. P. 1139-1151.
12. Zolg W. The proteomic search for diagnostic biomarkers: Lost in translation? // *Molecular & Cellular Proteomics.* 2006. Vol. 5. P. 1720-1726.
13. Zougman A., Selby P.J., Banks R.E. Suspension trapping (STrap) sample preparation method for bottom-up proteomics analysis // *Proteomics.* 2014. Vol. 14. P. 1006-1000.

## ПОЛНОГЕНОМНОЕ СЕКВЕНИРОВАНИЕ СИГОВЫХ РЫБ СИБИРСКИХ РЕК И ОЗ. БАЙКАЛ

Н.С. Мюге, В.А. Сошнина, Л.Н. Мюге

ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, [migue@mail.ru](mailto:migue@mail.ru)

*Аннотация: проведено полногеномное секвенирование сиговых рыб рек Сибири и оз. Байкал, показавшее четкую видовую дифференциацию исследованных видов рыб (сиг-пыжьян, муксун, чир, пелядь, тугун, ряпушка, нельма, байкальский озерный сиг и байкальский омуль). Для байкальского омуля выявлено три кластера соответствующих трем экологическими формам, а также показано обособление байкальского сига от всех трех форм омуля.*

Ключевые слова: полногеномное секвенирование, сиговые рыбы, оз. Байкал, байкальский омуль

Сиговые рыбы (Coregonidae) – обширное успешное семейство в большой группе лососевидных рыб. Они занимают первое место по биомассе, являясь доминантными или супердоминантными видами во многих рыбных сообществах Арктики и суб-Арктики. В разное время ставились такие проблемы, как валидность видов сиговых, широта их распространения, число видов в определенных регионах, вопросы гибридизации между формами, линиями и видами сиговых и др. Методы и подходы на основе анализа морфологических, экологических, физиологических особенностей сиговых не позволяют ответить на поставленные выше вопросы, возможность решить их появилась лишь с развитием молекулярно-генетических методов анализа

В данной работе было проведено полногеномное секвенирование 64 образцов разных видов сиговых рыб. Выделение ДНК проводилось на плашках PALL по стандартной методике (Ivanova et al., 2006). Геномные библиотеки для секвенирования нового поколения были получены с использованием набора DNA UltraII согласно методике производителя. Секвенирование образцов проводилось на приборе DBNSeq в компании BGI.

Проведение полногеномного анализа проводилось по следующему протоколу:

Триммирование ридов по длине и качеству проведено в пакете Trimmomatic: `trimmomatic PE -phred33 /media/as-1014s-wtrt/data/CeGaT/S4793Nr41.1.fastq.gz /media/as-1014s-wtrt/data/CeGaT/S4793Nr41.2.fastq.gz COM108_forward_paired.fq.gz COM108_forward_unpaired.fq.gz COM108_reverse_paired.fq.gz COM108_reverse_unpaired.fq.gz ILLUMINACLIP:TruSeq3-PE:2:30:1 TRAILING:3 SLIDINGWINDOW:4:15 MINLEN:36.`

Выравнивание полных ядерных геномов проводилось в пакете bwa (алгоритм `bwa mem`) на референсный геном Genome assembly AWG\_v2 (GCA\_902810595.1). Multi-vcf файл составлен из индивидуальных отсортированных .bam файлов алгоритмом `bcftools mpileup`, дальнейшая фильтрация и построение дендрограмм проведено в пакете `vcfR` в среде R.

Также в пакете `vcfR` проведен анализ главных компонент и дискриминационный анализ, выявление островков геномной дивергенции для пары озерный сиг – байкальский омуль проводилось методом анализа плотности дискриминирующих SNP в скользящей рамке по каждой из хромосом референсного генома с последующим анализом пересечения островков геномной дивергенции и белок-кодирующих генов в геномном браузере IGV с подгруженной аннотацией референсного генома.

С использованием методов секвенирования нового поколения (NGS) получены полные митохондриальные геномы большого числа особей сиговых рыб.

Филогенетическое дерево полученных митохондриальных геномов представлено на рис. 1.

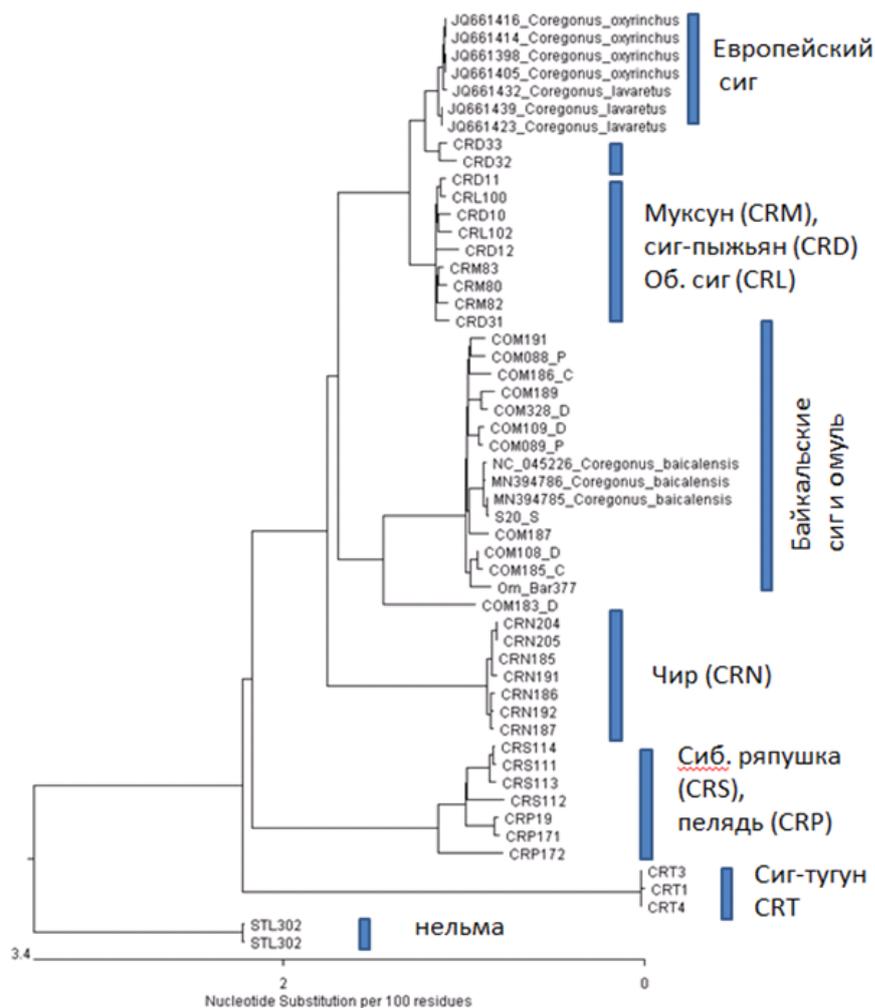


Рисунок 1 – Филогенетическая реконструкция, построенная на анализе полных митохондриальных геномов сиговых видов рыб, полученных на данном этапе, а также депонированных в базе данных Генбанк. Образцы из коллекции ВНИРО (раздел сиговые виды рыб) обозначены номерами РНКЭГМ

Обыкновенный сиг, сиг-пыжьян и муксун образуют на полученном филогенетическом дереве смешанную кладу, что свидетельствует либо о транзитной природе формы сиг-муксун, либо о природной интрогрессии между этими видами.

Полученные митогеномные деревья выявили невозможность разработки достоверного метода ДНК-идентификации для ряда пар видов сиговых, основанного на анализе только митохондриальной ДНК. Такие пары видов как муксун и сиг-пыжьян в бассейне реки Обь, пелядь и ряпушка (северные бассейны), байкальский (озерный) сиг и байкальский омуль на митогеномном дереве образуют между собой смешанные кластеры, что свидетельствует либо о невалидности данных пар видов, либо о массовом переносе материнской мтДНК между этими парами видов по причине спорадической гибридизации. Таким образом возникла необходимость анализа геномных данных. Построенная кладограмма представлена на рис. 2.

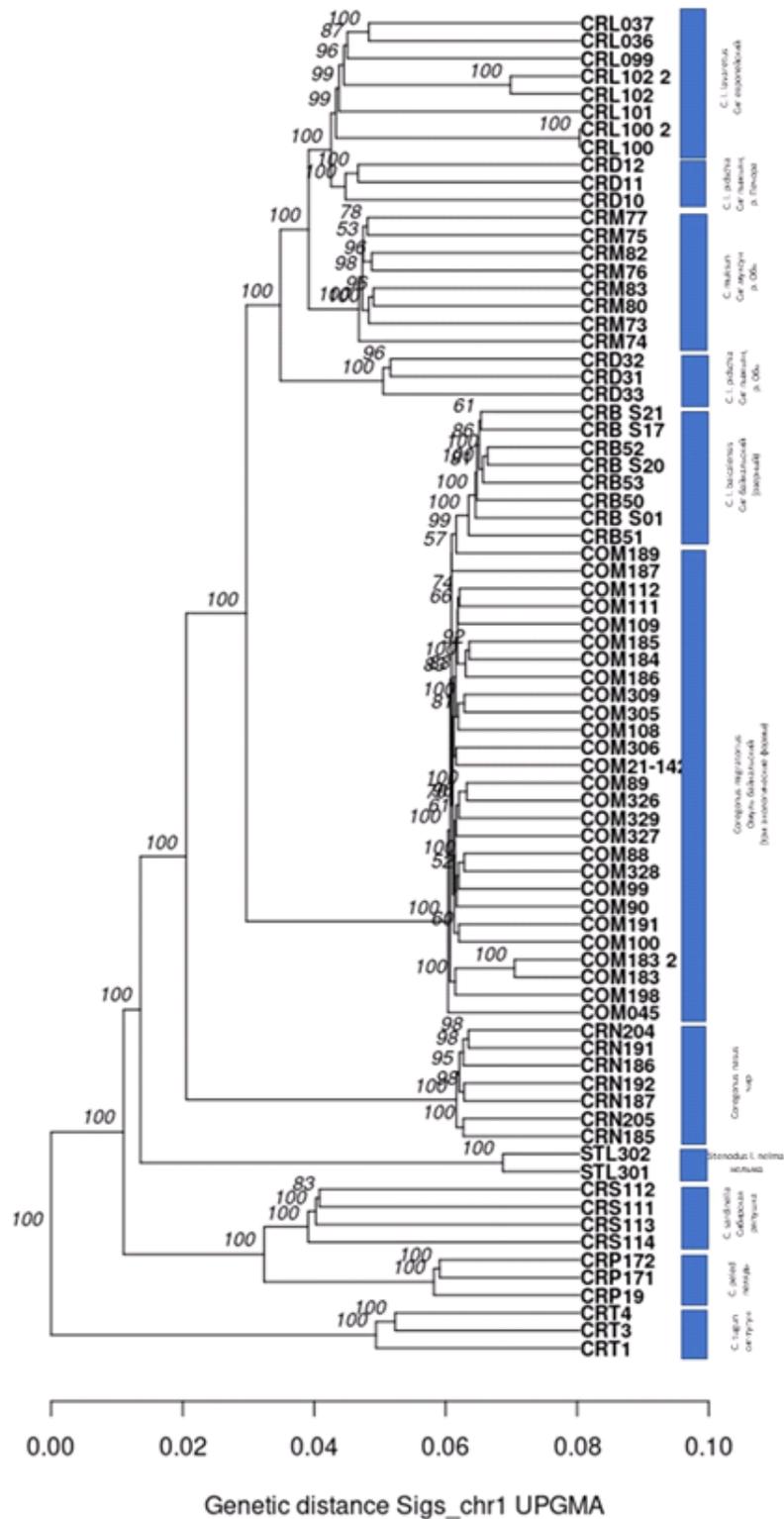


Рисунок 2. UPGMA-дендрограмма сиговых, построенная по полногеномным данным (на примере выравнивания по хромосоме 1)

Полногеномный анализ показал генетическую самостоятельность всех изученных видов сиговых (сиг-пыжьян, муксун, чир, пелядь, тутун, ряпушка, нельма, байкальский озерный сиг и байкальский омуль) и возможность разработки панели маркеров для идентификации каждого вида. Сравнение филогенетических деревьев, полученных методом анализа митогенома и полногеномного секвенирования, указывает на четкую

видовую дифференциацию всех изученных видов сиговых по ядерным маркерам, при отсутствии кластеризации некоторых пар видов по митохондриальной ДНК.

Длина митохондриального генома байкальского сига и байкальского омуля составила 16740-43 пар оснований, при этом отмечается отсутствие внутривидовой кластеризации митогеномов в группе байкальский сиг – байкальский омуль, что свидетельствует либо о недавнем процессе видообразования в озере Байкал, либо о продолжающейся межвидовой гибридизации. Наличие ярко выраженных различий в местах и сроках нереста сига и омуля указывает, что гибридизация, если имеет место, то очень маловероятна.

По результатам полногеномного секвенирования был проведен анализ главных компонент для всех трех экологических форм омуля и байкальского сига с использованием данных геномного полиморфизма (рис. 3). Проведенный анализ указывает на обособление озерного сига от всех трех экологических форм омуля, и также позволил выявить три кластера, соответствующих каждой из экологических форм.

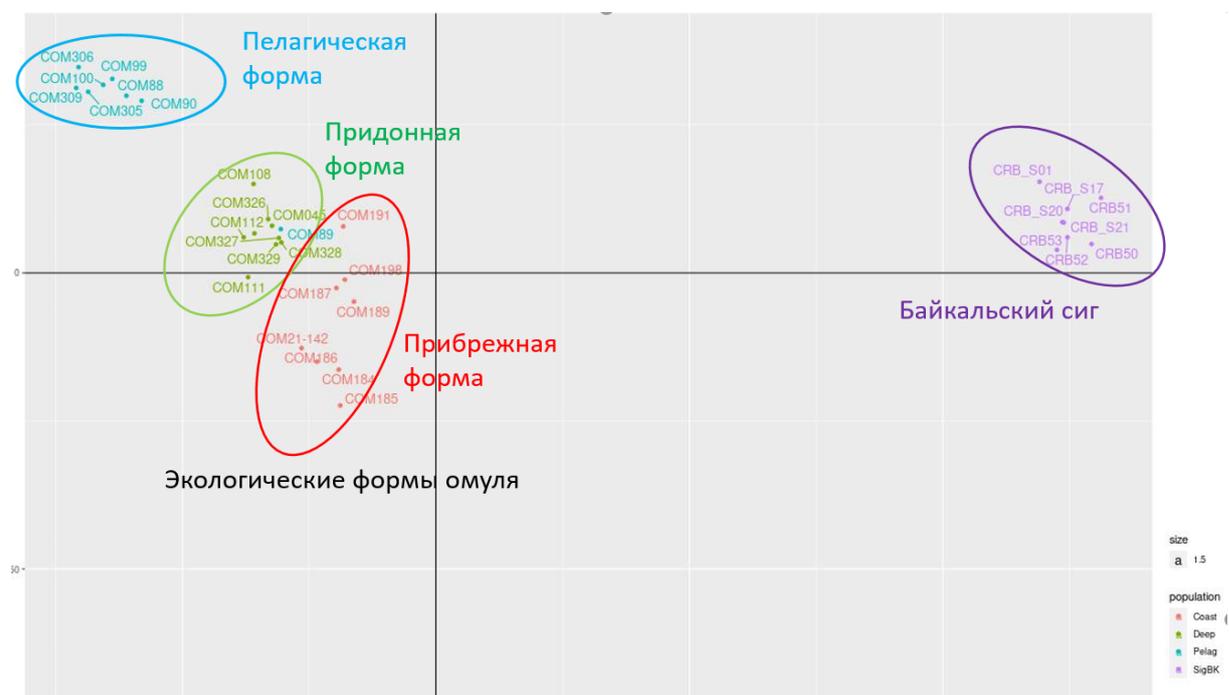


Рисунок 3. Анализ главных компонент геномного полиморфизма байкальского сига и трех экологических форм омуля

Полученные данные позволяют подтвердить существование генетически обособленных экологических форм омуля в озере Байкал, что указывает на необходимость научно обоснованного и предосторожного подхода при разработке программ искусственного воспроизводства этого ценного промыслового вида. Дискриминантный анализ позволяет выявить SNP, наиболее отличающиеся по частотам при противопоставлении выборки сига и совокупной (все три экологические формы) байкальского омуля. Большинство SNP, имеющих альтернативные аллели в группах омуля и сига, сосредоточены на chr20 и chr30 референсного генома сига AWG\_v2 (GCA\_902810595.1). Кроме того, распределение дифференцирующих SNP на этих двух хромосомах не равномерно, а образует небольшие по протяженности кластеры, то есть геномные островки дивергенции.

#### Список литературы

1. Ivanova N. V. et al. Universal primer cocktails for fish DNA barcoding //Molecular Ecology Notes. 2007. Т. 7, №. 4. С. 544-548.

## ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДНК ШТРИХКОДИРОВАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ РЫБ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА

Н.А. Небесихина, А.Ш. Алимова, В.Н.Гайдамаченка, Е.Д. Бельченко,  
В.С. Мещанкина, М.П. Скрыгин

*Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»),  
г.Ростов-на-Дону, [nebo71na@mail.ru](mailto:nebo71na@mail.ru)*

*Аннотация: в статье приведены результаты ДНК идентификации 45 промысловых видов рыб Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна. относящиеся к 38 родам, 21 семействам, 17 отрядам, В качестве молекулярного маркера использован фрагмент гена COI размером 561 пн. Рассчитанные средние внутривидовые и межвидовые генетические расстояния имели различие между собой более чем на один порядок. Молекулярный маркер генов COI был успешно использованы для установления видовой принадлежности 40 промысловых видов рыб.*

Ключевые слова: Азовское море, Черное море, промысловые рыбы, мт ДНК, COI, баркодинг

Рыболовство имеет важную роль для развития экономики как на региональном, так и в более глобальном масштабе. Азово-Черноморский рыбохозяйственный бассейн, отличается большим видовым разнообразием добываемых гидробионтов, где наряду с аборигенными видами встречаются виды-вселенцы. Активные исследования в области актуализации биоразнообразия видового состава ихтиофауны представлены в ряде публикаций последних лет (Дерибаско и др., 2001; Васильева, 2007; Васильева, Лужняк, 2013). Видовая идентификация рыб по-прежнему остается важным вопросом в управлении рыболовством. Многие виды рыб поставляются на рынок под своими общепринятыми названиями, и эти названия различаются в зависимости от региона, даже внутри регионов.

Штрих-кодирование ДНК является эффективным методом идентификации на уровне вида (April et al., 2011; Keskin, Atar, 2013; Knebelberger et al., 2015; Iyiola et al., 2018). Данное исследование направлено на получение штрих-кодов ДНК для промысловых видов в части которых в Азово-Черноморском рыбохозяйственном бассейне устанавливаются рекомендованный вылов (РВ).

В период 2019-2023 гг. в ходе выполнения научно-исследовательских рейсов в бассейне Черного и Азовского морей было отобрано 805 экз., пресноводных и морских видов рыб. Выборки исследуемых видов были представлены не равномерно от 1 до 32 образцов. В исследование вошли так же выборки азово-черноморской хамсы (*Engraulis encrasicolus*) (96 экз), азово-черноморской камбалы калкан (103 экз.) и азово-черноморских сельдей рода *Alosa* (61 экз), данные которых были ранее более полно проанализированы (Небесихина, 2021; Orlova et al., 2024). От каждого исследуемого образца была отобрана ДНК-проба и зафиксирована в 96 % этиловом спирте. Пробы для генетических исследований хранятся при –20 °С.

Выделение ДНК из образцов проводили с использованием коммерческих наборов реагентов «ДНК-Экстран-2» и «ДНК Сорб Б» («Синтол», Россия). Количественную оценку выделенной ДНК из образцов оценивали флуориметрическим методом с использованием флуориметра «MaxLife» (Россия). Водный раствор ДНК хранили при –20 °С.

Аmplификацию участка гена COI мт ДНК рыб проводили, используя праймеры allFa1 и allRa1 (Методические., 2021) или Fish-BCL и Fish-BCN (Baldwin et al., 2009). На одну ПЦР-реакцию общим объемом 15 мкл брали до 50 нг ДНК по 0,1 пМоль каждого праймера, 5 мкл реакционной смеси (2.5x реакционная смесь для проведения ПЦР-РВ) («Синтол», Россия). Амплификацию проводили по следующей схеме для пары праймеров allFa1 и allRa1: предварительная денатурация ДНК 95 °С – 2 мин, синтез ПЦР-продуктов (35 циклов): плавление 95 °С – 10 сек, отжиг праймеров при  $T_a$  54 °С – 30 сек, синтез ДНК

– 72 °С – 1 мин, окончательная достройка цепей 72 °С – 5 мин. Для пары праймеров Fish-BCL и Fish-BCN амплификацию проводили по следующей схеме: предварительная денатурация ДНК 95 °С – 5 мин, синтез ПЦР-продуктов (35 циклов): плавление 94 °С – 20 сек, отжиг праймеров – 52 °С – 30 сек, синтез ДНК – 72 °С – 1 мин 20 сек, окончательная достройка цепей 72 °С – 7 мин. Амплификация была выполнена на амплификаторе «Т-100» («Bio-Rad», США). Продукты ПЦР фракционировали в 1,8 % агарозном геле. В качестве размерного стандарта использовали маркер длины «100+bp DNA Ladder» («Евроген», Россия). Визуализацию ПЦР-продукта проводили, используя гель документирующую систему «MaXidoc G-2» («Daihan scientific», Корея). При подготовке ПЦР-продукта к секвенированию проводилась очистка с помощью смеси (ацетат аммония 5 М, этилового спирта 96 %, бидистиллированной воды). Секвенирование участка COI проводили используя прямой или обратный праймеры с концентрацией 10 пкМ с использованием набора реактивов набора реактивов BigDye™ Terminator v3.1 (Applied Biosystems) в объеме реакции 10 мкл и с использованием предлагающегося к набору 5X реакционного буфера. Секвенирование митохондриальной ДНК исследуемых образцов проводили на устройстве секвенирования ДНК «Нанофор 05» («ЭЗАН», Россия) в среде полимера «ПДМА6» («Синтол», Россия).

Анализ полученных нуклеотидных последовательностей проводили в программе Analysis («Синтол», Россия), выравнивание сиквенсов осуществляли в программе ChromasPro (Technelysium Pty Ltd, Australia). Полученные нуклеотидные последовательности сравнивали с общей генетической базой данных National Center for Biotechnology Information (NCBI/GenBank) и The Barcode of Life Data System (BOLD).

Для оценки межродовых и межвидовых различий были рассчитаны генетические расстояния с использованием двухпараметрической модели Кимуры и бутстрапа из 1000 повторов.

Из проанализированных 805 образцов рыб для 692 (86 %) получены нуклеотидные последовательности. Подходящие по качеству последовательности для дальнейшего анализа были обрезаны до 561 пн. В этой работе не удалось амплифицировать ген COI ни для одного образца морского кота (*Dasyatis pastinaca*) и остроноса (*Chelon saliens*). Для идентификации данных видов в дальнейшем следует применить другие пары праймеров.

Анализ нуклеотидного состава полного набора данных показал, что средняя частота Т=29,6 %, С=28,5 %, А=24,1 %, G=17,7 %. Самый высокий процент G-C (50,9 %) был у средиземноморской атерины (*Atherina hepsetus*), а самый низкий 39,5 % у саргана (*Belone belone*).

Исследовано 43 вида рыб относящиеся к 16 отрядам, 20 семействам, 37 родам. Выявлено 132 гаплотипа из которых 48 представлены в NCBI/GenBank. У 26 видов идентифицировано 84 новых гаплотипа, у каждого вида их от 1 до 6 гаплотипов. За исключением азово-черноморской хамсы (*Engraulis encrasicolus*), у этого вида отмечено наибольшее гаплотипическое разнообразие – 22 гаплотипа.

Для 17 исследуемых видов рыб (бычок песочник (*Neogobius fluviatilis*), бычок сурман (*Neogobius fluviatilis*), камбала-Глосса (*Platichthys flesus*), карп-сазан (*Cyprinus carpio*), карась (*Carassius gibelio*), белый амур (*Ctenopharyngodon idella*), сингиль (*Chelon aurata*), барабуля (*Mullus barbatus*), окунь (*Perca fluviatilis*), судак (*Sander lucioperca*), сарган (*Belone belone*), пузанок азовский (*Alosa tanaica*), сом обыкновенный (*Silurus glanis*), мерланг (*Merlangius merlangus*), средиземноморский морской налим (*Gaidropsarus mediterraneus*), щука (*Esox lucius*), морская лисица (*Raja clavata*)) все полученные митохондриальные гаплотипы (1-2 для каждого вида) полностью соответствовали гаплотипам, представленным для этих видов в NCBI/GenBank.

У атерины средиземноморской (*Atherina hepsetus*), толстолобика пестрого (*Hypophthalmichthys nobilis*), скорпены-ёрша черноморского (*Scorpaena porcus*)

выявлены только новые гаплотипы, где процент сходства между аннотированными последовательностями соответствующих видов в NCBI/GenBank был в пределах 98,74-99,9, что соответствует внутривидовой изменчивости. Результаты депонированы в Bold (<https://www.boldsystems.org>) *Atherina hepsetus* (№ABSB15), *Scorpaena porcus* (№ABSB318-331).

Последовательности участка гена COI перкарины (*Percarina demidoffi*) не зарегистрированы в базе данных NCBI/GenBank. Наиболее близкий этому виду по результатам BLAST является обыкновенный ерш (*Gymnocephalus cernuus*). Процент сходства их последовательностей равен 92,18-92,44%. Подобный уровень дифференциации указывает на видовое различие. Полученные данные прошли регистрацию в международной системе Bold (№ABSB256-260).

У 15 образцов тарани (*Rutilus rutilus heckelii*) выявлено 3 гаплотипа по гену COI, который идентифицируется как плотва сибирская (*Rutilus rutilus lacustris*), процент сходства (99,86-100%). Эти результаты согласуются с ранее полученными данными (Ermakov et al., 2017).

Анализ последовательностей гена COI у азовского пузанок (*Alosa tanaica*) и черноморско-азовской проходной сельди (*Alosa immaculata*) выявил наличие общих гаплотипов. В этой связи использование гена COI для видовой идентификации рыб рода *Alosa* не целесообразно.

Для референтного набора данных по гену COI у исследуемых рыб внутривидовые генетические дистанции (K2P) отмечались на уровне 0-0,016. Максимальная внутривидовая дивергенция наблюдалась у морского карася (*Diplodus annularis*) (0,016±0,005) и перкарины (*Percarina demidoffii*) (0,011±0,004), а наименьшее (0,002) у леща (*Abramis brama*), атерины южноевропейской (*Atherina boyeri*) и темного горбыля (*Sciaena umbra*). При попарном сравнении значения межродовой дивергенции отмечалось в пределах 0,027±0,009 до 0,238±0,023, соответственно между родами *Vimba* и *Vlicca* самое низкое значение, а между родами *Platichthys* и *Scophthalmus* самое высокое значение. Значения генетической дифференциации между семействами варьировала от 18,05% до 33,95%, что согласуется с данными полученными для морских и пресноводных рыб из других водных бассейнов.

Результаты данной работы в целом показывают эффективность ДНК-штрихкодирования для идентификации 40 промысловых видов рыб Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна. Исключение составляют рыбы р. *Alosa* и тарани (*Rutilus rutilus heckelii*), для идентификации этих видов необходим поиск других молекулярных маркеров.

#### Список литературы

1. Васильева Е.Д. Рыбы чёрного моря. определитель морских, солоноватоводных, эвригалинных и проходных видов с цветными иллюстрациями, собранными С.В. Богородским. Москва: ВНИРО, 2007. 238 с.
2. Васильева Е.Д., Лужняк В.А. Рыбы бассейна Азовского моря. Ростов-на-Дону: Южный научный центр РАН, 2013. 272 с.
3. Дирипаско О.А., Изергин Л.В., Яновский Э.Г., Демьяненко К.В. Определитель рыб Азовского моря Бердянск, 2001. 107 с.
4. Методические рекомендации «Методика измерений последовательности нуклеотидов 5' участка гена *coi* митохондриальной днк водных биологических ресурсов секвенированием по Сенгеру с использованием флуоресцентно-меченных терминаторов реакции и применением капиллярного электрофореза». М: ВНИРО, 2021. 18 с.
5. Небесихина Н.А. Изучение водных и наземных экосистем: история и современность. Изменчивость митохондриальной ДНК у камбалы калкан (*Scophthalmus maeoticus*) в Азово-Черноморском бассейне // Международная научная конференция, посвященная 150 летию севастопольской биологической станции-института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского и 45 летию НИС «Профессор Водяницкий» Севастополь, 2021.С. 483-484.

6. April J., Mayden R.L., Hanner R.H., Bernatchez L. Genetic calibration of species diversity among North America's freshwater fishes // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2011. № 26 (108). C. 10602-10607.
7. Baldwin C.C., Mounts J.H., Smith D.G., Weigt L.A. Genetic identification and color descriptions of early life-history stages of Belizean *Phaeoptyx* and *Astrapogon* (Teleostei: Apogonidae) with Comments on identification of adult *Phaeoptyx* // *Zootaxa*. 2009. № 1 (2008). C. 1-22.
8. Ermakov O.A., Levina M.A., Titov S.V., Levin B.A. mtDNA-based identification of two widespread roach species (*Rutilus*, Cyprinidae) characterized by sympatric zone // *Inland Water Biology*. 2017. № 1 (10). C. 112-114.
9. Iyiola O.A., Nneji L.M., Mustapha M.K., Nzeh C.G., Oladipo. DNA barcoding of economically important freshwater fish species from north-central Nigeria uncovers cryptic diversity // *Ecology and Evolution*. 2018. № 14 (8). C. 6932-6951.
10. Keskin E., Atar H. H. DNA barcoding commercially important fish species of Turkey // *Molecular Ecology Resources*. 2013. № 5 (13). C. 788-797.
11. Knebelsberger T., Dunz A.R., Neumann D., Geiger M.F. Molecular diversity of Germany's freshwater fishes and lampreys assessed by DNA barcoding // *Molecular Ecology Resources*. 2015. № 3 (15). C. 562-572.
12. Orlova S.Y., Emelyanova O.R., Nebesikhina N.A., Rabazanov N.I., Orlov A.M. The Problems of DNA-Barcoding the Shads of Genus *Alosa* (Alosidae) of the Ponto-Caspian Basin // *Journal of Ichthyology*. 2024. № 3 (64). C. 510-520.

## ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЗООПЛАНКТОНА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕЛЬТЫ р. ВОЛГИ

Л.В. Никулина

Волжско-Каспийский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»),  
г. Астрахань, [nikulinalv@kaspnirh.vniro.ru](mailto:nikulinalv@kaspnirh.vniro.ru)

Аннотация: дана сапробиологическая оценка состояния вод дельты р. Волги, основанная на материалах изучения зоопланктонного комплекса в весенне-осенний период 2023 г. В зоопланктоне в период исследований определено 66 видов, разновидностей и форм беспозвоночных. Структуру зооценоза определяли коловратки и ветвистоусые ракообразные. Сапробность изменялась по численности от 1,59-2,09.

Ключевые слова: зоопланктон, индекс сапробности, виды индикаторы, качество воды, метод Пантле и Букка в модификации Сладечека

Качество вод водотоков и водоёмов тесно связано с протеканием процессов самоочищения, которые осуществляются при участии всех населяющих их гидробионтов. Одним из направлений гидробиологических наблюдений является определение качества поверхностных вод, состояния водных экологических систем и их изменения в результате антропогенного воздействия. Наиболее детально состояние водной среды можно оценить по составу сообществ водных организмов. Биоиндикационные методы на основе видового разнообразия сообществ дают интегральную оценку результатов всех природных и антропогенных процессов, протекающих в водоёме.

Целью данной работы являлось определение уровня сапробности вод дельты р. Волги. Для данного исследования были отобраны 55 проб зоопланктона на акватории Главного, Белинского и Карайского банков дельты р. Волги в весенне-осенний период 2023 г. Отбор и обработка проб проводились по стандартным гидробиологическим методикам (Абакумов, 1992, Методические рекомендации..., 1982). Оценка качества воды определялась путем расчета индекса сапробности (S) по Пантле-Букку (Pantle, Buck, 1955) в модификации Сладечека (Sladěček, 1965, 1973).

Видовое разнообразие беспозвоночных зоопланктона на основных водотоках дельты р. Волги в весенне-осенний период включало виды, относящиеся к следующим отделам – Protozoa, Rotatoria, Cladocera, Copepoda, Ostracoda, Bryozoa. Кроме основных групп присутствовали временно планктонные формы: личинки бентических животных *Bivalvia*. К числу прочих относились *Chironomidae*, *Oligochaeta*, *Nematoda*. Всего зарегистрировано 66 таксономических единиц беспозвоночных. Среди определенных в зоопланктоне таксономических групп *Rotatoria* являлись одними из наиболее богатых в видовом отношении сообществом беспозвоночных на всех исследуемых участках акватории (55 % от общего числа видов). Кроме коловраток основу качественного состава определяли ветвистоусые рачки (22 %). На долю веслоногих раков приходилось 11 % видового состава, простейших – 9 %. Доля остальных групп не превышала 2 %.

Видовое разнообразие весеннего зоопланктона на акватории Главного банка формировали коловратки, составив 65 % общего видового разнообразия. Среди *Rotatoria* регистрировались *Asplanchna priodonta*, *A. sieboldi* и виды рода *Brachionus* (*Brachionus calyciflorus amficeros*, *B. calyciflorus anuraeformis*, *B. c. calyciflorus*). Субдоминантами выступали копеподы (15 %), среди которых в массе наблюдались представители отряда *Cyclopoida*. Летом основу видового разнообразия определяли коловратки (42 %), ветвистоусые (30 %) и веслоногие раки (22 %). Массовыми видами среди рачкового планктона являлись представители р. *Heterosca*, отряд *Cyclopoida* и *Harpacticoida*, *Bosmina longirostris*, *Daphnia cucullata*, *D. longispina*, *Diaphanosoma brachyurum* и *Moina rectirostris*.

В группе Rotatoria интенсивно развивались *Asplanchna priodonta* и виды рода *Brachionus* и *Synchaeta*. Осенью таксономический состав зоопланктона представлен в равных долях коловратками, веслоногими и ветвистоусыми ракообразными (30 %). В планктоне зарегистрированы *B. diversicornis*, *Euchlanis dilatata*, *Alona rectangular*, *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*.

Основу таксономической структуры зоопланктона в районе Белинского банка весной определяли коловратки (60 % общего видового разнообразия). Наиболее интенсивное развитие в группе получили *A. priodonta*, *A. sieboldi*, виды рода *Brachionus* (*B. c. amphiceros*, *B. c. calyciflorus*, *B. plicatilis*), *Keratella quadrata*, *Euchlanis dilatata*, *Synchaeta stylata*. Летом наблюдалось сокращение видов среди Rotatoria (23 %) и качественное разнообразие зоопланктона уже формировали ветвистоусые (38 %) и веслоногие раки (24 %). Доминирующее положение среди ракообразных занимали *Alona rectangular*, *Bosmina longirostris*, *Daphnia cucullata* и *Moina rectirostris*, беспозвоночные отр. Cyclopoida. У коловраток интенсивно развивались виды р. *Brachionus* (*B. calyciflorus amphiceros*, *B. c. anuraeiformis*) и *Euchlanis dilatata*. Осенью качественное разнообразие зоопланктона определяли веслоногие (33 %), ветвистоусые ракообразные (25 %) и коловратки (25 %). Наиболее массовое распространение среди веслоногих раков получили *Calanipeda aquaedulcis*, *Heterocope caspia* и виды отр. Cyclopoida и Harpacticoida. В группе ветвистоусых рачков интенсивно развивались *Alona rectangular*, *Bosmina longirostris*. Коловратки представлены *B. quadridentatus* и *Synchaeta pectinata*.

Доминирующий комплекс в видовом разнообразии на акватории Карайского банка весной формировали коловратки (69 % общего количества видов). Среди Rotatoria наибольшее развитие получили *Asplanchna priodonta*, *A. sieboldi*, *Brachionus calyciflorus amphiceros*, *Brachionus calyciflorus calyciflorus*, *Euchlanis dilatata*, *Keratella quadrata*, *Lecane luna*, *Notholca acuminata*. Летом основу качественного состава зоопланктона определяли Cladocera, Rotatoria и Copepoda по 22 % от общего видового состава. Лидирующими видами являлись: *Alona affinis*, *A. rectangular*, *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, *Rhynchotalona rostrata*, *Lecane bulla*, *L. luna*, *Euchlanis dilatata* виды отр. Cyclopoida и Harpacticoida. Осенью таксономический состав зоопланктона формировали Cladocera (33 %), Rotatoria (28 %) и Copepoda (22 %). Наиболее интенсивное развитие в группах получили *Alona rectangular*, *A. affinis*, *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, *Calanipeda aquaedulcis*, *Halicyclops sarsi* Cyclopoida sp., Harpacticoida sp., *Lecane luna*, *L. bulla*, *Eriphanes* sp. (рис. 1).

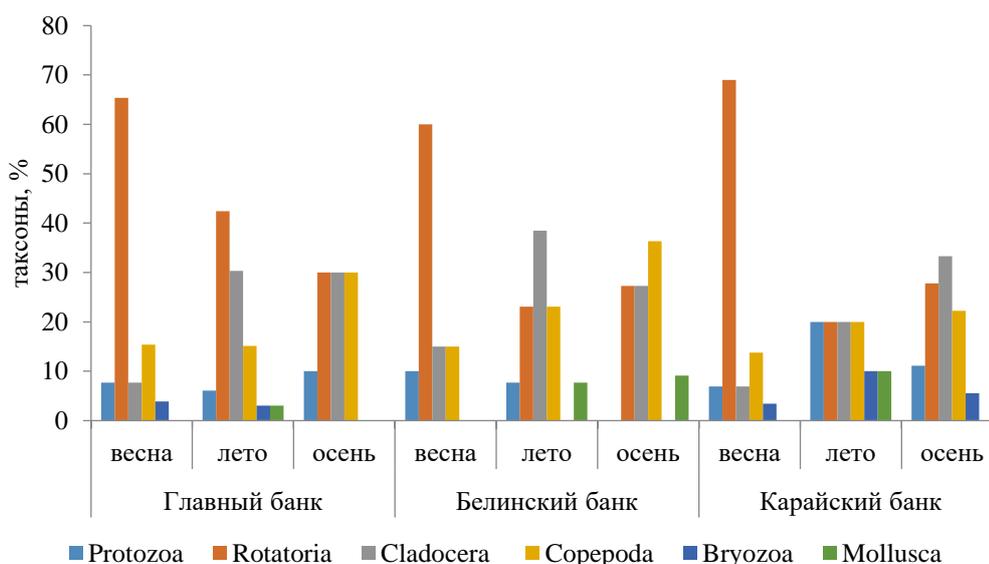


Рисунок 1 – Таксономический состав зоопланктона на основных водотоках дельты р. Волги в весенне-осенний период в 2023 г., %

В составе зоопланктона водотоков дельты отмечено 35 видов-индикаторов различных зон сапробности. Из них большая часть приходилась на коловраток – 22 вида (63 %), к ветвистоусым ракообразным относилось 12 (34 %) видов-индикаторов сапробности, к веслоногим – 1 (3 %). В структуре сапробионтов-зоопланктеров преобладали организмы следующих зон – олигосапробов и  $\beta$ -о по 17 %, о- $\beta$ –26 %,  $\beta$ –20 %,  $\beta$ - $\alpha$  – 14 %,  $\alpha$  и  $\alpha$ - $\beta$  по 3 %. Индекс сапробности за период наблюдений изменялся от 1,59 до 2,09.

В весенний период наибольшие значения индекса сапробности фиксировались в районе Главного банка, где отмечено массовое развитие  $\beta$ -о и о- $\beta$  – мезосапробов из числа коловраток. Значения индекса сапробности соответствовал 1,84, что указывает на умеренное загрязнение (рис. 2).

В летний период значения индекса сапробности составляли 1,81-2,09, что соответствует умеренно загрязненным водам. Основную численность на исследуемой акватории формировали  $\beta$ -о и  $\beta$ - $\alpha$ –мезосапробы из числа коловраток и о- $\beta$  – мезосапробов из числа ветвистоусых и веслоногих ракообразных.

В осенний период индекс сапробности составлял 1,59-1,78, что соответствовало умеренному загрязнению. Наибольшее значения индекса фиксировались в районе Главного банка, о чем свидетельствует наличие  $\beta$  и о- $\beta$  – мезосапробов из числа коловраток и ветвистоусых ракообразных (рис. 2).

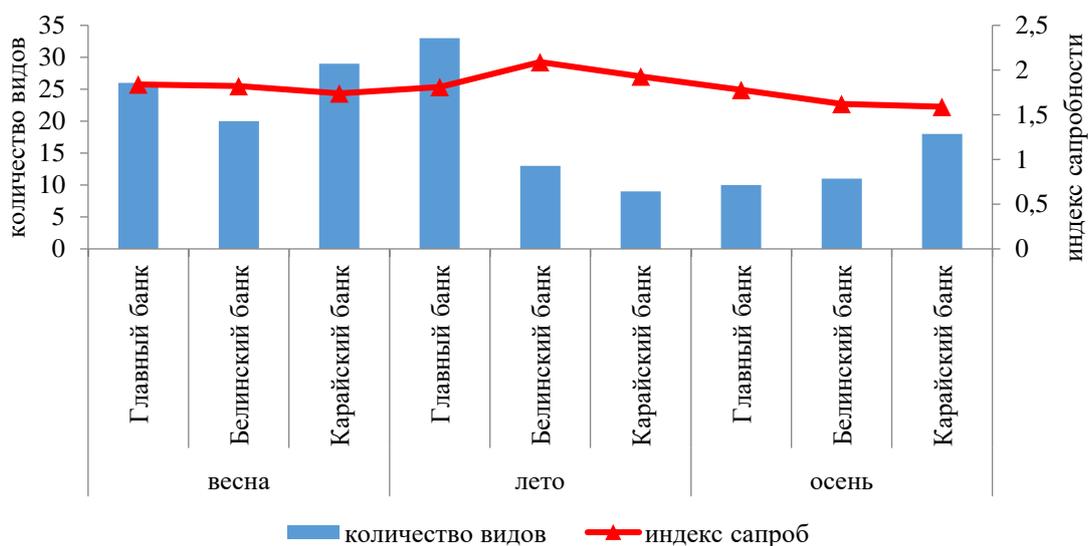


Рисунок 2. Количество индикаторных видов зоопланктона и значений сапробности на основных водотоках дельты р. Волги в весенне-осенний период 2023 г.

Таким образом, результаты исследований показали, что зоопланктон дельты р. Волги на протяжении 2023 г. был представлен широко распространенными видами, обитающими в пресных водах. Среди видов-индикаторов преобладали  $\beta$  и о- $\beta$ -мезосапробы. Индекс сапробности варьировал в пределах 1,59-2,09, что позволяет оценить исследуемые воды как умеренно-загрязненные.

#### Список литературы

1. Абакумов В.А. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресных экосистем. СПб.: Гидрометиздат, 1992. 320 с.
2. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л., 1982. 33 с.
3. Pantle E., Buck H. «Die Biologische Überwachung der Gewässer und Die Darstellung der Ergebnisse» // Gas- und Wasserfach. Vol. 96, No. 18. 1955. P. 1-604.

4. Sládeček V. The future of the saprobity system // *Hydrobiologia*. 1965. Vol. 25.
5. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view // *Arch. Hydrobiol., Beiheft., Ergebnisse der Limnol.* 1973. Bd 7. P. 1-218.

## КИСЛОРОДНЫЙ РЕЖИМ И РЕЖИМ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ОЗЕРА ВЕНДЮРСКОЕ В УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ФОРЕЛЕВОГО ХОЗЯЙСТВА

Ю.С. Новикова, Г.Э. Здоровеннова, Р.Э. Здоровеннов, Н.И. Пальшин

*Институт водных проблем Севера – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», г. Петрозаводск, [novyuliana@gmail.com](mailto:novyuliana@gmail.com)*

*Аннотация: представлены результаты изучения кислородного режима небольшого оз. Вендюрское (юг Карелии) в условиях функционирования форелевого хозяйства. Дефицит кислорода развивается в придонных слоях центральной котловины зимой и летом при усилении стратификации. В зимний период скорость уменьшения средней по водному столбу концентрации кислорода увеличилась после начала действия форелевого хозяйства.*

Ключевые слова: форелевое хозяйство, мелководное озеро, температура воды, растворенный кислород, дефицит кислорода, перемешивание

В Республике Карелия в последние годы все более активно развивается товарное выращивание радужной форели *Parasalmo mykiss* (Walbaum) – более 80 % объема общероссийского производства этой рыбы осуществляется в озерных садковых форелевых хозяйствах региона (Михайленко, Стерлигова, 2021). Озера, в которых действуют рыбоводные фермы, испытывают постоянный прессинг в связи с поступлением в воду биогенных веществ, остатков корма, продуктов жизнедеятельности рыб (Галахина, Зобков, 2022).

В оз. Вендюрское (юг Карелии) форелевое хозяйство действует с 2011 г. Для того, чтобы выяснить, оказывает ли деятельность форелевого хозяйства влияние на кислородный режим этого озера, были проанализированы данные многолетних измерений температуры воды и содержания растворенного кислорода за период с 2007 по 2024 гг. Основное внимание было уделено периоду ледостава, когда газообмен с атмосферой практически отсутствует, активность фотосинтеза понижена, и происходит активное потребление кислорода при бактериальном разложении органического вещества (ОВ) (Terzhevik et al., 2009). Также охарактеризован режим перемешивания озера в период весенней подледной конвекции в многолетнем аспекте.

Оз. Вендюрское (62°10'–62°20' с.ш., 33°10'–33°20' в.д.) является типичным для Карелии водоемом ледникового происхождения. Площадь поверхности озера составляет 10,1 км<sup>2</sup>, объем вод – 0,0609 км<sup>3</sup> (Озера Карелии, 2013). Максимальные глубины превышают 12 м, средняя глубина 5,3 м. Лед устанавливается в ноябре–первой половине декабря, сходит в конце апреля–начале мая. В период открытой воды озеро неоднократно перемешивается (Smirnov et al., 2024), поэтому может быть отнесено к полимиктическому типу. В период ледостава и летом при усилении стратификации в придонных слоях глубоководной котловины развивается дефицит кислорода (Terzhevik et al., 2009).

Форелевые садки располагаются на акватории озера с глубинами 8-10 м вблизи южного берега, а также в изолированном южном заливе с глубинами 6-8 м. Станция измерений температуры воды и содержания растворенного кислорода (РК) располагалась в центре озера в районе с глубиной порядка 11,3 м на расстоянии около одного км к северо-востоку от форелевых садков (рис. 1).

Измерения температуры воды и содержания РК проводятся в круглогодичном режиме, начиная с июля 2007 г. до настоящего времени, в центральной глубоководной

части озера (глубина 11,3 м) на автономной станции – косе, оснащенной датчиками температуры и кислорода фирмы RBR Ltd (точность по температуре 0,001 °С, диапазон по кислороду 0-150 %, точность 1 %). Интервал измерений по времени составляет одну минуту. Датчики распределены по вертикали со сдвигом 0,5-2,0 м и охватывают зону от 1,5-2,0 м глубины до дна. Перерыв в измерениях с октября 2013 по октябрь 2014 г. был связан с заменой датчиков.

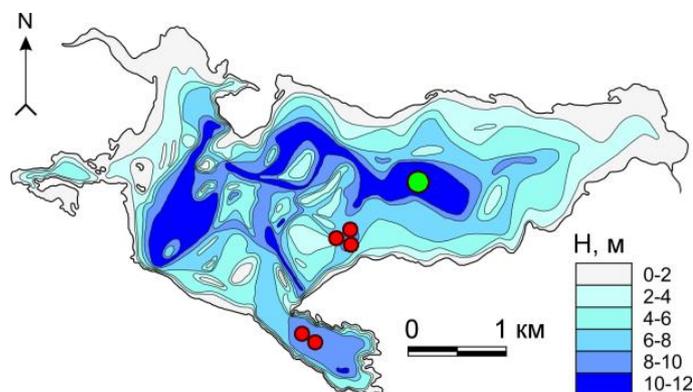


Рисунок 1. Батиметрия оз. Вендюрское и положение станции измерений температуры и растворенного кислорода (зеленый кружок) и схематичное положение садков (красные кружки) форелевого хозяйства

На рис. 2 в качестве примера приведены графики изменения температуры воды и концентрации РК в зимний сезон 2008-2009 гг. Поскольку коса с датчиками была жестко прикреплена ко дну якорем, на рисунке приведены не глубины датчиков, а расстояние каждого из датчиков от дна. Представленные данные иллюстрируют, как с первых же дней ледостава в придонном слое озера (датчики 0,02 и 0,52 м) начинается быстрый рост температуры воды и уменьшение концентрации РК. К концу февраля 2009 г. толщина придонного слоя с концентрацией РК менее 2 мг/л превысила 0,5 м, к концу ледостава (первая неделя мая) – 1,5 м. Температура воды в придонном слое к концу ледостава превысила 4 °С. Весенняя подледная конвекция, обусловленная неоднородным по глубине прогревом водного столба проникающей под лед солнечной радиацией, началась в середине апреля 2009 г., при этом по мере заглубления нижней границы перемешанного слоя происходило вовлечение в перемешивание обедненных кислородом слоев и увеличение концентрации РК. Например, резкий рост РК в конце апреля за 10 суток до взлома льда показал датчик, расположенный на расстоянии 3,72 м над дном. В то же время в верхнем слое (расстояние датчика от дна 8,72 м, что соответствует глубине 2,58 м) концентрация РК в течение периода ледостава лишь незначительно снизилась от 12 до 10-11 мг/л. Но с началом конвективного перемешивания наблюдалось уменьшение концентрации РК в перемешанном слое по мере вовлечения в перемешивание обедненных кислородом нижележащих слоев и выравнивания концентрации РК по перемешанному слою.

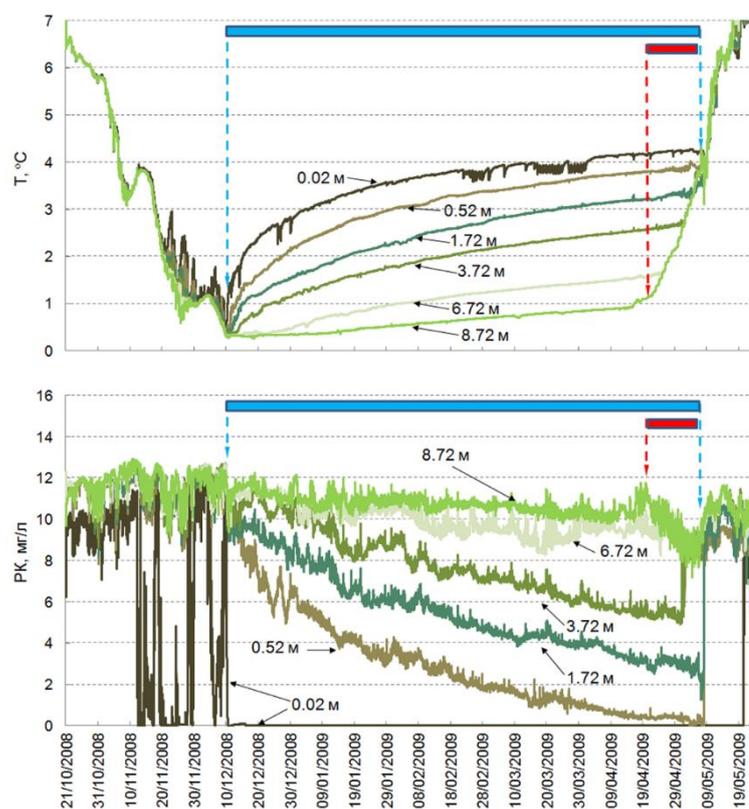


Рисунок 2. Температура воды и концентрация растворенного кислорода (РК) в зимний сезон 2008-2009 гг. Синие стрелки и горизонтальный прямоугольник показывают период ледостава, красные стрелка и прямоугольник – период весенней подледной конвекции. На рисунке приведены расстояния датчиков от дна, м. Для того, чтобы понять, на какой глубине располагался каждый из датчиков косы, нужно из общей глубины станции (11,3 м) вычесть расстояние датчика от дна. Например, верхний датчик косы был удален от дна на 8,72 м, что, с учетом общей глубины станции 11,3 м, дает глубину этого датчика 2,58 м

По данным термокос установлено, что средняя температура столба воды в центральной части озера Вендюрского при установлении льда варьировала от 0,13 до 2,3 °С в разные годы. К концу зимы температура воды в придонных слоях центральной котловины озера достигала 4,20-5,85 °С. Весенняя подледная конвекция началась в разные годы в период с 10 марта по 21 апреля и длилась 3-7 недель. Глубина нижней границы КПС в конце зимы в разные годы достигала 5,5-10,5 м, а его температура составляла 2,5-4,0 °С. Интенсивность развития подледной конвекции в разные годы отличалась в зависимости от количества солнечной радиации, поступающей под лед. При отсутствии снега на льду и тонком слое белого льда конвективное перемешивание развивалось быстро и охватывало к концу ледостава слой воды до глубины 7-10 м. В пасмурную погоду, при выпадении свежего снега потоки солнечной радиации в подледном слое резко уменьшались, что замедляло развитие конвекции и оказывало сдерживающее влияние на развитие фитопланктона.

Во все годы измерений в предледоставный период (октябрь, ноябрь) водная масса озера Вендюрского была квазиоднородной из-за интенсивного ветрового перемешивания и была достаточно хорошо насыщена кислородом (> 90 %). Содержание РК в толще воды постепенно возрастало по мере понижения температуры воды в связи с увеличением его растворимости. Каждую осень в поверхностном слое озера наблюдались максимальные концентрации РК > 12,0 мг/л (насыщение более 90 %).

В течение первых 2-3 дней после установления льда средняя по столбу концентрация РК обычно снижалась на 0,5-1,0 мг/л. Затем в течение подледного периода концентрация РК в поверхностных слоях водной толщи озера постепенно снижалась и к концу зимы составляла 9,0-9,5 мг/л при насыщении 75-80 %. В придонных слоях центрального

глубоководного бассейна в течение первых недель подледного периода наблюдалось быстрое уменьшение РК, а к концу второго месяца ледового периода концентрация РК в придонном слое 0,5 м обычно снижалась до 2 мг/л. Толщина придонной анаэробной зоны (концентрация РК менее 2 мг/л) в отдельные годы достигала двух метров в конце подледного периода.

Анаэробная зона в глубоководной части озера обычно сохраняется до взлома льда, так как придонный слой центральной котловины (глубина более 10 м) редко вовлекается в конвективное перемешивание. Весной после взлома льда обычно происходит полное перемешивание водной толщи Вендюрского озера, и придонная анаэробная зона разрушается.

Для дальнейших расчетов исходные данные по кислороду были осреднены посуточно. Рассчитывалась средняя по столбу концентрация кислорода для первых суток  $C_0$  и далее для каждого суток  $C_t$  ледового периода; затем рассчитывалось отношение  $C_t/C_0$  для каждого суток ледового периода.

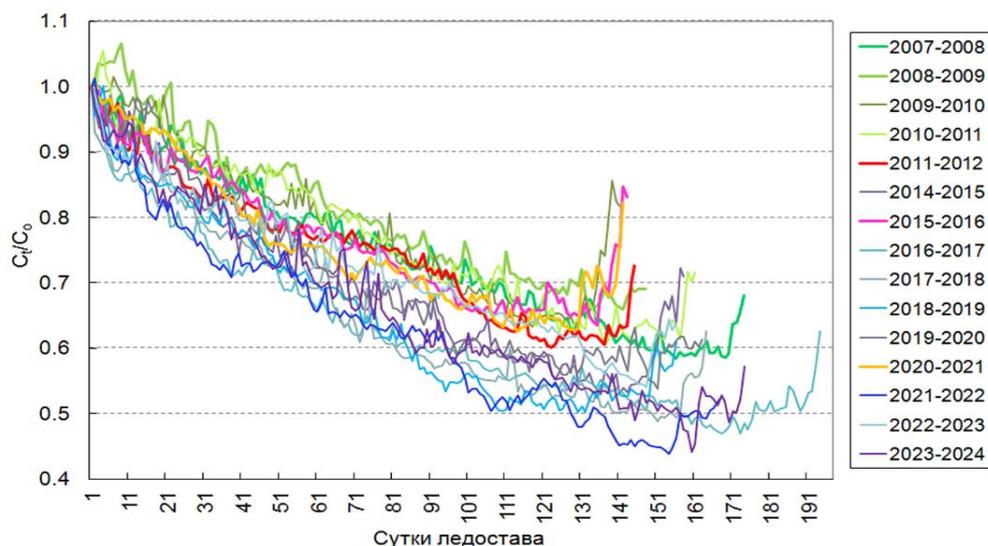


Рисунок 3. Отношение  $C_t/C_0$  в разные годы

Отношение  $C_t/C_0$  характеризует скорость уменьшения концентрации РК в озере за счет его бактериального потребления в озере, и его можно рассматривать как косвенный показатель количества ОВ в воде – чем больше ОВ, тем быстрее происходит снижение концентрации РК за счет его потребления при бактериальной деструкции. В конце зимы в некоторые годы наблюдался рост  $C_t/C_0$ , что могло быть обусловлено выделением кислорода в результате фотосинтеза (Zdorovenнова et al., 2021).

Во все годы наблюдений показатель  $C_t/C_0$  снижался в течение зимы (от 0,47 до 0,61), но скорость его уменьшения в разные годы отличалась (рис. 3). До начала действия форелевого хозяйства, скорость уменьшения  $C_t/C_0$  в озере была меньше (зеленые линии на рис. 3), чем в последующие годы (синие линии). В зимние сезоны 2015/16 и 2020/21 скорость уменьшения  $C_t/C_0$  была соизмерима с годами до начала деятельности форелевого хозяйства, что могло быть связано с прохладными условиями предыдущего периода открытой воды, менее активным развитием фитопланктона в озере и меньшим количеством ОВ в воде.

Поскольку скорость уменьшения  $C_t/C_0$  можно рассматривать как косвенный показатель количества ОВ в водной толще озера, можно предположить, что с началом деятельности форелевого хозяйства количество ОВ в озере увеличилось. Можно заключить, что деятельность форелевого хозяйства может быть причиной ухудшения кислородных условий в озере зимой.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН.

#### Список литературы

1. Галахина Н.Е., Зобков М.Б. Гидрохимические исследования в районе расположения форелевых хозяйств в Кондопожской губе Онежского озера в зимний период 2022 года // Тр. КарНЦ РАН. 2022. № 6. С. 76-87.
2. Михайленко В.Г., Стерлигова О.П. Некоторые экологические аспекты садкового выращивания радужной форели // Труды КарНЦ РАН. № 12. Сер. Экологические исследования. 2021. С. 82-90. DOI: 10.17076/eco1509
3. Озера Карелии. Справочник // Под. ред. Н.Н. Филатова, В.И. Кухарева. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.
4. Smirnov S. I. et al. Parameters of Water Column Stability in a Small Polymictic Lake in Years of Different Weather Conditions // Water Resources. 2024. Vol. 51. P. 299–313.
5. Terzhevik A. et al. Some features of the thermal and dissolved oxygen structure in boreal, shallow ice-covered Lake Vendyurskoe, Russia // Aquatic Ecology. 2009. Vol. 43. P. 617-627. DOI 10.1007/s10452-009-9288-x.
6. Zdrovennova G. et al. Dissolved Oxygen in a Shallow Ice-Covered Lake in Winter: Effect of Changes in Light, Thermal and Ice Regimes // Water. 2021. Vol. 13(17). P. 2435. <https://doi.org/10.3390/w13172435>

## ПЕРСПЕКТИВЫ АНАЛИЗА ПОЛНЫХ МИТОХОНДРИАЛЬНЫХ ГЕНОМОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОЦЕНКИ БИОРАЗНООБРАЗИЯ ЛОСОСЕВЫХ РЫБ

А.Г. Олейник, А.Д. Кухлевский

*Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского  
Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток  
[alla\\_oleinik@mail.ru](mailto:alla_oleinik@mail.ru), [ad.kukhlevskiy@gmail.com](mailto:ad.kukhlevskiy@gmail.com)*

*Аннотация: современные репозитории в основном содержат последовательности генов, которые не всегда подходят для идентификации таксонов спорного происхождения. Это приводит к неточному определению видовой принадлежности популяций и может привести к ошибкам в оценке биоразнообразия. Наше исследование фокусируется на эндемичных гольцах рода *Salvelinus*. Полученные результаты показывают, что секвенирование митогеномов служит ценным инструментом для прояснения таксономического статуса эндемиков или редких гольцов.*

Ключевые слова: гольцы рода *Salvelinus*, мтДНК, митогеном, филогения, биоразнообразие

Лососевые рыбы предоставляют уникальную возможность изучать разные аспекты эволюции, включая механизмы видообразования, роль гибридизации в эволюции, дупликации генома и т.д. Для обоснованного обсуждения этих эволюционных проявлений необходимо реконструировать филогению семейства. Однако, несмотря на большой объем работ, посвященных анализу филогенетических отношений лососевых рыб, некоторые важные вопросы относительно их эволюционной истории остаются без ответа. Нерешенные проблемы в филогенетике лососевых могут быть связаны с ограничениями, определяемыми как биологическими факторами (параллельная и конвергентная эволюция в сходных экологических нишах, быстрая радиация, частая гибридизация, локальные адаптации (Keeley, 2019), так и методологическими факторами, которые представляют начальные условия описания таксонов.

Относительный вклад числа таксонов и числа признаков в филогенетическую гипотезу является центральной по значимости проблемой для успешной реконструкции филогении. Первый аспект проблемы связан с репрезентативностью ограниченной выборки генетических признаков в отношении всего генома, и соответствия между эволюцией отдельных генов и эволюцией видов (Pamilo, Nei, 1988). Большое количество ошибочных филогенетических выводов было сделано из-за недостаточной длины анализируемых участков ДНК, поскольку короткие фрагменты, принадлежащие только одному гену, могут нести слабый филогенетический сигнал или нефилогенетический сигнал, связанный с эволюцией конкретного гена (Rosenberg, Kumar, 2003). Второй аспект проблемы связан с репрезентативного таксономического состава выборки (Nogue, 2017). Сравнительная оценка разного рода филогенетических реконструкций свидетельствует, что спорные топологии и низкое разрешение часто связаны с неадекватной таксономической выборкой (Heath et al., 2008). Один из возможных путей решения этой проблемы состоит в увеличении набора таксонов с полностью определенной последовательностью митохондриального генома (митогенома). Однако подавляющее большинство филогенетических исследований лососевых рыб ограничивается анализом отдельных генов или последовательностей ДНК одного гена разной длины у ограниченной выборки таксонов. Это создает дополнительные трудности для построения полной, хорошо поддержанной филогении даже на уровне отдельных родов лососевых рыб.

В этом смысле митогеномика или изучение полных последовательностей митогеномов была предложена в качестве полезного инструмента для филогенетического анализа, а также для уточнения видовой принадлежности почти всех видов организмов, включая рыб. Важность митогеномных репозиториев данных продолжает расти быстрыми

темпами, поскольку с появлением новых технологий секвенирования генерируются огромные объемы данных (Miya, Nishida, 2013; Schroeter et al., 2020). Серьезное узкое место, которое отмечают многие исследователи, это ограниченность информации о митогеномах редких, узкоареальных или труднодоступных видов. Притом, что расширение представленности видов по митогеномам поможет перейти от методов метабаркодинга одного гена к метагеномике в оценке биоразнообразия, и предоставит ценный ресурс для молекулярной экологии и филогенетики. Данное направление стало активно развиваться, в том числе и для группы гольцов рода *Salvelinus*.

Основная цель исследования сводилась к пониманию того, в какой степени анализ митогеномов узкоареальных/эндемичных или спорных таксонов важен для оценки биоразнообразия видов. Наконец, было ожидание, что данное исследование продемонстрирует возможности митогеномов, хранящихся в общедоступных репозиториях, в выяснении таксономического статуса узкоареальных эндемиков или спорных таксонов гольцов, чьи оригинальные описания в большинстве случаев основаны на морфологических признаках. С этой целью было проанализировано 36 полных митогеномов, включая эндемичных гольцов *Salvelinus* sp. 4 (оз. Начикинское, Камчатка), *Salvelinus elgyticus* и *Salvelinus boganidae* (оз. Эльгыгытгын, Чукотка), *Salvelinus alpinus alpinus* (black charr) (оз. Лама, Таймыр), *Salvelinus alpinus erythrinus* Davatchan (оз. Фролиха, бас. оз. Байкал), *Salvelinus drjagini* (оз. Собачье, Таймыр), *Salvelinus kronocius* и *Salvelinus schmidtii* (оз. Кроноцкое, Камчатка), *Salvelinus malma miyabei* (оз. Шикиребетсу, о. Хоккайдо), *Salvelinus gritzenkoi* (оз. Черное, о. Парамушир), *Salvelinus levanidovi* (р. Яма, Охотоморье).

Проведена оценка изменчивости и пригодности полных митогеномов на нескольких уровнях дивергенции среди таксонов гольцов. Сравнительное исследование показало, что геномная организация и структура новых митогеномов гольцов рода *Salvelinus* консервативны и идентичны типичному митогеному лососевых рыб (Satoh et al., 2016). Филогенетическая информация, заключенная в различных генах, является взаимодополняющей. Для рода *Salvelinus* статистически устойчивые топологии не могут быть получены при анализе отдельных генов или коротких последовательностей митохондриальной ДНК, вне зависимости от эволюционных моделей и методов построения дендрограмм. В то же время, митохондриальная ДНК является эффективным молекулярным маркером для реконструкции филогенетических отношений между видами и филогенетическими группами лососевых рыб семейства Salmonidae, анализа микроэволюционных процессов, при условии использования митогеномов.

Полученные результаты показывают, что увеличение репрезентативности митохондриальных геномов за счет редких, узкоареальных/эндемичных гольцов дало филогенетические оценки со значительно большим разрешением (Oleinik, 2022). Митогеномы могут надежно устанавливать связи между линиями, а также внутри линий эволюционно молодой группы рыб (Oleinik et al., 2021, 2022, 2023). Были получены дополнительные доказательства того, что гольцы локального комплекса из озера Кроноцкое, изучаемого нами, принадлежат к Берингской линии с очень низким уровнем дивергенции митогенома. Подходы, предложенные авторами, к наборам данных митогенома показали, что берингская линия включала две субклады, что предполагает наличие скрытых рефугиумов на полуострове Камчатка во время оледенений позднего плейстоцена или двух отдельных событий колонизации Камчатки потомками *S. malma malma*. Но помимо всего этого, необходимо использовать дополнительные ядерные маркеры для дальнейших исследований, чтобы проверить нашу гипотезу о биогеографической модели для Берингской линии.

Параллельная картина диверсификации гольцов и таксономических проблем существует на протяжении большей части ареала в Северо-Восточной Азии. В некоторых случаях отдельные эндемичные гольцы, обнаруженные в разных водосборах региона, были

указаны либо как виды, либо как подвиды. Согласно морфологическим описаниям, озерные гольцы, по-видимому, действуют как отдельные биологические виды со значительными фенотипическими различиями, пространственными или временными барьерами для размножения и незначительным или отсутствующим потоком генов между ними. Однако масштабные сравнения эндемичных гольцов по митогеномам (Oleinik et al., 2022, 2023) не нашли убедительной поддержки таксономических категорий, используемых для описания внутривидового разнообразия среди этих гольцов. Тесное родство между эндемичными гольцами и общим предковым видом в пределах Берингийской (*S. malma malma*, *S. kronocius*, *S. schmidti*), Западно-тихоокеанской (*S. curilus*, *S. malma miyabei*, *S. gritzenkoi*) и Арктической (*S. taranetzi*, *Salvelinus* sp. 4, *Salvelinus alpinus erythrinus* Северной Америки) линий было подтверждено анализами полных митогеномов. Очевидно, что для нескольких изолированных популяций первоначально описан более высокий уровень диверсификации. В то же время, новые данные согласуются с одновидовой таксономией.

Расширение генетических ресурсов необходимо для идентификации видов и мониторинга биоразнообразия. Идентификация на основе митогеномов дополняет традиционные методы анализа, и обеспечивает разрешение филогенетических отношений внутри рода с более точными оценками разнообразия видов. Поэтому выводы данного исследования могут быть полезны для будущих генетических исследований гольцов рода *Salvelinus*, а также других групп рыб для правильной оценки статуса спорных таксонов. Примером могут служить сиговые рыбы (Coregonidae), для которых характерно большое количество таксономически неопределенных форм внутривидового ранга.

Авторы выражают искреннюю благодарность Скурихиной Любови Андреевне за долгие годы плодотворного сотрудничества.

#### Список литературы

1. Heath T.A., Hedtke S.M., Hillis D.M. Taxon sampling and the accuracy of phylogenetic analyses // Journal of Systematic Evolution. 2008. Vol. 46, № 3. P. 239-257.
2. Horreo J.L. Revisiting the mitogenomic phylogeny of Salmoninae: new insights thanks to recent sequencing advances // PeerJ. 2017. Vol. 5. P. e3828.
3. Keeley E.R. Origins, species diversity, and ecological diversification in trout and char // Trout and char of the world. Edited by J.L. Kershner, J.E. Williams, R.E. Gresswell, and J.L. Lobón-Cerviá. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 2019. P. 15-39.
4. Miya M., Nishida M. MitoFish and MitoAnnotator: a mitochondrial genome database of fish with an accurate and automatic annotation pipeline // Molecular Biology and Evolution. 2013. Vol. 30. C. 2531-2540.
5. Oleinik A.G. 2022. Study of phylogenetic relationships of charrs of the genus *Salvelinus* based on complete mitochondrial genome sequencing // Modern Problems of Biological Evolution. Edited by A.V. Podolnaya, N.I. Tregub. State Darwin Museum, Moscow. P 279-281.
6. Oleinik A.G., Skurikhina L.A., Kухлевский A.D., Semenchenko A.A. The first complete mitochondrial genomes of two species of charr, *Salvelinus boganidae* and *Salvelinus elgyticus*, from Lake El'gygytgyn (Chukotka) // Polar Biology. 2021. Vol. 44. C. 1209-1217.
7. Oleinik A.G., Kухлевский A.D., Skurikhina L.A. The relationships of the charrs *Salvelinus* sp. 4 (Salmoniformes: Salmonidae) from Lake Nachikinskoe, Kamchatka, as inferred from complete mitochondrial genome analysis // Russian Journal of Marine Biology. 2022. Vol. 48, № 1. C. 55-59.
8. Oleinik A.G., Kухлевский A.D., Skurikhina L.A., Shubina, E.A. Complete mitochondrial genomes of Gritzenko's charr *Salvelinus gritzenkoi* and Miyabe charr *Salvelinus malma miyabei* and their interpretation regarding intraspecific taxonomy // Molecular Biology Reports. 2023. Vol. 50, № 7. C. 6273-6278.
9. Pamilo P., Nei M. Relationships between gene trees and species trees // Molecular Biology and Evolution. 1988. Vol. 5. P. 568-583.
10. Rosenberg M.S., Kumar S. Taxon sampling, bioinformatics, and phylogenomics // Systematic Biology. 2003. Vol. 52. P. 119-124.
11. Satoh T.P., Miya M., Mabuchi K., Nishida M. Structure and variation of the mitochondrial genome of fishes // BMC Genomics. 2016. Vol. 17. P. 719.
12. Schroeter J.C., Maloy A.P., Rees C.B., Bartron M.L. Fish mitochondrial genome sequencing: expanding genetic resources to support species detection and biodiversity monitoring using environmental DNA // Conservation Genetics Resources. 2020. Vol. 12, № 3. P. 433-446.

## **БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИНВАЗИИ – СОВРЕМЕННЫЙ ПРОЦЕСС СМЕШАННОГО ГЕНЕЗИСА В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА: ПРИЧИНА, ПРЕДПОСЫЛКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

М.И. Орлова

*ФГБУН Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук,  
г. Санкт-Петербург, [om@spbrc.nw.ru](mailto:om@spbrc.nw.ru)*

*Аннотация: исследование направлено на упорядочение теоретических представлений; систематизацию накопленного в 2004-2022 гг. фактографического материала, полученного в результате анализа открытых источников и выполнения полевых работ; изучения ключевых особенностей биотопов-реципиентов и инвазионных видов; причин, предпосылок и механизмов, обеспечивающих успешное расселение таких видов в экосистемах разнотипных солонатоводных (в основном пресноводно-олигогалинных) акваторий и омываемых ими побережий на примере восточной части Финского залива.*

Ключевые слова: чужеродные виды, эдификаторы, виды-источники биопомех

Биологические инвазии – процесс расселения (расширения ареала) биологических видов, протекающий в соответствии с теми же универсальными биологическими закономерностями, что и обычное (естественное) расселение, но при разноплановом содействии или непосредственном, в том числе преднамеренном, воздействии человека (men-mediated). Инвазии в связи с их глобальным характером и частотой регистраций – предмет одного из направлений современных экологических исследований в рамках преимущественно биологических дисциплин; в силу того, что значительная часть вселенцев имеет практическое значение, знания, полученные в ходе исследований, находят применение в разработках программ по рациональному использованию природных ресурсов во всем мире (Carlton, 2002).

Расселение, индуцированное человеком, имея смешанный генезис, обусловлено с одной стороны свойствами расселяющегося объекта и естественными закономерностями такого расселения, а с другой – наличием такого внешнего по отношению к расселению фактора, как человек. Отличает данный вид расселения скорость протекания - случаи антропогенного расселения регистрируются одним или немногими поколениями людей, в отличие от естественного, занимающего при отсутствии катастрофических геологических событий, временные отрезки, несопоставимые с продолжительностью человеческой жизни. Ключевая причина успеха такого ускоренного расширения ареала - искусственное разрушение или снятие барьеров, сдерживающих потенциал биологического объекта к экспансии, без разрушения. Независимо от способа расширения ареала (преодоления барьера), объекта или субъекта, послужившего расселению вида, результатом часто становятся разноплановые изменения в состоянии отдельных элементов экосистем, в которых протекает или состоялась инвазия. В таких экосистемах, которые принято называть «экосистемами-реципиентами» (получателями), вследствие накопления в них интродуцированных и натурализовавшихся видов, являющихся по отношению к таким системам чужеродными, эти виды проявляют самые разнообразные свойства. В том числе такие, которые не были зарегистрированы в тех экосистемах («донорах»), из которых они ведут свое происхождение или прибыли в систему-реципиент. Такие свойства при естественном расселении обычно формируются на периферии ареала – естественной или техногенной.

Для представленного исследования были использованы открытые источники и собственные данные, в том числе, гидробиологические материалы, собранные с применением интегративного подхода (Региональная экология, 2015).

В качестве объекта исследования использована наиболее многочисленная по числу регистраций группа донных вселенцев, натурализовавшихся или регулярно регистрируемых в восточной части Финского залива (ВЧФЗ) из числа колониальных гидроидных полипов (Hydrozoa), моллюсков (Gastropoda и Bivalvia), многощетинковых кольчатых червей (Polychaeta), мшанок (Bryozoa) и усоногих раков (Cirripedia, Crustacea). Выявленные в заливе представители этих таксонов демонстрируют все многообразие наиболее интересных с точки зрения основной предпосылки инвазий - набора свойств вида, определяющего потенцию быть объектом биологической инвазии, сформировавшегося в результате адаптации к условиям региона-источника инвазии (условия, в свою очередь формируются, в ходе геологической истории и современных климатических и биотопических вариаций). Исследованная совокупность таксонов демонстрирует максимально возможное для солоноватых вод разнообразие типов жизненных циклов свободноживущих водных беспозвоночных (от живорождения при клонировании, до жизненных циклов с расселительными - личиночными и покоящимися - стадиями), предрасполагающих их к заселению типичных и нетипичных биотопов ВЧФЗ, представляющего гигантский урбанизированный эстуарий с выраженной системой горизонтальных градиентов и отличающегося разнотипными естественными непериодическими явлениями, природными особенностями живых сообществ и комплексом воздействий техногенного фактора и последствий иных видов морепользования, которые все вместе предрасполагают ВЧФЗ к успеху интеграции в нем чужеродных видов. Также в этой совокупности имеются формы с различным образом жизни – колониальные и солитарные, вагильные и сессильные, представители эпифауны и инфауны. Микроскопические личинки, вегетативные почки, собственный сравнительно небольшой размер во взрослом состоянии (в случае свободноживущих форм) и перемещение с потоками воды – все обеспечивает их расселение по внутри- и межконтинентальным инвазионным коридорам посредством векторов, сопряженных с водным транспортом, играющим важную роль для развития северо-западного региона России.

В настоящее время в ВЧФЗ зарегистрировано более 70 чужеродных видов водных и околотовных организмов, что исходно обусловлено существованием устойчивых инвазионных коридоров, обеспечивающих регулярный и сравнительно предсказуемый характер интродукций. Итогом взаимодействия конкретных экологических, климатических, эволюционных и иных естественных явлений и событий, техногенной трансформации ВЧФЗ явилась натурализация ряда массовых видов, связанных не столько общностью географического происхождения, сколько функциональными особенностями. Эти особенности при наличии в ВЧФЗ свободных экологических лицензий, способствовали не только полноценной интеграции таких видов в аборигенные сообщества, но и формированию новых фрагментов пищевых сетей, состоящих из чужеродных элементов (явление т.н. «invasion meltdown») (Simberloff, Von Holle, 1999) или сопряженной инвазии). Ряд стихийных вселенцев в пресные и солоноватые континентальные водоемы, в том числе в опресненные участки Балтийского моря, имеет образ жизни и относится к трофическим группам, не представленным в аборигенной фауне, повышая тем самым функциональное разнообразие сообществ водоемов-реципиентов: таковы группы беспозвоночных, использованные в качестве предмета данного исследования, среди которых, кроме того, достаточно видов, имеющих слабо выраженную специализацию – генералистов (Орлова, 2010), способных потреблять пищевые ресурсы, недоступные аборигенным видам (Berezina et al., 2005), играть роль экосистемных инженеров, обеспечивая тем самым указанную выше специфическую самосборку пищевых цепей (Orlova et al., 2006) под влиянием сопряженной инвазии.

Влияние вселенцев на популяции резидентных видов, экосистем в целом, а в конечном итоге и на хозяйственную деятельность человека в простанстве этих экосистем,

сам человек, способствующий их расселению, часто расценивает как негативное, чужеродные виды считаются существенной угрозой биоразнообразию наряду с физическим разрушением мест обитания, эвтрофикацией и загрязнением, воспринимаются как одна из причин деградации естественных экосистем, качества биологических ресурсов и угроза здоровью людей (Simberloff, Von Holle, 1999; Everett, 2000). Среди моллюсков, мшанок, ракообразных и рыб, вселившихся в Финский залив, имеются виды, воспринимаемые как источник биопомех техническим объектам и фактор, снижающий природную ценность прибрежных экосистем, сказывающийся в частности на формировании рыбопродуктивности; имеются и случаи стихийных вселений, оцениваемые позитивно – случайные вселенцы могут служить агентами стихийной же биоремедиации, способствуя (предположительно) деэвтрофикации водоемов или их участков (Maximov, 2015).

Исследования ксеноразнообразия ВЧФЗ и материалов литературных источников позволяют сделать обобщение о том, что протеканию каждого случая инвазии имеются не только *причина*, но и *предпосылки* (Ожегов, Шведова, 1992; Кондрашов, 2008) – свойства видов и экосистем, которые экосистемами приобретаются со временем, в том числе при ведении хозяйственной деятельности, например, при гидростроительстве и эксплуатации сложных гидротехнических сооружений. При анализе обусловленности и установлении причинно-следственных связей в литературе обсуждаются три основные концепции инвазии, чаще всего именуемые «моделями». «Историческая модель» («historical model») описывает свойства расселяющегося вида, главным образом, черты жизненного цикла и образа жизни, способствующие непосредственно переносам и выживанию в новых условиях, заполнению несколько экологических лицензий, обеспечиваемые «преадаптациям», сформировавшимся в нативном ареале в процессе становления вида («исторически»), которые обеспечивают успех в процессе антропогенного расселения на всех стадиях этого процесса; «Vulnerability model» (Simberloff, Von Holle, 1999) характеризует предпосылки, связанные со свойствами системы-реципиента, предрасполагающими к формированию в ней устойчивой самоподдерживающейся популяции вселенца, то есть его натурализации и интеграции в сообщества; «Propagule pressure model» (Williamson, 1996) (давление потока расселения) рассматривает пути и механизмы, обеспечивающие постоянное «давление» интродукций конкретных видов в определенном направлении за счет множественности и повторяемости заносов (интродукций), то есть пути и механизмы осуществления первой стадии процесса – интродукции. Эта модель в большей степени, чем прочие, анализирует также и причину инвазий – снятие всевозможных барьеров, ограничивающих существование вида лишь в нативном ареале.

Накопленные знания свидетельствуют о том, что инвазии не случайны, но вполне поддаются изучению, и, как следствие, прогнозированию, поскольку расселению и протекающей на фоне такого расселения эволюции специфической категории эврибионтных видов, обладающих различными преадаптациями, предшествует и способствует объективный регистрируемый комплекс явлений и событий. Восточная часть Финского залива (ВЧФЗ) в контексте протекания биологических инвазий - уникальная (гигантский эстуарий) обширная периферия ареала для группы видов, заметную часть которой составляют практически значимые виды-экосистемные инженеры, имеющие практическое значение, в том числе и как источники биопомех. В связи с геополитической обстановкой и очевидным перераспределением транспортных потоков, возможно ожидать изменений в ксенообразии ВЧФЗ, ориентировочно в перспективе порядка 10 лет. Данный отрезок указан в связи с регистрацией новых функциональных групп в в поздние 2010 - 2020-е гг., спустя существенное время после осуществления ряда масштабных проектов, приведших к физической трансформации акваторий и побережий в Невской Губе, Выборгском заливе и вблизи ядерного и транспортно-логистического кластеров южного берега залива, появлении новых значимых векторов интродукции.

### Список литературы

1. Кондрашов В.А., Чекалов Д.А., Копорулина В.П. Новейший философский словарь. Изд. 3-е. Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. 668 с.
2. Ожегов С.И., Шведова Н.Ю. Толковый словарь русского языка. М.: АЗЪ, 1992. 955 с.
3. Орлова М.И. Биологические инвазии моллюсков в континентальных водоемах Голарктики : Дисс. ... докт. биол. наук, Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, 2010. 675 с. (на правах рукописи).
4. Региональная экология, 2015, Т. 39 (№ 4).
5. Berezina N., Golubkov S., Gubelit J. Grazing effect of alien amphipods on macroalgae in the littoral zone of the Neva estuary (eastern Gulf of Finland, Baltic Sea) // *Oceanological and Hydrobiological studies*. 2005. Vol. XXXIV, suppl 1. P. 63-82
6. Carlton J.T. Bioinvasion ecology: assessing invasion impact and scale. In: Leppakoski E., Olenin S., Gollasch S (eds.). *Alien species in European waters*. Kluwer Publishers, Netherlands. 2002. P. 7-19.
7. Everett, R.A. Patterns and pathways of biological invasions // *Trends Ecol. Evol.* 2000. Vol. 15. P. 177-178.
8. Maximov A.A. The long-term dynamics and current distribution of macrozoobenthos communities in the Eastern Gulf of Finland, Baltic Sea // *Russian Journal of Marine Biology*. 2015. Vol. 41(4). P. 300-310.
9. Orlova M.I., Telesh I.V., Berezina N.A., Antsulevich A.E., Maximov A.A., Litvinchuk L.F. Effects of non-indigenous species on diversity and community functioning in the eastern Gulf of Finland (Baltic Sea) // *Helgoland Marine Research*. 2006. Vol. 60. P. 98-105
10. Simberloff, D., Von Holle B. Positive interactions of nonindigenous species: invasional meltdown? // *Biological Invasions*. 1999. Vol. 1. P. 21-32.
11. Williamson M. 1996. *Biological Invasions* // *Population and Community Biology series*. Vol. 15. Chapman and Hall, London.

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЛКА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА В СТАРТОВЫХ И ПРОДУКЦИОННЫХ КОРМАХ ДЛЯ СИГОВЫХ РЫБ**

И.Н. Остроумова, А.А. Лютиков

*Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»),  
г. Санкт-Петербург, [irinaostroum@yandex.ru](mailto:irinaostroum@yandex.ru)*

*Аннотация: исследованиями ГосНИОРХ установлено, что гаприн (продукт из метанотрофных бактерий) - приоритетный ингредиент в кормах для личинок рыб. Для старших возрастов он является полезным заменителем рыбной муки, наряду с другими высокобелковыми компонентами. Отработаны дозы введения микробного продукта в состав кормов и приводятся результаты сравнения гаприна, производимого ООО ГИПРОБИОСИНТЕЗ с другими производителями.*

*Ключевые слова: корма, гаприн, пептиды, личинки рыб, рост, выживаемость, физиологическое состояние*

Одной из важных проблем, сдерживающих развитие аквакультуры в нашей стране, является разработка состава кормов, отвечающих потребностям рыб на разных этапах жизненного цикла. Интенсивность роста, физиологическое состояние, выживаемость рыб зависят, прежде всего, от структуры и уровня белка в питании. Наиболее сложным периодом является стартовое кормление, так как большинство видов рыб начинают питаться при незавершенном развитии пищеварительной системы. Причем начальная пища должна обеспечить не только легко усвояемые вещества для первых дней питания, но и способствовать нормализации пищеварения у личинок по мере их роста и развития. В 1970-1980-е гг. исследованиями ГосНИОРХ удалось в известной мере решить проблему начального кормления карпа в тепловодном рыбоводстве (сбросные теплые воды энергетических объектов). В состав стартовых кормов карпа были включены разработанные для животноводства во ВНИИСитезбелок белковые продукты микробиосинтеза, а именно, паприн – белково-витаминный концентрат из дрожжей рода *Candida*, выращенных на среде н-парафинов, полученных из очищенных отходов переработки нефти (Остроумова и др., 1979). Микробные продукты отличались высоким (до 70%) количеством растворимого белка и, помимо крупных молекул белка, содержали значительное количество низкомолекулярных компонентов белкового обмена – пептиды и свободные аминокислоты. Тем самым они напоминали структуру естественной пищи ранней молоди рыб – мелкий зоопланктон. Повсеместное применение принципиально новых стартовых кормов ГосНИОРХ «Эквизо», содержащих паприн и ферментолитат паприна, многократно повысило производство молоди карпа в тепловодном рыбоводстве. Ранее выращивание личинок карпа в аквакультуре обеспечивалось только либо путем трудоемкого ежедневного вылова зоопланктона из естественных водоемов, либо применением проинкубированной артемии.

Включение паприна в состав начальных кормов для сиговых рыб (Князева, 1986) дало возможность реализовать новую биотехнику промышленного получения посадочного материала сиговых в бассейнах. Корма успешно применялись для молоди сиговых на Урале, в Сибири, на северо-западе нашей страны.

Эффективность введения в стартовые корма диспергированных белковых компонентов (паприна и его ферментолитата, различных гидролизатов микробиологических и рыбных продуктов), содержащих низкомолекулярные пептиды и свободные аминокислоты, было подтверждено на ранней молоди разных видов рыб другими исследователями – на сиговых (Пономарев и др. 1988); на осетровых (Бондаренко,

1985; Абросимова, 1997; Разумовская, Бигдзи, 2000); на кете (Фомин, 1991); на атлантическом лососе (Berge, Storebakken, 1996; Мухин и др., 2001) и др.

Освоенное в дальнейшем во ВНИИСинтезбелок и переданное промышленности производство гаприна, в отличие от паприна (дрожжи), представлял собой биомассу метанооксиляющих бактерий *Methylococcus capsulatus*, культивируемых на природном газе – метане. Эксперименты ГосНИОРХ 1980-х годов показали преимущество его применения в кормлении карпа разного возраста, радужной форели, молоди кеты (Остроумова и др. 1988; Белковые продукты..., 1991). Гаприн, в сравнении с паприном, характеризовался более высокой питательной ценностью по уровню белка, ряда незаменимых аминокислот, содержанию витамина В<sub>12</sub>. Причем питательные вещества гаприна (протеин, аминокислоты, липиды, нуклеиновые кислоты) отличались более высокой переваримостью по сравнению с паприном.

К сожалению, в 1990-е гг. промышленное производство продуктов микробного синтеза было полностью прекращено.

В настоящее время, в связи с дефицитом рыбной муки, поиском замены ее на другие источники белка (животные, растительные компоненты), многие фирмы пытаются возродить производство микробного белка в виде бактериальной биомассы – гаприна, но часто так и не доходят до реального продукта. Это удалось сделать ООО «ГИПРОБИОСИНТЕЗ».

В лаборатории аквакультуры ГосНИОРХ в последние годы были проведены опыты по замене части рыбной муки в стартовых кормах сиговых рыб обновленным гаприном ГИПРОБИОСИНТЕЗА (в последствии при использовании более эффективного метанооксиляющего штамма ГБС-15 названным «Дримфидом»). Это повысило эффективность начального питания рыб без применения живых кормов, особенно при добавлении в состав рецептуры растительных фосфолипидов. Причем на этих кормах интенсивность роста и выживаемость личинок муксуна (*Coregonus muksun*) и сига (*C. lavaretus*) были выше, чем при замене рыбной муки на рыбный ферментоллизат и гидролизат куриного белка (рис. 1).

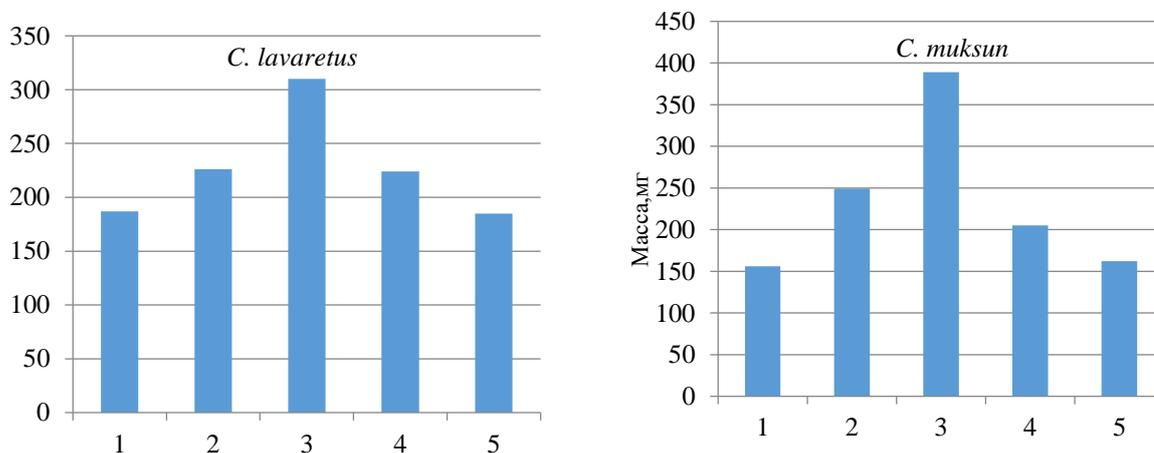


Рисунок 1. Конечная масса личинок сиговых рыб, получавших экспериментальные стартовые корма. 1 – контроль (рыбная мука), 2 – гаприн, 3 – гаприн и фосфолипиды, 4 – рыбный ферментоллизат, 5 – гидролизат куриного белка. Личинки муксуна и сига начинают питаться при массе 7-9 мг

В отличие от рыбной муки бактериальная биомасса содержит подобно мелкому зоопланктону, мелкие пептиды и свободные аминокислоты, необходимые в начальный период питания личинок. Кроме того она имеет более крупные пептиды и низкомолекулярные белки, без которых невозможно дальнейшее развитие пищеварительной функции. В природе молодь получает их за счет изменения спектра

питания. Аминокислотный состав бактериальной биомассы количественно сходен с составом аминокислот зоопланктона и рыбной муки по всем лимитирующим аминокислотам – лизину, метионину, триптофану, фенилаланину, изолейцину и др. В связи с высоким темпом роста бактерий в гаприне много, как и в зоопланктоне, нуклеиновых кислот. Что же касается липидов, то гаприн не может удовлетворить потребности личинок рыб в жирных кислотах. Липиды бактерий состоят из насыщенных и мононенасыщенных жирных кислот и не содержат полиненасыщенных жирных кислот (в т.ч.  $\omega 3$ ). Введение фосфолипидов улучшает жирнокислотный состав стартовых кормов.

При отработке дозировки обновленного гаприна введение 17, 27, 40, 60 % в корма при 6-8% растительных фосфатидов повышало рост и выживаемость личинок сиговых по мере увеличения бактериальной биомассы до 40 %, но при 60 % снижало. Таким образом, лучшие результаты получались при введении в корма 40 % гаприна. Физиологическое состояние по показателям крови, содержанию витамина С, общему жиру было нормальным на всех кормах, включая контрольный.

Дальнейшая работа с гаприном подтвердила эти данные. Во всех последующих экспериментах стартовые корма с 40% гаприна и сбалансированным составом жирных кислот имели лучшие показатели. При этом личинки сиговых, получавшие корма с гаприном и фосфолипидами, опережали по рыбоводно-биологическим данным молодь сиговых, выращиваемых на импортных кормах датской фирмы «БиоМар». Обнадеживающие результаты были получены и при использовании нового гаприна в стартовых кормах для судака и окуня (Лютиков и др., 2020; Лютиков и др., 2023).

Между тем, при введении в состав кормов подростой до 0,1 г и выше молоди сиговых 15, 25, 37% гаприна вместо рыбной муки и 10, 15 % для сеголеток от 2 г иначе реагировали на корма с бактериальной биомассой, чем личинки с первых дней питания. При сходном общем содержании белка и липидов разное количество гаприна не отражалось на росте и выживаемости молоди. Интенсивность роста рыб, начиная с массы 0,1 г была примерно одинаковой на всех кормах.

«Дримфид» производства ООО «ГИПОБИОСИНТЕЗ» (Москва) имеет преимущество в составе стартовых кормов по сравнению с микробной биомассой, изготовление которой осваивается другими фирмами. Исследования, проведенные ГосНИОРХ показали, что при введении в начальные корма сиговых 40% «Дримфида» или 40% «Протелюкса» (бактериальная биомасса, производимая ООО «Протелюкс» в Ивангороде) показало лучший рост (рис. 2) на кормах с гаприном ООО ГИПОБИОСИНТЕЗА. В составе «Протелюкса» отсутствовали пептиды с молекулярной массой ниже 10 КДа и содержалось значительно больше крупных белков выше 50-200 КДа, чем в «Дримфиде» (табл. 2).

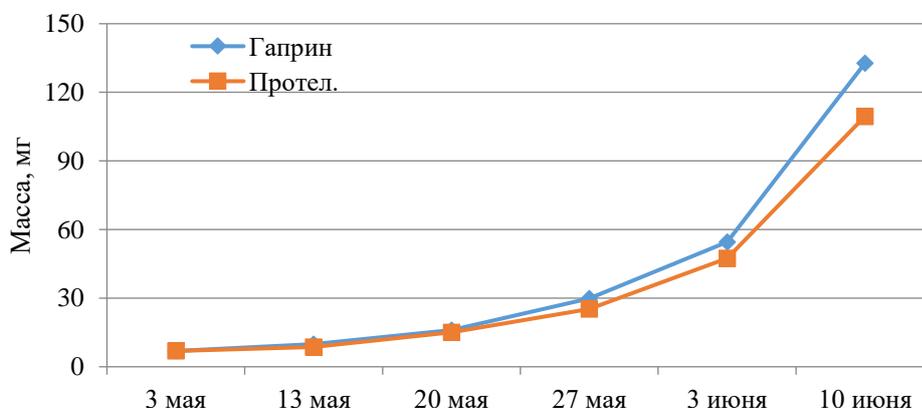


Рисунок 2. Рост личинок муксуна, получавших стартовые корма с «Дримфидом» и «Протелюксом»

Таблица 2. Молекулярно-массовая характеристика «Дримфида» и «Протелюкса», % от фракции

Молекулярная масса, КДа	«Дримфид», ООО «ГИПРОБИОСИНТЕЗ»	«Протелюкс», ООО «Протелюкс»
0,9-3,4	11,1	0
6-10	31,5	0
13-23	21,1	28,4
24-51	23,1	14,9
53-82	1,2	28,4
124-194	2,8	16,1

При замене в кормах для годовиков сиговых рыб 10 % рыбной муки или 10 % другого высокобелкового компонента с животным и растительным концентратом белка («Агроматик», НПО «Агро-Матик») на 10 % «Дримфида» или «Протелюкса», полученная биомасса рыб и кормовые коэффициенты не имели существенной разницы. Физиологическое состояние рыб было нормальным на всех кормах. Таким образом, если для стартовых кормов гаприн является приоритетным ингредиентом, то на следующих этапах развития рыб он становится полезным заменителем рыбной муки наряду с другими высокобелковыми компонентами. Об этом свидетельствует и все возрастающий интерес к микробным продуктам в составе кормов рыб (Пономарев и др., 2022; Остроумова и др., 2022; Лютиков и др., 2023; Зенкевич и др., 2024).

#### Список литературы

1. Абросимова Н.А. Корма и кормление молоди осетровых рыб в индустриальной аквакультуре : Дис. в виде науч. докл. на соискание ученой степени докт. биол. наук. М. 1997. 74 с.
2. Белковые продукты микробиосинтеза в кормлении рыб и другие вопросы интенсивного рыбоводства // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. 1991. Вып. 306. 163 с.
3. Бондаренко Л.Г. Биологические основы разработки сухих гранулированных кормов для личинок осетровых рыб на примере бестера и русского осетра : Автореф. Дисс. ... канд. биол. наук. М. 1985. 24 с.
4. Зенкевич П.А., Литвиненко А.И., Литвиненко Л.И., Зенкевич Р.В., Корентович М.А. Общий биохимический и аминокислотный составы тканей личинок и мальков муксуна *Coregonus nasus* Pallas 1776 при подращивании на стартовых искусственных кормах, обогащённых бактериальной биомассой // Journal of Agriculture and Environment. 2024. № 6 (46). С. 1-8.
5. Князева Л.М. Рост и физиологические показатели молоди пеляди при массовом выращивании в бассейнах на искусственных кормах // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. 1986. Вып. 246. С. 63–67.
6. Лютиков А.А., Королев А.Е., Остроумова И.Н. Культивирование ранней молоди судака (*Sander lucioperca*) и окуня (*Perca fluviatilis*) на искусственных диетах // Известия КГТУ. 2020. № 56. С.34-47.
7. Лютиков А.А., Барышников А.В., Королев А.Е., Трифонов А.Е., Шумская Н.В., Новиков В.Ю. Применение продуктов микробиосинтеза и их гидролизатов в качестве источника доступного белка в стартовых кормах для судака // Актуальные проблемы освоения водных биологических ресурсов Российской Федерации: материалы всероссийской конференции ученых и специалистов, посвященной 160-летию Н.М. Книповича (г. Мурманск, 27-28 октября 2022 г.) / Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича). Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича. 2023. 331-337 с.
8. Мухин В.А., Новиков В.Ю., Лебская Т.К., Мухина И.Н. Влияние введения низкомолекулярных белковых компонентов в стартовые корма на выживаемость молоди атлантического лосося *Salmo salar* // Рыбное хозяйство, серия Аквакультура. Корма и кормление в аквакультуре. ВНИЭРХ. 2001. Вып. 3. С. 1-12.
9. Остроумова И.Н., Турецкий В.И., Иванов Д.И., Григорян А.Н., Катруш Р.В., Складнев А.А., Головкина Г.П., Балахонцева В.Н. Корм для молоди рыб // Патент SU 961176 A1, 20.10.1995. Заявка №2842751/13 от 19.11.1979.
10. Остроумова И.Н., Аршавский Д.С., Ермакова С.В., Григорян А.Н., Головкина Г.П., Балахонцева В.Н. Стартовый корм для карпа // Патент SU 1575333 A1, 10.08.1998. Заявка № 463523/13 от 19.12.1988.
11. Остроумова И.Н., Лютиков А.А., Костюничев В.В., Шумилина А.К., Вылка М.М. Замена рыбной муки на белковые компоненты микробного, животного и растительного происхождения в кормах для двухлеток сиговых (Coregonidae) // Труды ВНИРО. 2022. Т. 190. С. 105-115 doi.org/10.36038/2307-3497-2022-190-105-115
12. Пономарев С.В., Канидьев А.Н., Слободяникова Л.С., Латов В.К. Ферментативный гидролиз рыбной муки как способ совершенствования стартового корма для ранней молоди сиговых рыб // Сб. науч. трудов ВНИИПРХ. 1988. Вып. 53. С. 121–130.

13. Пономарев С.В., Федоровых Ю.В., Ахмеджанова А.Б., Левина О.А., Беляева М.В. Эффективность продуктов микробиосинтеза в составе стартового корма для осетровых рыб // Материалы междунар. науч. конф. Астрах. Гос. Тех. Универс. Астрахань. 2022. С 550–552.
14. Разумовская Р.Г., Бигдзи А.И. Разработка технологии получения гидролизата – основного ингредиента корма для молоди осетровых рыб // Обработка рыбы и морепродуктов. Информ. пакет ВНИЭРХ. 2000. № 4. С. 10-15.
15. Фомин А.В. Использование гаприна и ферментализата БВК в стартовом корме для молоди кеты// Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. 1991. Вып. 306. С. 67-75.
16. Berge G.M., Storebakken T. Fish protein hydrolyzate in starter diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fry // Aquaculture. 1996. Vol. 145, № 1-4. P. 205-212.

## КОЛИЧЕСТВО И СОСТАВ МИКРОПЛАСТИКА В ВОДАХ ОЗЕРА ИЛЬМЕНЬ В 2024 г.: ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА

А.П. Педченко\*, Я.Ю. Блиновская\*\*, Г.А. Муратов\*\*\*

\* ГНЦ ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва, [pedchenko@vniro.ru](mailto:pedchenko@vniro.ru)

\*\* Дальневосточной Федеральным Университет (ФГАОУ ВО «ДВФУ»),  
г. Владивосток, [blinovskaia.iaiu@dvfu.ru](mailto:blinovskaia.iaiu@dvfu.ru)

\*\*\* Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий механики и оптики (ФГАОУ ВО ИТМО),  
г. Санкт-Петербург, [geralok@bk.ru](mailto:geralok@bk.ru)

*Аннотация: исследования последних десятилетий показали, что микропластиковое загрязнение, в совокупности с другими факторами антропогенного воздействия, может оказывать негативное влияние на биологическую продуктивность водоемов, в том числе на колебания численности и биомассы промысловых популяций. В связи с актуальностью данного вопроса проведена количественная оценка содержания микропластика (МП) в воде озера Ильмень, одного из Великих Озер Северо-Запада России. Эти предварительные данные указывают на ничтожное загрязнение вод озера микропластиком ( $0,03 \pm 0,039$  ед./м<sup>3</sup>) и могут быть использованы в качестве «нулевого» / базового уровня в дальнейших исследованиях водоемов Новгородской области.*

Ключевые слова: микропластик, антропогенное загрязнение, сеть Манты, озеро Ильмень

Последствия глобального изменения климата и антропогенного воздействия становятся актуальными факторами риска для экономики и экологии, Северо-Запад России не является исключением, что требует разработки стратегии экологического мониторинга биотопов экосистем и новых подходов комплексного использования природных ресурсов и охраны окружающей среды территорий.

Озеро Ильмень является важным хозяйственным объектом Новгородской области. Экологические проблемы, вызванные климатическими изменениями и антропогенным воздействием оказывают негативное влияние на биологическую продуктивность водоемов, в том числе на колебания численности и биомассы промысловых популяций (Бойцов, Несветова, 2017).

Экологические проблемы Новгородской области в целом типичны для Северо-запада России и связаны с высокой долей загрязнения рек промышленными и бытовыми стоками (до 92,5 %) в общем объеме сбросов, загрязнением воздуха выхлопными газами в городах, а также с экологически неэффективным обращением с коммунальными и промышленными отходами (Об экологических проблемах..., 2015).

В последние десятилетия во многих странах экологи отмечают новый вид антропогенного воздействия на водные экосистемы – микропластиковое загрязнение, регистрируют увеличение количества микропластика (МП) в окружающей среде и его негативное влияние на представителей разных трофических уровней (Frias, Nash, 2019; РAME, 2019; Du, et al., 2021). Эта проблема считается важной областью современных экологических исследований (Anderson et al., 2016; Vucci, et al., 2020) в связи с повышенной устойчивостью частиц МП к внешним факторам и низкой скоростью их биологического разложения, а также потенциальной возможностью частиц быть переносчиками органических, токсичных загрязнителей, патогенных микроорганизмов.

В связи с актуальностью вышеперечисленных экологических вопросов, специалистами ГНЦ ФГБНУ «ВНИРО» был проведен сбор проб воды на содержание МП на акватории озера Ильмень, в мае 2024 г.

Цель исследования – количественная оценка содержания МП в водах одного из Великих Озер Северо-Запада России.

Аналогичные работы выполняются в континентальных водных объектах в разных странах и часто показывают достаточно высокую степень концентрации МП. Актуальность изучения этого типа загрязнения обусловлена ростом объемов производства МП, который значительно обгоняет развитие мероприятий, направленных на управление и смягчение последствий загрязнения биосферы пластиковыми отходами (Felismino, et al., 2020).

*Полевой отбор проб микропластика* на поверхности озера Ильмень для оценки загрязнения вод был выполнен 24-25 мая 2024 г. на 15 станциях по единой методике нейстонной сетью Манта с рамкой размером 600x150 мм и ячеей 335 мкм. Сеть Манта является наиболее распространенным методом отбора проб МП в поверхностных водах (Lusher, et al., 2017; Pasquier et al., 2022), что позволяет сравнить полученные результаты с данными исследований на других водных объектах.

По окончании 15 минутного траления на циркуляции сеть тщательно ополаскивали водой перед сбором содержимого пробы. После подъема сети на борт отсоединяли ее концевую часть и тщательно смывали водой содержимое пробы на стальное сито ячейей 0,25 мм. Собранные пробы фиксировали 4% раствором формалина для подавления активности биоты и хранили при положительной температуре для последующей лабораторной обработки и анализа.

Местоположение станций определяли по GPS. Фактическую дистанцию траления и объем воды, прошедшей через рамку уловистой части сети, определяли по показаниям калиброванного расходомера воды General Oceanic's, установленного в устьевой части сети.

*Лабораторную обработку проб*, сортировку частиц МП и волокон выполняли в лабораторных халатах из 100 % хлопка без пластиковых волокон аналогично методам, адаптированными к особенностям лабораторной базы ВНИРО (Колончин, Педченко, Беляев, 2023), в несколько этапов: плотностное разделение методом флотации, фильтрование, очистка проб от органического материала, визуальное с использованием микроскопии определение морфологии образцов (волокна, фрагменты, пеллеты, пленки), в соответствии с рекомендациями (Lusher, et al., 2020), а также их линейных размеров, цвета и массы. Химическая идентификация полимерной композиции выделенных частиц выполнена на базе Политехнического института Дальневосточного федерального университета с использованием методов инфракрасной микроскопии (ИК) и методом инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR) на ИК-спектрофотометре IRTraser-100 с приставкой НПВО (нарушенное полное внутренне отражение) Quest горизонтального типа. Каждый спектр сравнивался автоматически со встроенными библиотеками.

Оценку микропластикового загрязнения *in situ* определяли по количеству частиц МП на площадь траления (единиц/км<sup>2</sup>), и единицу объема (единиц/м<sup>3</sup>), рассчитанного для верхнего 15 см слоя воды. Аналогично определяли концентрацию синтетических волокон.

Реки являются главным источником поступления воды в озеро Ильмень, который составляет 90 % от общего объема прихода. Высокий коэффициент внешнего водообмена - 4.8, то есть в среднем вода в озере меняется 4-5 раз в год, предопределяет относительно невысокую инерционность в колебаниях уровня озера (Мякишева, 2009).

Уровень воды в озере по данным гп. Коруыстынь (<https://allrivers.info/gauge/ilmenkorostyn>) в дни отбора проб (24.05-25.05) составлял 536 см, что выше среднего значения за последние 4 года (494 см) и превышал отметку неблагоприятного явления (<https://www.meteorf.gov.ru/press/polovod2024/37693/>). Температура воздуха в дневные часы изменялась от 16 до 24 °С при среднем значении близком к +22 °С. Осадки за период работ не наблюдались. С 23 по 25 мая над акваторией работ доминировали ветра южных направлений скоростью не более 3 м/с, порывами в отдельные часы до 5,6 м/с (<https://goodmeteo.ru/pogoda-voytysy-novgorodskiy-novgorodskaya/mesyac/5/>).

Результаты лабораторной обработки проб воды, собранных на акватории озера Ильмень, показали наличие загрязняющих материалов на 14 станциях, они не были

выявлены только на станции №12. Встречаемость фрагментов загрязняющих материалов в пробах воды составила 94,6 %, волокон – 5,4 %. В составе фрагментов отмечали органические материалы (текстиль, ферменты, и прочее), встречаемость которых составила 60,0 %, синтетические / полусинтетические материалы (смолы, фталаты, целлюлоза, пластик), химические соединения (ферменты и лекарственные препараты) в совокупности составили – 40,0 %. Волокна были представлены преимущественно полиэтиленом высокой плотности и обнаружены единично на станциях 2 и 11. Положение точек, где в пробах воды были зарегистрированы МП и синтетические волокна представлено на рис. 1.

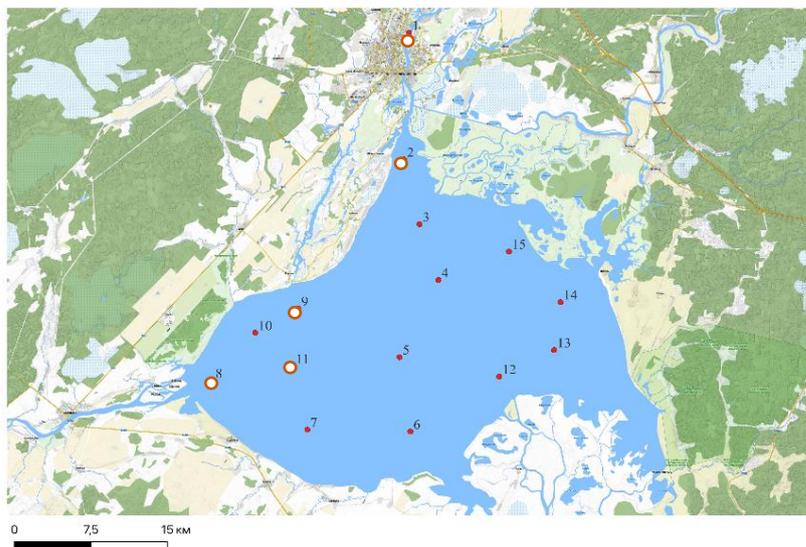


Рисунок 1. Места обнаружения микропластика и синтетических волокон в воде (белые точки) на акватории наблюдений 24-25 мая 2024 г.

В результате химического анализа частиц из проб воды выделено 8 фрагментов МП, которые были идентифицированы как полиэтилен низкой плотности (LDPE), полистирол (PS), диэтилфталат (DOP). Фрагменты МП присутствовали единично на станциях №№ 1 (LDPE – 1 шт.), 8 (LDPE – 2 шт.), 9 (DOP – 1 шт.) и 11 (LDPE – 3 шт., PS – 1 шт.). Наибольшее их количество, зарегистрировано в юго-западной части озера, вблизи устьевых участков рек Шелонь и Веряжа. Единично МП и синтетические волокна зарегистрированы в реке Волхов, в черте города Великий Новгород и устьевой его части.

В пробах воды озера Ильмень не обнаружены частицы полипропилена (PP), которые регистрировали вместе с полиэтиленом (PE) и полистиролом (PS) в канадских озерах Эри, Онтарио и Симко (Mason, et al., 2020; Felismino, et al., 2020), озерах штата Миннесота (Copowall, et al., 2023), финском озере Каллавеси (Uurasjarvi, et al., 2020) и швейцарских озерах (Faure, et al., 2015). Также в пробах озерной воды отмечена большая доля органических загрязнителей чем антропогенных, и незначительная доля синтетических волокон, что не типично для большинства водных объектов стран Западной Европы и Северной Америки.

По результатам предварительного анализа, линейные размеры фрагментов загрязняющих материалов, выделенных из проб воды, изменялись от 1,9 до 19,0 мм, при среднем значении  $5,5 \pm 4,0$  мм (рис. 2).

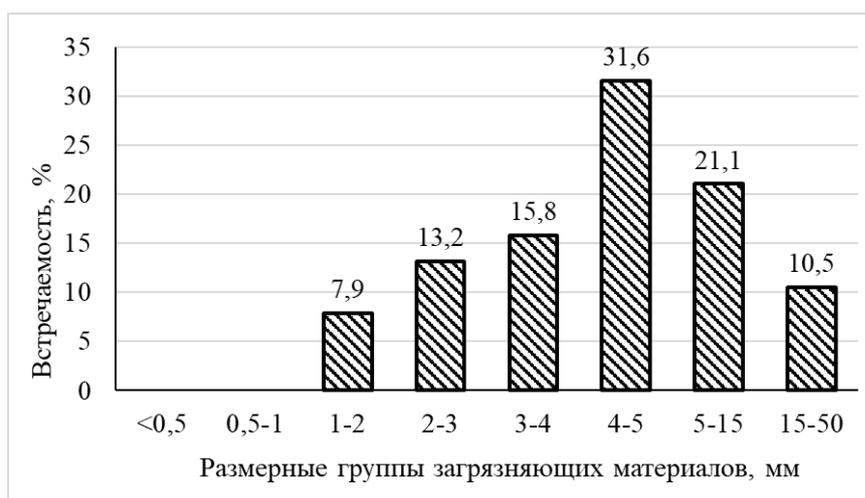


Рисунок 2. Вариация линейных размеров загрязняющих материалов на поверхности воды озера Ильмень в 2024 г.

Линейные размеры МП варьировали от 2,0 до 4,5 мм, фрагменты мезопластика (размером 6,3; 9,0 и 18,1 мм) были отмечены на двух станциях №№ 8 и 11, в районе устья р. Шелонь. Эти результаты следует рассматривать как предварительные, поскольку после очистки проб от органического материала, количество и размерный ряд обнаруженных фрагментов может расширится за счет выявления в них более мелких образцов.

Средняя дистанция тралений, вычисленная по расходомеру, составила 836 м, средний объем профильтрованной воды через рамку сети составил 75,3 м<sup>3</sup>. Среднее значение концентрации (единиц/м<sup>3</sup>) и массового содержания (мкг/м<sup>3</sup>) фрагментов МП в пробах поверхностных вод озера Ильмень составили 0,03 ед./м<sup>3</sup> и 1,2 мкг/м<sup>3</sup>, соответственно, и были значительно ниже аналогичных показателей в континентальных водных объектах других стран. Например, результаты сборов проб воды аналогичными методами с использованием сети Манта 330 мкм выявили концентрации МП в озере Симко (Канада) равные 0,4 ед./м<sup>3</sup> (Felismino, et al., 2019), в озере Каллавеси (Финляндия) – 0,27 ед./м<sup>3</sup> (Uurasjarvi, et al., 2016).

Таким образом, состав загрязняющих материалов в воде озера Ильмень был представлен материалами органического происхождения (56,8 %), МП (21,6 %), синтетическими/полусинтетическими материалами (8,1 %), химическими соединениями и ферментами (8,1 %), синтетическими волокнами (5,4 %). Выявленное содержания МП в поверхностных водах озера Ильмень было значительно ниже по сравнению с его концентрациями в континентальных водоемах других стран. Можно предположить, что потенциальным источником пластикового загрязнения являются сточные воды близлежащих населенных пунктов, которые с речным стоком выносятся в озеро Ильмень. При благоприятных условиях сбора проб (отсутствие дождей, малые скорости ветра южных направлений), загрязнение вод озера в результате выпадения осадков или атмосферного переноса частиц МП маловероятно.

#### Список литературы

1. Бойцов В.Д., Несветова Г.И. Условия среды и уловы рыбы в озере Ильмень: изменчивость, сопряженность, прогнозирование. Великий Новгород: ТПК «Печатный двор», 2017. 274 с.
2. Колончин К.В., Педченко А.П., Беляев В.А. Исследования содержания микропластика в воде и промысловых рыбах: от научного поиска к масштабному мониторингу // Труды ВНИРО. 2023. Т. 193. С. 162-173. DOI:10.36038/2307-3497-2023-193-162-173.
3. Мякишева Н.В. Многокритериальная классификация озер. СПб.: РГТМУ, 2009. 160 с.
4. Об экологических проблемах Северо-Запада России // Решение НПК «Экологические проблемы Северо-Запада России» Петрозаводск, 21–22 февраля 2015 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://biodiversity.ru/news/forum/2015/Petrozavodsk\\_21-22\\_02\\_2015.pdf](https://biodiversity.ru/news/forum/2015/Petrozavodsk_21-22_02_2015.pdf)

5. Anderson P.J., S. Warrack, V. Langen, J.K. Challis, M.L. Hanson and M.D. Rennie. Microplastic contamination in Lake Winnipeg, Canada. *Environ. Pollut.* 2017. Vol. 225. P. 223-231.
6. Bucci K, Tulio M, Rochman CM. What is known and unknown about the effects of plastic pollution: a meta-analysis and systematic review // *Ecol Appl.* 2020. Vol. 30(2). e02044.
7. Conowall P., Schreiner K.M., Minor E.C., Schoenebeck C.W. Variability of microplastic loading and retention in four inland lakes in Minnesota, USA // *Environmental Pollution.* 2023. Vol. 321. 121573. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121573>.
8. Du, Sen & Zhu, Rongwen & Cai, Yujie & Xu, Ning & Yap, Pow Seng & Zhang, Yunhai & 何, 益得 & Zhang, Yongjun. Environmental fate and impacts of microplastics in aquatic ecosystems: A review. *RSC Advances.* 2021. Vol. 11. 15762-15784. DOI:10.1039/D1RA00880C.
9. Faure F., Demars C., Wieser O., Kunzand M., Dalencastro L.F. Plastic pollution in Swiss surface waters: Nature and concentrations, interaction with pollutants // *Environ. Chem.* 2015. Vol. 12. P. 582-91.
10. Felismino M.E.L., Helm P.A., Rochman C.M. Microplastic and other anthropogenic microparticles in water and sediments of Lake Simcoe // *Journal of Great Lakes Research.* <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.10.007>.
11. Frias J.P.G.L., Nash R. Microplastics: Finding a Consensus on the Definition. *Mar. Pollut. Bull.* 2019. Vol. 138. C. 145-147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>
12. Lusher A., Bråte I. L. N., Munno K., Hurley R., Welden, N. EXPRESS: is it or isn't it: the importance of visual classification in microplastic characterization // *Appl. Spectrosc.* 2020. P. 74. 0003702820930733 (2020).
13. Lusher A.L., Hollman P.C.H., Mendoza-Hill J.J. Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper.* No. 615. Rome, Italy. 2017.
14. Mason SA, J Daily, G Aleid, R Ricotta, M Smith, K Donnelly, R Knauff, W Edwards and MJ Hoffman. High levels of pelagic plastic pollution within the surface waters of Lakes Erie and Ontario // *J. Great Lakes Res.* 2020. Vol. 46. P. 277-88.
15. PAME. Desktop Study on Marine Litter including Microplastics in the Arctic. 2019.
16. Pasquier et al. Manta Net: The Golden Method for Sampling Surface Water Microplastics in Aquatic Environments // *Frontiers in Environmental Science.* 2022. Vol. 10. DOI: 10.3389/fenvs.2022.811112
17. Uurasjarvi E., Hartikainen S., Setala O., Lehtiniemi M., Koistinen A. Microplastic concentrations, size distribution, and polymer types in the surface waters of a northern European lake // *Water Environ. Res.* 2020. Vol. 92. P. 149-56.

## ИЗ ИСТОРИИ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СЕВЕРНЫХ МОРЕЙ: 1920-1950 гг.

Л.И. Пестрикова, Т.Е. Пашкова

*Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ПИНРО»  
(«ПИНРО» им. Н.М. Книповича), г. Мурманск, [pestrikova@pinro.vniro.ru](mailto:pestrikova@pinro.vniro.ru)*

*Аннотация: представлены основные этапы развития рыбохозяйственных исследований в северных морях России с 1920-х по 1950-е гг.*

*Ключевые слова: Плавморнин, ГОИН, ПИНРО, рыбохозяйственные исследования, Баренцево море*

Отечественные рыбохозяйственные исследования северных морей были начаты в конце XIX в. К 1920 г. в результате работы Мурманской научно-промысловой экспедиции под руководством Н.М. Книповича стало ясно, что российские северные моря, особенно Баренцево, богаты рыбными ресурсами, и в них возможен успешный траловый промысел.

Когда к началу 1920 г. после Гражданской войны и интервенции на Кольском полуострове установилась Советская власть, вся промышленность была разрушена, особенно пострадала рыбная отрасль. Страна находилась в политической изоляции, у берегов Мурмана хозяйничали иностранные суда. Но, несмотря на все трудности и лишения, Советское правительство имело план изучения и поднятия производительных сил Севера. Была создана Северная научно-промысловая экспедиция (Севэкспедиция), работавшая с 1920 по 1925 гг. Район ее деятельности простирался от границы с Норвегией и далее на восток, включая сушу, а также Баренцево и Карское моря. Основным принципом работы Севэкспедиции стало формирование отрядов (в 1921 г. было создано 23 отряда). Они создавались как по региональному, так и по тематическому признаку: геологический, минералогический, экономико-статистический отряды, почвенно-ботаническая экспедиция и т.д. На правах отдельного отряда работала Мурманская биологическая станция.

Существовало несколько ихтиологических отрядов по пресноводным и морским водоемам. Ихтиологическими работами в Баренцевом море назначили руководить Н.М. Книповича, который разработал программу исследований и указал на комплексный характер изучения ихтиофауны в связи с условиями среды.

Проблема освоения Баренцева моря стояла очень остро. Решить ее можно было только созданием специального морского научного института. Такой институт, предназначенный для регулярных рыбопромысловых исследований, был создан в 1921 г. Глава государства, председатель Совнаркома РСФСР В.И. Ленин 10 марта 1921 г. подписал Декрет о создании Плавучего морского научного института (Плавморнина).

Это было уже начало совершенно новой эпохи в научных исследованиях на Севере. Директором нового института назначили профессора И.И. Месяцева.

Создание Плавморнина диктовалось необходимостью проводить целенаправленные, постоянные и планомерные рыбопромысловые исследования в северных морях. Регионом деятельности Плавморнина был определен «Северный Ледовитый океан с его морями и устьями рек, островами и прилегающими к нему побережьями РСФСР, Европы и Азии».

На первом этапе основные исследования проводились в Баренцевом море. Было построено первое советское специально оборудованное научно-исследовательское судно «Персей». Именно на «Персее», выполнившем 90 экспедиций, исследованы циркуляция вод Баренцева моря, течения и грунты, продуктивность планктона и бентоса, запасы промысловых рыб.

В Плавморнине был создан первый в истории научно-промысловых исследований профессиональный коллектив, состоявший из ученых многих специальностей, связанных с изучением моря. Основу коллектива составили представители университетов Москвы и Петрограда.

Плавморнин территориально располагался в Архангельске. Промысел нуждался в круглогодичных наблюдениях, а замерзающее Белое море резко ограничивало работу института. В 1929 г. Плавморнин соединили с Мурманской биологической станцией. Новый институт получил название – ГОИН (Государственный океанографический институт) и дислоцировался на берегу незамерзающей Екатерининской гавани в Кольском заливе, в городе Александровск (ныне город Полярный).

За свое недолгое существование (до 1933 г.) сотрудниками ГОИНа были существенно расширены знания о Баренцевом море как о промысловом водоеме. Ученые ГОИНа круглогодично находились на промысле, консультируя траловый флот по всем текущим вопросам. Такой принцип взаимодействия науки и промысла прекрасно себя зарекомендовал и существует до сих пор.

В 1934 г. в результате очередной реорганизации в целях комплексного изучения рыбного хозяйства северных морей в Мурманске был создан Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО). В 1935 г. институту было присвоено имя Н.М.Книповича в честь 50-летия научной деятельности ученого.

В состав ПИНРО вошла большая часть научных кадров ГОИНа, составив тематическую преемственность, а также сотрудники существовавшей тогда Северной сельдяной экспедиции, в задачи которой входили поиск скоплений сельди в Баренцевом море, определение ее запасов, разработка орудий лова для сельдяного промысла.

Именно решение «сельдяной проблемы» (освоение круглогодичного промысла в открытом море) стала главной задачей ПИНРО во второй половине 1930-х годов.

В 1938 г. вышел в свет первый выпуск Трудов ПИНРО «Сборник работ по изучению сельдей Баренцева моря», в котором на основе материалов 1934-1937 гг. был описан жизненный цикл мурманской сельди. Используя эти новые данные необходимо было найти районы промысла в открытой части Баренцева моря.

Эта задача была блестяще решена – под руководством Ю.Ю. Марти изучены пути нерестовых миграций, обнаружены скопления крупной сельди, получившие название «полярный залом».

В это же время подготовлены первые прогнозы возможного вылова и производительности промысла донных видов рыб с заблаговременностью в один год, выявлены места нереста сельди, пикши и морского окуня. Опубликован первый Атлас донных животных Баренцева моря.

В предвоенные годы под руководством Н.А. Маслова продолжалась начатая в ГОИН разработка методики прогнозирования тралового промысла. Изучение мест, сроков и кормовых условий концентраций донных рыб (на примере трески, урожайные поколения которой появились в это время) было началом организации научно обоснованного лова, нужен был эффективный поиск промысловых скоплений. С этой целью в 1938 г. была создана промысловая разведка, научное обеспечение экспедиций возлагалось на Полярный институт. Имена ученых ПИНРО – ихтиологов М.П. Сомова и Н.А. Маслова, гидробиолога Б.П. Мантейфеля, геолога П.С. Виноградовой – были известны всем рыбакам, а их рекомендации были неоспоримы.

Это был период слаженной работы науки и промысла, когда стратегия промысла определялась учеными, а тактика – промразведкой и промысловиками. Для научного обеспечения этих работ организовали систему наблюдений за состоянием запасов промысловых рыб и условиями их обитания. На всех исследовательских, а также на поисковых и промысловых судах обязательными были не только ихтиологические работы,

но и сбор гидробиологических, гидрологических и трофологических данных. Для этого в ПИНРО подготовили серию пособий – батиметрических карт, промысловых описаний и атласов кормовых животных.

В предвоенный период на основе данных мечения рыб (более 100 тыс. экземпляров) была составлена схема миграции трески и пикши и первая сводка об их жизненных циклах, а также биологии черного палтуса, морского окуня и других донных рыб. Тогда же Н.А. Маслов сформулировал принцип промыслового прогнозирования, актуальный и в настоящее время: «Прогноз, основанный только на учете запасов, есть мертвая схема».

В сравнительно короткий период, до 1941 г. изучены основные черты биологии, динамики численности черного палтуса и морского окуня.

С началом Великой Отечественной войны ПИНРО продолжал свою деятельность в эвакуации в г. Архангельск. Районы исследований ограничились юго-восточными районами Баренцева моря и Белым морем.

Под руководством Б.М. Тамбовцева и И.Г. Юданова изучалась сельдь Белого моря. Большое значение придавалось исследованиям в юго-восточной части Баренцева моря; здесь за годы войны было выловлено около 10 тыс. т сайки. Силами таких ученых, как Н.А. Маслов, М.П. Сомов, Б.П. Мантейфель, О.Н. Киселев, В.И. Бородатов, Г.И. Милинский изучались треска, пикша, морская камбала, навага. Большую работу проделали сотрудники института по усовершенствованию орудий лова, применявшихся еще когда-то поморами. Это – ставные сети, ставные невода, рюжи и другие.

В 1944 г., когда в Мурманской области еще шли бои, ученые ПИНРО подготовили прогноз вылова гидробионтов на 1945 г.

В 1943 г. были опубликованы две небольшие брошюры. Одна из них – «Навага Белого моря и ее промысел» (автор – Б.П. Мантейфель); вторая – «Съедобные беспозвоночные Белого моря» (автор – З.Г. Паленичко). В условиях дефицита продовольствия данные публикации оказались востребованными, тираж разошелся очень быстро.

В ноябре 1944 г., после разгрома немецко-фашистских войск в Заполярье, вышел в свет 8-й выпуск Трудов ПИНРО «Промысловые донные рыбы Баренцева моря», подготовленный учеными перед самой войной. Напечатали книгу в Ленинграде через несколько месяцев после снятия блокады. В условиях войны выпустить большой научный сборник – это трудовой подвиг сотрудников ПИНРО.

В 1944 году коллектив ПИНРО вернулся в г. Мурманск. Была поставлена непростая задача возобновить исследования в Баренцевом море, и ученые ее успешно выполнили. Уже осенью состоялись морские экспедиции в прибрежную зону и юго-восточную часть моря.

В первые послевоенные годы возобновились широкие исследования в Баренцевом море. Были выявлены возможности лова крупной трески. Определена видовая принадлежность окуня-клювача, и в начале 1950-х гг. был организован его крупномасштабный промысел.

Во второй половине 1940-х гг. в рейсах научно-исследовательских судов была подтверждена устойчивость сельдяных скоплений «полярного залома» и доказана возможность успешного промысла. За развитие сельдяного промысла и освоение новых районов рыболовства группа ученых ПИНРО во главе с Ю.Ю. Марти в 1948 г. стала лауреатами Государственной премии СССР. Это единственный случай в истории рыбохозяйственной науки.

В 1950 г. в результате продолжающихся исследований И.Г. Юданов и К.А. Лямин нашли скопления откармливающейся сельди в Норвежском море, были освоены новые районы сельдяного промысла в северных морях и организован крупномасштабный круглогодичный промысел сельди.

Тема истории исследований неисчерпаема. Первые 30 лет от начала систематического планомерного изучения северных морей учеными Плавморнина, ГОИНа, ПИНРО заложили основу рыбохозяйственной науки.

Последующие годы и достижения, расширение регионов работ, решение множества интересных задач, показали, что принципы рыбохозяйственной науки, определенные в 1920-1950-х гг., позволили рыбной отрасли развиваться комплексно, планомерно, успешно.

#### Список литературы

1. История рыбохозяйственных исследований на Севере России (к 95-летию ПИНРО) / К.В. Древетняк, Л.И. Пестрикова, Т.Е. Пашкова, А.Н. Бензик // Мурман и Российская Арктика: прошлое, настоящее, будущее : материалы межрегион. науч. конф. (26-28 сент. 2016 г.) / Мурман. аркт. гос. ун-т. Мурманск : МАГУ, 2016. С. 298-306.
2. Пашкова Т.Е., Пестрикова Л.И. Ученые ПИНРО – лауреаты Сталинской премии. К 75-летию получения награды (1948-2023 гг.) / Природное и культурное наследие Арктических регионов: сб. материалов V науч.-практ. конф., 4 дек. 2023 г. Мурманск : РУСМА, 2024. С. 116-120.
3. Пашкова Т.Е., Пестрикова Л.И., Бензик А.Н. К 80-летию создания Мурманской области (1938-2018 гг.). Рыбохозяйственная наука Севера и развитие рыбного промысла в Баренцевом море в XIX-XX веках // Мурманская область: история и современность: материалы круглого стола (г. Мурманск, 15 нояб. 2018 г.) / Ком. по развитию инф. техн. и связи Мурман. обл., Гос. архив Мурман. обл. Мурманск, 2019. С. 58-67.
4. ПИНРО – на пути к столетию: (к 85-летию ПИНРО) / ПИНРО; сост. С.С. Дробышева, В.Н. Шлейник. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2005. 264 с.
5. ПИНРО. Путь к столетию / Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича); сост. Л.И. Пестрикова; отв. ред. В.А. Мухин. Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2021. 364 с.

## ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ НЕРКИ (*ONCORHYNCHUS NERKA*) В ОЗ. АЗАБАЧЬЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСАТЕЛЛИТНОЙ ДНК

О.А. Пильганчук, У.О. Муравская, В.В. Савенков, А.Д. Денисенко,  
О.В. Зикунова, Е.С. Фадеев

Камчатский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («КамчатНИРО»),  
г. Петропавловск-Камчатский, [o.pilganchuk@kamniro.vniro.ru](mailto:o.pilganchuk@kamniro.vniro.ru)

Аннотация: исследована генетическая дифференциация нерки в оз. Азабачье по девяти микросателлитным локусам (*Ots107*, *Oki1a*, *Oki1b*, *One104*, *One109*, *OtsG68*, *Omm1037*, *Oki6*, *Ots100*). Все маркеры были полиморфными, среднее значение PIC составило 0,578, что указывает на высокую информативность созданной панели микросателлитных локусов. Включенные в анализ выборки образовали две группы, различающиеся по времени нереста (ранняя и поздняя расы).

Ключевые слова: генетическая дифференциация, популяционная генетика, нерка (*Oncorhynchus nerka*), сезонные расы, микросателлитные локусы

Нерка (*Oncorhynchus nerka*) — вид, имеющий большое социально-экономическое значение на Дальнем Востоке России и являющийся важным объектом популяционно-генетических исследований. Нерка, как и другие виды тихоокеанских лососей, характеризуются рядом уникальных особенностей жизненного цикла, таких как моноцикличность, анадромность и «хоминг» (Алтухов, 1983). В зависимости от времени хода и нереста, нерка делится на две сезонные расы: весеннюю (раннюю) и летнюю (позднюю) (Крогиус, 1983). Одним из самых важных нерестовых озер на азиатской части ареала нерки является оз. Азабачье, расположенное в нижнем течении бассейна р. Камчатки. Многолетние исследования нерки, воспроизводящейся в бассейне озера, позволили достаточно полно охарактеризовать ее популяционную структуру и выявить наличие двух сезонных рас (Алтухов, 1983, Брыков и др., 2003; Бугаев, 2010; Пильганчук и др., 2019). Новые сведения о дифференциации нерки, полученные на основе современных молекулярно-генетических методов, необходимы для идентификации сезонных группировок вида из оз. Азабачье в смешанных уловах на морских рыболовных участках (далее – РЛУ) в Камчатском заливе и речных РЛУ в нижнем течении р. Камчатки.

Цель настоящего исследования – оценить генетическую дифференциацию нерки на нерестилищах оз. Азабачье по частотам микросателлитных локусов.

Материал для проведения исследования был собран в период с 2009 по 2018 гг. (рис. 1, табл. 1) на основных нерестилищах нерки в бассейне оз. Азабачье. Всего было проанализировано 8 выборок, в количестве 414 экземпляров. Популяционно-генетические исследования выполняли на основе девяти микросателлитных локусов — *Oki1a*, *Oki1b*, *Oki6* (Smith et al., 1998), *Ots100*, *Ots107* (Nelson, Beacham, 1999), *OtsG68* (Williamson et al., 2002), *One104*, *One109* (Olsen et al., 2000), *Omm1037* (Rexroad et al., 2002). Условия проведения ПЦР и электрофореза в акриламидном геле описаны ранее (Пильганчук, 2015).

В программном пакете GDA рассчитывали частоту аллелей, ожидаемую  $H_e$  и наблюдаемую  $H_o$  гетерозиготности, среднее число аллелей на локус, индекс фиксации  $f$  (Lewis, Zaykin, 2001). Значения аллельного разнообразия, скорректированные для единого минимального объема выборки, рассчитывали в FSTAT 2.9.3 (Goudet, 1995). Для оценки информативности микросателлитных локусов вычисляли показатель уровня информационного полиморфизма (polymorphism information content, PIC) в программном приложении Cervus 3.0.7 (Botstein et al., 1980). Определение количества генетических кластеров выполняли в программе STRUCTURE 2.3.4. (Pritchard et al., 2000). Количество

генетических кластеров определяли в программе StructureSelector (Li, Liu, 2018) на основе метода Эванно (Evanno et al., 2005).

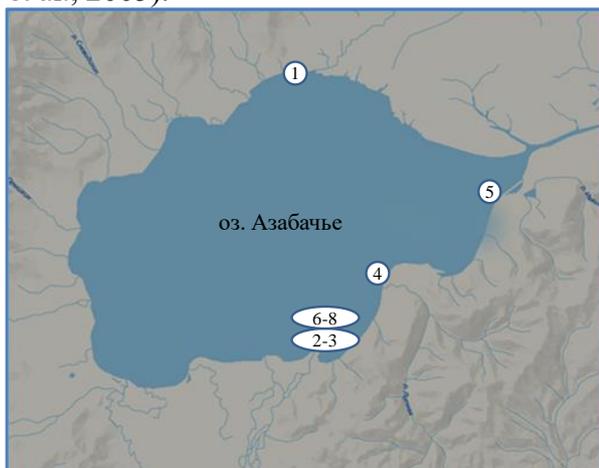


Рисунок 1. Карта-схема сбора материала. 1 — PONOM; 2 — BUSHE1; 3 — BUSHE2; 4 — FISHFAR; 5 — AZAB, 6 — BUSHL1, 7 — BUSHL2, 8 — BUSHL3. Обозначения выборок приведены в табл. 1

Таблица 1. Характеристика материала, использованного для исследования дифференциации нерки в оз. Азабачье

Место сбора	Дата сбора	Условное обозначение	Объем выборки (экз.)
Р. Пономарка	30.06.2009	PONOM	48
Р. Бушуйка	06.07.2010	BUSHE1	48
Р. Бушуйка	07.07.2013	BUSHE2	48
Ключ Рыбоводный	15.07.2012	FISHFAR	48
Оз. Азабачье	08.09.2010	AZAB	30
Р. Бушуйка	14.08.2013	BUSHL1	48
Р. Бушуйка	23.08.2017	BUSHL2	48
Р. Бушуйка	23.08.2018	BUSHL3	96

В результате изучения генетической изменчивости производителей нерки в оз. Азабачье по девяти микросателлитным локусам суммарно было обнаружено 82 аллеля (табл. 2). Наиболее полиморфным был локус *One104* (22 аллеля), минимальное число аллелей наблюдалось в локусе *Oki1b* (4 аллеля). Среднее число аллелей на локус составило 9,11. Аллельное разнообразие изменялось от 3,2 до 15,1. Средняя наблюдаемая гетерозиготность принимала наибольшее значение в локусе *One104* (0,906) и наименьшее в *Ots107* (0,405) (табл. 2). Небольшой дефицит гетерозигот отмечен в локусах *Oki1b* и *Otm1037* (индекс фиксации — 0,083 и 0,067, соответственно). В среднем по всем локусам показатель *PIC* составил 0,578, что указывает на высокую информативность отобранных микросателлитных маркеров.

Таблица 2. Характеристика микросателлитных локусов нерки оз. Азабачье

Локус	$A/A_r$	$H_e$	$H_o$	$f$	$PIC$
<i>Ots107</i>	5/4,5	0,400	0,405	-0,013	0,370
<i>Oki1a</i>	5/3,2	0,478	0,465	0,027	0,400
<i>Oki1b</i>	4/3,4	0,572	0,550	0,039	0,478
<i>One109</i>	13/10,6	0,864	0,851	0,015	0,849
<i>OtsG68</i>	6/4,4	0,580	0,574	0,010	0,490

Локус	$A/A_r$	$H_e$	$H_o$	$f$	$PIC$
<i>Oki6</i>	8/4,7	0,535	0,490	0,083	0,459
<i>One104</i>	22/15,1	0,904	0,906	-0,002	0,895
<i>Ots100</i>	13/10,4	0,845	0,824	0,024	0,829
<i>Omm1037</i>	6/3,2	0,539	0,502	0,067	0,434
Среднее	9,11/6,6	0,635	0,619	0,026	0,578

Примечание:  $A$  — число аллелей в локусе;  $A_r$  — число аллелей в локусе, скорректированное на минимальный размер выборки;  $H_e$  — средняя ожидаемая гетерозиготность;  $H_o$  — средняя наблюдаемая гетерозиготность;  $f$  — индекс фиксации,  $PIC$  (polymorphic information content) — величина информационного полиморфизма

При выполнении анализа генетической дифференциации производителей нерки оз. Азабачье с помощью байесовского анализа в программном пакете Structure были рассмотрены варианты моделей кластеризации при  $K$  (вероятное число самостоятельных групп) от 1 до 8. Максимальное значение вероятности, соответствующее минимальной оценке лог-правдоподобия  $\ln Pr(X/K)$ , было найдено для  $K=2$ , что дает возможность предположить наиболее вероятное отнесение исследуемых экземпляров к двум кластерам (рис. 2). Для определения наиболее вероятного количества кластеров использовали метод Эванно (Evanno et al., 2005). На основе данного метода наиболее вероятное значение  $K$  было определено равным 2 (рис. 3). Таким образом, результаты проведенного исследования позволяют выделить в бассейне озера две группы, отличающиеся временем нереста. Полученные материалы достаточно реалистично отражают популяционно-генетическую структуру нерки в озере Азабачье и подтверждают наличие двух сезонных рас.

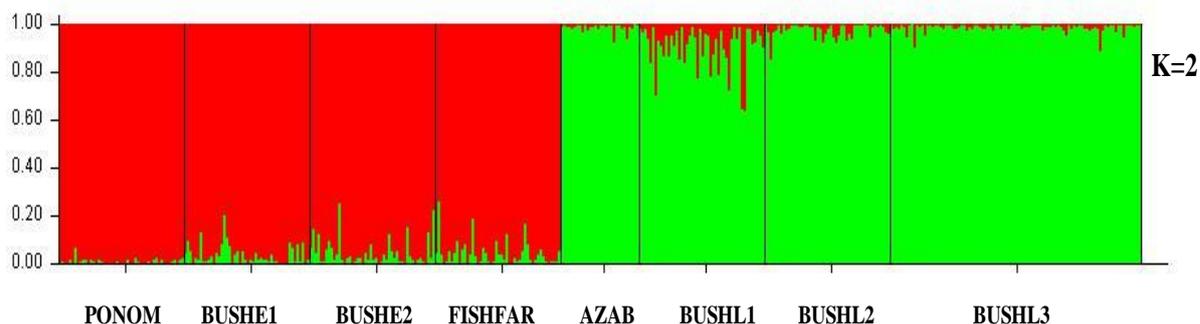


Рисунок 2. Графическое представление результатов байесовского анализа восьми выборок нерки, выполненного в программе Structure.  $K$  – предполагаемое количество генетических кластеров. Вероятности принадлежности образцов к каждому из кластеров отмечены на оси ординат. Обозначения выборок приведены в табл. 1.

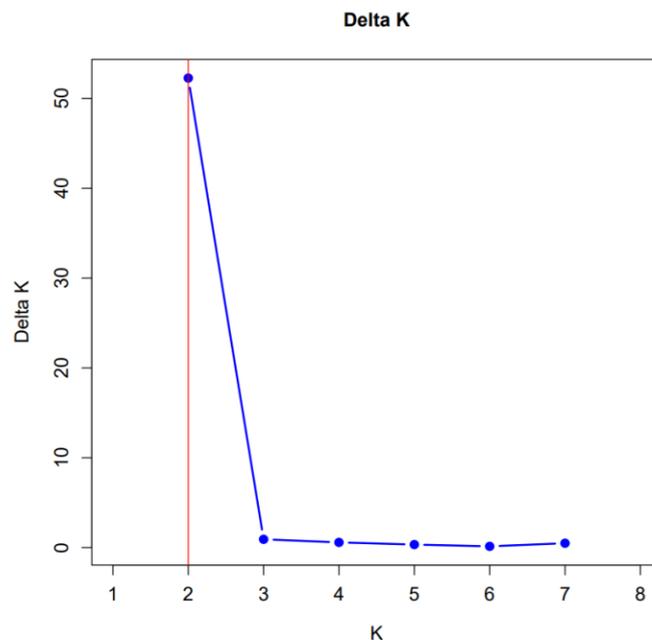


Рисунок 3. Оценки количества генетически различающихся групп нерки в оз. Азабачье на основании  $\Delta K$  по методу Эванно (Evanno et al., 2005)

Выявленные генетические особенности двух темпоральных форм нерки в оз. Азабачье помогут в изучении закономерностей формирования внутривидовой структуры запаса и их биологии. Полученные результаты высоко востребованы при оценке состояния нерки бассейна р. Камчатки, подготовке материалов, обосновывающих прогнозируемый объем вылова (добычи) вида и разработке рекомендаций по регулированию промышленной нагрузки на запас.

#### Список литературы

1. Алтухов Ю.П. Генетические процессы в популяциях. М.: Наука, 1983. 279 с.
2. Бугаев В.Ф. Нерка реки Камчатки (биология, численность, промысел). Петропавловск-Камчатский: Изд-во «Камчатпресс», 2010. 232 с.
3. Брыков В.А., Полякова Н.Е., Подлесных А.В. Дивергенция митохондриальной ДНК в популяциях нерки (*Oncorhynchus nerka* Walbaum) озера Азабачьего (Камчатка) // Генетика. 2003. Т. 39, № 12. С. 1687–1692.
4. Крогиус Ф.В. Сезонные расы красной *Oncorhynchus nerka* (Walb.) и ее нерестилища в водоемах Камчатки // Биологические основы развития лососевого хозяйства в водоемах СССР. М.: Наука, 1983. С. 18-31.
5. Пильганчук О. А. Генетическая структура нерки, *Oncorhynchus nerka* (Walbaum), полуострова Камчатка: специальность 03.02.07 «Генетика»: Дисс. канд. биол. наук. Владивосток. 2015. 135 с.
6. Пильганчук О.А., Шпигальская Н.Ю., Денисенко А.Д., Савенков В.В. Генетическая дифференциация нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum, 1792) бассейна р. Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. 2019. Вып. 53. С. 41-56.
7. Botstein D., White R.L., Skolnick M.H., Davis R.W. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms // Am. J. Hum. Genet. 1980. Vol. 32. P. 314–331.
8. Evanno G., Regnaut S., Goudet J. Detecting the number of clusters of individuals using the software structure: a simulation study // Mol. Ecol. 2005. Vol. 14. P. 2611-2620.
9. Goudet J. FSTAT (version 1.2): a computer program to calculate F-statistics // J. Heredity. 1995. Vol. 86. P. 485-486.
10. Lewis P.O., Zaykin D. Genetic data analysis: computer program for the analysis of allelic data. Version 1.0 (d16c). 2001. Free program distributed by the authors over the internet from <http://lewis.eeb.uconn.edu/lewishome/software.html>.
11. Li Y.L., Liu J.X. StructureSelector: a web based software to select and visualize the optimal number of clusters using multiple methods // Mol. Ecol. Res. 2018. Vol. 18. P. 176-177.
12. Nelson R.J., Beacham T.D. Isolation cross species amplification of microsatellite loci useful for study of Pacific salmon // Animal Genetics. 1999. Vol. 30. P. 228-229.

13. Olsen J.B., Wilson S.L., Kretschmer E.J., Jones K.C., Seeb J.E. Characterization of 14 tetranucleotide microsatellite loci derived from sockeye salmon // Mol. Ecol. 2000. Vol. 9. P. 2185-2187.
14. Pritchard J.K., Stefens M., Donnelly P. Inference of population structure using multilocus genotype data // Genetics. 2000. Vol. 155. P. 945-959.
15. Rexroad III C.E., Coleman R.L., Gustafson A.L., Hershberger W.K., Killefer J. Development of rainbow trout microsatellite markers from repeat enriched libraries // Mar. Biotechnol. 2002. Vol. 4(1). P. 12-16.
16. Smith C.T., Koop B.F., Nelson R.J. Isolation and characterization of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) microsatellites and their use in other salmonids // Mol. Ecol. 1998. Vol. 7. P. 1613-1621.
17. Williamson K.S., Cordes J.F., May B. Characterization of microsatellite loci in chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and cross-species amplification in other salmonids // Mol. Ecol. Notes. 2002. Vol. 2. P. 17-19.

## ОЦЕНКА СОСТАВА ИХТИОФАУНЫ КИЖСКИХ ШХЕР ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА ПО РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

В.Р. Погосян<sup>\*,\*\*</sup>, В.Н. Коваленко<sup>\*,\*\*\*</sup>

*\*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра  
Российской академии наук (ИВПС КарНЦ РАН), г. Петрозаводск*

*\*\*ФГБУ ВО "Петрозаводский государственный университет" (ПетрГУ),  
г. Петрозаводск, [po.va.ru@yandex.ru](mailto:po.va.ru@yandex.ru)*

*\*\*\*Карельский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КарелНИРО») г. Петрозаводск*

*Аннотация: в работе представлены сведения об размерно-весовом и возрастном составе ихтиофауны Кижских шхер Онежского озера за 2023 год. В улове присутствовали 4 вида рыб характерных для данной местности: окунь (54 %), лещ (33 %), щука (11 %), судак (2 %).*

*Ключевые слова: Онежское озеро, Карелия, ихтиофауна, вид, рыба, размер, возраст*

Онежское озеро – второе по величине пресноводное озеро Европы, около 80 % его акватории находится на территории Республики Карелия. Северные берега озера скалистые, сильно изрезанные, южные — преимущественно низкие, нерасчленённые (Онежское..., 2010). Особенности рельефа создают благоприятные для жизни рыб условия. На севере озеро глубоко уходит вглубь материка многочисленными губами. Так же там находится самый крупный на озере полуостров Заонежье. Для Онежского озера характерны многочисленные резко выраженные повышения и понижения дна. В северной части озера много желобов, чередующихся с высокими подъёмами дна, образующими банки, на которых часто ловят рыбу промышленные траулеры. Значительная часть дна покрыта илом. Типичными формами являются луды (мелководные каменистые мели), сельги (глубоководные повышения дна с каменистыми и песчаными грунтами, в южной части озера), подводные кряжи и гряды, а также впадины и ямы.

Остров Кижы расположен в северной части Онежского озера рядом с полуостровом Заонежье. В 1989 г. там был основан Государственный природный заказник федерального значения «Кижский». Ежегодно заповедник посещает более 360 тыс. туристов из России и зарубежья (Отчет..., 2023). Акватория озера в районе Кижских шхер испытывает большую антропогенную нагрузку за счет водного транспорта.

В связи с этим, целью данной работы стала оценка современного состояния рыбных сообществ в районе Кижских шхер в условиях антропогенного воздействия.

Исследования проводили на научно-исследовательском судне «Эколог» в мае, августе и сентябре 2023 г. Для проведения исследования размерно-весового состава ихтиофауны Кижских шхер были выбраны 7 станций, 3 в районе о. Малый Леликовский и о. Большой Леликовский, 4 в районе о. Кижы. Всего было выловлено и обмерено более 150 экземпляров особей различных видов. Вылов осуществлялся набором жаберных сетей в литоральной и пелагиальной зонах озера, камеральная обработка материала, а именно измерение длины и массы проводилась по стандартным методикам (Чугунова, 1959; Правдин, 1966; Дгебуадзе, Чернова, 2009).

Ихтиофауна Онежского озера и его бассейна представлена практически всеми видами рыб, встречающимися на территории Карелии. В озере постоянно обитают или изредка встречаются 36 видов рыб, относящихся к 15 семействам (Острова..., 1999; Биоресурсы..., 2008). Во время экспедиций были отловлены судак, щука, лещ и окунь. На данный момент обработана лишь часть данных и большая часть сведений о возрасте особей находится на стадии камеральной обработки.

Судак (*Sander lucioperca* L.) широко распространен по всей акватории озера, но в наибольших количествах встречается в северных и северо-восточных районах (Биоресурсы..., 2008). При научном облове в сети попало только три экземпляра (табл. 1), такая небольшая выборка нерепрезентативна. Но, сравнивая полученные результаты с литературными источниками (Биоресурсы..., 2008), можно отметить, что размерно-весовые характеристики находятся в пределах средних значений, характерных для возраста отобранных особей.

Таблица 1. Размерно-возрастные показатели судака

№	Характеристика				
	Длина ad, см	Масса, г	Пол	Стадия зрелости	Возраст
1	46,0	1300	самка	2	8+
2	34,5	630	самка	2	4+
3	40,0	1060	самец	4	6+

Щука (*Esox lucius* L.) обитает преимущественно в проливах, заливах и местах прилегающих к устьям рек. Район Кижских шхер является благоприятным по кормовой базе и гидрологическому режиму для обитания щук. Однако в период проведения контрольных обловов присутствие щуки в уловах было скромным (табл. 2).

Таблица 2. Размерно-возрастные показатели щуки

Возраст, лет	Длина ad, см		Масса, г	
	колебания	среднее	колебания	среднее
4+	$\frac{40,0 - 46,0}{6}$	43,0±2,0	$\frac{595 - 1000}{6}$	703±160
5+	$\frac{44,0 - 51,0}{6}$	48,0±2,7	$\frac{765 - 1430}{6}$	1020±271
6+	$\frac{54,0 - 55,0}{2}$	54,5±0,7	$\frac{1460 - 1535}{2}$	1498±53
8+	-	61,0	-	2315
11+	-	96,0	-	6930

Примечание – в столбцах «колебания» числитель — это min и max значения, знаменатель — это объем выборки (n)

Лещ (*Abramis brama* L.) в основном обитает в эвтрофированных заливах и губах. За счет мелководности и некоторой изолированности от открытых вод озера эти районы лучше прогреваются, имеют повышенные кормовые запасы и хорошо подходят для размножения лещей (табл. 3). Все это как раз отмечено на территории Кижских шхер.

Таблица 3. Размерно-возрастные показатели леща

Возраст, лет	Длина ad, см		Масса, г	
	колебания	среднее	колебания	среднее
4+	$\frac{17,5}{2}$	17,5	$\frac{100 - 110}{2}$	105±7,1
5+	$\frac{20,0 - 21,5}{6}$	22,3±0,52	$\frac{160 - 200}{6}$	178±14,7
6+	$\frac{22,0 - 24,5}{10}$	23,4±0,97	$\frac{215 - 310}{10}$	259±35,6
7+	$\frac{23,0 - 26,0}{12}$	25,0±1,11	$\frac{250 - 420}{12}$	334±44,1

Возраст, лет	Длина ad, см		Масса, г	
	колебания	среднее	колебания	среднее
8+	$\frac{26,0 - 28,0}{7}$	27,1±0,60	$\frac{395 - 470}{7}$	424±23,1
9+	$\frac{19,0 - 32,0}{5}$	27,8±5,05	$\frac{180 - 640}{5}$	478±27,8
10+	$\frac{31,0 - 32,0}{2}$	32,0±0,70	$\frac{650 - 735}{2}$	693±60,1
11+	$\frac{32,5 - 33,0}{2}$	32,8±0,35	$\frac{700 - 710}{2}$	705±7,07
12+	-	34,0	-	810

Примечание: в столбцах «колебания» числитель – это min и max значения, знаменатель – это объем выборки (n).

Окунь (*Perca fluviatilis* L.) широко распространен по всей акватории Онежского озера и встречаются в виде двух экологических форм – крупный, сравнительно быстрорастущий, распространенный преимущественно в открытых участках, и мелкий – относительно медленно растущий, населяющий береговую зону. Мелководные участки шхер подходят для нереста и снабжают окуней в период активного роста доступной кормовой базой (табл. 4).

Таблица 4. Размерно-возрастные показатели окуня

Возраст, лет	Длина ad, см		Масса, г	
	колебания	среднее	колебания	среднее
5+	$\frac{16,0 - 17,0}{2}$	17,0±1,41	$\frac{70 - 95}{2}$	82,5±17,7
6+	$\frac{22,0}{2}$	22,0	$\frac{185 - 200}{2}$	193±10,6
7+	$\frac{19,5 - 23,0}{6}$	21,6±1,36	$\frac{145 - 240}{6}$	192±35
8+	$\frac{19,5 - 23,0}{24}$	21,6±1,36	$\frac{145 - 240}{24}$	192±34,9
9+	$\frac{22,5 - 26,0}{16}$	24,3±0,97	$\frac{195 - 365}{16}$	258±36,2
10+	$\frac{24,5 - 29,0}{9}$	26,4±1,10	$\frac{250 - 500}{9}$	343±64,1
11+	$\frac{27,5 - 32,0}{9}$	29,3±1,46	$\frac{370 - 715}{9}$	478±94,1

Примечание: в столбцах «колебания» числитель – это min и max значения, знаменатель – это объем выборки (n).

Результаты проведенных исследований показали, что морфологические показатели выловленных на территории Кижских шхер особей находятся в пределах характерных для сообществ рыб в этой местности. Самыми многочисленным представителем был окунь (54 %), вторым по частоте встречаемости был лещ (33 %), щука (11 %), как и судак (2 %) были отмечены в меньших количествах. По возрасту у окуней доминировали особи 8+, у лещей 7+, среди щук 4+ и 5+ лет.

Также вызывает беспокойство сокращение улова щуки. Опрос местных жителей подтвердил, что с 2013 г. ее количество и размер особей снизился. Скорее всего, это вызвано

переловом этого вида во время нереста, когда щука становится доступным объектом за счет своего скопления на мелководных участках Кижских шхер.

Доминирующим видом рыб, обитающим в Кижских шхерах является окунь. Это стало возможно за счет гидрохимических особенностей района и широкой кормовой базы. Его популяция относительно стабильна. Лещ представлен в основном молодыми особями, еще не достигшими половой зрелости (10-13 лет). Такие скопления характерны в периоды нагула. Щука отмечена молодыми половозрелыми особями (4-5 лет), более старшие представители присутствовали в меньших количествах. Судак был выловлен в единичных экземплярах. Для дальнейших выводов необходимы дополнительные исследования.

Данное исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-20018, <https://rscf.ru/project/23-17-20018/>», проводимого совместно с органами власти Республики Карелия с финансированием из Фонда венчурных инвестиций Республики Карелия (ФВИ РК).

#### Список литературы

1. Биоресурсы Онежского озера // Отв. ред. В.И. Кухарев, А.А. Лукин. Петрозаводск, 2008. 272 с.
2. Дгебуадзе Ю.Ю., Чернова О.Ф. Чешуя костистых рыб как диагностическая и регистрирующая структура. М.: Т-во научных изданий КМК, 2009. 315 с.
3. Онежское озеро. Атлас // Отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск. КарНЦ РАН, 2010. 151 с.
4. Острова Кижского архипелага. Биогеографическая характеристика. // Труды КарНЦ РАН. Серия Б. «Биогеография Карелии». вып. 1, Ред. Г.А. Елина, Е.П. Иешко, П.В. Красильников, О.Л. Кузнецов, А.Д. Лукашов, Т.Ю. Хохлова. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 1999. 172 с.
5. Отчет о деятельности Государственного историко-архитектурного и этнографического музея-заповедника «Кижы». 2022 год. // Под ред. Е.Б. Базегской; М-во культуры Рос. Федерации, ФГБУК «Гос. историко-архитектур. и этнограф. музей-заповедник «Кижы» – Петрозаводск: Издательский центр музея-заповедника «Кижы», 2023. 94 с.
6. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Изд-во пищевая пром-сть, 1966. 376 с.
7. Чугунова Н.И. Руководство по изучению возраста и роста рыб: Метод. пособие по ихтиологии. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 165 с.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РЕОРГАНИЗАЦИИ ОСЕТРОВОГО ХОЗЯЙСТВА В АЗОВСКОМ БАССЕЙНЕ

С.Б. Подушка

ООО «ЧНИОРХ», г. Санкт-Петербург, [sevrjuga@yandex.ru](mailto:sevrjuga@yandex.ru)

*Аннотация: предлагается начать промысел осетровых в Азовском море. Вылавливать только производителей во время весенней путины, получать от них зрелые половые продукты прижизненным способом. Затем возвращать живую рыбу в естественную среду. Рассматриваются положительные эффекты, к которым может привести переход на такую схему эксплуатации запасов осетровых в регионе.*  
Ключевые слова: Азовское море, осетровое хозяйство, промысел, воспроизводство, получение икры

Одним из основных постулатов ведения рационального осетрового хозяйства был отказ от промысла осетровых в море и перенос его исключительно в реки. Благодаря этому должны были резко возрасти качество и ценность уловов, т.к. в реки на нерест шла исключительно взрослая рыба со зрелыми половыми продуктами (самки с икрой). Согласно существовавшим в прежние годы взглядам, «осетровых можно представить себе как хорошо дрессированный скот, который без пастуха на многие годы уходит на пастбища в море и безошибочно находит обратный путь домой» (Зенкевич, 1970).

С течением времени стало ясно, что оптимистические прогнозы на увеличение уловов осетровых путем организации «рационального осетрового хозяйства» в бассейнах южных морей СССР не оправдались. Более того, на всех водоемах, где осуществлялось заводское осетроводство, промысел осетровых пришлось запретить. Причиной коллапса большинство авторов посчитали разгул браконьерства, связанный с общим кризисом хозяйственной деятельности в стране после распада СССР. Но несомненно, что причина не только в этом. Наиболее неприятным последствием перевода популяций осетровых на преимущественно заводское воспроизводство стало непрогнозируемое ранее нарушение нерестовых миграций. Осетровые перестали быть «хорошо дрессированным скотом, безошибочно возвращающимся домой». Причем обнаруживался этот феномен только на реках, где были построены осетровые рыбозаводы (ОРЗ): первоначально на р.Куре, затем на р.Кубани и р.Дону, а потом и на р.Волге. В р. Урал, где искусственное осетроводство в советские годы осуществлялось лишь в экспериментальных масштабах, такой проблемы не было.

Осенью 1982 г. при заключении хоздоговора кафедры ихтиологии и гидробиологии ЛГУ в АзНИИРХ на Ученом совете был сделан доклад (совместно с проф. Б.Н.Казанским), в котором в виде гипотезы указали, что незаход зрелых производителей осетровых в Дон и Кубань может быть связан с нарушением у рыб заводского происхождения хоминга – инстинкта возвращения в «родные» реки. Большинство ОРЗ в СССР были спроектированы и построены значительно ниже природных нерестилищ, в самом нижнем течении рек, вблизи мест промысла. На этих же участках выпускалась и выращенная на заводах молодь. Более того, нередко практиковался вывоз молоди живорыбными судами, а в опытном порядке даже и авиацией, непосредственно на места нагула в море. В АзНИИРХ эту гипотезу рассмотрели, но не поддержали, о чем сообщалось в сделанной позже публикации: «преобладание в нерестовой популяции рыб заводского происхождения не является причиной малой интенсивности миграции азовского осетра в р. Дон» (Макаров и др., 1986). Однако проблема незахода производителей в реки от этого не исчезла и продолжала усугубляться со временем. В конце концов, выдвинутую гипотезу признало большинство ихтиологов-осетровиков в Азовском бассейне (Агапов и др., 2008), но не признали многие

эксперты-осетровики в Астрахани, где по-прежнему ослабление захода осетровых в реки не связывают с заводским происхождением рыбы (Ходоревская и др., 2000).

Следует отметить, что в Азовском бассейне отказ от морского промысла так и не был полностью осуществлен. По побережью моря располагались многочисленные рыболовецкие колхозы, которые в путину (весна и осень) выставляли сотни ставных неводов, в том числе и специализированных для лова осетровых. Сохранение в бассейне морского промысла осетровых резко критиковали многие специалисты, однако сотрудники АзНИИРХ считали его рациональным, поскольку временной и географический режим установки орудий лова, по их мнению, обеспечивал преимущественный вылов ходовых производителей и лишь незначительный прилов неполовозрелых особей (Баландина, 1978; Горбачева, Реков, 1996).

Согласно данным большинства современных исследователей, естественный нерест осетровых в бассейне Азовского моря не осуществляется уже в течение нескольких десятилетий, и воспроизводство популяций происходит исключительно за счет деятельности ОРЗ (Мирзоян и др., 2024). Поэтому предлагается незамедлительно снять запрет на промысел осетровых в Азовском море, однако пойманных производителей не убивать, а выпускать после прижизненного получения половых продуктов (Подушка, 2024).

Идея организации морских ОРЗ на побережье Азовского и Каспийского морей не нова. Наиболее целеустремленно и последовательно над ее обоснованием работал А.А.Кокоза (2004). Работы по организации пастбищного рыбоводства в Северном Приазовье проводили сотрудники АзНИИРХ (Горбачева и др., 2003), КаспНИРХ (Шевченко и др., 1996), а позже НИАМ (Самойленко и др., 2012). Таким образом, у отечественного осетроводства уже имеется достаточно большой практический опыт заготовки и работы с производителями из морских уловов и в Каспийском, и в Азовском бассейнах. При этом вопрос о необходимости адаптации рыб к изменению солености обычно не ставился: перепад значений солености на местах промысла и на ОРЗ был относительно невелик, и рыбы хорошо переносили прямой переброс из солоноватой воды в пресную.

В последние годы соленость Азовского моря существенно возросла, и проблема выравнивания соленостей воды может стать более актуальной. В этом плане большой интерес представляет опыт рыбоводов Ирана, заготавливающих производителей осетровых для своих заводов в Южном Каспии. Российские рыбоводы неоднократно выезжали по обмену опытом к иранским коллегам и опубликовали интересные материалы с сообщениями о том, как решается проблема различной солености в местах отлова производителей и на рыбхозах. В.В. Тяпугин (Тяпугин, Махдуми, 2009) сообщил, что на заводе Шахид-Маржани производителей персидского осетра напрямую перебрасывают из морской воды соленостью 12-14 ‰ в пресную воду. После такого переброса осетры в течение суток лежат на боку, но затем приходят в себя и начинают плавать. Через трое суток их можно использовать для получения половых продуктов. В.И. Климов (2019) на другом иранском хозяйстве успешно получал зрелые половые продукты от севрюг, инъецируя их непосредственно в солоноватой воде, но работая со сцеженными половыми продуктами в пресной воде.

Все перечисленные выше, как отечественные, так и зарубежные работы, не предполагали выпуска использованных в рыбоводном процессе производителей на волю обратно в море. Выпуск производителей осетровых после получения от них икры практикуется в настоящее время при воспроизводстве краснокнижных форм сибирского осетра (Подушка, 2024).

Предлагается сделать прижизненное получение половых продуктов и выпуск производителей нормой биотехнического процесса в Азовском бассейне. Практически это предполагается осуществлять следующим образом. По побережью моря в настоящее время рыболовецкими организациями выставляется несколько сотен ставных неводов. По

действующему законодательству рыбаки обязаны прилов осетровых выпускать. Мы предлагаем половозрелых осетровых рыб, попавших в невода во время весенней путины, сразу не выпускать, а использовать для получения зрелых половых продуктов. Как это сделать, должны решать сами рыболовецкие организации. Вариантов несколько: передача рыб во временное пользование на ОРЗ, самостоятельное получение оплодотворенной икры рыбаками, получение икры-сырца для посола на месте или для перепродажи сторонним организациям. Оптимальный вариант будут выбирать сами рыбаки, исходя из конъюнктуры рынка, своих возможностей и прочих обстоятельств.

Прижизненное получение икры у осетровых является российской разработкой (Авторское свидетельство № 1412035), прошедшей уже четвертьвековую практику и внедренной практически на всех осетроводных предприятиях России и частично зарубежья. Этой методикой владеют многие рыбоводы, и в сети довольно часто предлагаются услуги специалистов по получению икры. Сцеженная икра может быть также реализована как сырье для производства пищевого продукта (Авторское свидетельство № 1824705). Такое сырье сейчас востребовано и существует его рынок.

Такая реорганизация осетрового хозяйства Азовского бассейна позволит получить ряд позитивных экономических, биологических и социальных эффектов. Осуществление предложения не требует больших затрат и, в случае обнаружения каких-то неучтенных отрицательных эффектов, может быть легко отменено, а в случае позитивной оценки, развито и тиражировано.

Экономический эффект заключается в том, что федеральные ОРЗ перестанут работать вхолостую, выпуская молодь, которая вырастая, не принесет потомства, а будет либо поймана браконьерами, либо погибнет от старости. Организация промысла осетровых по предлагаемой схеме позволит получать от заводской рыбы наиболее ценный продукт – икру, оставляя производителей живыми. А.В. Мирзоян с соавторами (2024) считают, что успешное естественное размножение осетровых возможно лишь при участии в нересте самок второго и третьего созреваний. Предлагаемая схема позволит накапливать таких рыб в стаде и давать им шанс на воспроизводство естественным путем.

Положительный социальный эффект возможен в закреплении на местах жительства сельского населения, обеспечение его работой и доходами, сохранение рыбацких династий, развитие рыбоводного образования. В планах Правительства России по Приазовью стоит строительство кольцевой дороги и развитие сельского туризма, где осетровая тема занимает немаловажное место (Адамович, 2024). Руководители новых территорий (Донецкая, Запорожская и Херсонская области) тоже заявили о своей кровной заинтересованности в развитии осетрового хозяйства.

#### Список литературы

1. Зенкевич Л.А., Марти Ю.Ю. К регулируемым биологическим хозяйствам // Природа. 1970. № 4. С.52.
2. Макаров Э.В., Реков Ю.И., Чихачев А.С., Цветненко Ю.Б. Сохранение способности к нерестовой миграции у осетра заводского происхождения // Тез. науч. докл. Всесоюз. совещ. Формирование запасов осетровых в условиях комплексного использования водных ресурсов. Астрахань, ЦНИОРХ, 1986. С. 211-213.
3. Агапов С.А., Макаров Э.В., Реков Ю.И., Тихонова Г.А., Чепурная Т.А. Современное состояние азовских осетровых рыб и возможности их восстановления // Actual status and active protection of sturgeon fish populations endangered by extinction. / Eds: R. Kolman, A. Kapusta. Olsztyn: Wydawnictwo IRS. 2008. С.69-74.
4. Ходоревская Р.П., Довгопол Г.Ф., Журавлева О.Л. Значение пастбищной аквакультуры осетровых в формировании их запасов // Проблемы современного товарного осетроводства : Сб. докл. Первой научно-практ. конф. 24-25 марта 1999 г. Астрахань. Астрахань: Волга, 2000. С. 67-74.
5. Баландина Л.Г. Биологическое обоснование промысла судака и осетровых в Азовском море с учетом изменений их запаса и условий обитания : Автореф. канд. дис. 1978, М. 26 с.
6. Горбачева Л.Т., Реков Ю.И. Состояние и пути повышения эффективности искусственного воспроизводства осетровых в Азово-Донском районе // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азовского бассейна : Сборник научных трудов. АзНИИРХ. Ростов-на-Дону, 1996. С.234-238.

7. Мирзоян А.В., Лужняк В.А., Белоусов В.Н., Пятинский М.М., небесихина Н.А. Проходные осетровые рыбы Азовского моря в условиях природных и антропогенных трансформаций водной экосистемы // Труды ВНИРО. 2024. Т. 196. С. 107-123.
8. Подушка С.Б. Возможно ли возобновить промысел осетровых в Азовском море? // Рыбное хозяйство. 2024. № 2. С. 45-55.
9. Кокоза А.А. Искусственное воспроизводство осетровых рыб. Астрахань: АГТУ, 2004. 207 с.
10. Горбачева Л.Т., Савельева Э.А., Чихачева В.П., Казакова Н.М., и др. Состояние и проблемы азовского осетроводства // Режим и биологические ресурсы Азово-Черноморского бассейна: проблемы устойчивого развития и рыбного хозяйства. Материалы Международной научной конф. Ростов-на-Дону: Эверест, 2003. С. 33-41.
11. Шевченко В.Н., Попова А.А., Рогов М.А., Бурлаченко Н.А., и др. Использование «морских» производителей осетра для получения потомства на Павлопольском ТРХ // Международный симпозиум «Ресурсосберегающие технологии в аквакультуре», 21-24 октября 1996 г., Адлер, Россия. Краснодар, 1996. С. 108-109.
12. Самойленко Д.А., Кулик П.В., Рыков Ю.В., Зюзин А.Г. Основные элементы доместикации азовских осетровых в условиях Северного Приазовья // Водные ресурсы и вопросы рыбного хозяйства Азовского бассейна. Сб. науч. трудов НИИМ. Бердянск: Издво ООО "НПК "Интер-М", г. Запорожье. 2012. С.188-216.
13. Тяпугин В.В., Махдуми Н.М. Результаты получения икры персидского осетра в Исламской Республике Иран прижизненным способом на осетровом заводе Шахид-Маржани (область Гурган) // Осетровое хозяйство. 2009. № 3. С. 2-9.
14. Климов В.И. Опыт получения зрелых половых продуктов севрюги в морской воде // Рыбоводство. 2019. № 3-4. С. 27.
15. Адамович Олег. 17 июня 2024. Россия построит на Азовском море 20 курортов: Опубликована карта грандиозной туристической зоны // www.kp.ru: <https://www.kp.ru/daily/27595.5/4946556/>.

## ПРОМЫСЕЛ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ШПРОТА В РОССИЙСКИХ ВОДАХ ФИНСКОГО ЗАЛИВА В 2023 ГОДУ

И.А. Пожинская, И.В. Боркин, И.А. Тыркин

Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), г. Санкт-Петербург, [pozhinskaya@niorh.vniro.ru](mailto:pozhinskaya@niorh.vniro.ru)  
[bormarine@rambler.ru](mailto:bormarine@rambler.ru), [igor7895@yandex.ru](mailto:igor7895@yandex.ru)

Аннотация. в работе приводятся сведения о вылове шпрота в восточной части Финского залива Балтийского моря с 1949 по 2023 г. Анализируются ход промысла и распределение шпрота, являющегося составной частью промысловых скоплений салаки в российских водах залива. Также представлены основные биологические характеристики вида по материалам рыбопромысловых исследований 2023 г.

Ключевые слова: шпрот, уловы, распределение, биологические параметры, Финский залив

Шпрот (килька) *Sprattus sprattus balticus* (Schneider, 1908), являясь одним из основных объектов промысла в Балтийском море, в последние десятилетия занимает ведущее место в ихтиоценозе Финского залива (Кудерский, 2013; Амосова и др., 2020). Доля рыбы данного вида в годовом улове рыбохозяйственных организаций Ленинградской области в последние годы составляла от 5 до 15 % (в среднем – 11 %), то есть по вылову в Финском заливе шпрот уступает только салаке (рис.1).



Рисунок 1. Соотношение промысловых видов рыб в Российской акватории Финского залива в среднем за период 2009-2023 гг.

В конце 90-х годов прошлого столетия, в связи с изменением гидрологических условий в Балтике, повлекших за собой снижение численности трески (основного потребителя мелкосельдевых), а также аномально теплыми зимами, район нагула шпрота расширился. Численность данного вида в промысловых уловах в восточной части Финского залива (восточнее 26° в.д.) возросла, и стала очевидна актуальность его всестороннего изучения. Мониторинговые исследования шпрота проводились Санкт-Петербургским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» с 2016 г.: динамика уловов, распределение, биология, питание и др. (Боркин и др., 2018, 2021; Пожинская и др., 2023).

Цель данного исследования – анализ промысла и распределения шпрота в восточной части Финского залива в российской ИЭЗ в 2023 г.

Промысел салаки и шпрота в 2023 г. осуществляли разноглубинными тралами РТ/ТМ № 90-520 судами МРТК в количестве от 4 до 8 ед. в восточной части Финского залива (32 подрайон ИКЕС) с января по май и с октября по декабрь. Распределение и встречаемость шпрота проанализированы на основе данных статистики вылова, а также

суточных уловов из промысловых журналов траловых судов. Биологические параметры шпрота приводятся по материалам 2023 г. (массовые промеры 5310 экз., биологические анализы 660 экз., пробы на возраст 386 экз.). Материал обработан по стандартным методикам (Апс, 1986; Методическое..., 2013).

Анализ, проведенный на основе мониторинговых исследований, показал, что в течение 2023 г. шпрот распределялся в российской части акватории Финского залива в прибрежье о-вов Большой (Б.) и Малый (М.) Тютерс, Гогланд, Мощный и в Нарвском заливе, образуя общие с балтийской сельдью скопления преимущественно в осенний и зимний периоды после нагула. Основной ареал его обитания в пределах Финского залива - это западная акватория, где происходит формирование запаса вида. Многолетние наблюдения показывают, что, распространение шпрота в восточном направлении ограничено температурой воды в зимний период ниже 2,5 °С и содержанием растворенного кислорода менее 1,5 мл/л, после зимовки – температурой воды ниже 4 °С (Велдре, 1976; Амосова и др., 2020). В восточной части Финского залива проходит граница ареала распространения данного вида.

В российских водах Финского залива рыбодобывающими организациями в 2023 г. добыто 1,198 тыс. т кильки, что в 1,3 раза выше среднемноголетнего значения (0,903 тыс.т) за период 1995-2023 гг. (рис. 2).

В 1 полугодии 2023 г. промысел рыбы осуществлялся с перерывами, в связи с погодными условиями и нестабильной ледовой обстановкой, в следующие периоды: с начала января до 22 февраля, 3-27 марта и после распаления льда – с начала апреля по 26 мая.

Промысел в январе и феврале 2023 г. проходил более успешно – добыто 0,517 тыс. т (43% годового улова). Улов шпрота в целом за первое полугодие 2023 г. составил 0,662 тыс. т, что в 1,9 раза превышает величину вылова за тот же период 2022 г. Корабли работали на участках с глубинами 35-60 м в количестве 4-8 ед. (на 4-5 судов меньше, чем в прошлом году).

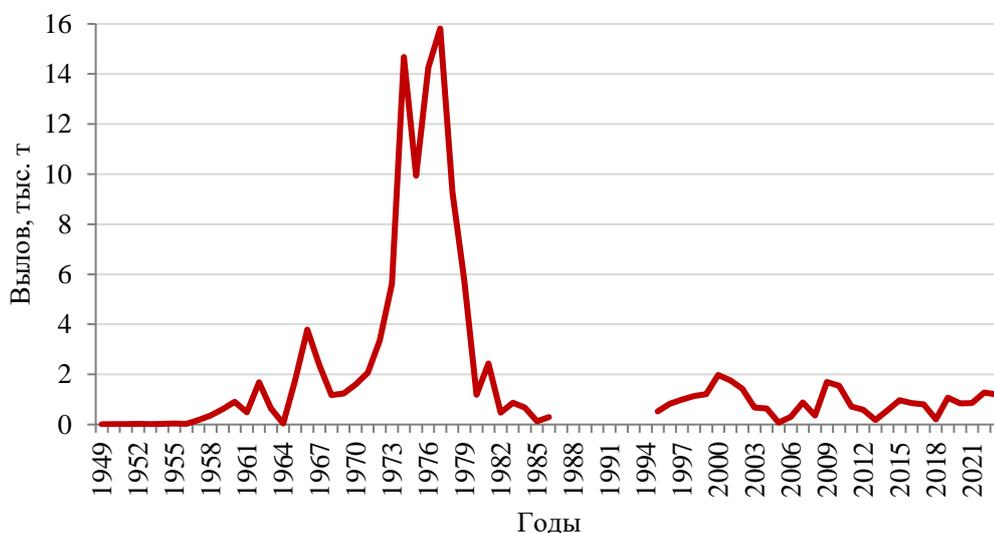


Рисунок 2. Динамика годовых уловов шпрота в Финском заливе в 1949-2023 гг., тыс. т (до 1990 г. – в западной и восточной, с 1990 г. – в восточной части Финского залива) (Кудерский, 2013)

Прилов шпрота в январе-феврале был больше, чем в предыдущие годы, составляя 2-30 %, в среднем 10-12 %. Доля же данного вида в траловых уловах с марта по май была более низкой – 1-3 %.

С увеличением светлого времени суток средняя продолжительность лова постепенно возрастала с 5-7 часов в январе-феврале до 6-8 в апреле и 8-10 в мае. Вылов кильки сильно варьировал в разные месяцы, в зависимости от подхода рыбы в район промысла с прогревом водных масс.

Производительность лова в январе-феврале составляла 0,27-0,65 (в среднем 0,53 т/час) и была в 1,5-2 раза выше, чем за тот же период 2022 г., в отдельные дни достигая максимальных величин: в январе 0,57 т/час - у о. Гогланд и в Нарвском заливе; в феврале 0,53-0,65 т/час восточнее о. Мощный. Уловы шпрота в январе - феврале варьировали от 0,10 до 16,45 т за 3-12 часов траления (в основном 2,67-2,86 т за 5-7 часов). Максимальные уловы наблюдались северо-восточнее о. Мощный – до 5,0 т и у о. Гогланд – 6,4-16,45 т (рис. 3).

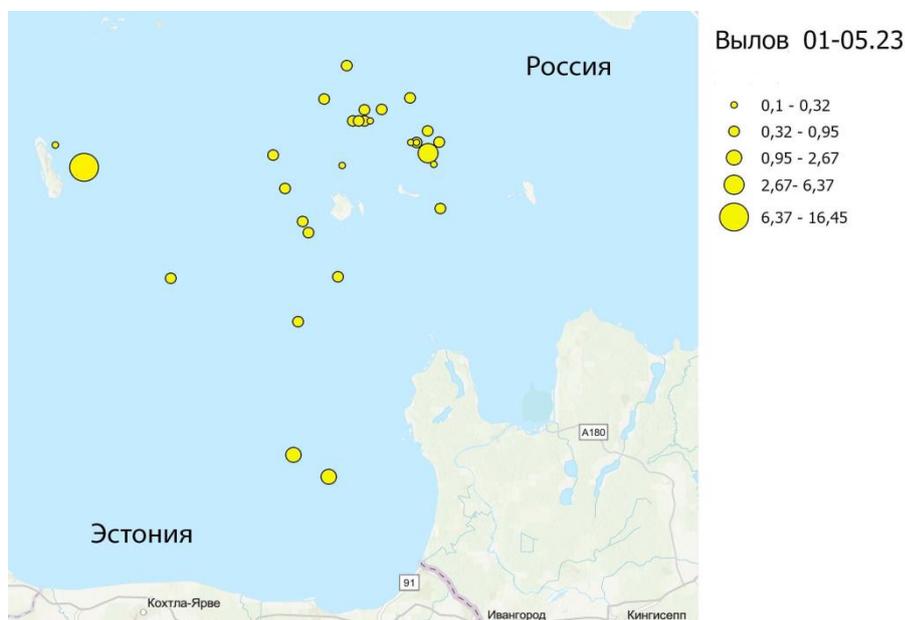


Рисунок 3. Распределение уловов шпрота в восточной части Финского залива по данным промысловых тралений в январе-мае 2023 г., т

С конца марта по май, интенсивность лова понизилась – от 0,10 т/час в марте-апреле до 0,04 т/час в мае (в 2 раза ниже, чем в 2022 г.). Рыба начала отходить к местам нереста в западном направлении и держалась более рассредоточено по всей акватории залива, днем опускаясь в придонные горизонты. Промысел продолжался в основном вокруг о. Мощный, юго-восточнее о. Б. Тютерс и у о. Гогланд. Уловы значительно варьировали - от 0,20 до 0,84 т за 5-11 часов, в среднем составляли 0,32-0,48 т за 6-9 часов траления.

В зимне-весенний период в уловах встречался шпрот длиной от 7,5 до 13,6 см, массой от 2,0 до 15,1 г. Основу уловов составляли особи в возрасте трех-четырех лет (73 %) размером 9,6-12,5 см. Наиболее многочисленными были рыбы поколения 2021 г. (57 %), 2020 г. (16 %) и молодь 2022 г. (24 %). Средняя масса весеннего шпрота составила 7,8 г при длине 10,3 см.

Во 2 полугодии 2023 г. промысел проходил активно, но с перерывами из-за штормов и неблагоприятных погодных условий. Осенняя путина была начата с 11 октября и продолжалась до конца декабря. В районе лова работали 4-6 судов (на 4 ед. меньше, чем в 2022 г., что связано с экономическими причинами).

С ноября по декабрь было добыто 0,527 тыс. т кильки (44 % годового улова), в целом за 2 полугодие – 0,536 тыс. т, то есть в 1,7 раза меньше, чем за тот же период прошлого года.

Встречаемость вида в уловах осенью составляла порядка 60-70 %, в отдельные дни – до 80-90 % в разных районах. Шпрот распространялся по всей акватории восточной части Финского залива до о. Сескар, при этом не образуя плотных скоплений.

Осенью массовая доля вида в уловах сильно варьировала в зависимости от района промысла - от 6 до 94 %, составив в среднем в октябре 32-57 %, в ноябре – 20-36 %. В декабре доля шпрота в уловах оставалась значительной: в среднем – 30-60, иногда – до 80-90 %.

В осенний период промысел осуществлялся в основном на горизонтах от 5 до 25-30 м в сумеречное и ночное время, в дневное время рыба удерживалась в придонных слоях воды (35-60 м). Продолжительность лова изменялась от 2 до 16 часов, в среднем составляя 7-9 часов.

В октябре килька держалась рассеянно. Основной причиной было более позднее образование фронтальных зон в акватории Финского залива, в пределах которых формируются выраженные скопления рыбы. Промысел осуществлялся в режиме частого поиска. Его интенсивность изменялась от 0,02 до 3,8 т/час, в среднем – 0,34 т/час, что в 2,3 раза ниже, чем в 2022 г. Уловы шпрота достигали от 0,2 до 7 т за 6-12 часов лова, в среднем – 2,7-3,5 т за 8-10 часов.

В ноябре производительность достигала 0,3-0,75 т/час, в среднем составила – 0,5 т/час (что соответствует показателю прошлого года). Промысел вели в основном вокруг о. Мощный, а также – в акватории о-вов Б. и М. Тютерс. Уловы шпрота составляли от 0,8 до 11,0 т за 4-16 часов лова, в среднем – 4-4,5 т за 6-8 часов. Значительные их величины (5,7-7,4 т) отмечены западнее о. Мощный; максимальные – северо-западнее о. Мощный (до 12,2 т) и вокруг о. Б. Тютерс – до 9,5-12,5 т (рис. 4).

В декабре производительность лова возросла и составляла от 0,4 до 1,4 т/час, в среднем 0,55 т/час, что в 2 раза выше величины 2022 г. Добыча рыбы производилась вокруг о. Мощный, в акватории о. М. и Б. Тютерс и к западу от Нарвского залива. По мере охлаждения водных масс рыба отходила к местам зимовки. Тем не менее, уловы шпрота достигали 4-7 т за 6-12 часов лова. Максимальный вылов (12,0-22,3 т) наблюдался северо-западнее о. Б. Тютерс у границы с Эстонией (рис. 4).

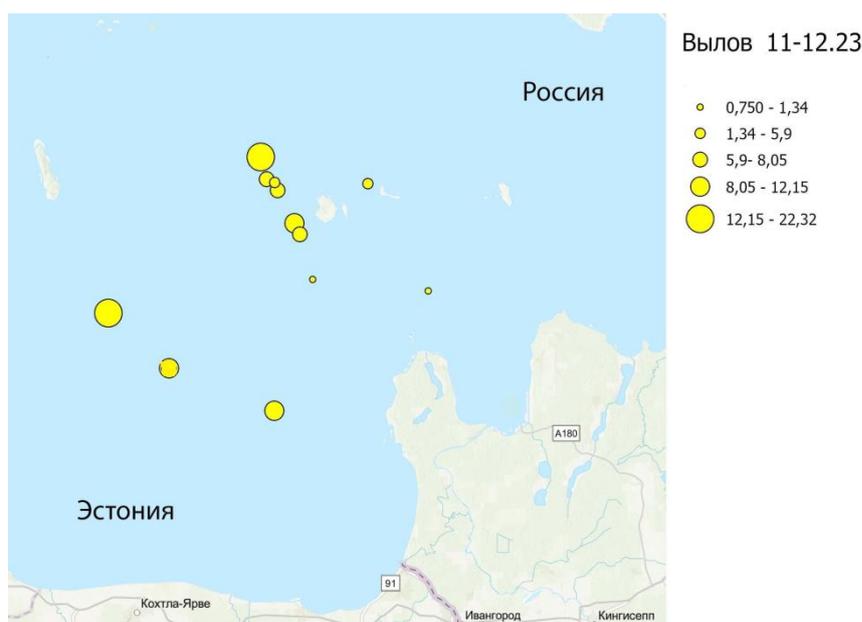


Рисунок 4. Распределение уловов шпрота в восточной части Финского залива по данным промысловых тралений в ноябре-декабре 2023 г., т

В целом осенью в уловах встречался шпрот длиной от 6,2 до 14,0 см, массой от 1,7 до 16,4 г. Основу уловов, как и в весенний период, составляли трех-четырёхлетки длиной 10,4-12,7 см (81 % по численности). Наиболее многочисленными были особи поколения 2021 г. (48 %) и 2020 г. (33 %). Доля сеголетков достигала 2 %, что значительно ниже показателя прошлого года (30 %). Средняя масса шпрота составила 11,1 г при длине 11,7 см.

Таким образом, в 2023 г. величина годового улова шпрота в восточной части Финского залива в зоне Российской Федерации (32 подрайон) составила 1,198 тыс. т. По

сравнению с предыдущими годами уменьшилось число рыбодобывающих судов на 5 единиц. При этом в 1,5-2 раза возросла производительность лова в зимний период.

Прилов шпрота в зимне-весенний период был выше, чем в предыдущие годы – до 30%, в среднем составил: в январе-феврале 11 %, в марте-мае 2 %. Доля шпрота в уловах осенью варьировала от 6 до 94 % в разные месяцы и в разных районах, в среднем достигала 28-45 %.

В зимне-весенний период 2023 г. промысел активнее вели в январе и феврале, производительность лова составила в среднем 0,53 т/час, превысив более чем в 1,5 раза показатель 2022 г. Уловы шпрота сильно варьировали: от 0,10 до 16,45 т за 3-12 часов траления (в основном 2,67-2,86 т за 5-7 часов). Максимальные уловы наблюдались северо-восточнее о. Мощный – до 5,0 т и у о. Гогланд – 6,4-16,45 т.

В ноябре – декабре 2023 г. интенсивность лова достигала в среднем 0,50-0,55 т/час, что в 2 раза выше, чем в конце 2022 г. Уловы шпрота составляли от 0,8 до 22,3 т за 4-16 часов лова, в среднем – 4-7 т за 6-10 часов. Значительные их величины (5,7-7,4 т) отмечены в ноябре западнее о. Мощный и еще большие - северо-западнее о. Мощный (до 12,2 т), а также - вокруг о. Б. Тютерс (до 9,5-12,5 т). Максимальный вылов (12,0-22,3 т) наблюдался в декабре северо-западнее о. Б. Тютерс.

В течение всего периода промысла в уловах встречался шпрот длиной от 6,2 до 14,0 см, массой от 1,7 до 16,4 г. Весной основу ихтиомассы формировал шпрот в возрасте трех-четырёх лет (73 %) размером 9,6-12,5 см. Отмечено значительное количество молоди (24 %).

В осенний период промысел был основан, как и весной, на трех-четырёхлетках длиной 10,4-12,7 см (81 %). Доля сеголетков снизилась до 2 %.

#### Список литературы

1. Амосова В.М., Зезера А.С., Васильева Т.Г. Анализ современного российского промысла шпрота в Балтийском море // Труды ВНИРО. 2020. Т. 182. С. 64-73. DOI: 10.36038/2307-3497-2020-182-64-73.
2. Алс Р.А. Возраст и рост балтийского шпрота. Рига: АВОТС, 1986. 56 с.
3. Боркин И.В., Пожинская И.А., Кузнецов А.Ф. Многолетняя динамика уловов и некоторые черты биологии шпрота (кильки) в восточной части Финского залива // Рыбное хозяйство. 2018. № 2. С. 40-45.
4. Боркин И.В., Пожинская И.А., Кузнецов А.Ф. Распределение уловов и промысел шпрота в восточной части Финского залива в 2019 году // Труды ВНИРО. 2021. Т. 183. С. 39-48. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-183-39-48.
5. Велдре И.Р. О прогнозировании состояния запасов кильки и использовании их в Северо-Восточной Балтике и Финском заливе // Рыбохозяйственные исследования в бассейне Балтийского моря. Рига, 1976. Вып.12. С. 59-88.
6. Кудерский Л.А. Состояние рыбного населения в восточной части Финского залива в 1946 – 2009 гг. в связи с природными и антропогенными факторами // Избранные тр.: Исследования по ихтиологии, рыбному хозяйству и смежным дисциплинам. СПб. – М. Товарищество науч. изданий КМК. 2013. Т. 3. С. 57-79.
7. Методическое пособие по сбору и первичной обработке биостатистических материалов на промысловых судах в юго-восточной части Балтийского моря / Карпушевский И.В. [и др.]. Калининград: Атлант НИРО, 2013. 81 с.
8. Пожинская И.А., Боркин И.В., Богданов Д.В., Хозяйкин А.А. Уловы и биологические показатели шпрота (*Sprattus sprattus balticus*, Clupeidae) в российских водах Финского залива на современном этапе // Рыбное хозяйство. 2023. № 2. С. 24-31. DOI: 10.37663/0131-6184-2023-2-24-31.

## ВИДОВАЯ СТРУКТУРА РЫБНОГО НАСЕЛЕНИЯ МАЛЫХ НЕРЕСТОВЫХ ВОДОТОКОВ ПРОХОДНОЙ КУМЖИ В БЕЛАРУСИ

А.С. Полетаев\*, В.К. Ризевский\*, В.В. Колтунов\*, Д.Ф. Куницкий\*,  
А.В. Лещенко\*, Ю.Д. Болтуць\*\*, М.В. Плюта\*\*

\* ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», г. Минск, [viroxylan@gmail.com](mailto:viroxylan@gmail.com)

\*\* ООО «Рыбопитомник «Скок», аг. Занарочь, [yurbolt@yahoo.de](mailto:yurbolt@yahoo.de)

Аннотация: *ихтиофауна наиболее значимых для воспроизводства проходной кумжи малых водотоках Беларуси насчитывает 16 видов рыб и 1 вид миног, в том числе 1 вид, включенный в Красную книгу Республики Беларусь (кумжа) и 2 инвазивных вида. В структуре ихтиофауны преобладают реофильные виды, наиболее многочисленным из которых является кумжа. Популяции кумжи демонстрируют тенденцию к росту численности, что является результатом комплекса мероприятий по её охране.*

Ключевые слова: водотоки, ихтиофауна, рыбы, кумжа, *Salmo trutta*, электролов

Область распространения проходной формы кумжи (*Salmo trutta* L., 1758) в Беларуси в настоящее время охватывает участок р. Виляя от границы с Литвой до плотины вдхр. Вилейское, а также её притоки, впадающие в пределах данного участка. Заход производителей проходной кумжи в белорусские участки р. Западная Двина и р. Нёман прекратился после их зарегулирования плотинами ГЭС в 1939 и 1959 гг. соответственно (Жуков, 1988). Кумжа включена в Красную книгу Республики Беларусь, где проходной форме присвоена I-я (высшая) категория национальной природоохранной значимости, а резидентной её форме – ручьевой форели – II-я (2015).

Наибольшая численность производителей кумжи наблюдается в низовьях доступного для их захода участка р. Виляя и многочисленных небольших её притоках на территории Островецкого района, вблизи границы с Литвой. На наиболее значимых для воспроизводства кумжи малых нерестовых водотоках с 2009 г. ведётся мониторинг, включающий оценку численности заходящих на нерест производителей и структуры ихтиофауны нерестово-возрастных участков.

Материал для данной работы собран в 2016-2023 гг. на наиболее значимых для воспроизводства кумжи малых нерестовых водотоках Островецкого района Гродненской области – притоках первого порядка р. Виляя: ручье Тартак (с безымянным притоком), реках Кемелина, Дудка (с ручьём Дуда) и Сенканка (рис. 1).

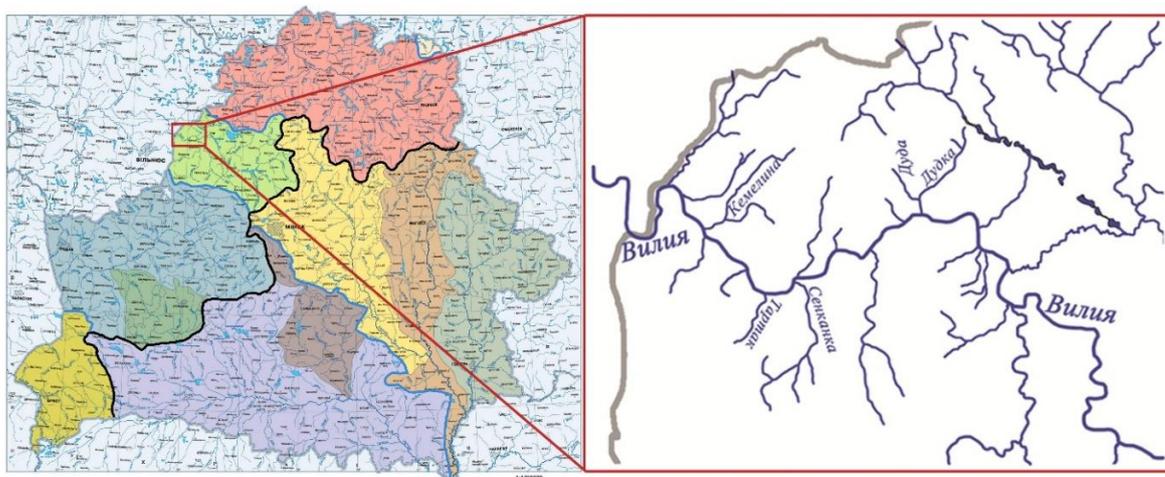


Рисунок 1. Карта-схема участка мониторинга

Для изучения структуры ихтиофауны водотоков использовали электроловильную установку (ЭЛУ) «Samus – 725 МР». Лов проводили по разрешению Минприроды. Учёты выполняли ежегодно во второй половине сентября на контрольных участках водотоков протяжённостью 50-200 м. После учёта видового состава улова всех отловленных рыб, за исключением относящихся к инвазивным видам, выпускали в водоток в месте вылова в живом виде. Плотность рыбного населения рассчитывали на 100 м протяжённости водотока. Учёты нерестовых бугров проводили в первой половине декабря, после завершения нереста кумжи, на всём протяжении всех известных нерестовых участков каждого из водотоков.

В период с 2016 по 2023 гг. в мониторинговых водотоках отмечены 16 видов рыб и 1 вид миног (табл. 1), в том числе 1 вид, включенный в Красную книгу Республики Беларусь (кумжа) и 2 инвазивных вида – ротан-головешка *P. glenii* и бычок-песочник *N. fluviatilis*. В предыдущие годы исследований в низовьях р. Сенканка также были отмечены единичные экземпляры обыкновенной щиповки *Cobitis taenia* и молоди атлантического лосося *Salmo salar*. Данные виды, вероятно, не обитают в р. Сенканка постоянно, а заходят в неё из р. Виляя.

Таблица 1. Состав контрольных уловов из нерестовых водотоков кумжи

Вид	Состав улова по годам, экз.								Итого	
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	экз.	%
ручей Тартак										
<i>Lampetra planeri</i>	1							1	2	0,3
<i>Salmo trutta</i>	86	99	88	88	57	171	51	90	730	96,2
<i>Esox lucius</i>	1				1	3			5	0,6
<i>Pungitius pungitius</i>					1	2			3	0,4
<i>Leuciscus leuciscus</i>						2			2	0,3
<i>Phoxinus phoxinus</i>		1							1	0,1
<i>Barbatula barbatula</i>		1							1	0,1
<i>Lota lota</i>		5	4	2			2	2	15	2,0
Итого:	88	106	92	90	59	178	53	93	759	100
река Кемелина										
<i>Lampetra planeri</i>				1		1	2	1	5	1,0
<i>Salmo trutta</i>	14	14	16	43	43	47	26	49	252	51,0
<i>Gobio gobio</i>	4		1	3			1		9	1,8
<i>Leuciscus leuciscus</i>	17	8	10	21	4	55	7	2	124	25,1
<i>Phoxinus phoxinus</i>			1						1	0,2
<i>Rutilus rutilus</i>		8							8	1,6
<i>Squalius cephalus</i>	12	3		3	1	2	1		22	4,6
<i>Barbatula barbatula</i>	1		4	31		8	7	2	53	10,7
<i>Lota lota</i>				1					1	0,2
<i>Cottus gobio</i>	3	1	3	10		1	1		19	3,8
Итого:	51	34	35	113	48	114	45	54	494	100
река Дудка										
<i>Lampetra planeri</i>			1		1	1	6		9	2,3
<i>Salmo trutta</i>	20	19	56	11	31	30	77	46	290	72,6
<i>Esox lucius</i>		1					2		3	0,7
<i>Pungitius pungitius</i>					1	2			3	0,7
<i>Alburnoides bipunctatus</i>			1						1	0,3
<i>Leuciscus leuciscus</i>	29	26			9			1	65	16,2
<i>Squalius cephalus</i>	5								5	1,3
<i>Barbatula barbatula</i>		2		3		2	9	5	21	5,3
<i>Lota lota</i>				1					1	0,3
<i>Cottus gobio</i>					1				1	0,3
Итого:	54	48	58	15	43	35	94	52	399	100
река Сенканка										
<i>Lampetra planeri</i>	2		1			3	5	2	13	2,4

Вид	Состав улова по годам, экз.								Итого	
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	экз.	%
<i>Salmo trutta</i>	30	29	19	38	33	33	32	35	249	45,1
<i>Esox lucius</i>	1					1	1	1	4	0,7
<i>Alburnoides bipunctatus</i>			1			9	1	3	14	2,5
<i>Alburnus alburnus</i>								1	1	0,2
<i>Gobio gobio</i>	7		2						9	1,6
<i>Leuciscus leuciscus</i>	103	14	10	2	9	5		23	166	30,0
<i>Phoxinus phoxinus</i>								1	1	0,2
<i>Rutilus rutilus</i>	12	3							15	2,7
<i>Squalius cephalus</i>	29	3				5		2	39	7,1
<i>Barbatula barbatula</i>			3	2	1		3		9	1,6
<i>Lota lota</i>		1	1			2	2	1	7	1,3
<i>Neogobius fluviatilis</i>	2								2	0,4
<i>Perca fluviatilis</i>						1	1		2	0,4
<i>Percottus glenii</i>	3						2		5	0,9
<i>Cottus gobio</i>	2		9	1		1	1	2	16	2,9
Итого:	191	50	46	43	43	60	48	71	552	100

Состав ихтиофауны мониторинговых водотоков типичен для холодноводных быстротекущих малых водотоков суббассейна р. Вилия. Реофильные виды составляют большинство улова как по количеству особей (2113 из 2204, 95,9 %), так и по числу таксонов (9 из 17, 52,9 %). Во всех водотоках наиболее многочисленным видом является кумжа, доля которой в суммарном улове составляет от 45,1 до 96,2 %. Также в большинстве водотоков высока доля ельца *L. leuciscus*, регулярно встречаются усатый голец *B. barbatula*, налим *L. lota*, голавль *S. cephalus* и обыкновенный подкаменщик *C. gobio*. Эврифильные виды рыб встречаются в небольшом количестве, приурочены к русловым ямам и участкам с замедленным течением, либо к приустьевым участкам, куда заходят из р. Вилия.

Плотность популяций кумжи существенно различается как в разных водотоках, так и, в отдельных случаях, на разных их участках (табл. 2). На всех участках ручья Тартак наблюдается высокая плотность молоди кумжи, что свидетельствует о благоприятных условиях воспроизводства и нагула в ручье. В пределах верхнего нерестово-нагульного участка (верховья и впадающий в них безымянный приток) она превышает таковую в нижнем участке на  $\approx 20$  %. Схожая картина наблюдается в системе р. Дудка, где плотность молоди кумжи на нижнем нерестово-нагульном участке в среднем в  $\approx 2,2$  раза меньше, чем в её притоке – ручье Дуда, где расположены наиболее значимые нерестилища кумжи в данной речной системе.

Таблица 2. Плотность молоди кумжи в мониторинговых водотоках

Водоток		Плотность молоди кумжи, экз./100 м.								
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Средняя
руч. Тартак:	низовья	70,52	61,90	29,04	133,3	64,77	50,54	43,97	68,92	65,37
	верховья						85,45		72,22	78,84
	приток						91,18		67,44	79,31
р. Кемелина		10,00	2,80	4,30	20,98	31,39	13,78	19,26	50,52	19,13
р. Дудка:	Дудка	5,00	5,00	11,20	11,12	18,24		13,16	32,88	13,80
	Дуда						32,61	32,30	24,72	29,88
р. Сенканка		1,25	3,60	4,10	38,00	37,08	41,25	21,92	36,08	22,91

Плотность молоди кумжи в р. Кемелина и р. Сенканка схожа с таковой в низовьях р. Дудка. Следует отметить, что данные популяции в пределах рассматриваемого периода демонстрируют тенденцию к росту численности.

Учёты нерестовых бугров кумжи также показывают увеличение численности заходящих на нерест производителей во всех мониторинговых водотоках (рис. 2). На наш

взгляд, рост численности популяций кумжи является результатом комплекса мероприятий по охране данного вида, предусмотренных Планом действий по сохранению данного вида (2014). Помимо ежегодного мониторинга состояния популяций, авторами совместно с сотрудниками региональных природоохранных инспекций и волонтерами, до 2020 г. также с Coalition Clean Baltic (Швеция) и общественными природоохранными организациями Беларуси выполняется ряд иных мероприятий. В частности, с 2009 по 2020 г. для охраны мест воспроизводства кумжи в сезон её нереста организовывался волонтерский лагерь, участники которого совместно с работниками инспекций патрулировали нерестовые участки малых водотоков для предотвращения незаконного изъятия производителей. В настоящее время данные работы выполняются преимущественно силами инспекций. С 2022 г. для выявления фактов незаконной добычи кумжи на нерестилищах также применяются фотоловушки. По всей видимости, снижение пресса незаконного рыболовства является одной из ключевых причин наблюдаемого роста количества нерестовых бугров в руч. Тартак и р. Сенканка.

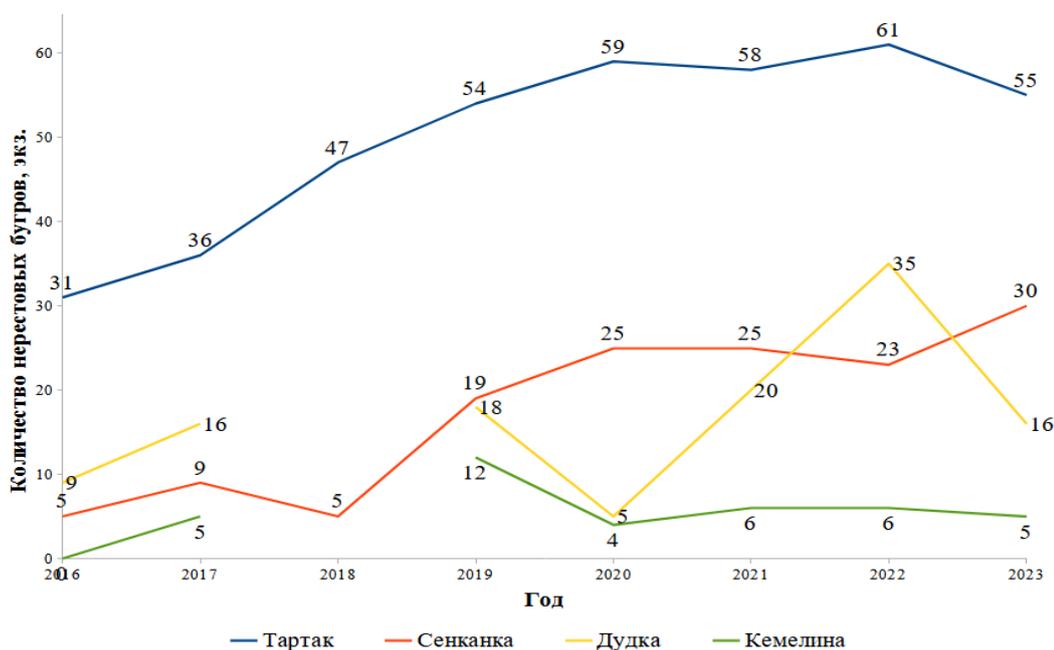


Рисунок 2. Динамика количества нерестовых бугров кумжи

Также силами волонтеров перед сезоном нереста по возможности проводится частичное разрушение бобровых плотин, которые являются существенной преградой для миграции производителей кумжи, на всём протяжении пригодных для нереста участков водотоков. Негативный эффект прудообразующей деятельности бобра наиболее выражен на р. Дудка, где она, по всей видимости, является основной причиной наблюдаемых выраженных колебаний количества нерестовых бугров (рис. 2). Кроме того, с 2017 г. авторами ведутся работы по искусственному воспроизводству кумжи непосредственно на нерестово-выростных угодьях малых водотоков, в ходе которых были достигнуты высокие показатели выживаемости икры (Полетаев, 2023). С 2021 г. начаты опытные работы по инкубации икры и подращиванию личинки кумжи в инкубационном цеху рыбопитомника «Скок». В мае 2024 г. первая партия подращенной молоди кумжи была выпущена в р. Нарочанка.

Таким образом, в наиболее значимых для воспроизводства проходной кумжи малых водотоках Беларуси отмечается 16 видов рыб и 1 вид миног, в том числе 1 охраняемый и 2 инвазивных вида. В ихтиофауне водотоков преобладают реофилы, наиболее многочисленным видом является кумжа. Популяции кумжи демонстрируют тенденцию к

росту численности, что является результатом реализации комплекса мероприятий по охране вида.

#### Список литературы

1. Жуков П.И. Справочник по экологии пресноводных рыб. Минск: Наука и техника, 1988. 310 с.
2. Красная книга Республики Беларусь. Животные : редкие и находящиеся под угрозой виды диких животных / ред. И.М. Качановский, М.Е. Никифоров, В.И. Парфёнов. Минск: Бел. Энци. ім. П. Броўкі, 2015. 320 с.
3. План действий по сохранению редкого и находящегося под угрозой исчезновения в Республике Беларусь вида – кумжи обыкновенной: реш. колл. М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 26 июня 2014 г., № 63-Р. Минск : Минприроды. 13 с.
4. Полетаев А.С. и др. Опыт инкубации икры кумжи *Salmo trutta* L., 1758 в малых нерестовых водотоках Беларуси // Зоологические исследования в Казахстане в XXI веке: итоги, проблемы и перспективы: сб. ст. Междунар. науч. конф., посв. 90-летию РГП «Ин-т зоологии» КН МНВО РК. Алматы, 2023. С. 346-354.

## ПИТАНИЕ МОЛОДИ ВОБЛЫ (*RUTILUS RUTILUS CASPICUS JAKOWLEV, 1870*) В МЕЛКОВОДНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ В 2022 г.

С.В. Расторгуева

*Волжско-Каспийский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»), г. Астрахань*

Аннотация: в статье приводится обзор исследований трофологической обстановки для молоди воблы в мелководной зоне глубин (до 6,0 м), в западной части Северного Каспия в 2022 г. Рассматриваются рационы питания годовиков воблы - весной и летом, сеголеток осенью в сравнении с 2019 и 2020 гг. На основании полученных данных рассчитываются индексы наполнения кишечника, по величине общего показателя даётся оценка накормленности рыб и условий нагула на данной акватории.

Ключевые слова: молодь воблы, условия нагула, рацион питания, общий индекс наполнения кишечника

В настоящее время популяция воблы находится в депрессивном состоянии. Вместе с тем, мелководная часть является основным пастбищем нагула для молоди воблы. Ежегодный мониторинг дает возможность определить обеспеченность данного вида необходимой кормовой базой. Оценка трофологической обстановки в современных экологических условиях, при воздействии различных факторов, имеет большое значение при определении состояния всего вида.

Отбор трофологического материала проводился в рамках ежегодного мониторинга в весенне–осенний период 2022 г. Обработка проб осуществлялась в лабораторных условиях с применением счетно-весового метода (Методическое пособие ..., 1974) Всего было проанализировано 417 экз. молоди воблы.

Весной (май) на анализ по питанию отбирались годовики воблы длиной до 9,0 см, средней массой 9,9 г.

Главным пищевым объектом являлись ракообразные, в частности ракушковые раки, и черви, представленные двумя видами полихет – *Marenzelleria sp.* и *Hediste diversicolor*. Дополняли рацион личинки насекомых, что характерно для данного периода нагула. Моллюски молодью избирались слабо. В группу прочих компонентов входили имаго насекомых, рыба, простейшие, водная растительность и грунт. На долю особей с пустыми пищеварительными трактами приходилось 1,1 % (табл. 1).

Таблица 1. Питание годовиков воблы в западной части Северного Каспия весной 2022 г., % по массе

Состав пищи	Глубина, м			Общий показатель
	2,1-3,0	4,1-5,0	5,1-6,0	
Mollusca	2,7	-	20,6	2,9
Crustacea	37,6	35,8	37,3	36,3
Vermes	37,8	24,8	36,8	29,2
Chironomidae	15,3	21,9	-	18,0
Прочие	6,6	17,5	5,3	13,6
Общий индекс наполнения киш., ‰	86,4	77,1	71,0	78,4
Кол- во рыб с пустым киш., %	-	-	10,0	1,1

На всех исследуемых глубинах основу рациона формировали ракообразные и черви. Активное потребление моллюсков наблюдалось на глубинах 5,1-6,0 м, хирономид – до 5 метровой изобаты. Максимальный показатель накормленности годовиков отмечался на глубинах 2,1-3,0 м – 86,4 ‰.

Рассматривая питание молоди воблы в весенний период в многолетнем аспекте отмечается, что в качественном отношении спектр питания молоди не изменялся. В количественном составе в 2022 г. наблюдалось увеличение потребления червей и личинок

насекомых. Максимальный показатель накормленности отмечался в 2019 г. (107,7 ‰) (рис. 1).

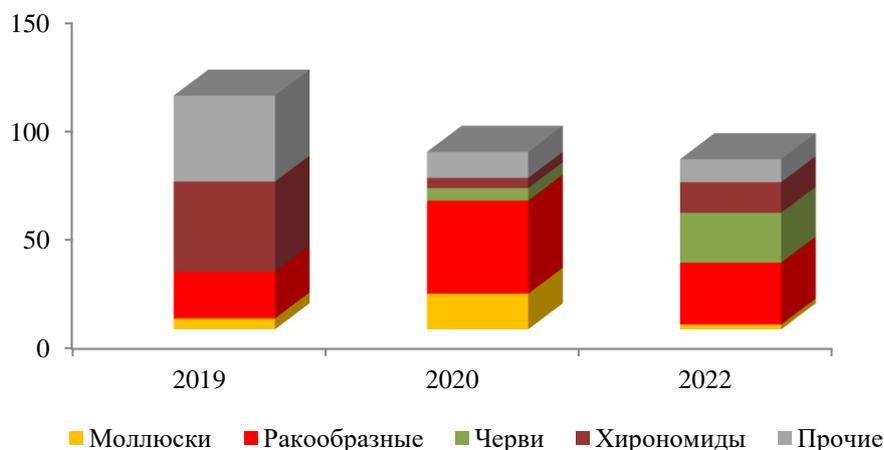


Рисунок 1. Спектр питания годовиков воблы весной

Летом (июнь) в трофологической выборке присутствовали годовики воблы длиной до 9,0 см, средней массой 8,2 г.

Спектр питания состоял из четырёх групп кормовых организмов, более активно потреблялись ракообразные – ракушковые раки. Значимым дополнением являлись моллюски – слабосононоватоводный вид *Adacna polymorpha polymorpha* (на глубинах 2,1-4,0 м) и представитель морского комплекса *Cerastoderma lamarcki* (5,1-6,0 м). Важную роль в питании играли черви (*Marenzelleria* sp. и *Hediste diversicolor*) и личинки насекомых на разных стадиях развития. В качестве сопутствующих компонентов в пищевых комках встречались простейшие, гидроидный полип, высшая водная растительность, водоросли и грунт. Количество экземпляров с пустыми кишечниками не превышало 7,0 % (табл. 2).

Таблица 2. Питание годовиков воблы в западной части Северного Каспия летом 2022 г., % по массе

Состав пищи	Глубина, м				Общий показатель
	2,1-3,0	3,1-4,0	4,1-5,0	5,1-6,0	
Mollusca	39,8	18,8	3,8	20,0	15,7
Crustacea	35,5	32,4	62,2	72,6	45,4
Vermes	9,6	16,1	12,1	-	13,3
Chironomidae sp.	9,0	15,3	8,3	-	11,4
Прочие	6,1	17,4	13,6	7,4	14,2
Общий индекс наполнения киш., ‰	106,1	60,2	75,3	26,2	66,3
Кол- во рыб с пуст. киш., %	-	7,4	2,5	30,0	7,0

Рассматривая питание годовиков воблы в мелководной зоне можно отметить, что практически повсеместно главным кормовым объектом были ракообразные. Наибольшее их количество в составе корма годовиков наблюдалось на глубинах 5,1-6,0 м. Максимальный индекс наполнения кишечника составил 106,1 ‰ в зоне глубин 2,1-3,0 м, где в равной степени избирались моллюски и ракообразные.

В 2022 г. показатель общей величины накормленности находился на уровне 2020 г. (69,0 ‰). Максимальный индекс отмечался в 2021 г. при активном потреблении ракообразных (85,6 ‰) (рис. 2).

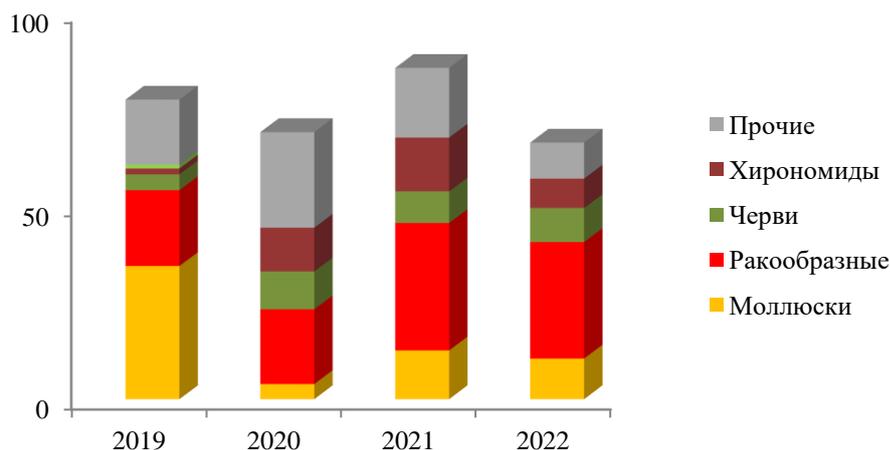


Рисунок 2- Питание годовиков воблы летом (июнь)

Осенью (сентябрь) в анализе участвовали сеголетки воблы длиной тела до 9,0 см, средней массой 3,8 г.

Рацион формировали черви, в наибольшем количестве потреблялись представители рода *Marenzelleria*. Второстепенной пищей являлись ракообразные – ракушковые раки. Из прочих компонентов содержимого кишечника отмечались личинки насекомых, моллюски, гидроидный полип, водная растительность и грунт. На долю особей с пустыми кишечниками приходилось 3,5 %.

Анализ питания сеголетков воблы на глубинах до 6 м показал, что основу рациона составляли черви. Высокий индекс наполнения кишечника (240,2 ‰) наблюдался на глубинах до 2 м, где потребление червей достигало 76,7 % (табл. 3).

Таблица 3. Питание сеголетков воблы в западной части Северного Каспия осенью 2022 г., % по массе

Состав пищи	Глубина, м					Общий показатель
	0-2,0	2,1-3,0	3,1-4,0	4,1-5,0	5,1-6,0	
Mollusca	-	-	-	-	9,6	2,2
Crustacea	-	3,1	36,1	7,5	41,1	29,5
Vermes	76,7	65,5	47,0	51,6	38,6	48,4
Chironomidae sp.	-	31,4	2,5	20,7	-	7,4
Прочие	23,3	-	14,4	20,2	10,7	12,5
Общий индекс наполнения киш., ‰	240,2	119,8	113,1	70,6	93,6	103,6
Доля рыб с пуст. киш., %	2,5	3,3	3,4	3,6	4,0	3,5

В осенний период 2019-2022 гг. основу питания сеголетков формировали черви, в меньшей степени ракообразные и моллюски. Высокие показатели отмечались в 2020 г. (107,3 ‰) при увеличении потребления червей до 85,5 %, и в 2022 г. (103,6 ‰), когда спектр питания базировался на червях и ракообразных (рис. 3).

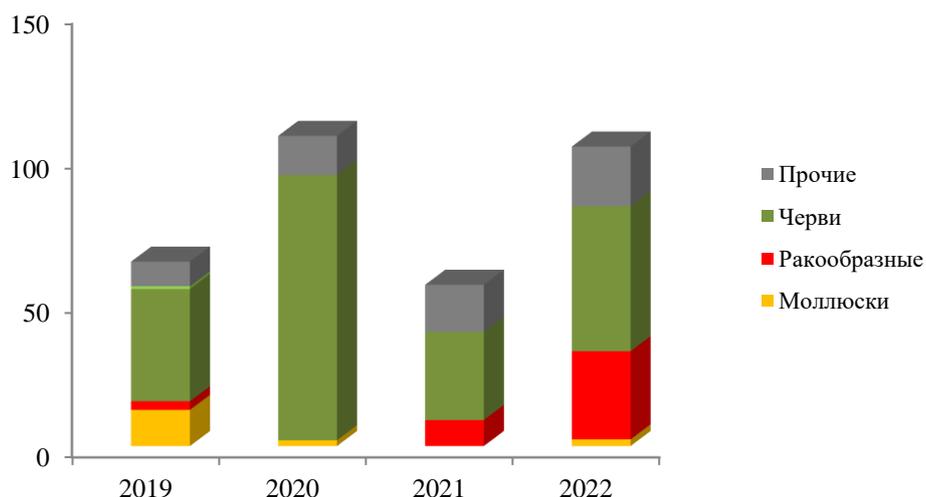


Рисунок 3. Питание сеголеток воблы осенью

Таким образом, весной, как и летом, пищевой рацион годовиков воблы базировался на традиционных кормовых организмах – ракообразных и червях. Общие показатели накормленности находились на уровне средних величин, составив 78,4 и 66,3 ‰ соответственно. Условия нагула складывались удовлетворительно.

Осенью в питании сеголеток доминировали черви. Показатель общей величины накормленности свидетельствует о благоприятной трофологической обстановке (100,6 ‰).

#### Список литературы

1. Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. М.: Наука, 1974. 253 с.

## МИКРОПЛАСТИК В ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОМ ТРАКТЕ РЫБ С РАЗНЫМИ ПИЩЕВЫМИ СТРАТЕГИЯМИ ИЗ РЕК ЛЕЖА И ЛУНДОНГА В ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

С.Н. Рахматуллина\*, Н.Ю. Тропин\*\*, Е.В. Угрюмова\*\*, Е.Д. Воробьев\*,  
Ю.А. Франк\*

\* Томский государственный университет, г. Томск, [svetik\\_98\\_76@bk.ru](mailto:svetik_98_76@bk.ru)

\*\* Вологодский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ВологодНИРО»),  
г. Вологда, [nikolay-tropin1@yandex.ru](mailto:nikolay-tropin1@yandex.ru)

Аннотация: Представлены результаты исследований по детекции микропластика (МП), изучению морфологии и определению его полимерного состава в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) рыб в двух водотоках Вологодской области. Частицы МП встречены в 37 % из исследованных особей окуня и 100 % уклейки из реки Лежа, а также в 42,8 % особей плотвы и 87,5 % ельца из реки Лундонга. Преимущественно МП был представлен волокнами (67=92 %) и микрофрагментами (8-33 %). Реже встречались микросферы. В ходе исследования выявлена принадлежность частиц к полиэтилентерефталату (PET), композициями на основе полиметилпентена (PMP), полиэфирсульфона (PES) и другим пластикам.

Ключевые слова: микропластик, рыбы, желудочно-кишечный тракт, *Perca fluviatillis* L., *Alburnus alburnus* L., *Rutilus rutilus* L., *Leuciscus leuciscus* L., реки

Проблема загрязнения водных объектов частицами микропластика (МП) и их негативное воздействие на водные организмы является важным направлением современных гидроэкологических исследований (Anderson et al., 2016; Alberghini et al., 2023). Частицы искусственных пластиков охарактеризуются низкой скоростью биологического разложения и повышенной устойчивостью к внешним факторам, что способствует активному накоплению МП водными организмами на разных трофических уровнях (Hidalgo-Ruz et al., 2012). Несмотря на недавние исследования, которые показали, что реки переносят в мировой океан до 80 % всего объема пластика, его влияние на пресноводных гидробионтов до сих пор недостаточно изучено (Prata et al., 2020). Однако доказано, что к основным наблюдаемым эффектам поглощения МП организмом рыб относят изменение поведения, закупоривание кишечника, а также попадание мелких частиц полимеров в ткани (Jovanovic, 2017).

Цель данного исследования – оценка потребления МП пресноводными рыбами с разными пищевыми стратегиями в водотоках Вологодской области.

Материалами для исследования служили желудочно-кишечные тракты (ЖКТ) речного окуня и уклейки из р. Лежа, а также плотвы обыкновенной и ельца из р. Лундонга Вологодской области. Ихтиологический материал собирали в акватории р. Лежа в районе д. Зимняк (59°05'50.7"N 40°23'16.9"E) в январе-марте 2022 г. Вылов рыб из р. Лундонга проводили в марте 2022 года на участке верхнего течения водотока в нескольких километрах выше устьевого участка р. Анюг (59°18'18.4" N 44°31'23.2" E). Река Лежа является одним из крупных правобережных притоков р. Сухона и относится к бассейну Белого моря. Река Лундонга является одним из истоков р. Унжа и относится к бассейну Верхней Волги. Вылов рыбы из рр. Лундонга и Лежа осуществляли зимними удочками с насадками разного типа. Всего для исследования из р. Лундонга были отобраны ЖКТ 7 экземпляров плотвы *Rutilus rutilus* L. и 8 экземпляров ельца обыкновенного *Leuciscus leuciscus* L., а из р. Лежа – 27 экземпляров речного окуня *Perca fluviatillis* L. и 10 экземпляров уклейки *Alburnus alburnus* L.

Все отловленные экземпляры рыб подвергали полному биологическому анализу по общепринятым ихтиологическим методикам (Правдин, 1966). Рыб препарировали в чистом металлическом лотке и делали необходимые биометрические замеры. Были определены

общая длина тела (L, мм) и общая масса тела (Q, г) каждой особи. Также измеряли стандартную длину (l, мм), массу тела без внутренностей (q, г), а также пол при помощи осмотра гонад. Желудочно-кишечный тракт (ЖКТ), включая желудок (при наличии), пищевод и кишечник, помещали в пробирки и замораживали до последующего анализа. Каждый экземпляр был проанализирован отдельно.

Извлечение частиц МП проводили в лабораторных условиях как описано ранее (Патент РФ № 2816121). Микроскопический анализ полимерных частиц проводили визуально, при помощи стереомикроскопа Micromed MC2, оборудованного цифровой камерой и программным обеспечением TourView 3.7.6273 и отбирали потенциальные частицы МП, основываясь на ранее определенных критериях (Hidalgo-Ruz et al., 2012). Для оценки физических свойств частиц также использовали тест горячей иглой. Анализ полимерного состава МП проводили при помощи электронной микроскопии, совмещенной со спектроскопией комбинационного рассеяния («микро-Раман») с применением спектрографа InVia Basic (Renishaw, Великобритания), оснащенного микроскопом DM 2500 M (Leica, Германия).

Биологический анализ показал, что средняя длина тела исследованных экземпляров окуня из р. Лежа составила  $144 \pm 295$  мм с (разброс 100 – 240 см), а уклейки —  $110 \pm 6$  мм (от 98 до 115 мм). Средняя длина тела исследованных особей плотвы из р. Лундонга составила  $159 \pm 14,6$  мм (150–190 мм) и  $189 \pm 13,5$  мм с разбросом от 180 до 210 мм. Самцами являлись 11 из 27 экземпляров *P. fluviatillis* и 2 из 10 экземпляров *A. alburnus* из р. Лежа, а также 2 из 7 экземпляров *R. rutilus* и 4 из 8 экземпляров *L. leuciscus* из р. Лундонга. Средняя масса тела исследованных экземпляров из р. Лежа составляла  $62,07 \pm 44,51$  г для речного окуня и  $13,91 \pm 2,96$  г для уклеи. Средняя масса тела исследованных образцов из р. Лундонга составляла  $90,0 \pm 33,38$  г для плотвы и  $121,75 \pm 29,25$  г для ельца обыкновенного.

Частицы МП были зарегистрированы в ЖКТ 10 из 27 особей окуня (37 %) и у всех экземпляров уклеи (100%) из р. Лежа, а также у 3 особей плотвы и 7 особей ельца из р. Лундонга, что составляет 42,8% и 87,5% от исследованных выборок рыб, соответственно. Среднее количество частиц МП в ЖКТ рыб из р. Лежа составило  $1,33 \pm 3,05$  ед. на особь с разбросом значений от 0 до 15 для *P. fluviatillis* и  $3,13 \pm 2,78$  ед. на особь с разбросом значений от 0 до 10 для *A. alburnus*. Среднее количество частиц в ЖКТ рыб из р. Лундонга составило  $1,7 \pm 2,3$  ед. на особь с разбросом значений от 0 до 5 для *R. rutilus* и  $1,4 \pm 1,1$  ед. на особь с разбросом значений от 0 до 2,4 для *L. leuciscus*.

Определено также среднее содержание МП в пересчете на 1 кг массы тела рыб, которое для окуня и уклеи из р. Лежа составило  $27,3 \pm 58,4$  и  $273 \pm 365$  ед., соответственно, а для плотвы и ельца из р. Лундонга –  $24 \pm 33$  и  $11,7 \pm 8,4$  ед. Содержание микропластика в ЖКТ окуня и уклеи из р. Лежа, а также плотвы и ельца из р. Лундонга достоверно не отличалось ( $p > 0,05$ , критерий Стьюдента). Достоверных различий между самками и самцами изученных особей рыб также не установлено. Выявлена отрицательная корреляция между содержанием частиц в ЖКТ и биологическими показателями исследованных особей плотвы ( $r_s = -0,51$ ) и уклеи ( $r_s = -0,74$ ). Для особей окуня ( $r_s = -0,011$ ) и ельца ( $r_s = 0,381$ ) коэффициент корреляции Спирмена находился в зоне незначимости, что вероятнее всего, связано с особенностями биологии и экологии данных видов рыб.

Частицы МП в ЖКТ рыб водотоков Вологодской области были представлены преимущественно волокнами – 66,7 % для особей окуня, 68,1% для особей уклеи, 92 % для экземпляров плотвы и 91,1% для особей ельца. Реже встречались микрофрагменты – 33,3 % для окуня, 31,9 % для уклеи и 8,9 % для особей ельца. Сферы встречены только в ЖКТ плотвы. Их доля составила 8 % от всех обнаруженных частиц. Пластиковые микропенки встречены не были.

В размерном составе микропластика в ЖКТ окуня большая часть (59 %) приходилась на частицы размером 300-1000 мкм по наибольшей оси. Частицы размером 150-300 мкм и 2000-3000 мкм составили 11 % каждый от общего количества найденного МП. Также в ЖКТ окуня был встречен МП размерами 3000-4000 мкм (9 %), 1000-2000 мкм (8 %) и 4000-5000 мкм (2 %). В желудочно-кишечном тракте уклейки преобладали частицы размером 300-1000 мкм, доля которых составила 48% и 1000-2000 мкм (36 %). В ЖКТ плотвы преобладали частицы размером 300-1000 мкм (73%). Также встречались частицы размерных категорий от 1000 до 3000 мкм. В ЖКТ тракте ельца большая часть приходилась на частицы размером 1000-2000 мкм (36 %) и 2000-3000 мкм (31 %). Реже встречались частицы размером 150-300 мкм (21 %) и 300-1000 мкм (12 %).

В ходе спектроскопического анализа МП из ЖКТ рыб из р. Лежа и р. Лундонга выявлено, что в составе частиц преобладали такие полимеры, как полиэтилентерефталат (PET), а также полимерные композиции на основе полиметилпентена (PMP), полиэфирсульфона (PES). В образцах уклейки из р. Лежа также в небольшом количестве (11 %) были обнаружены волокна полиамида (PA). В образцах ельца из р. Лундонга найдены микрочастицы полиакрилонитрила (PAN) и поли-п-фенилентерефталамида (PPTA) в равных долях (по 11 %).

Полученные данные по содержанию частиц микропластика в ЖКТ рыб р. Лежа и р. Лундонга указывают на пластиковое загрязнение пресноводных водоемов Вологодской области. Высокое содержание волокон может указывать на поступление пластиковых частиц в водные объекты со сбросами очистных сооружений и при фрагментации рыболовных снастей под воздействием окружающей среды. Рыбы в р. Лежа и р. Лундонга на территории Вологодской области потребляют МП в среднем в количестве 2,23 и 1,16 ед./особь, соответственно. Изучение особенностей потребления и накопления МП рыбами с разными пищевыми стратегиями в водных объектах исследуемого региона требует дальнейшего изучения.

#### Список литературы

1. Пат. Российская Федерация № 2816121, МПК G01N 1/28, G01N 1/34. Способ экстракции микропластика из органов желудочно-кишечного тракта рыб / Франк Ю.А.; патентообладатель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет». Заявка № 2023125034; заявл. 29.09.2023, опубл. 26.03.2024, Бюл. № 9. 7 с.
2. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
3. Alberghini L., Truant A., Santonicola S., Colavita G., Giaccone V. Microplastics in Fish and Fishery Products and Risks for Human Health: A Review // *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2023. Vol. 20. P. 789. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010789>
4. Anderson J.C., Park B.J., Palace V.P. Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems // *Environ. Pollut.* 2016. Vol. 218. P. 269. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.074>
5. Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson R.C., et al. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification // *Environ. Sci. Technol.* 2012. Vol. 46, № 6. P. 3060. <https://doi.org/10.1021/es2031505>
6. Jovanovic B., Whitley E.M., Kimura K., Crumpton A., Palic D. Titanium dioxide nanoparticles enhance mortality of fish exposed to bacterial pathogens // *Environ Pollut.* 2015. Vol. 203. P. 153-164. <http://dx.doi.org/10.1002/ieam.1913>.
7. Prata J., Costa J., Lopes I., Duarte A., Rocha-Santos T. Environmental exposure to microplastics: an overview on possible human health effects // *Science Total Environment.* 2020. Vol. 702, № 134455.

## МЕЖГОДОВАЯ И СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА БАКТЕРИАЛЬНОЙ КОНТАМИНАЦИИ РЫБ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

О.И. Репина, Л.А. Вишнякова, А.А. Быстрова, М.С. Исаченко

*Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), г. Санкт-Петербург, [microbiology@niorh.vniro.ru](mailto:microbiology@niorh.vniro.ru)*

*Аннотация: представлены результаты микробиологических исследований объектов рыболовства Ладожского озера, полученные в 2019-2024 гг. По оценке межгодовой и сезонной динамики бактериальной контаминации рыб, в варибельности значений определяемых показателей прослеживались как ожидаемые изменения, соотносящиеся с цикличностью внутриводоемных процессов, так и непрогнозируемые – обусловленные антропогенной нагрузкой на акватории, с преобладанием последней*

Ключевые слова: Ладожское озеро, рыбы промысловых видов, микробиологические показатели, природные факторы, антропогенная нагрузка

Ладожское озеро является одним из ведущих внутренних водоемов Российской Федерации, имеющих рыбохозяйственное значение. Ихтиофауна озера характеризуется богатством и многообразием, и включает более 50 видов пресноводных рыб, отличающихся по своим биологическим свойствам и хозяйственной ценности.

В настоящее время реальное промысловое значение имеют представители четырех семейств – корюшковые, сиговые, карповые и окуневые. По оценке годовой динамики общих уловов за два последних десятилетия (Леонов, Шурухин, 2021) распределение рыб по видам составило соответственно: корюшка – 37 %, сига и ряпушка – 4 и 11 %, лещ и плотва – 5 и 12 %, судак и окунь – 9 и 13 %, прочие – 9 %. В целом для показателей уловов в Ладожском озере характерна специфическая динамика, детерминирующим фактором для которой является изменение общего трофического статуса водоема.

Ладожское озеро расположено в экономически развитом северо-западном регионе, что обуславливает значительное антропогенное воздействие на компоненты биоценоза водоема и водную экосистему в целом. Отклик микробных популяций на изменение внешних условий – в результате антропогенной нагрузки и внутриводоемных продукционно-деструкционных процессов, выражается в их количественной и структурной перестройке и, как следствие, в изменении микробиологических показателей объектов рыболовства, бактериальная контаминация которых (как и других гидробионтов) напрямую зависит от микробного загрязнения водной среды. Необходимость проведения исследований, способствующих выявлению обстоятельств и условий, влияющих на состояние водных биоресурсов и среду их обитания, очевидна.

Цель работы – оценка по микробиологическим показателям промысловых рыб Ладожского озера в условиях влияния природных и антропогенных факторов.

Вылов рыб проводили в бухте Петрокрепость и в Волховской губе, расположенных в южной части водоема (рис. 1).

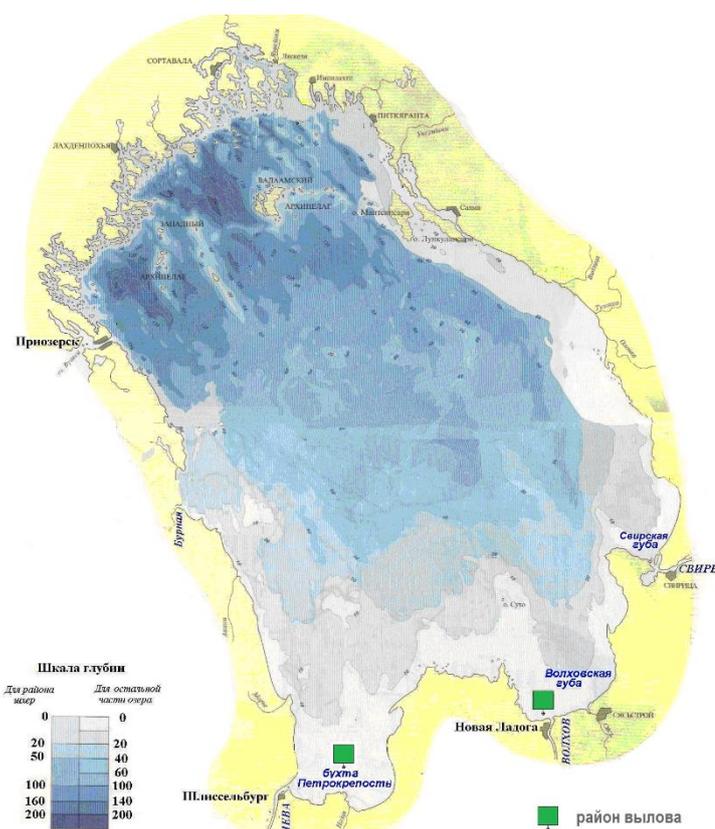


Рисунок 1. Районы вылова рыб (Ладожское озеро)

Объектами исследования являлись виды рыб, имеющие промысловое значение, отбор ихтиологического материала осуществляли с различной периодичностью с сентября 2019 г. по июнь 2024 г. (табл.).

Таблица – Периодичность микробиологических исследований рыб (Ладожское озеро, 2019-2024 гг.)

Год	Сезон	Вид рыб
бухта Петрокрепость		
2019	осень	окунь, прочие (густера)
2020	весна	корюшка
	лето	окунь, плотва, прочие (густера)
	осень	корюшка, окунь, плотва, ряпушка, сиг
2021	осень	корюшка, лещ
2022	лето	лещ, окунь, плотва, судак
	осень	лещ, окунь, плотва, судак
Волховская губа		
2020	лето	корюшка, окунь, плотва
2021	весна	корюшка, лещ, окунь, прочие (густера, уклея, чехонь)
	лето	корюшка, окунь, плотва, ряпушка, прочие (налим)
2022	весна	корюшка, лещ, окунь, плотва, прочие (елец)
	осень	лещ, окунь, плотва, судак, прочие (густера)
2023	весна	корюшка
	осень	лещ, плотва, прочие (густера, чехонь)
2024	лето	окунь, плотва, ряпушка, судак, прочие (синец, сырть, чехонь)

В соответствии с нормативными требованиями оценку промысловых рыб проводили по микробиологическим показателям безопасности для пресноводных объектов рыболовства – количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), бактерии группы кишечных палочек (БГКП, колиформные бактерии), золотистый стафилококк (*Staphylococcus aureus*), патогенные

сальмонеллы (*Salmonella*) и листерии (*Listeria monocytogenes*) [ТР ЕАЭС 040/2016, ТР ТС 021/2011]. Лабораторные исследования выполняли по стандартным методикам.

По полученным результатам бактериальная контаминация рыб преимущественно характеризовалась превышением гигиенических нормативов санитарно-показательной группы – КМАФАнМ и БГКП (рис. 2).

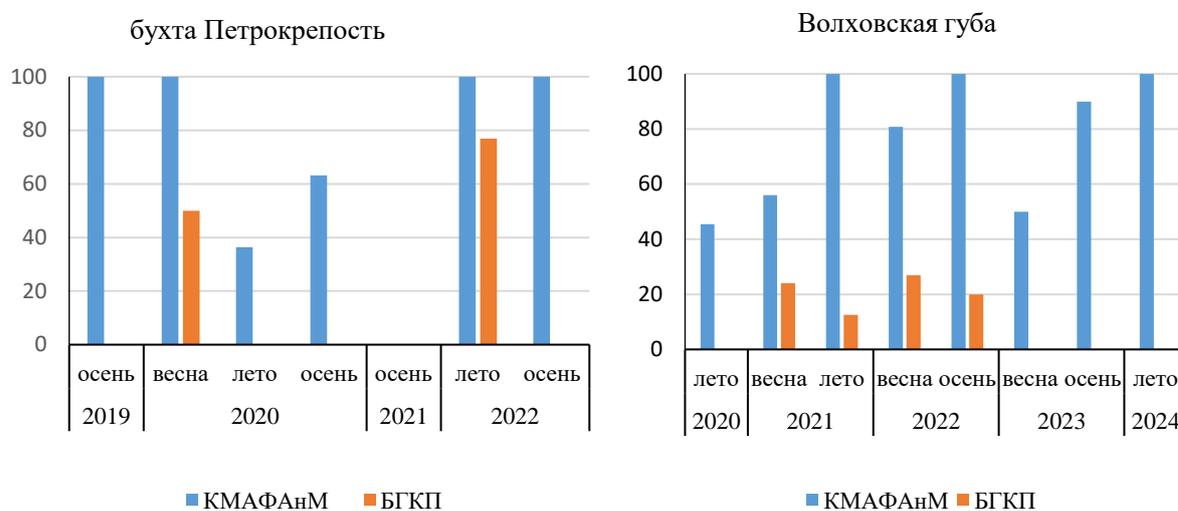


Рисунок 2. Межгодовая и сезонная динамика контаминации рыб санитарно-показательными микроорганизмами, %

Несоответствие допустимой численности МАФАнМ наблюдали у рыб всех видов за исключением сига, загрязнение колиформными бактериями – у корюшки, леща, окуня, плотвы, ряпушки, судака, в категории прочих у ельца и чехони. Частота встречаемости ихтиологических проб, не удовлетворяющих требованиям безопасности, составляла: по КМАФАнМ – 36-100 % в бухте Петрокрепость и 45-100 % в Волховской губе; по БГКП – 50-79 и 13-27 % соответственно. Тотальное превышение величин МАФАнМ регистрировали: в микрофлоре рыб из бухты Петрокрепость – осенью 2019 г., весной 2020 г., летом и осенью 2022 г.; из Волховской губы – летом 2021 г., осенью 2022 г. и летом 2024 г. Несоответствие концентрации колиформных бактерий отмечали в образцах из бухты Петрокрепость весной 2020 г. и летом 2022 г., из Волховской губы – весной и летом 2021 г., весной и осенью 2022 г.

Встречаемость сальмонелл носила эпизодический характер. Наличие патогена установлено в окуне из бухты Петрокрепость осенью 2019 г. (1 экз.) и 2020 г. (2 экз.), а также – в корюшке (1 экз.) из Волховской губы в период весенней съемки 2020 г.

Условно-патогенный *S. aureus* и патогенная *L. monocytogenes* в микрофлоре исследованных рыб не обнаружены.

Несоответствие рыб нормативу КМАФАнМ, вероятно, было вызвано повышенной общей обсемененностью вод, обусловленной характерными для прибрежных мелководных районов Ладоги сезонными пиками обилия – весенним (в период паводка) и летним (с максимальным ростом в вегетационный период) (Капустина, 2013), а также не зависящим от сезонности реактивным ростом численности аборигенной микрофлоры в ответ на аллохтонное загрязнение – лабильное органическое или бактериальное. Содержание БГКП указывало на фекальную контаминацию, что, очевидно, было связано с поступлением недостаточно очищенных коммунально-бытовых стоков. Детерминирующими факторами наличия сальмонелл могли стать несоблюдение режимов санитарной охраны водозаборов, сбросы недостаточно обеззараженных сточных вод.

Одной из причин бактериальной контаминации, возможно, являлось также влияние терригенного стока – определяемого в южной части водоема расположением устьевых зон

рек Волхов, Сясь, Назия, и распространением загрязненных речных вод в озерную акваторию.

Природные внутриводоемные процессы в значительно меньшей степени по сравнению с внешними факторами воздействуют на качество вод Ладожского озера (Кондратьев, Поздняков, 2013). Южная мелководная часть, включая бухту Петрокрепость и Волховскую губу, относится к районам, испытывающим наиболее интенсивную нагрузку. Указанная акватория имеет существенное значение в формировании ресурсного потенциала водоема – здесь располагаются зоны нереста и нагула большого количества рыб, велико сосредоточение промысловых запасов (Кудерский, 2009).

Установленное несоответствие рыб гигиеническим нормативам исследуемых показателей характеризовало промысловые объекты как небезопасные в микробиологическом отношении и косвенно указывало на микробное загрязнение водных масс. По оценке межгодовой и сезонной динамики бактериальной контаминации рыб, в варибельности полученных результатов прослеживались как ожидаемые изменения, соотносящиеся с цикличностью естественных внутриводоемных процессов, так и непрогнозируемые – обусловленные внешним воздействием. Выявленные в большинстве случаев нетипичные колебания и пиковые значения общей микробной численности, определяемые величинами показателя КМАФАнМ, а также повышенная концентрация колиформных бактерий и наличие патогенных сальмонелл, указывали на антропогенные источники загрязнения.

#### Список литературы

1. Капустина Л.Л. Бактериопланктон Ладожского озера // Ладога / Под ред. В.А. Румянцева, С.А. Кондратьева. СПб.: Нестор-История, 2013. С. 289-298.
2. Кондратьев С.А., Поздняков Ш.Р. Озеро как источник водных ресурсов // Ладога / Под ред. В.А. Румянцева, С.А. Кондратьева. СПб.: Нестор-История, 2013. С. 394-397.
3. Кудерский Л.А. Состав и промысловое значение рыбного населения Ладожского озера // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. СПб., 2009. Вып. 334. С. 138-212.
4. Леонов А.Г., Шурухин А.С. Современное состояние рыбных запасов Ладожского озера и их использование // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата / Под ред. В.А. Кондратьева, Ш.Р. Позднякова, В.А. Румянцева. М.: Российская академия наук, 2021. С. 394-420.
5. Технический регламент Евразийского экономического союза от 18.06.2016 № 162 «О безопасности рыбы и рыбной продукции» (ТР ЕАЭС 040/2016) // Совет Евразийской экономической комиссии. 140 с.
6. Технический регламент Таможенного союза от 09.12.2011 № 880 «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011) // Комиссия Таможенного союза. 242 с.

**ЗАРАЖЕННОСТЬ ОКУНЕВЫХ И КАРПОВЫХ РЫБ В ВОДОЕМАХ  
МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ *APORHALLUS MUELINGI*  
(TREMATODA: OPISTHORCHIDAE)**

Н.Н. Романова\*, Н.А. Головина\*\*, А.А. Вишторская\*, П.П. Головин\*, О.В. Сехина\*

\* Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ВНИИПРХ»), пос. Рыбное, Московская обл., [ihitiopatlab@vniiprh.vniro.ru](mailto:ihitiopatlab@vniiprh.vniro.ru)

\*\* Дмитровский рыбохозяйственный технологический институт (филиал ФГБОУ ВО  
«Астраханский государственный технический университет»),  
пос. Рыбное, Московская обл., [kafvba@mail.ru](mailto:kafvba@mail.ru)

Аннотация: приведены данные о встречаемости и зараженности карповых и окуневых рыб метацеркариями трематоды *Aporhallus muelingi* у судака, окуня, леща, густеры, плотвы, синца, чехони в Истринском, Можайском, Рузском, Озернинском водохранилищах, озере Сенеж, Шатурских озерах и реке Ока в пределах Московской области, реке Москва, Химкинском, Клязьминском, Пяловском, Пестовском и Икшанском водохранилищах. Среди окуневых рыб наиболее заражен окунь, среди карповых - лещ, густера и синец. Ключевые слова: апофаллез, водоемы, гельминты, окуневые, карповые, Московская область, рыбы

Метацеркарии трематоды *Aporhallus muelingi* (Jagerskiold, 1898) Luhe, 1909 вызывают апофаллез - гельминтозное заболевание карповых и окуневых рыб и представляют потенциальную опасность для человека (Технический регламент..., 2016). В связи с этим мониторинговые исследования по выявлению эпидемиологически значимых видов трематод рыб из естественных водоемов весьма актуальны.

Жизненный цикл трематоды триксенный, осуществляется при участии промежуточных, дополнительных и дефинитивных хозяев (Odening, 1970; Семенова, Иванов, 1989; Бисерова, 2005). Первыми промежуточными хозяевами трематоды являются брюхоногие моллюски *Lithoglyphus naticoides* и *L. pyramidatus* (Метацеркарии..., 2006). Дополнительные хозяева - рыбы из семейств карповые и окуневые – северокаспийская вобла, плотва, язь, красноперка, уклея, густера, лещ, белоглазка, синец, чехонь, серебряный карась, сазан, обыкновенная щиповка, голавль, судак, берш, окунь, ерш. У рыб при заражении метацеркариями *A. muelingi* на теле, жаберных крышках, лучах плавников образуются черные точки – цисты, в которых находится возбудитель. Облигатными дефинитивными хозяевами считаются чайковые птицы, факультативными – другие птицы, млекопитающие и человек, у которых половозрелые трематоды паразитируют в тонком кишечнике (Бисерова, 2005).

Со схожим жизненным циклом и аналогичными признаками при заражении рыб встречается еще один вид - *Rossicotrema donicum*. С середины 80-х годов XX века эти два вида трематод широко распространились и вызывали заболевания и гибель молоди рыб в дельте Волги, экстенсивность заражения в отдельных районах достигала 100 % (Бисерова, Курочкин, 1989). В начале XXI века последствием расселения моллюска *L. naticoides* за пределы ареала стало распространение апофаллеза и россикотремоза у рыб в водоемах Волго-Донском бассейне (Иванов, Семенова, Калмыков, 2012; Тютин и др., 2022).

В последние десятилетия о встречаемости *Aporhallus muelingi* в северных районах Российской Федерации сообщали ряд исследователей (Яковлева и др., 2016; Радюк и др., 2023). В водоемах Московской области стали фиксировать случаи заражения окуневых и карповых рыб апофаллюсом и россикотремой (Бисерова, 2014; Романова и др., 2021).

Цель данного исследования – оценка зараженности метацеркариями трематоды *Aporhallus muelingi* окуневых и карповых рыб в водоемах Московской области.

Отлов рыб из водоемов осуществляли в летне-осенний период (май-октябрь) 2020-2024 гг. ставными сетями в соответствии с разрешением на вылов водных биоресурсов для проведения научно-исследовательских работ. Объем обследованной выборки составил 932 экз. рыб. Объектами исследования являлись 8 видов рыб из семейств окуневые (судак, окунь) и карповые (лещ, густера, плотва, синец, чехонь, карась). В соответствии Государственным заданием ФГБНУ «ВНИРО» №076-00001-24-01 обследования проведены в следующих водных объектах: р. Москва, Истринское, Можайское, Рузское и Озернинское, озеро Сенез, Химкинское, Клязьминское, Пяловское, Пестовское, Икшанское водохранилища, р. Ока в пределах Московской области и Шатурские озера.

Исследования проводили общепринятыми в ихтиопаразитологии методами (Быховская-Павловская, 1985). Зараженность паразитами оценивали по встречаемости или экстенсивности инвазии (Э.И., %), интенсивности инвазии (И.И., экз./рыбу) и амплитуде интенсивности инвазии (А.И.И.). В трех случаях было отловлено по 1 экземпляру рыбы, но они были заражены и интенсивность их инвазии приведена ниже. Определенные трудности возникали при выделении метацеркарий, так как из мелких, плотных, пигментированных цист они трудно выделяются.

За период обследования заражение окуневых и карповых рыб апофаллюсами выявлено только в водохранилищах канала им. Москвы – Икшинское, Пестовское, Клязьминское и Химкинское и реке Москва (табл.).

Таблица – Зараженность рыб *Aporhallus muehlingi* в водохранилищах канала им. Москвы и р. Москва

Вид рыб	Масса рыб, г	ЭИ,%	И.И. ср. (экз./рыбу)	А.И.И. (экз./рыбу)	И.О. (экз./рыбу)
Икшанском водохранилище					
Окунь	118,0-258,0	100	1776,7	991-3164	1776,7
Лещ	90,0 -132,0	70	809,6	81-1112	649,6
Плотва	102,0-375,0	56	60,4	1-201	31,9
Синец	90,0-132,0	100	734,0	665-816	734,0
Густера	386,0-526,0	0	0	0	0
Пестовское водохранилище					
Окунь	93,0-226,0	60	многочисленные		
Судак	187,0-437,0	75	11	1-29	8,3
Густера	143,0-205,0	0	0	0	0
Плотва	110,0-451,0	90	44	4-270	39,0
Пяловское водохранилище					
Судак	666,0	0	0	0	0
Окунь	70,0-141,0	100	584,3	62-2068	584,3
Плотва	100,0-326,0	90	96,3	2-663	94,2
Густера	58,0-395,0	57	244,5	1-894	139,7
Чехонь	328,0	-	121,0	-	-
Клязьминское водохранилище					
Судак	220,8	-	380,0	-	-
Окунь	139,1	-	400,0	-	-
Плотва	203,0-350,6	60,0	5,3	2,0-8,0	3,20
Химкинское водохранилище					
Окунь	154,0-345,0	100	1433,3	748-2972	1433,3
Плотва	100,0-307,0	8,3	1,0	-	0,1

Вид рыб	Масса рыб, г	ЭИ,%	И.И. ср. (экз./рыбу)	А.И.И. (экз./рыбу)	И.О. (экз./рыбу)
р. Москва					
Окунь	109,0 - 250,0	100	4122,6	416-16061	4122,6
Плотва	100,0-557,0	100	25,1	1-92	25,1
Лещ	290,0-1130,0	75	13,0	6,0-22,0	9,8

Анализ полученных данных по встречаемости *A. muehlingi* у рыб показал, что наибольшему заражению подвержены окуни. У этого вида рыб выявлена и наибольшая интенсивность инвазии метацеркариями в реке Москва до 16061 экз./рыбу. У судака встречаемость *A. muehlingi* была только в Клязьминском и Пестовском водохранилищах.

У карповых рыб метацеркарии *A. muehlingi* встречались у всех обследованных видов – лещ, плотва, густера, синец, чехонь.

У плотвы встречаемость *A. muehlingi* была выявлена во всех водоемах, наименьшая в Химкинском водохранилище (8,33 %), наибольшая – в р. Москва (100 %). Интенсивность инвазии колебалась от 1,0 до 663,0 экз./рыбу по разным водоемам.

У леща при примерно одинаковой встречаемости (70 и 75 %) в Икшинском водохранилище и реке Москва индекс обилия в водохранилище составлял в 65 раз больше (соответственно 649,6 экз./рыбу и 9,8 экз./рыбу).

Наименьшая встречаемость заражения выявлена у густеры, несмотря на это в Пяловском водохранилище интенсивность инвазии у отдельных экземпляров этого вида рыб достигала до 894 экз./рыбу.

Редкие виды рыб для водоемов Московской области – это синец и чехонь, у которых при небольшой выборке выявлены высокие уровни зараженности *A. muehlingi* (табл.).

По данным Л.И. Бисеровой в водоемах канала им. Москвы (Химкинское и Пяловское водохранилища) уже сформированы очаги апофаллеза и росскотремоза, поддерживающиеся наличием всех звеньев цепи жизненного цикла и высокой зараженностью окуня и плотвы (Бисерова, 2014).

Результаты наших исследований показали, что высокая зараженность окуневых и карповых рыб отмечена так же в Икшинском, Пестовском водохранилищах и р. Москва. Однако для доказательства наличия в них природного очага необходимо определить численность моллюсков литоглифус и уровень их зараженности церкариями апофаллеуса.

Успешному распространению метацеркарий *A. muehlingi* у рыб реке Москва и водохранилищах ее нижнего течения, вероятно, способствовало объединение единой водной системой, повышение температуры воды, расселение первых промежуточных хозяев *Lithoglyphus naticoides* и *L. pyramidatus* и высокая численность чайковых птиц.

#### Список литературы

1. Бисерова Л.И. Трематоды паразиты рыб *Apothallus muehlinge* и *Rossicotrema donicum* – дельты Волги (особенности экологии и ихтиопаразитозы, ими вызываемые) : Автореф. ... канд. биол.наук, спец. 03.00.19 – паразитология. 2005. 24 с.
2. Бисерова Л.И. Продолжающееся расширение ареала трематод *Apothallus muehlinge* и *Rossicotrema donicum* в Волжском бассейне / Оценка состояния сообществ промысловых рыб некоторых водоемов Центральной России в отношении опасных для человека гельминтов // Труды Центра паразитологии Т. XLVIII. Систематика и экология паразитов (отв. ред.: С.О. Мовсесян). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. С. 33-34.
3. Бисерова Л.И., Курочкин Ю.В. О паразитологических последствиях загрязнения среды в Волго-каспийском бассейне // Экологические проблемы Волги : Тез. докл. Саратов, 1989. Ч. 2. С. 213-214.
4. Быховская-Павловская И.Е. Паразиты рыб. Руководство по изуч. Ленинград: Наука : Ленингр. отделение, 1985. 123 с.
5. Иванов В.М., Семенова Н.Н., Калмыков А.П. Гельминты в экосистеме дельты Волги. Т. 1. Трематоды. Монография. Астрахань: ГП АО Издательско-полиграфический комплекс «Волга», 2012. 255 с.

6. Судариков В.Е., Ломакин В.В., Атаев А.М., Семенова Н.Н. Метацеркарии трематод – паразиты рыб Каспийского моря и дельты Волги. М.: Наука, 2006. 183 с.
7. Родюк Г.Н., Беляева А.Д., Давидович В.М., Рудов Р.В., Бауэр М.Г. Зараженность рыб водоемов Калининградской области метацеркариями *Apophallus muehlinge* (Trematoda: Opisthorchiidae) // Труды АтлантНИРО. 2023. Т. 7. №2 (16). Калининград: АтлантНИРО. С. 37-47.
8. Романова Н.Н., Головина Н.А., Вишторская А.А., Головин П.П. Особенности паразитофауны карповых и окуневых рыб в водохранилищах канала им. Москвы // Российский паразитологический журнал. 2021. Т. 15(3). С. 32-47.
9. Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции» (ТР ЕАЭС 040/2016) / <https://docs.cntd.ru/document/420394425>
10. Тютин А.В., Медянцева Е.Н., Базаров М.И., Тютин В.А. Особенности распределения метацеркарий трематоды *Apophallus muehlingi* (Jägerskiöld, 1899) у сеголетков в инвазивной популяции *Clupeonella cultriventris* (Nordmann, 1840) из Горьковского водохранилища (бассейн Верхней Волги) // Российский Журнал Биологических Инвазий 2022. № 4. С. 80-96.
11. Яковлева Г.А., Лебедева Д.И., Иешко Е.П. Первое обнаружение *Apophallus müehlingi* (Jägerskiöld, 1899) Lühe, 1909 (Trematoda, Heterophyidae) в Карелии // Российский журнал биологических инвазий. 2016. № 1. С. 147-154.
12. Odening K. Der Entwicklungszyklus von *Apophallus muehlinge* (Trematoda: Opisthorchiida: Heterophyidae) in Berlin // Zeitschrift für Parasitenkunde. 1970. Vol. 33. P. 194-210.

## ОПЫТ ГЕНОМНОГО РЕДАКТИРОВАНИЯ ГЕНА МИОСТАТИНА *DANIO RERIO* И *CYPRINUS CARPIO*: СОЗДАНИЕ И ДОСТАВКА РЕДАКТИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА В ЭМБРИОНЫ РЫБ

М.Н. Рузина\*, О.Р. Емельянова\*\*, С.Ю. Савельева\*, С.А. Брускин\*\*\*,  
Н.С. Мюге\*

ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва, [mnruzina@gmail.com](mailto:mnruzina@gmail.com)

\*\* Кафедра Биологической эволюции, Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

\*\*\* Лаборатория функциональной геномики, Отдел генетических основ биотехнологии, ФГБУН ИОГен им. Н.И. Вавилова РАН, г. Москва

Аннотация: геномное редактирование CRISPR/Cas9 эффективно для создания пород и линий рыб с улучшенными признаками. Нокаут гена миостатина *mstn* у рыб приводит к повышению мышечной массы. Первый шаг к успешному редактированию – точный подбор гРНК для целевого гена. В данной работе описаны процессы подбора и синтеза гРНК для гена *mstn*, а также технология проведения микроинъекций редактирующего комплекса гРНК и Cas9 в эмбрионы данио рерио и карпа обыкновенного

Ключевые слова: геномное редактирование, CRISPR/Cas9, ген миостатина, гидовые РНК, микроинъекции, *Danio rerio*, *Cyprinus carpio*

В последние десятилетия в мире устойчиво растет спрос на пищевые продукты из водных биоресурсов (Состояние, 2022). Вылов дикой рыбы приближается к верхней границе допустимой нагрузки на экосистемы, растет важность аквакультуры, в условиях которой можно разводить породы рыб, в том числе улучшенные. Геномное редактирование является эффективным инструментом для их создания, так как позволяет контролируемо и направлено получить мутации, приводящие к улучшению желаемых признаков животных. Этими методами уже удалось получить линии модельных и разводимых в аквакультуре рыб (Orlova et al., 2024): полосатых данио *Danio rerio* с увеличенным процентом мышечной массы, без внутримышечных костей, стерильных, устойчивых к *Mycobacterium spp.*, а также линии карпов *Cyprinus carpio* с увеличенным процентом мышечной массы и безопасной редукцией костей, стерильные линии радужной форели *Oncorhynchus mykiss*, атлантического лосося *Salmo salar*, нильской тиляпии *Oreochromis niloticus*. Проведены первые исследования по созданию атлантического лосося с заданным составом полиненасыщенных жирных кислот в мясе. Подтверждена возможность создания линий с повышенной устойчивостью к заболеваниям- для белого морского окуня *Lates calcarifer* по отношению к *Nervous necrosis virus*, белого амура *Stenopharyngodon idella* к *Grass carp reovirus*, канального сома *Ictalurus punctatus* к *Edwardsiella ictalurid*.

Сегодня наиболее широко применяется система генетического редактирования CRISPR/Cas (Clustered regularly interspaced short palindromic repeats/ CRISPR associated protein). В клетку вводят редактирующий комплекс, состоящий из гидовой РНК (гРНК) и эндонуклеазы группы Cas (например, Cas9). гРНК отвечает за точную локализацию разрыва в ДНК целевого гена. Эндонуклеаза осуществляет двуцепочечный разрыв ДНК на несколько нуклеотидов выше специфичного для разных Cas фрагмента PAM (protospacer adjacent motif). Затем разрыв может репарироваться механизмом негомологичного соединения концов, что приводит к возникновению инделей и замен оснований в целевой области, и, как следствие, к сдвигу рамки считывания и утрате функциональности гена. Редактирующий комплекс может быть доставлен в клетку как в виде смеси гРНК и фермента, так и в виде плазмиды или мРНК, содержащих кассету данных генов.

Целевым геном в данном исследовании является ген миостатина *mstn*. Он перспективен для редактирования, так как является обратным регулятором роста мышц, и его утрата приводит к увеличению мышечной массы (выход филе) у рыбы за счет повышения количества, гипертрофии и гиперплазии мышечных волокон. Редактирующий комплекс в данной работе для нокаута *mstn*, состоящий из смеси гРНК и эндонуклеазы Cas9 (ООО «Биолабмикс»), доставлялся в эмбрионы рыб методом микроинъекций. гРНК состоит из двух частей. Первая, комплементарная целевому локусу, определяет место прикрепления редактирующего комплекса к ДНК и точное место разрыва. Вторая – стандартный химерный каркас гРНК, отвечающий за удержание всех частей комплекса вместе, ее последовательность одинакова для всех гРНК.

Направляющие последовательности гРНК для гена *mstn*, общие для данио рерио и карпа обыкновенного, были подобраны с использованием сервисов CRISPOR (Concordet, Haussler, 2018) и СНОРСНОР (version 3) (Labun et al., 2019). Они позволяют подобрать такие последовательности для разных видов Cas и оценить off-target эффект для всех полученных молекул на основе данных о доступных геномах. Off-target эффект – явление ошибочного редактирования нецелевых сайтов. Cas9 работает, если гРНК имеет до трех некомплементарных оснований с нужной последовательностью ДНК (Guo et al.), поэтому количество локусов, на которые нацеливается гидовая РНК, может быть выше ожидаемого. Во избежание off-target эффектов выполняют проверку количества сайтов неспецифического связывания гРНК и ДНК и выбирают гРНК с минимальным количеством совпадений.

Сайты узнавания направляющих РНК подбирались в интервале первых 300 нуклеотидов каждого гена, чтобы вызвать сдвиг рамки считывания гена. На 5'-конце направляющая последовательность должна содержать моно- или динуклеотид G или GG для корректной доставки редактирующего комплекса в клетку и для работы T7-полимеразы при синтезе РНК. Выбранные направляющие последовательности гРНК *mstn* представлены ниже. Последовательность РАМ подчеркнута, место разреза целевого локуса эндонуклеазой Cas9 отмечено звездочкой.

104fw: GCAGCCTTCCACAGCCA\*CGGAGG

177rev: GTCGGAGTTTGCTAAGA\*ATTTGG

Синтез гРНК проводили методом ПЦР с перекрывающимися олигонуклеотидами и последующей транскрипции. Синтез олигонуклеотидов производился в ЗАО «Евроген». Прямые праймеры были уникальными и, помимо направляющей последовательности, содержали промотор T7. Обратный праймер, несущий стандартный каркас гидовой РНК, был общим. Их последовательности представлены ниже, жирным шрифтом выделены направляющие участки гРНК.

Прямые праймеры:

Mstn\_dr\_guideRNA104fw:GAAATTAATACGACTCACTATAG**GCAGCCTTCCACA  
GCCACGGGTTTTAGAGCTAGAAATAGCAAG**

Mstn\_dr\_guideRNA177rv:GAAATTAATACGACTCACTATAG**TTCGGAGTTTGCTA  
AGAATTGTTTTAGAGCTAGAAATAGCAAG**

Обратный праймер:

guideRNAallcommon:AAAAGCACCGACTCGGTGCCACTTTTTCAAGTTGATAAC  
GGACTAGCCTTATTTAACTTGCTATTTCTAGCTCTAAAAC

Для проведения ПЦР собирали реакционную смесь, состоящую из 5 мкл смеси dNTP (25 mM), по 0,5 мкл прямого и обратного праймеров (100 mM), 1 мкл полимеразы Phusion (New England Biolabs), 20 мкл Буфера HF 5X, 73мкл H<sub>2</sub>O. Общий объем смеси – 100 мкл. Программа амплификации: денатурация 98 °C – 30 сек; 35 повторений цикла 98 °C – 10 сек, 60 °C – 30 сек, 72 °C – 15 сек; завершающая элонгация при 72 °C – 10 мин. После синтеза проводили очистку продуктов ПЦР от остатков реакционной смеси методом спиртового переосаждения (преципитации) по стандартному протоколу, на 85 мкл ПЦР-продукта

использовали 17 мкл AcONa 3M pH 5.5 и 80 мкл изопропанола. Затем проводили T7-транскрипцию гидовой РНК *in vitro*. Для этого собирали реакционную смесь, состоящую из 32 мкл H<sub>2</sub>O, 10 мкл Буффер 5x, 2 мкл ДТТ x25, 2 мкл dNTP (25mM), 1 мкл T7-RNA Polymerase, 3 мкл ДНК-матрицы. Смесь инкубировали в течение 24 ч при температуре 37 °С. Для избавления от остаточной ДНК добавляли 2 е.а. ДНКазы на 1 мкг матрицы, полученную смесь инкубировали 15 минут при 37 °С. Использовали реагенты производства компании ООО «Биолабмикс».

Доставка редактирующего комплекса *mstn* в эмбрионы рыб на стадии одной клетки осуществлялась методом микроинъекций. Для проведения микроинъекций использовались стереомикроскоп со светом, проходящим через основание предметного столика, микроманипулятор InjectMan® 4, Eppendorf AG, (Германия), Микроинжектор FemtoJet® 4i, Eppendorf AG, (Германия), универсальная стойка для установки микроманипулятора рядом со стереомикроскопом, Eppendorf AG, (Германия).

Микроинъекции проводили с углом наклона микрокапилляра в 30 °С к горизонтальной оси, давление при инъекции (P<sub>i</sub>) составляло 800 hPa, компенсационное давление (P<sub>c</sub>) – 90 hPa, время инъекции – 1 сек, результирующий объем инъекции – 0,5 nL. Результирующий объем инъекции можно рассчитать с помощью измерения размеров капли, полученной в результате инъекции жидкости в каплю минерального масла. При впрыскивании в масло инъекционная капля диаметром 100 мкм соответствует объему впрыска 525 мкл. Идеальные объемы инъекции составляют около 10-15 % объема икринки, то есть до 500 мкл. Для данио рерио и карпа обыкновенного использовали одинаковый объем инъекции несмотря на то, что икра первого в 2-3 раза меньше, у второго. Смесь для инъекции состояла из 1 мкл Cas9 Buffer x1, 1,5 мкл Cas9-NLS@20 пмоль/мкл, по 2 мкл каждой гРНК.

По структуре желтка икру костистых рыб можно разделить на два типа: у некоторых рыб желток – это цельная желточная масса, у других – множество гранул. В первой группе цитоплазма движется к анимальному полюсу на поверхности единого желтка, образуя бластодиск. У второй группы цитоплазма перемещается между гранулами желтка к анимальному полюсу. В яйцах с одножелточной массой (медака (Goto et al., 2019), инъекцируемый препарат необходимо вводить непосредственно в бластодиск, поскольку молекулы не могут пройти через границу желтка и цитоплазмы. Напротив, в яйца с множеством гранул желтка (данио рерио (Goto et al., 2019), карп (Shahi et al., 2022) препарат можно вводить либо непосредственно в бластодиск, либо в область желтка. В обоих случаях инъекционный препарат удерживается в цитоплазме и способен перемещаться в бластодерму вместе с цитоплазмой в ходе эмбрионального развития. Микроинъекции в икру данио рерио проводились микрокапиллярами Eppendorf Femtotip II (внутренний диаметр – 0,5 мкм). Однако, оболочка икры карпа при контакте с водой становится твердой, и микрокапилляры Eppendorf Femtotip II не могут ее проколоть. Для такой икры на приборе RWD Micropipette puller (HF-3030B) были изготовлены микрокапилляры с использованием заготовок WPI 1B100F и программы Cycle = 1, Heat = 615, Pull = 0, Velocity = 50, Time = 250 (внутренний диаметр – 1-3 мкм).

Для удержания икринок в удобном для микроинъекций положении в чашку Петри, в которой находились икринки, помещалось предметное стекло: икринки располагались по правому краю стекла, слева от иглы. Однако икра карпа имеет свойство приклеиваться к поверхности, на которой она располагается, и формировать анимальный полюс в верхней части икринки. Чтобы при размещении стекла анимальный полюс икринки оказался справа от стекла и слева от микрокапилляра, икринки предварительно размещали на краю стекла, опускали вертикально в кювету с водой до формирования анимального полюса. При переворачивании стекла на правую сторону, анимальный полюс чаще оказывался в наиболее удобном для микроинъекций положении.

С момента оплодотворения до формирования двухклеточного зародыша данио рерио проходит около 15 мин., поэтому микроинъекции начинали сразу после оплодотворения. Икра карпа, в свою очередь, развивается достаточно медленно, поэтому микроинъекции проводили через 40 мин. после оплодотворения, когда анимальный полюс становился достаточно сформирован.

По этой методике получили выборки из 32 инъектированных и 14 контрольных эмбрионов данио рерио. Выборки карпа обыкновенного составили 1011 экспериментальных и 580 контрольных рыб соответственно. После редактирования эмбрионы карпов показывали высокую смертность на стадии первого дня после микроинъекции, стадии перед вылуплением и стадии перехода личинки на активное питание. Выживаемость эмбрионов после выклева на 5 день после оплодотворения составила 36,6 % и 45 % в эксперименте и контроле соответственно.

После редактирования эмбрионы содержались в стандартных условиях. Для личинок *Danio rerio*: температура воды 28 °С, dGH 5-20, pH 6,8-7,5, сухой корм с размером частиц 100-200 мкм, световой режим 16:8. Для *Cyprinus carpio*: температура воды 21 °С, dGH 5-20, pH 6,8-7,5, корм – декапсулированная артемия, световой режим 16:8. В результате работы удалось получить выборки рыб для последующей детекции событий редактирования методом секвенирования по Сенгеру.

Работа выполняется при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации: Грант 075-15-2021-1084 (контракт: № 15.ИР.21.0010).

#### Список литературы

1. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2022. На пути к «голубой» трансформации / Рим: FAO, 2022. 266 с.
1. Concordet J.-P., Haessler M. CRISPOR: intuitive guide selection for CRISPR/Cas9 genome editing experiments and screens // *Nucleic Acids Res.* 2018. Vol. 46 (W1). P. W242–W245.
2. Goto R., Saito T., Matsubara T., Yamaha E. Microinjection of marine fish eggs // *Methods Mol Biol.* 2019. V. 1874. P. 475-487.
3. Guo C., Ma X., Gao F., Guo Y. Off-target effects in CRISPR/Cas9 gene editing // *Front Bioeng Biotechnol.* 2023. Vol. 11:1143157.
4. Labun K., Montague T.G., Krause M., Torres Cleuren Y.N., Tjeldnes H., Valen E. CHOPCHOP v3: expanding the CRISPR web toolbox beyond genome editing // *Nucleic Acids Res.* 2019. Vol. 47(W1). P. W171-W174.
5. Orlova S.Yu., Ruzina M.N., Emelianova O.R., Sergeev A.A., Chikurova E.A., Orlov A.M., Muge N.S. In search of a target gene for a desirable phenotype in aquaculture: genome editing of Cyprinidae and Salmonidae species // *Genes.* 2024. Vol. 15(6). P. 726.
6. Shahi N., Mallik S.K., Sarma D. Muscle growth in targeted knockout common carp (*Cyprinus carpio*) *mstn* gene with low off-target effects // *Aquaculture.* 2022. Vol. 547. P. 737423.

## БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ ХИТИНА

К.С. Рысакова, В.Ю. Новиков, Ю.А. Деревяшкина

Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н. М. Книповича),  
г. Мурманск, [rysakova@pinro.vniro.ru](mailto:rysakova@pinro.vniro.ru)

Аннотация: в ферментных препаратах из крабов, аффинной адсорбцией и хроматографией на хитине, обнаружены фракции ферментов, ответственные за хитинолитическую активность. Определен диапазон молекулярных масс хитинолитического комплекса, соответствующий 100-300 и 10-50 кД. Установлены условия гетерогенного ферментативного гидролиза хитина, позволяющие получить его низкомолекулярные производные. Показано, что в процессе ферментативного расщепления исходного хитина ферментными препаратами животного происхождения (ФП крабов) и микробиологического, степень кристалличности (общая упорядоченность структуры) уменьшается до 40 %. Полученные результаты могут быть использованы при регулировании молекулярной массы и степени кристалличности хитина.

Ключевые слова: камчатский краб, аффинная адсорбция, хитинолитическая активность, ферментные препараты

Получение хитина и его производных из различных источников, изучение его свойств и расширение областей применения не теряют в настоящее время актуальности.

Отдельное внимание исследователей принадлежит исследованию хитозана, обладающего уникальным комплексом физико-химических свойств, широким спектром биологической активности и большой возобновляемой сырьевой базой. Хитозан с высокой степенью деацетилирования и низкой молекулярной массой обладает большей биологической активностью вследствие лучшей растворимости. Такой препарат широко применим для биомедицинских целей, для получения пленок и микрокапсулирования, незаменим в борьбе с вредителями агрокультур в сельском хозяйстве. Поэтому исследования, посвященные биохимическим методам получения и биодеструкции хитина и хитозана посредством ферментов, представляются весьма актуальными.

В работе использовали карапаксы и гепатопанкреас камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) и краба-стригуна опилио (*Chionoecetes opilio*), заготовленные в ходе научных экспедиций НИС Полярного филиала «ВНИРО» в 2023 г. в районах Баренцева и Белого морей.

Объектами исследования были образцы хитина со степенью деацетилирования 22,2 %, полученные по стандартной методике (Новиков, 2012) из панцирей крабов, а также ферментные препараты (ФП) из гепатопанкреаса камчатского краба и краба-стригуна опилио, полученные по методике (Патент SU 1343591), и коммерческий ФП «ЦеллоЛюкс-Е» (ООО ПО «Сиббиофарм», г. Бердск), содержащий в своем составе комплекс ферментов целлюлазно-глюканазно-ксилазназного действия.

Молекулярно-массовое распределение белков определяли методом эксклюзионной ВЭЖХ на хроматографе LC-10A<sub>VP</sub> («Shimadzu», Япония) (Rysakova, 2023).

Для проведения исследований, связанных с аффинной хроматографией, использовали колонки низкого давления фирмы «Pharmacia» (Швеция), заполненные хитином с с размером частиц от 150 до 100 меш.

Молекулярную массу (ММ) хитина оценивали по ММ хитозана, полученного в одинаковых условиях: обработка хитина 1 час в 50 %-м раствора NaOH при 100 °С. ММ хитозана определяли вискозиметрическим методом по уравнению Марка-Хаувика-Куна (Pavlov et al., 1986).

Степень кристалличности (СК) определяли с помощью рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре Shimadzu (Япония) LabX XRD-6000 («Shimadzu Corp.», Япония). Определение СК образцов проводили по методике, предложенной в работе (Rabek, 1980).

Хитиноподобную активность определяли по реакции образующегося N-ацетилглюкозамина с 4-диметиламинобензальдегидом с образованием окрашенного комплекса (Reissig, 1955).

#### *Обнаружение хитиноподобной активности*

ФП, полученные из гепатопанкреаса камчатского краба и краба стригуна опилио, обладают набором ферментов с широкой специфической активностью. В ранних работах авторами было обнаружено присутствие хитиноподобных ферментов (Rysakova et al., 2023). В настоящем исследовании после аффинной очистки на микрокристаллическом хитине получены данные о ММ этих ферментов.

Для выделения хитиноподобных ферментов из исходных ФП использовали аффинную адсорбцию на микрокристаллическом хитине при pH 6,5. После промывки осадка проводили десорбцию белков при pH 3,0.

Молекулярно-массовое распределение белков обоих образцов после десорбции с хитина при pH 3 приведены на рис. 1.

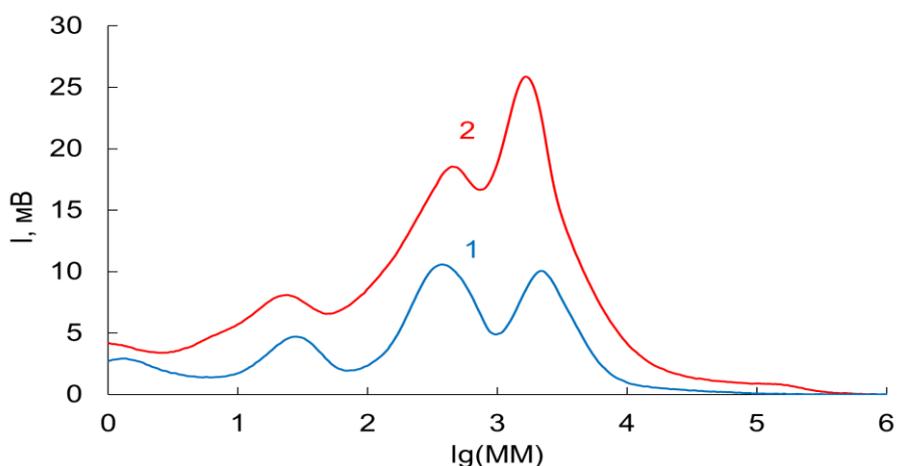


Рисунок 1. Хроматограммы белков, полученных после аффинной очистки ФП на хитине после элюирования при pH 3. 1 - ФП из гепатопанкреаса камчатского краба, 2 – краба-стригуна

Были выделены три фракции, с максимумами на хроматограммах при ММ 25 кДа, 300 кДа и более 1500 кДа. В первых двух фракциях обнаружена хитиноподобная активность. Эти результаты подтвердили наши предыдущие данные, полученные при ультрафильтрации ФП, о существовании двух групп хитиноподобных ферментов с ММ менее 50 кД и более 100 кД (Рысакова, 2023).

Наличие хитиноподобной активности в ФП позволяет предположить возможность его использования для регулирования ММ хитина и хитозана.

#### *Изучение ферментативной деструкции хитина*

Нативный хитин был обработан ФП камчатского краба и краба-стригуна опилио и коммерческим ФП «ЦеллоЛюкс» при 37 °С в диапазоне времени до 4 часов (рис. 2).

После ферментативной деструкции хитина наблюдается уменьшение ММ с 245 кДа до 200 кДа, в случае применения ФП из гепатопанкреаса камчатского краба, до 205 кДа для ФП краба-стригуна и до 175 кДа при действии ФП «ЦеллоЛюкс». Последний продемонстрировал большую эффективность в деструкции молекул хитина, поскольку является очищенным комплексом специфичных ферментов, действующих на  $\beta$ -1,4-гликозидные связи. В ФП из гепатопанкреаса крабов, наоборот, присутствуют балластные белки, не проявляющие хитиноподобную активность.

Была изучена зависимость деструкции хитина от концентрации исследуемых ФП при длительности гидролиза до 4 ч (рис. 3). При концентрации ФП более 0,5 мг/мл зависимость ММ от концентрации ФП выходит на плато, что характерно для

ферментативных реакций с ограниченным количеством активных центров субстрата. В данном случае такая зависимость может быть вызвана конкурентной адсорбцией на хитине неактивных белков, блокирующих возможность молекул фермента атаковать молекулу хитина.

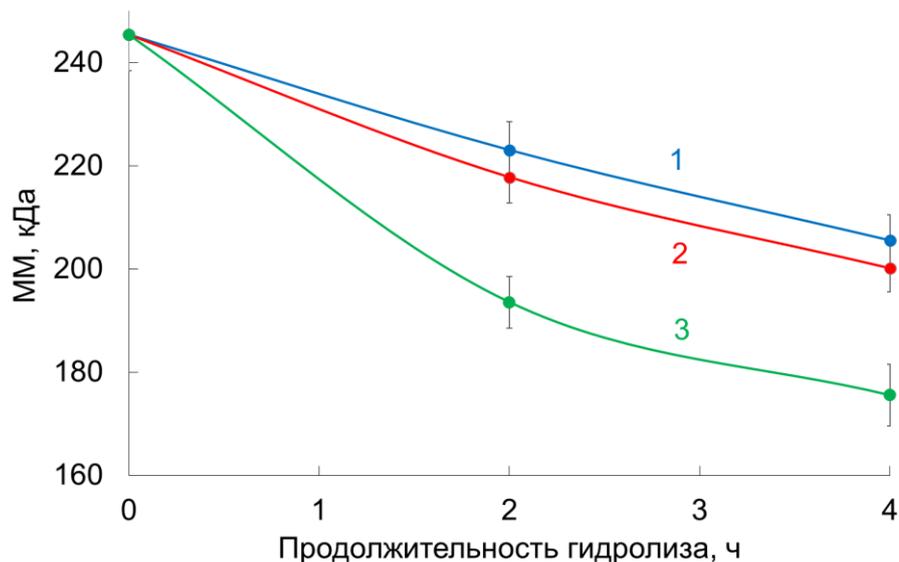


Рисунок 2. Динамика изменения молекулярной массы хитина под действием ферментных препаратов: 1 – ФП камчатского краба; 2 – ФП краба-стригуна опилию; 3 – «ЦеллоЛюкс»

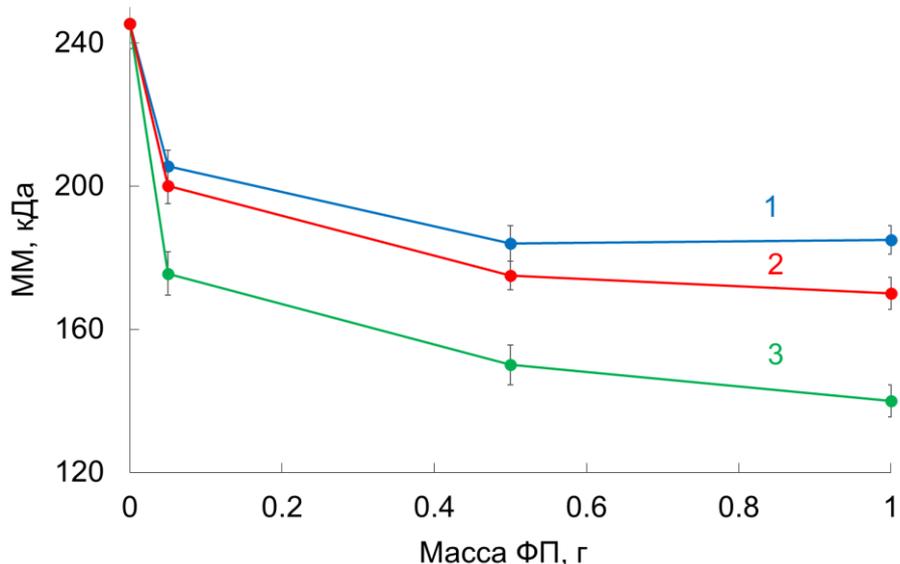


Рисунок 3. Зависимость деструкции хитина от концентрации исследуемых ферментных препаратов при длительности гидролиза 4 ч. 1 -ФП камчатского краба; 2 – ФП краба-стригуна опилию; 3 – «ЦеллоЛюкс»

#### *Влияние ферментативной деструкции на степень кристалличности образцов хитина*

Качественный рентгенофазовый анализ показал присутствие в хитине аморфных и высокоупорядоченных (кристаллических) областей. Известно, что пики интенсивности рассеянного излучения, которые соответствуют кристаллической структуре  $\alpha$ -хитина, находятся в области углов Брэгга ( $2\theta$ )  $9,2^\circ$  и  $19,1^\circ$  (Novikov, 2023). На основании полученных дифрактограмм рассчитанная СК исходного крабового хитина составила 70-76 %.

В результате гидролиза хитина ФП из гепатопанкреаса краба и коммерческим ФП «Целлолюкс» наблюдалось разрушение межмолекулярных связей нативного вещества,

вследствие чего уменьшилась общая упорядоченность структуры его производных на 40 % (рис. 4, табл.).

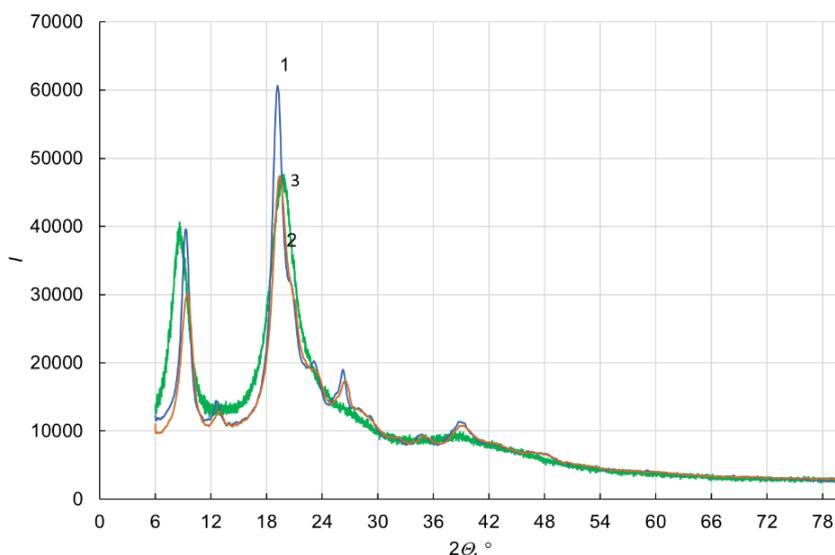


Рисунок 4. Сравнение дифрактограмм образцов нативного хитина и хитина после обработки после обработки ферментом, полученным из гепатопанкреаса камчатского краба. 1 – нативный хитин, 2 – хитин после ферментативного гидролиза ФП краба, 3 – хитин после гидролиза ФП «ЦеллоЛюкс»

Таблица. Характеристика исследуемых образцов хитина

Показатель	Исходный хитин	ФП краб	Фермент «Целлолюкс»
Время, мин	0	30	30
Общая площадь	0,32±0,01	0,24±0,01	0,281±0,01
Площадь пиков	0,24±0,01	0,10±0,01	0,13±0,01
Кристалличность, %	73±4	41±3	46±3

Таким образом, было показано, что с помощью ферментных препаратов микробиологического (на примере ФП «ЦеллоЛюкс») и животного происхождения (ФП крабов) путем варьирования условий гидролиза можно получать низкомолекулярные производные хитина, а также снижать кристалличность нативного хитина.

В результате проведенного исследования в ФП из гепатопанкреаса крабов аффинной адсорбцией и хроматографией на хитине обнаружены фракции ферментов, ответственные за хитинолитическую активность и имеющие молекулярную массу 100-300 и 10-50 кД. Была показана эффективность использования ФП камчатского краба и краба-стригуна опилио в сравнении с препаратом «Целлолюкс» для получения низкомолекулярных производных хитина.

Показано, что в процессе ферментативного расщепления исходного хитина ферментными препаратами животного происхождения (ФП крабов) и микробиологического наряду с уменьшением ММ хитина снижается и его СК. Полученные результаты могут быть использованы при регулировании ММ и СК хитина.

#### Список литературы

- Новиков В.Ю., Коновалова И.Н., Долгопятова Н В.Химические основы технологии получения хитина и его производных из панциря ракообразных : Монография. СПб.: Гиорд, 2012. 201 с.
- Патент SU 1343591 Способ получения коллагеназы / И.Ю. Сахаров, А.В. Джунковская и др. МПК А 61 К 35/56. Заявл. 13.12.1985, № 3992368/14, Оpubл. 30.04.1992.
- Рысакова К.С., Новиков В.Ю., Шумская Н.В., Мухортова А.М. Выделение хитиназ из гепатопанкреаса камчатского краба и краба-стригуна опилио // Современные перспективы в исследовании хитина и хитозана (Росхит-23): XVI Всеросс. конф. с междунар. участием, 2-6 октября 2023 г., г. Владивосток: матер. конф. Владивосток: Изд-во ДФУ, 2023. С. 55-59.

4. Novikov V.Yu., Rysakova K.S., Shumskaya N.V., Mukhortova A.M., Kesarev K.A. King crab gills as a new source of chitin/chitosan and protein hydrolysates // Int. J. Biol. Macromol. 2023. Vol. 232. 123346. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123346>.
5. Pavlov G. M., Selyunin S. G. High-speed sedimentation, molecular mass and conformational parameters of certain soluble derivatives of chitin // Polymer Sci. U.S.S.R. 1986. Vol. 28, N 8. P. 1925-1930. [https://doi.org/10.1016/0032-3950\(86\)90413-2](https://doi.org/10.1016/0032-3950(86)90413-2).
6. Rabek J. F., Experimental Methods in Polymer Chemistry. Physical Principles and Applications, John Wiley & Sons, Chichester, New York, 1980.
7. Reissig J. L., Strominger J. L., Leloir L. F. A modified colorimetric method for the estimation of N-acetylamino sugars // J. Biol. Chem. 1955. Vol. 217, N 2. P. 959-966.
7. Rysakova K., Novikov V., Shumskaya N. Fractionation of enzymes from the hepatopancreas of the red king crab *Paralithodes camtschaticus* by ultrafiltration // AIP Conf. Proc. 2023. Vol. 2931. P. 030001-1-030001-6.

**ОСНОВНЫЕ ПОПУЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕРЛЯДИ (*ACIPENSER RUTHENUS* L.) НИЖНЕКАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ИЗ УЧЕТНЫХ УЛОВОВ 2018-2023 гг.**

Ю.А. Северов, А.В. Гранин, М.А. Горшков

*Татарский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТатарстанНИРО»),  
г. Казань, [objekt\\_sveta@mail.ru](mailto:objekt_sveta@mail.ru)*

*Аннотация: в работе рассмотрены основные популяционные характеристики стерляди Нижнекамского водохранилища (размерные и возрастные характеристики уловов, созревание и естественное воспроизводство). Дана характеристика состояния и величины запаса стерляди, а также указано на наличие в водохранилище зимовальных ям.*

Ключевые слова: Нижнекамское водохранилище, стерлядь, состояние популяции

Нижнекамское водохранилище создано в 1979 г. в долине р. Кама путем перекрытия реки дамбой Нижнекамской ГЭС и наполнено до промежуточной отметки в 62,0 м по БС. Проектировалось поднятие уровня воды в водохранилище до 68,0 м по БС, но этого не произошло. В настоящее время площадь водосбора составляет около 366 тыс.км<sup>2</sup>, полный объем водохранилища достигает 2,9 км<sup>3</sup>, площадь водного зеркала – 1,08 тыс.км<sup>2</sup>. Длина водохранилища по р. Кама составляет 185 км, по р. Белая – 157 км. Максимальная ширина достигает 15 км, средняя – 4 км, средняя глубина – 3,3 м, наибольшая – 20 м. Мелководья с глубинами до 2 м занимают около 50 % площади водохранилища.

Нижнекамское водохранилище является основным рыбохозяйственным водоемом для Республик Татарстан, Башкортостан и Удмуртия. Среднегодовые уловы здесь составляют около 600 т.

Стерлядь является одним из ценных представителей пресноводных рыб семейства осетровых р. Кама и ее водохранилищ. Информация по малоизученной популяции стерляди Нижнекамского водохранилища касается в основном первых лет после создания данного водохранилища, и содержат сведения по ее биологии, состоянию уловов и запасов (Махотин, 1985; Капкаева, 1988; Бартош, 2006).

Основой для данной работы послужили материалы, собранные в 2018-2023 гг. в Нижнекамском водохранилище при проведении ресурсных и мониторинговых исследований филиала. Рыб отлавливали с борта НИС «Академик Берг» и НИС «Владимир Усков» донным тралом (высота 6 м, ячея в кутке 40 мм; продолжительность учётных тралений 15-60 мин), а также ставными и плавными сетями (длина 30-60 м, ячея от 35 до 70 мм; экспозиция постановки 12 ч, одного сплава – 30 мин.). Площадь облова тралом за единицу времени определялась по скорости хода судна и горизонтальному раскрытию трала.

Измерение длины, массы рыб, сбор регистрирующих структур для определения возраста осуществляли по И.Ф. Правдину (1966). Для установления стадий зрелости гонад пользовались общепринятой методикой (Никольский, 1965). Первичная полевая обработка материала производилась непосредственно на судне.

Для начального периода существования водохранилища была характерна относительная высокая концентрация стерляди в водоеме. Так в сетных уловах в 1979 г. ее доля составляла 33 %, в 1980 г. – 48,0 %, в 1981 г. – 13,7 %, доля стерляди в уловах в р. Кама в зоне затопления Нижнекамского водохранилища в 1977 г. достигали 22,9 % (Пушкина, 1983). Эффективность естественного воспроизводства стерляди в первые годы после наполнения водохранилища позволила наращивать численность запаса, прежде всего

вследствие высокого количества производителей (Махотин, 1985; Капкаева, 1988; Бартош, 2006).

После наполнения водохранилища промысловые уловы стерляди были невелики. Максимальные показатели уловов достигнуты в 1995 г. и составили 5,2 т. В последующие годы уловы значительно колебались с тенденцией к снижению и достигали средних значений в 1,0 т. В некоторые годы уловы официально не регистрировались и вовсе (рис. 1). В последние годы (2019-2023 гг.), вследствие включения стерляди в Красную книгу Республики Татарстан, ее вылов фиксируется только в пределах Удмуртской Республики.

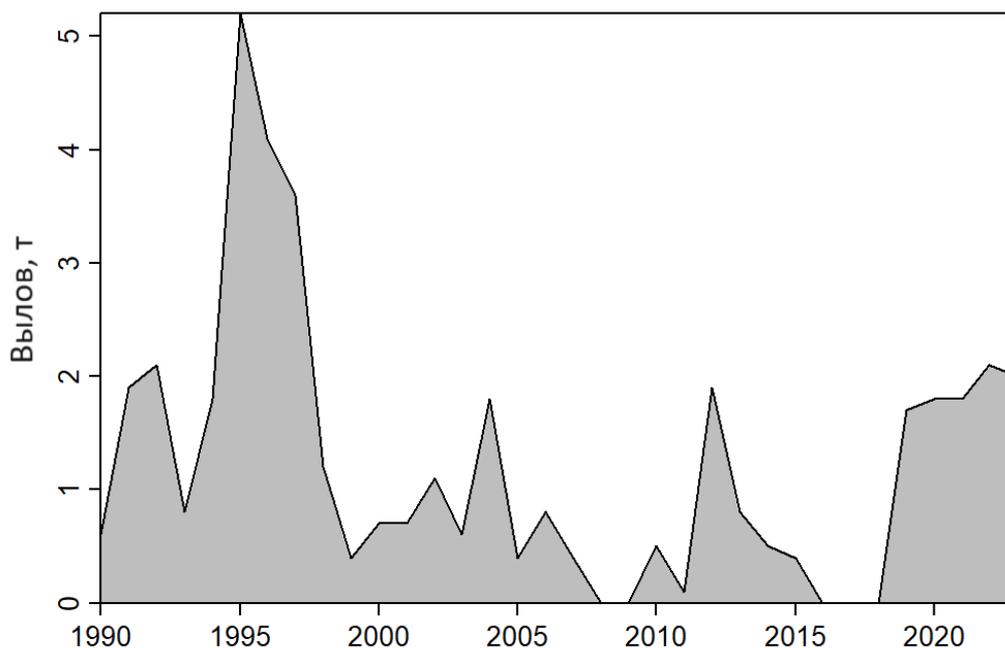


Рисунок 1. Вылов стерляди Нижнекамского водохранилища промышленными организациями в 1989 – 2023 гг.

Размерно-возрастная структура популяции в прежние годы была обусловлена доминированием по численности генерации 1979 г. (Бартош, 2006). Основу уловов в начале девяностых годов составляли рыбы длиной 40-55 см, а средняя длина стерляди в тралах, как с ячеей в кутке 8 мм, так и 40 мм, имела тенденцию к увеличению. Промысловыми сетями изымались более крупные рыбы, и средние показатели длины превышали 50 см.

Предельный возраст рыб в уловах того времени исследований – 27 лет, исключение составила 42-х-летняя самка, сохранившаяся от первой мощной генерации стерляди Куйбышевского водохранилища и проникшая, вероятно, в район затопления до постройки плотины Нижнекамской ГЭС (Бартош, 2006). Первое водохранилищное поколение занимало доминирующее положение в уловах вплоть до 1998 г. Со снижением роли поколения 1979 г. в 1999-2001 гг. наблюдалось уменьшение средних размеров рыб в улове с 49,3 см до 40,4 см и численное преобладание мелких рыб длиной от 30 до 45 см поколений 1997-1998 гг. (Бартош, 2006).

В настоящее время в составе популяции стерляди, исходя из учетных уловов, отмечаются особи длиной тела от 21 см до 76 см (рис. 2). Основную часть уловов составляют рыбы длиной от 30 до 50 см. Доля рыб с размерами тела более 42 см (промысловая длина) в уловах в разные годы в среднем составляет 43 %. Средняя длина тела стерляди по годам исследований достаточно стабильна (медиана – 43,5 см).

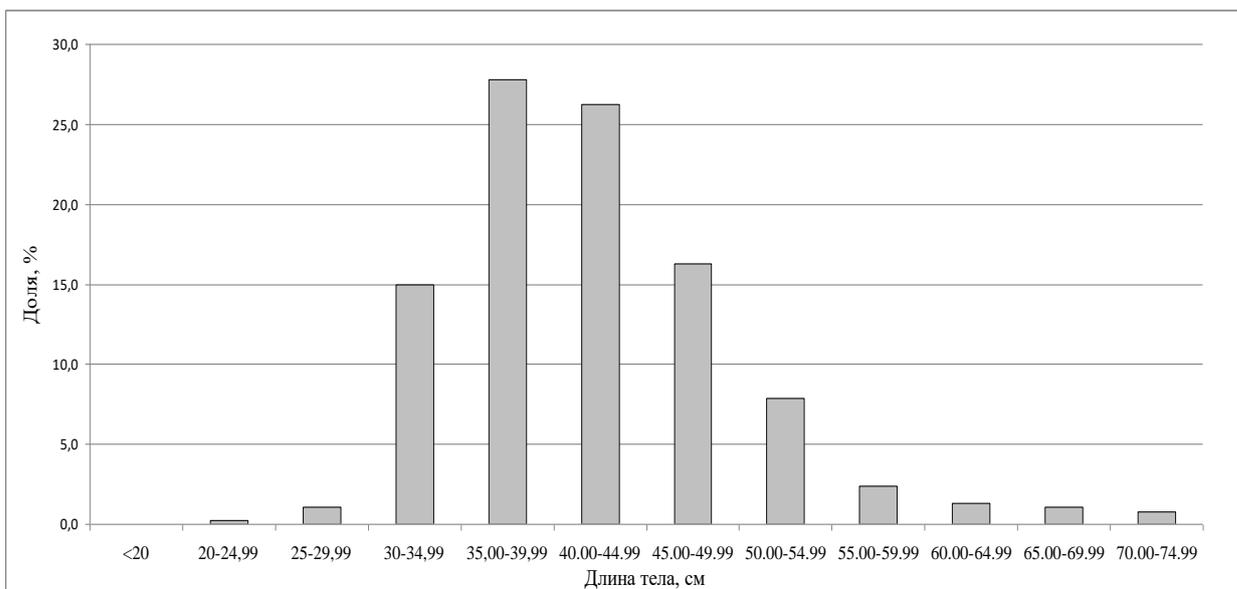


Рисунок 2. Размерный состав уловов стерляди в Нижнекамском водохранилище в 2018 – 2023 гг.

Возрастная структура уловов стерляди составляет 14-18 возрастных групп. Возрастной состав стерляди в уловах представлен рыбами в возрасте от двухгодовалых особей до 19 годовалых рыб (рис. 3). Основную долю в уловах ежегодно занимают стерляди в возрасте 4-8 лет. Рыбы предельных возрастов в уловах отмечаются не ежегодно, в небольшом количестве. Максимальный зарегистрированный возраст стерляди в уловах составляет 19 лет.

Естественное воспроизводство стерляди в Нижнекамском водохранилище сходно с таковой прежних лет. Нерест рыб происходит лишь в тех участках водоёма, где сохранились элементы речного режима, а именно в верхнем плесе и речном участке р. Кама, поэтому интенсивность естественного размножения стерляди уменьшается от верхних плесов к нижним.

В условиях Нижнекамского водохранилища отдельные самки созревают на шестом (возраст 5+ лет), а самцы - на четвертом году жизни (3+ года). Самые мелкие половозрелые самки имели длину 38 см, минимальная длина половозрелых самцов равнялась 33 см. Процесс созревания стерляди чрезвычайно растянут. Как и в других водоемах, наряду с мелкими 5-летними половозрелыми самками, встречаются крупные неполовозрелые особи (15 лет, длина 57 см). Массовое созревание самок происходит в 9-12 лет. Среди самок 16 лет и старше практически половина (54,0 %) имела зрелые гонады и 18,0 % – было близких к зрелости (стадии III и III-IV). Среди самок крупнее 50 см половозрелых около 60 %. Такое соотношение позволяет предположить двухлетний цикл созревания половых продуктов у повторносозревающих самок и участие их в нересте один раз в два года.

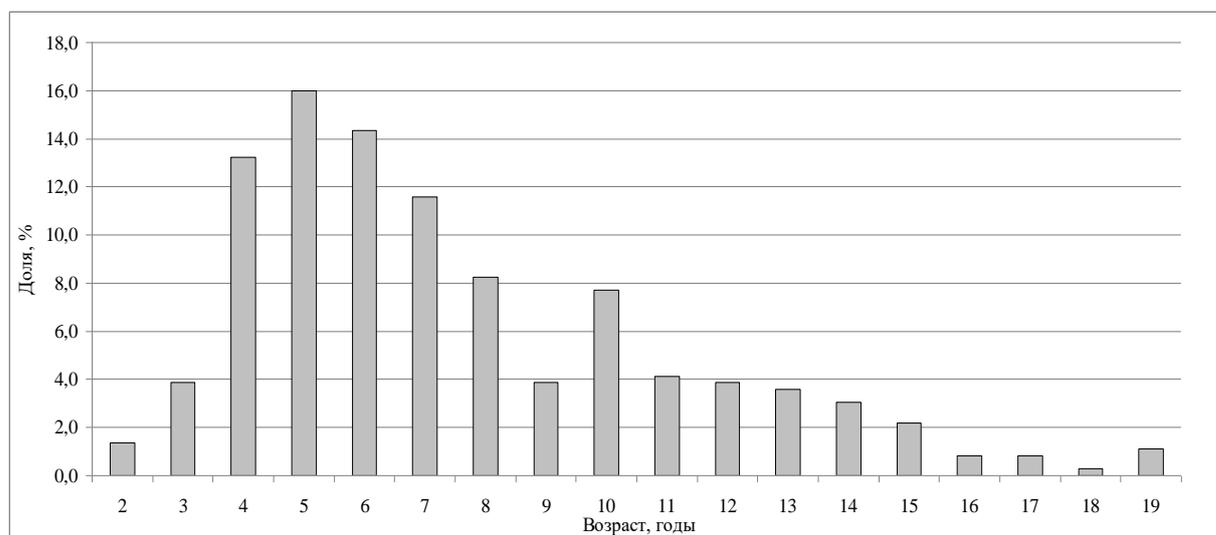


Рисунок 3. Возрастной состав уловов стерляди в Нижнекамском водохранилище в 2018 – 2023 гг.

Процесс полового созревания самцов проще. Он начинается у рыб в 3-летнем возрасте, в массе самцы созревают в 7-8 лет. Все самцы крупнее 55 см, а также имеющие возраст более 12 лет половозрелые, то есть имеют возможность принять участие в нересте весной следующего года, что говорит об их ежегодном участии в нересте.

Характерной особенностью стерляди Нижнекамского водохранилища явилось образование ее плотных позднеосенних и зимовальных скоплений в определенных участках русла Камы. Концентрация рыб здесь увеличивалась с осенним похолоданием и достигала максимума с ледоставом.

Согласно собственным мониторинговым исследованиям на участках акватории р. Кама выше зоны выклинивания в промежутке от н.п. Нечкино до н.п. Сидоровы Горы Удмуртской Республики наблюдается устойчивая концентрация стерляди в зимний период, что требует создания здесь зимовальной ямы для сохранения данного вида.

Оценка биомассы запаса проведена исходя из плотности запаса на единицу площади, общей площади водоема на которой проводилась учетная съемка, средней массы особей в уловах и доли рыб промысловых размеров в уловах. Пополнение стада принималось на уровне среднесноголетних показателей, которое оценивается в 8 % от объема общего запаса, исходя из размерных составов облавливаемого стада и интенсивности линейного роста. Промысловая смертность общего запаса стерляди, за расчетный год составила 0,025. Естественная смертность, рассчитанная по эмпирическим методам, составила значение в 0,25.

Исходя из расчетов, промысловая численность запаса стерляди в Нижнекамском водохранилище по результатам траловой съемки оценена в 50,0 т или 94,34 тыс.экз. На основании наличия стерляди в Красных книгах Республик Татарстан, Башкортостан и принятого правила регулирования промысла, согласно которому, объем общий допустимый улов определяется как «статус-кво» и составляет 2,0 т, который распределен только для акватории Удмуртской Республики.

#### Список литературы

1. Бартош Н.А. Состояние рыбных ресурсов в Нижнекамском и Куйбышевском водохранилищах в начале XXI столетия. Казань: Отечество, 2006. 181 с.
2. Капкаева Р.З. Стерлядь Куйбышевского и Нижнекамского водохранилищ // Рыбное хозяйство Среднего Поволжья. Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1988. Вып. 280. С. 43-54.
3. Махотин Ю.М. Нижнекамское водохранилище как среда обитания ихтиофауны // Формирование кормовой базы и ихтиофауны во вновь созданных водоемах Волжско-Камского каскада. Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1985. Вып. 240. С. 100-107.
4. Никольский Г.В. Теория динамики стада рыб. М: Наука, 1965. 382 с.
5. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М: Пищ. пром., 1966. 376 с.

6. Пушкина Н.П. Ихтиофауна Нижнекамского водохранилища (первой очереди заполнения) // Межвузовский сборник научных трудов «Комплексные исследования рек и водохранилищ Урала». Пермь: Изд. Перм. ун-та, 1983. С. 92-96.

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ БЕЛОГО МОРЯ, ЮГО-ВОСТОКА БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЫБОЛОВСТВА

А.В. Семушин, С.Б. Фролов

*Северный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», г. Архангельск,  
[semushin@severniro.vniro.ru](mailto:semushin@severniro.vniro.ru)*

*Аннотация: запасы водных биоресурсов Белого моря, а также прибрежной акватории юго-восточной части Баренцева и Карского морей находятся в стабильном состоянии и в значительной мере недоиспользуются промыслом. Основные причины падения уловов и деградации рыболовства: разрушение инфраструктуры прибрежных рыболовческих промыслов, несовершенство нормативно-правовой базы, непопулярность данного вида деятельности. Дотации и стимулирование промысла могут дать толчок к возрождению прибрежного рыболовства.*

Ключевые слова: Белое море, водные биоресурсы, прибрежный промысел, сельдь, навага, корюшка

В настоящее время запасы водных биоресурсов Белого моря находятся на стабильном среднемноголетнем уровне и выше, однако, при этом объемы добычи остаются невысокими. Основная проблема недоиспользования запасов кроется в разрушенной инфраструктуре прибрежных рыболовческих промыслов, несовершенстве нормативно-правовой базы, непопулярности данного вида деятельности среди молодого поколения в регионах. Одним из трендов последних лет является также расширение площади особо охраняемых природных территорий, включающих, как правило, наиболее продуктивные акватории моря, в том числе исторические места промысла.

Современная геополитическая ситуация требует более эффективного использования запасов водных биоресурсов внутренних морей Российской Федерации, Белое море в этом плане может рассматриваться как перспективный водоем в части добычи таких видов как беломорская сельдь, навага, азиатская корюшка, гренландский тюлень, макрофиты, в том числе в части развития марикультуры.

*Беломорская сельдь.* Официально зарегистрированный общий вылов беломорской сельди в 2023 составил 156 т, что несколько выше среднего уровня прошлых лет. Низкий уровень добычи не отражает состояния ее промыслового запаса и значительно ниже прогнозируемых величин. В период с 2018 по 2022 г. промысловый запас находится на уровне 12,5 тыс. т, но это не повысило эффективность промысла. С 2017 г. наметилось падение уловов, которое продолжилось и в 2018 г., когда вылов составил 364 т. После 2018 г. вылов неуклонно снижался. В 2020-2023 гг. вылов стабилизировался на уровне 122-156 т. Согласно экспертной оценке, промысловый запас сельди в 2025 г. составит 9,0 тыс. т., возможный вылов сельди в 2025 г. составит 1,8 тыс. т. Состояние запасов сельди в настоящее время опасений не вызывает.

Подлёдный лов в значительной мере трудозатратен и связан со значительным риском. Сложные погодные условия в зимний период, работа на льду вдали от берега – всё это не может не снижать привлекательность данного вида деятельности. Во многих районах уже не ведётся промысел, так как тяжёлый труд не окупает всех затрат. Наиболее эффективным промыслом сельди в Белом море является судовой траловый лов в осенний период. Наибольшие и ежегодные концентрации беломорской сельди отмечаются в Восточной Соловецкой Салме и у Терского берега Бассейна (Гошева и др., 1985; Фролов и др., 1993, 1995, 1999, 2005). Возможна организация летнего промысла нагульной сельди для дальнейшего использования этой рыбы для производства рыбной муки и гранулированных кормов.

Органам государственной власти при этом следует обратить внимание на учет интересов всех пользователей, и обеспечить возможность лова не только на высокоэффективном судовом промысле, но и на прибрежном промысле, который в значительной мере несет социальную нагрузку (занятость местного населения традиционными видами деятельности, переработка местного сырья, дополнительные рабочие места). Следует рассмотреть возможность поддерживающих мер (дотации) для стимулирования прибрежного промысла. Аналогичные меры применялись в Республике Коми и имели эффект.

*Чёшко-печорская сельдь* многие годы являлась одним из основных объектов прибрежного промысла в Горле, Воронке и Мезенском заливе Белого моря, а также в Чешской губе Баренцева моря, но начиная с 90-х годов двадцатого века, и по сей день промысел, прекратил своё существование. Отсутствие материально-технической базы, рынков сбыта скоропортящейся продукции и мест хранения привёл к умиранию промысла. В настоящее время прибрежный промысел сельди длится не более двух недель и проводится в период массового нерестового хода, рыба вылавливается для собственных нужд. Состояние запасов чёшко-печорской сельди находится на стабильно хорошем уровне, многочисленное нерестовое стадо обеспечивает популяцию стабильным пополнением. На нерестилищах возрастной ряд составляют особи от 4 до 13 лет, подходы сельди на нерест начинаются в конце мая и заканчиваются в середине августа. Сельдь отмечается в уловах на западе ареала в Горле Белого моря и на востоке ареала у западного берега полуострова Ямал и в Енисейском заливе Карского моря. В Карской губе Карского моря местные жители облавливают сельдь по потребности. Существует необходимость возобновления прибрежного промысла и очевидны его перспективы. Например, используя судно с морозильной установкой, которое бы принимало рыбу у населения, можно охватить промысловые участки Чёшской губы, от Омы на западе до р.Волонги и Индигской губы на востоке. Аналогично сейчас ведётся приёмка горбуши, выловленной на береговых промысловых участках вдоль Терского берега Бассейна Белого моря.

При фактическом отсутствии промысла промысловый запас сельди в 2025 г. сохранится на стабильно высоком уровне 17-20 тыс. т. Рекомендованный вылов чёшко-печорской сельди на 2025 г. установлен на уровне 2100 т (аналогично для 2024 г.).

*Навага.* На промысле наваги наиболее сильно сказалось существенное потепление климата в наших широтах. Позднее льдообразование откладывает начало подлёдного лова, если в 80-е годы прошлого века лов начинался в конце ноября, за месяц до нереста наваги, то теперь лов начинается после её нереста. Посленерестовая навага представляет гораздо меньшую товарную ценность по сравнению с преднерестовой. В выигрышном положении оказываются промысловые участки, расположенные близко к городам и транспортным путям. Намечился существенный рост вылова наваги в Онежском заливе, в границах Республики Карелия. В Унской губе Двинского залива успешно проводился промышленный и любительский лов до момента принятия решения о создании Национального Парка «Онежское Поморье». Аналогичная ситуация может возникнуть в случае формирования ООПТ на Соловецком архипелаге, где могут пострадать интересы заготовителей водорослей.

В Мезенско-Канинском промысловом районе и в Чёшской губе легальный промысел не развивается из-за их географической удалённости, выловленная здесь навага дороже, чем из Унской губы или Онежского залива. Общая биомасса объединенного промыслового запаса наваги юго-восточной части Баренцева моря в 2025 г. составляет 6750 т, рекомендованный вылов наваги в 2025 г. составит чуть более 2 тыс. т.

Единственным промысловым участком наваги в Карском море в настоящее время является Карская губа и река Кара. Промысел наваги в районе пос. Усть-Кара начался в 1935 г., но до середины 50-х гг. XX в. был нерегулярным. Кроме Карской губы, навагу в

1950-60-е гг. добывали зимой в Юрибейском заливе, устьях рр. Байдарата, Ой-Яха, Норды-Яха, Иоркута-Яха, Теушей, Хорасавэй и Ненесяха.

Мощные нерестовые подходы в 2016-2022 гг. свидетельствуют о достаточно высоком уровне запаса. По данным территориальных органов Росрыболовства, в границах НАО в промысловый сезон 2022/2023 г. на речных участках было выловлено 43,0 т наваги, а на морских участках – 94,6 т.

При промысле наваги в этом районе возможен прилов сайки до 20-30 %. Мощные подходы сайки в начале промысла, уловы которой могут быть на порядок больше улова наваги, обычно приводят к приостановке лова наваги на это время. Было бы логично использовать этот на сегодняшний день невостребованный ресурс для производства рыбной муки, но для этого необходимо выстроить логистику от мест промысла к местам переработки.

*Азиатская корюшка.* По официальной информации, в 2023 г. вылов корюшки в Белом море составил 14,9 т. Между тем, по экспертным данным Северного филиала ФГБНУ «ВНИРО», в ряде районов Карелии, Архангельской области и НАО (Мезенско-Канинский район) ведется специализированный лов корюшки в период образования нерестовых скоплений и реальный вылов превышает официально зарегистрированный. Не учитывается любительский лов корюшки в верховьях рек на зимних скоплениях. Большая доля корюшки старших возрастных групп, отмеченная на нерестилищах в весенний период, указывает на стабильную структуру экологических группировок и недоиспользование запаса.

Корюшка в Баренцевом море вылавливается в качестве прилова в период зимнего промысла наваги. В прибрежье юго-восточной части Баренцева моря корюшка встречается в уловах различными орудиями лова повсеместно, но основная часть корюшки вылавливается зимой ставными орудиями лова в Чёшской и Индигской губах. С 1960 по 1993 г. средний вылов азиатской корюшки составлял 55 т. С 2017 г. по 2023 г. наблюдается рост показателей официального вылова корюшки, что связано с легализацией промысла и повышенным спросом на данный вид. По официальным данным, в пределах НАО в 2023 г. вылов составил 62,6 т.

Промысел *камбаловых* сосредоточен преимущественно в Онежском заливе, Мезенском заливе и на полуострове Канин. Облавливаются ставными ловушками разных типов и крючковыми снастями. Камбаловые являются постоянным приловом при промысле наваги и сельди, используются преимущественно для местного потребления. Специализированный лов, который в настоящее время практически не производится, ранее осуществлялся на весенних (посленерестовых) и осенних (предзимовальных) концентрациях.

*Пинагор* отмечается в уловах в прибрежье практически на всей акватории Белого моря за исключением распреснённых зон Двинского и Онежского заливов. Традиционно это: Мезенский залив; Летний берег; Карельский берег, главным образом районы Гридино и Кеми; Терский берег от Поноя до Порьей губы; Соловецкие острова.

Промысел его был основан на облове нерестовых скоплений и продолжался с мая по июль, с пиком, приходящимся на начало июня. Наиболее эффективными орудиями лова являются ставные сѐмужьи невода и ставные сети с ячей 40-60 мм. С 1941 по 1960 гг. среднемноголетний вылов пинагора по Белому морю составлял 110,6 т, максимальный в 1950 году – 240 т. До недавнего времени специализированного промысла пинагора не проводилось, но в 2013 г. в Архангельской области было выловлено 9,0 т этой рыбы, в 2021 году 2,8 т. Возможно расширение этого вида лова в Мезенском заливе в районе р. Койда. В Республике Карелия наиболее перспективным для возобновления промысла пинагора следует считать район Гридино, где по историческим данным уловы были наиболее высоки. Сходные условия складываются на Летнем берегу Двинского залива, в районе Лопшеньги и Яреньги.

Слабо используются промыслом *беломорская треска и зубатка*. Основные места их обитания практически совпадают - это западная часть Бассейна, Соловецкий архипелаг, Кандалакшский залив, Летний берег в Двинском заливе. Успешнее всего эти виды вылавливаются одностенными «тресковыми» сетями, крючковыми снастями.

В качестве образца проблем, возникающих в связи с несовершенством существующего законодательства, следует отметить проблему непреднамеренного вылова *морских млекопитающих* при прибрежном промысле морских рыб. Кольчатая нерпа и морской заяц гибнут, заходя в сельдяные и наважьи рюжи. Сейчас некоторые рыбодобывающие организации проявляют интерес к добыче морских млекопитающих, возможно, что специализированный промысел гренландского тюленя, кольчатой нерпы и морского зайца будет начат в ближайшие годы.

Показатели развитие аквакультуры в Архангельской области превысили плановые цифры на 2023 г. За три квартала 2024 г. рыбоводы вырастили 294 т рыбы и рыбопосадочного материала – почти на 9 % больше. В регионе работают 8 рыбоводных хозяйств. Существенно растёт потребность в рыбных кормах и здесь возможно использовать местные рыбные ресурсы такие как нагульная беломорская сельдь и сайка выловленная в Карской губе.

#### Список литературы

1. Гошева Т.Д., Фролов С.Б., Елсукова Р.Р. Осеннее распределение сельди во внутренних районах Белого моря / Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря : тез. докл. конф. Архангельск, 1985. С. 219.
2. Фролов С.Б., Гнетнева Л.В., Похилюк В.В. Изменение характера промысла беломорской сельди в Сорокской губе Белого моря / Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря : тез. докл. регион. конф. СПб., 1995. С. 115.
3. Фролов. С.Б., Климов С.И. Особенности распределения сельди в осенний период // Рыбное хозяйство, 1993. № 6. С. 18-19.
4. Фролов. С.Б., Похилюк В.В. Осеннее распределение беломорской сельди в 1998 году // Тез. докл. междунар. конф. Петрозаводск, 1999. С. 168.
5. Фролов. С.Б., Рудоманов С.П. Изменение миграций беломорской сельди в период 1993-2004 гг. // Поведение рыб : материалы докл. Междунар. конф., Борок, 1-4 ноября 2005 г. М., 2005. С. 515-518.

## ВНУТРИВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ОБЫКНОВЕННОГО СИГА *COREGONUS LAVARETUS SENSU LATO* В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Д.С. Сендек\*, Н.А. Бочкарев\*\*,\*, М.В. Барабанова\*\*, Е.И. Зуйкова\*\*,\*,  
С.В. Михельсон\*, С.Ф. Титов\*

\* Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, [sendek@mail.ru](mailto:sendek@mail.ru), [ritausik@gmail.com](mailto:ritausik@gmail.com),  
[s.mikhelson@gmail.com](mailto:s.mikhelson@gmail.com), [sergitov\\_54@mail.ru](mailto:sergitov_54@mail.ru)

\*\* Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск,  
[nikson\\_1960@mail.ru](mailto:nikson_1960@mail.ru), [zuykova1064@yandex.ru](mailto:zuykova1064@yandex.ru)

Аннотация: на основе анализа комплекса биологических и генетических признаков проведена оценка разнообразия внутривидовых экологических форм сига восточной части Финского залива. Показано, что акватория в прибрежье материкового берега в районе Кургальского полуострова, а также вблизи островов открытой части залива является зоной совместного обитания как минимум трех экологических форм сига, среди которых впервые для российских вод описывается резидентный сиг с морским нерестом.

Ключевые слова: Финский залив, обыкновенный сиг, анадромная экоформа, резидентная экоформа, филогенетические линии, локальные адаптации

Восточная часть Финского залива – рыбохозяйственный водоем высшей категории, что обусловлено богатым составом рыбного населения, значительным объемом промысловых уловов, и существенной ролью в воспроизводстве рыбных запасов Балтийского моря. Относящийся к лососевидным рыбам обыкновенный сиг, *Coregonus lavaretus sensu lato*, в Финском заливе представлен устойчивыми экологическими группировками. При симпатрическом обитании в водоеме экологические формы сига фактически ведут себя как независимые виды, однако вопрос об их происхождении и родственных отношениях исследован недостаточно полно. Особенности биологии и ареалы разных экоформ сига установлены и описаны для акваторий Финского залива в территориальных водах Финляндии и Эстонии, однако для российской части Финского залива в современных условиях подобные сведения отсутствуют.

В настоящее время при ведении рыболовства и осуществлении охранных и восстановительных (компенсаторных) мероприятий в российской части Финского залива сиг рассматривается в качестве одной единицы управления. Подход, при котором природное подразделение сига на устойчивые экологические формы не принимается во внимание, объясняется превалированием типологической концепции вида в повседневной практике менеджеров разного уровня и ограниченностью знаний о биологии вида. В условиях усиления антропогенного пресса на экосистему Балтики всестороннее изучение внутривидовой структуры сига и определение статуса разных экологических форм является одной из важнейших задач при поддержании природного биоразнообразия Финского залива и организации рационального использования ценного рыбохозяйственного ресурса.

С целью изучения биологических особенностей экологических форм сига, установления их таксономического статуса и распространения на исследуемой территории в период открытой воды 2019 и 2020 гг. в прибрежье Кургальского полуострова и крупных островов открытой части Восточной части Финского залива были проведены научные обловы с использованием жаберных сетей (рис. 1).

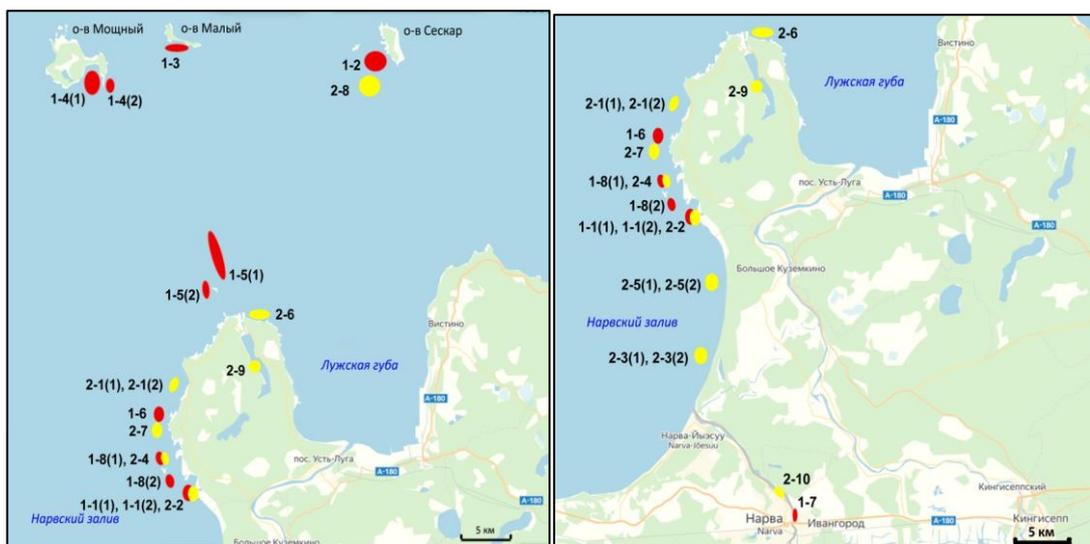


Рисунок 1 – Расположение станций сбора материала в Финском заливе и в реке Нарве в период открытой воды 2019 г. (красный цвет) и 2020 г. (желтый цвет)

Всего за все время проведения работ было поймано 199 экземпляров сига. По результатам ихтиологических и генетических анализов были сделаны выводы исследований, наиболее значимые, часть из которых приводятся ниже:

1. Обитающий в Финском заливе обыкновенный сиг, *Coregonus lavaretus sensu lato* является комплексным видом полифилетического происхождения, чье становление связано с древней эволюцией вида в географически изолированных районах Евразии и последующей интрогрессивной гибридизацией отдельных приледниковых рас с участием других видов р. *Coregonus* в бассейне Балтийского моря.

2. В бассейне Финского залива сиг существует в виде устойчивых экологических форм, дифференцирующихся по комплексу морфологических, экологических, генетических характеристик и представляющих из себя продукт локальной адаптации вида к гетерогенным условиям существования.

3. Идентификация сигов заводского происхождения осуществлялась на основании лабораторного анализа структуры взятых образцов чешуи (рис. 2). Среди сигов дикого происхождения, составлявшего около 87 % от всего улова сига, отмечались все три ранее описанные для Финского залива экологические формы вида. Если в XX веке малотычинковый сиг *Coregonus lavaretus lavaretus* (L.) преобладал над среднетычинковым *Coregonus lavaretus mediospinatus* Pravdin и многотычинковым *Coregonus lavaretus pallasi* Valenciennes (Правдин, 1931, Берг, 1948), то в настоящее время доминирует среднетычинковая форма сига.

4. Типичный малотычинковый сиг, эквивалентный по западным номенклатуре *C. lavaretus* L. sensu stricto (Himberg, 1970; Svärdsön, 1979) или *C. maraena* (Kottelat, Freyhof, 2007), в наших сборах был представлен единичными экземплярами из р. Нарва и из районов вблизи речного устья, в то время как многотычинковый сиг, синонимичный *C. pallasi* (Kottelat, Freyhof, 2007), спорадически отмечался в уловах вблизи Кургальского мыса.

5. Среднетычинковые сиги, нагуливающиеся у островов открытой части Финского залива (о-ва Малый, Сескар и др.), характеризовались более низким значением среднего числа жаберных тычинок и повышенным темпом роста по сравнению с одновозрастными рыбами, нагуливающимися у материкового берега.

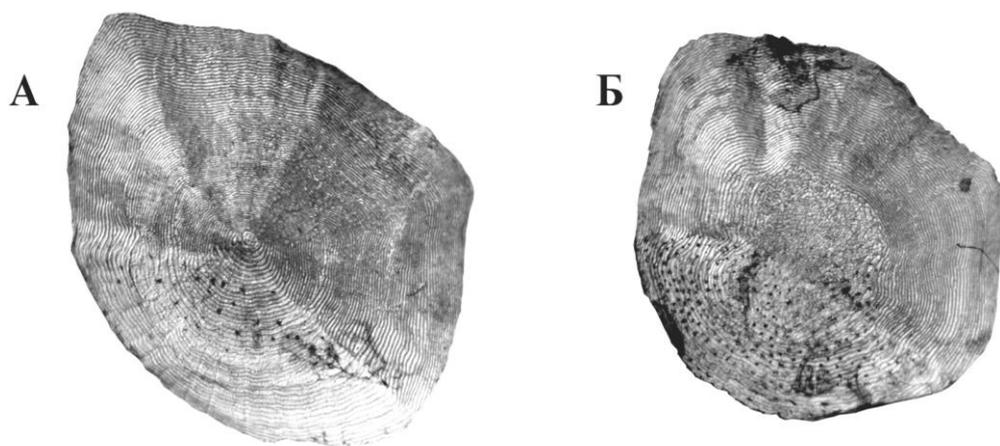


Рисунок 2 – Образцы чешуи сига в возрасте 4+: А – естественного происхождения; Б – искусственного происхождения

6. Среднее количество жаберных тычинок в выборке сигов искусственного происхождения ( $sp.br. = 29.3$ ) в большей степени соответствует показателю, характерному для анадромных сигов, выращиваемых с целью компенсационных выпусков на финских рыбохозяйственных предприятиях.

7. У южного побережья Финского залива среди среднетычиновых сигов выделяется нерестящаяся в морской воде экологическая группировка, характеризующаяся замедленным темпом роста (рис. 3). Данная экологическая форма, способная нереститься при 8-9 ‰ и ранее не описанная для российских вод Финского залива, эквивалентна морскому экотипу сига, известного в западных странах бассейна Балтики под наименованием *S. lavaretus widegreni* Malmgren.

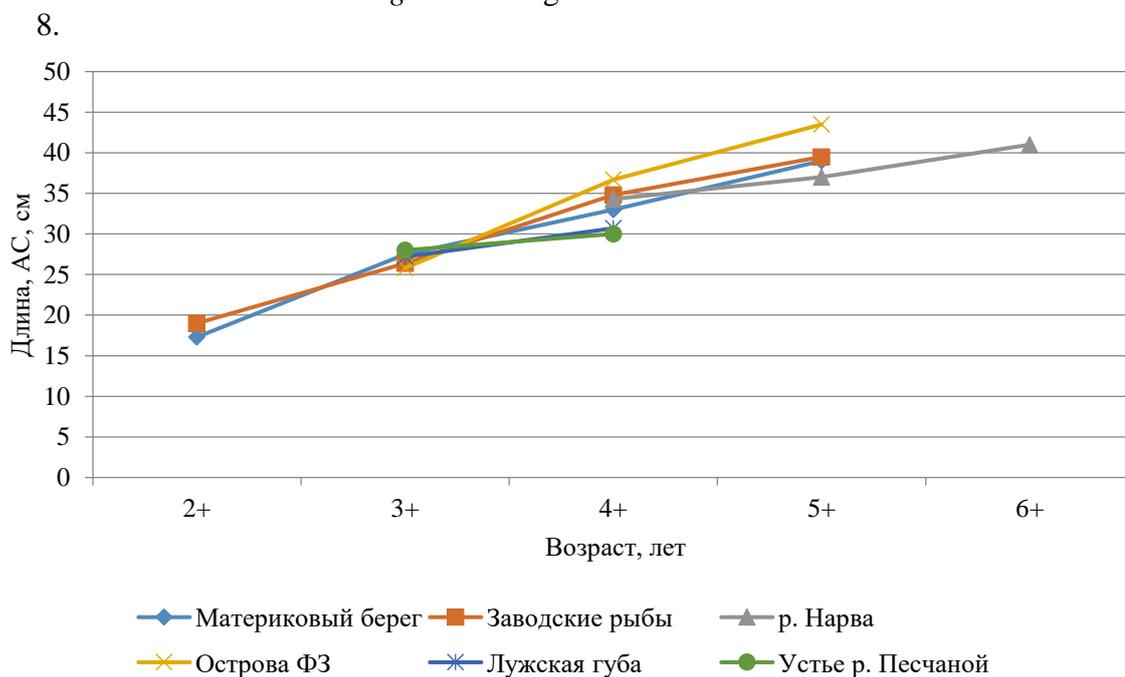


Рисунок 3. Темп роста диких и заводских сигов из разных районов исследования. К сигам с морским нерестом относятся выборки из Лужской губы и устья р. Песчаной

8. По комплексу характерных признаков у отловленных рыб установлено, что нерестилища резидентной формы сига в российской части южного побережья Финского залива расположены вблизи северной оконечности Кургальского полуострова у каменистых гряд и небольших островов на песчано-галечных грунтах с глубинами 2-5 м.

9. В настоящее время в России сиг Балтийского моря управляется как единый запас, в то время как в западных странах бассейна Балтики отдельные экологические формы (виды) сига имеют разные статусы охраны и управления. В условиях потепления климата и усиления антропогенного пресса на экосистему Финского залива представляется важным проведение унификации единиц управления общих с европейскими странами ресурсов с целью обеспечения рационального промысла и сохранения биоразнообразия сигов Балтийского моря.

Работа по изучению биоразнообразия сига Финского залива с была выполнена при финансовой поддержке компании Норд СТРИМ 2 АГ (Nord Stream 2 AG), договор №РО18-5331, ответственный исполнитель Д.С. Сендек

#### Список литературы

1. Берг Л.С. Рыбы пресных вод СССР. Т. 1. 4-е изд., Акад. Наук СССР, М.-Л. 1948
2. Правдин И.Ф. Сиги озерной области СССР // Изв. Ленингр. научно-исслед. ихтиол. инст. XII, вып. 1. 1931.
3. Himberg K. J. M. A systematic and zoogeographic study of some North European coregonids // Lindsey, C. C. & Woods, C. S. (eds.): Biology of Coregonid fishes. Winnipeg, University of Manitoba Press. 1970. P. 219-250.
4. Kottelat M. & Freyhof, J., Handbook of European freshwater fishes. Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof, Berlin, Germany. 2007.
5. Svärdson G. Speciation of Scandinavian Coregonus // Rep. Inst. Freshw. Res. Drott. 1979. Vol. 57. P. 1-95.

**БИОРАЗНООБРАЗИЕ НЕКОТОРЫХ ВОДОЕМОВ КОМПЛЕКСНОГО  
НАЗНАЧЕНИЯ ЮГА РОССИИ (КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ  
И РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕИ)**

Ю.В. Сирота

*Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») г. Краснодар,  
[sirotayv@azniirkh.vniro.ru](mailto:sirotayv@azniirkh.vniro.ru)*

*Аннотация: цель данной статьи – определение видового состава планктонного сообщества (фитопланктон) в четырех водоемах расположенных на территории Краснодарского края и Республики Адыгеи. Сбор и обработка гидробиологического материала проводились в весенний и летний период, стандартными методами. Фитопланктон водоемов комплексного назначения, водохранилищ: Краснодарское, Крюковское, Варнавинское, Октябрьское, представлен 198 таксонами рангом ниже рода, относящимися к 8 отделам: Chlorophyta (81), Bacillariophyta (50), Cyanobacteria (31), Euglenozoa (20), Charophyta (6), Ochrophyta (5), Miozoa (Dinoflagellata) (3), Cryptophyta (2). Основу фитопланктона составляет зелено-диатомовый комплекс с присутствием цианопрокариот. В водохранилищах широко распространены пресноводные, планктонные виды. Среди них выделены 68 общих таксонов относящихся к родам: Caloneis, Cymbella, Navicula, Nitzschia, Glenodinium, Peridinium, Chlamydomonas, Coelastrum, Crucigenia, Desmodesmus, Dictyosphaerium, Lagerheimia, Tetradesmus, Tetraëdron, Tribonema, Cryptomonas, Aphanizomenon, Dolichospermum, Johanseninema, Merismopedia, Microcystis, Oscillatoria, Cosmarium, Euglena, Phacus, Trachelomonas. Видовой состав водохранилищ, территориально расположенных не далеко друг от друга позволяет говорить о сходствах и различиях первичной продукции (фитопланктон), выявить уникальные виды для каждого водоема. Что в дальнейшем позволит посчитать индекс видового разнообразия Шеннона, индекс сапробности, а также использовать полученные данные для дальнейшего сравнения водоемов как между собой, так и с водоемами в сходной климатической зоне и отслеживать структурные изменения фитопланктона в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой и климатическими изменениями.*

*Ключевые слова: фитопланктон, биоразнообразие, водохранилища, кормовая база, первичная продукция*

Городские водоёмы играют ключевую роль в поддержании водного баланса ландшафтов, способствуя перераспределению влаги и поддержанию экологического равновесия. Они не только служат градообразующими факторами, но и имеют эстетическую ценность, а также используются для рекреационных целей. Поэтому качество воды в таких объектах должно соответствовать экологическим стандартам.

Для оценки экологического состояния водоёмов широко используют показатели развития фитопланктона. Фитопланктон является автотрофом с высокой скоростью воспроизводства. Он быстро реагирует на изменение состояния водной среды и может служить индикатором состояния всей водной экосистемы (Абакумов, 1981; Власов, 2008).

Цель данной статьи — определить и сравнить между собой фитопланктон 4 водохранилищ, находящихся в одной климатической зоне на территории Краснодарского края и Республики Адыгеи. В дальнейшем полученные данные будут основой одного из критериев по типизированию водоемов Юга России.

Удобное географическое положение водохранилищ рядом с г. Краснодар способствует их интенсивному исследованию не только научными, но и учебными организациями. Первые исследования на водоемах ведутся с момента ввода их в эксплуатацию. В статье приведены данные биоразнообразия фитопланктона за последние годы (табл. 1).

Полевые исследования проводили в весенне-летний период (апрель-май, июль-август). Фитопланктон фиксировали раствором Люголя в модификации Кузьмина. Пробы оставляли для отстаивания на 10 дней, а затем концентрировали до объема 50-100 мл. Видовую идентификацию и подсчет клеток проводили в камере Нажотта объемом 0.05 мл с использованием медицинского микроскопа МИКМЕД-6 и видеоокуляра TourCam 3.0 MP.

Видовая принадлежность определялась с использованием электронной базы данных algaebase (<https://www.algaebase.org>).

Таблица 1. Биоразнообразии фитопланктона в водохранилищах Краснодарского края и Республики Адыгеи

Вид	Краснодарское вдхр	Крюковское вдхр	Варнавинское вдхр	Октябрьское вдхр
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing 1844	+	+	+	+
<i>Asterionella formosa</i> Hassall 1850	+			
<i>Belonastrum berolinense</i> (Lem.) Round & Maidana 2001	+	+	+	+
<i>Caloneis amphisbaena</i> (Bory) Cleve 1894		+		
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg 1838	+	+	+	+
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg 1838	+			
<i>Ctenophora pulchella</i> D.M.Williams & Round 1986	+	+	+	+
<i>Cyclotella</i> sp.	+	+	+	
<i>Cymatopleura solea</i> (Brébisson) W.Smith 1851	+	+	+	
<i>Cymatopleura</i> sp.		+		
<i>Cymbella</i> sp.	+	+	+	+
<i>Diatoma vulgare</i> Bory.	+		+	
<i>Encyonema elginense</i> RMCrawford & DGMann 1990		+	+	+
<i>Encyonema leibleinii</i> TAVeiga Ludwig & M.Menezes 2013	+	+		
<i>Epithemia</i> sp.			+	
<i>Fallacia pygmaea</i> (Kützing) Stickle & D.G.Mann 1990			+	+
<i>Fragilaria acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot, 2000	+			
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières 1830	+	+	+	
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton 1869	+		+	+
<i>Fragilaria radians</i> (Kützing) D.M.Williams & Round 1988		+	+	+
<i>Fragilaria</i> sp.	+			
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg 1832	+	+		
<i>Gomphonema constrictum</i> Ehrenberg in Kützing 1844	+	+	+	+
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson 1838				+
<i>Gomphonema</i> sp.	+		+	+
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst 1853	+	+	+	+
<i>Gyrosigma</i> sp.		+		
<i>Iconella linearis</i> (W.Smith) Ruck & Nakov in Ruck et al. 2016	+		+	+
<i>Lacustriella lacustris</i> (Lange-Bertalot & Kulikovskiy 2012	+			+
<i>Lindavia comta</i> Theriot & Alverson 2015	+	+	+	+
<i>Melozira</i> sp.	+		+	
<i>Meridion circulare</i> (Greville) C.Agardh 1831		+	+	
<i>Navicula radiosa</i> Kützing 1844				+
<i>Navicula</i> sp.	+	+	+	+
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith 1853	+	+	+	+
<i>Nitzschia acuminata</i> (W.Smith) Grunow 1878				+
<i>Nitzschia gracilis</i> Hantzsch 1860	+	+	+	+

Вид	Краснодарское вдхр	Крюковское вдхр	Варнавинское вдхр	Октябрьское вдхр
<i>Nitzschia holsatica</i> Hustedt 1924	+		+	+
<i>Nitzschia longissima</i> (Brébisson ex Kützing) Grunow 1862		+		+
<i>Nitzschia longissima</i> var. <i>reversa</i> Grunow in C & Grunow 1880		+	+	
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Smith 1853		+		
<i>Nitzschia</i> sp.	+	+	+	+
<i>Nitzschia vermicularis</i> (Kützing) Hantzsch in Rabenhorst 1860	+	+		
<i>Pinnularia</i> sp.		+	+	
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot 1980	+	+	+	
<i>Surirella minuta</i> Brébisson ex Kützing 1849			+	
<i>Surirella</i> sp.	+	+	+	+
<i>Synedra</i> sp.			+	+
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing 1844		+		
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère 2001	+	+		+
<i>Glenodinium</i> sp.	+	+	+	+
<i>Gymnodinium</i> sp.			+	
<i>Peridinium</i> sp.	+	+	+	+
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim 1882	+	+	+	+
<i>Actinastrum aciculare</i> Playfair 1917				+
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim 1882	+	+	+	+
<i>Ankistrodesmus fusiformis</i> Corda 1838	+			+
<i>Ankistrodesmus</i> sp.		+		
<i>Chlamydomonas</i> sp.	+	+	+	+
<i>Chlorella vulgaris</i> Beyerinck [Beijerinck] 1890	+	+	+	+
<i>Chlorotetraedron incus</i> (Teiling) Komárek & Kovácik 1985	+	+	+	+
<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli in A.Braun 1855	+	+	+	+
<i>Coelastrum pseudomicroporum</i> Korshikov 1953	+	+		
<i>Coelastrum</i> sp.				+
<i>Coelastrum sphaericum</i> Nägeli 1849	+	+	+	+
<i>Coenochloris pyrenoidosa</i> Korshikov 1953	+			
<i>Coenococcus planctonicus</i> Korshikov 1953	+			+
<i>Coenocystis subcylindrica</i> Korshikov 1953	+			+
<i>Comasiella arcuata</i> Friedl & Krienitz 2010	+	+		+
<i>Crucigenia fenestrata</i> (Schmidle) Schmidle 1900			+	
<i>Crucigenia quadrata</i> Morren 1830	+	+		+
<i>Crucigenia tetrapedia</i> (Kirchner) Kuntze 1898	+	+	+	+
<i>Desmatriactum indutum</i> (Geitler) Pascher 1930				+
<i>Desmodesmus abundans</i> (Kirchner) E.H.Hegewald 2000				+
<i>Desmodesmus communis</i> (E.Hegewald) E.Hegewald 2000	+	+	+	+
<i>Desmodesmus denticulatus</i> T.Friedl & E.Hegewald 1999	+			
<i>Desmodesmus intermedius</i> (Chodat) E.Hegewald 2000	+	+	+	+
<i>Desmodesmus magnus</i> (Meyen) P.M.Tsarenko 2000		+		
<i>Desmodesmus opoliensis</i> (P.G.Richter) E.Hegewald 2000		+		

Вид	Краснодарское вдхр	Крюковское вдхр	Варнавинское вдхр	Октябрьское вдхр
<i>Desmodesmus protuberans</i> E.Hegewald 2000				+
<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i> Nägeli 1849	+	+	+	+
<i>Dictyosphaerium granulatum</i> Hindák 1977	+	+		+
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg 1832	+	+		
<i>Golenkinia radiata</i> Chodat 1894		+	+	+
<i>Goniochloris mutica</i> (A.Braun) Fott 1960		+		+
<i>Gonium pectorale</i> O.F.Müller 1773			+	+
<i>Lagerheimia chodatii</i> C.Bernard 1908	+	+		+
<i>Lagerheimia genevensis</i> (Chodat) Chodat 1895	+	+	+	+
<i>Lagerheimia longiseta</i> (Lemmermann) Printz 1914	+			+
<i>Lagerheimia marssonii</i> Lemmermann 1900	+	+		+
<i>Lagerheimia subsalsa</i> Lemmermann 1898				+
<i>Lagerheimia wratislawiensis</i> Schröder 1897		+		+
<i>Lemmermannia tetrapedia</i> (Kirchner) Lemmermann 1904	+	+	+	+
<i>Lemmermannia triangularis</i> (Chodat) C.Bock & Krienitz 2013	+	+	+	+
<i>Messastrum gracile</i> (Reinsch) T.S.Garcia 2021				+
<i>Monactinus simplex</i> (Meyen) Corda 1839	+	+	+	+
<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák 1970	+	+	+	+
<i>Monoraphidium contortum</i> Komárková-Legnerová в Fott 1969	+	+	+	+
<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berk.) Komárková-Legnerová 1969	+	+	+	+
<i>Monoraphidium minutum</i> Komárková-Legnerová 1969	+			+
<i>Mucidosphaerium pulchellum</i> Proschold & Krienitz 2011	+	+		+
<i>Mychonastes anomalus</i> Dadheech & Proschold 2011			+	+
<i>Oocystis borgei</i> J.W.Snow 1903	+	+	+	+
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat 1897				+
<i>Oocystis</i> sp.	+	+		+
<i>Pandorina morum</i> Bory & Deslongschamps 1827	+		+	+
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen 1829	+	+	+	+
<i>Pseudodidymocystis lineata</i> (Korshikov) Hindák 1990		+		+
<i>Pseudodidymocystis planctonica</i> E.Hegewald & Deason 1989				+
<i>Pseudopediastrum boryanum</i> E.Hegewald в Buchheim al. 2005	+	+	+	+
<i>Pseudoschroederia robusta</i> E.Hegewald & E.Schnepf 1986				+
<i>Raphidonema</i> sp.				+
<i>Scenedesmus arcuatus</i> (Lemmermann) Lemmermann 1899				+
<i>Scenedesmus ellipticus</i> Corda 1835	+		+	+
<i>Scenedesmus obtusus</i> Meyen 1829	+	+		+
<i>Schroederia setigera</i> (Schröder) Lemmermann 1898	+	+	+	+
<i>Schroederia spiralis</i> (Printz) Korshikov 1953				+
<i>Selenastrum bibraianum</i> Reinsch 1866				+
<i>Tetradesmus lagerheimii</i> M.J.Wynne & Guiry 2016	+	+	+	+
<i>Tetradesmus obliquus</i> (Turpin) M.J.Wynne 2016	+	+		+
<i>Tetradesmus wisconsinensis</i> G.M.Smith 1913		+	+	+

Вид	Краснодарское вдхр	Крюковское вдхр	Варнавинское вдхр	Октябрьское вдхр
<i>Tetraëdron caudatum</i> (Corda) Hansgirg 1888	+	+	+	+
<i>Tetraëdron minimum</i> (A.Braun) Hansgirg 1889	+	+	+	+
<i>Tetraëdron triangulare</i> Korshikov 1953		+	+	+
<i>Tetrastrum elegans</i> Playfair 1917		+		+
<i>Tetrastrum glabrum</i> (Y.V.Roll) Ahlstrom & Tiffany 1934		+	+	+
<i>Tetrastrum staurogeniiforme</i> (Schröder) Lemmermann 1900		+		+
<i>Tetrastrum triacanthum</i> Korshikov 1939				+
<i>Treubaria setigera</i> (W.Archer) G.M.Smith 1933		+		+
<i>Treubaria</i> sp.		+	+	+
<i>Treubaria triappendiculata</i> C.Bernard 1908		+		
<i>Vitreochlamys gloeocystiformis</i> Krienitz & Nozaki 2001				+
<i>Westella botryoides</i> (West) De Wildeman 1897		+		+
<i>Willea apiculata</i> MJWynne & PMTsarenko 2014		+	+	+
<i>Centritractus belonophorus</i> (Schmidle) Lemmermann 1900	+	+	+	+
<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof 1887	+	+	+	
<i>Tribonema</i> sp.	+	+	+	+
<i>Tribonema viride</i> Pascher 1925	+	+	+	+
<i>Tribonema vulgare</i> Pascher 1925	+	+		+
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg 1832	+	+	+	+
<i>Cryptomonas</i> sp.	+	+	+	+
<i>Anabaena oscillarioides</i> Bory ex Bornet & Flahault 1886			+	+
<i>Anabaenopsis elenkinii</i> V.V.Miller 1923	+			
<i>Anabaenopsis</i> sp.		+		+
<i>Aphanizomenon flosaquae</i> Ralfs ex Bornet & Flahault 1886	+	+	+	+
<i>Aphanocapsa holsatica</i> G.Cronberg & Komárek 1994				+
<i>Aphanothece stagnina</i> (Sprengel) A.Braun in Rabenhorst 1863				+
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli 1849				+
<i>Coelosphaerium kuetzingianum</i> Nägeli 1849	+			+
<i>Dolichospermum flos-aquae</i> L.Hoffmann & Komárek 2009	+	+	+	+
<i>Dolichospermum spiroides</i> L.Hoffmann & Komárek 2009	+			+
<i>Gloeocapsa minima</i> (Keissler) Hollerbach 1938	+			+
<i>Gloeocapsa</i> sp.	+	+		+
<i>Gomphosphaeria aponina</i> Kützing 1836		+		+
<i>Johanseninema constrictum</i> (Szafer) Hasler, Dvorák & Poulicková 2014	+	+	+	+
<i>Limnothrix planctonica</i> (Wołoszyńska) Meffert 1988	+			+
<i>Lyngbya</i> sp.	+	+	+	+
<i>Merismopedia elegans</i> A.Braun ex Kützing 1849	+		+	+
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann 1898	+	+	+	+
<i>Merismopedia tranquilla</i> (Ehrenberg) Trevisan 1845	+	+	+	+
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing 1846	+	+	+	+
<i>Microcystis pulvereae</i> (HCWood) Forti 1907	+	+		+
<i>Microcystis pulvereae</i> f. <i>holsatica</i> (Lemmermann) Elenkin			+	

Вид	Краснодарское вдхр	Крюковское вдхр	Варнавинское вдхр	Октябрьское вдхр
<i>Oscillatoria planctonica</i> Woloszynska 1912	+		+	
<i>Oscillatoria</i> sp.	+	+	+	+
<i>Phormidium ornatum</i> Anagnostidis & Komárek 1988	+	+	+	+
<i>Phormidium</i> sp.	+	+	+	
<i>Pseudanabaena limnetica</i> (Lemmermann) Komárek 1974	+	+	+	+
<i>Snowella lacustris</i> (Chodat) Komárek & Hindák 1988	+	+	+	+
<i>Spirulina</i> sp.			+	
<i>Synechocystis aquatilis</i> Sauvageau 1892				+
<i>Trichodesmium lacustre</i> Klebahn 1895				+
<i>Closterium acutum</i> (Lyngb.) Brébisson in Ralfs, 1848	+	+	+	+
<i>Closterium gracile</i> Brébisson ex Ralfs 1848		+		+
<i>Cosmarium</i> sp.	+	+	+	+
<i>Staurastrum gracile</i> Ralfs ex Ralfs 1848		+		
<i>Staurastrum</i> sp.	+	+	+	+
<i>Staurodesmus</i> sp.				+
<i>Astasia</i> sp.				+
<i>Euglena</i> sp.	+	+	+	+
<i>Euglena viridis</i> (O.F.Müller) Ehrenberg 1830	+	+	+	+
<i>Lepocinclis acus</i> B.Marin & Melkonian in Marin et al. 2003		+	+	+
<i>Lepocinclis fusiformis</i> (H.J.Carter) Lemmermann 1901		+		
<i>Lepocinclis oxyuris</i> B.Marin & Melkonian in B.Marin. 2003		+		
<i>Lepocinclis spirogyroides</i> B.Marin & Melkonian 2003		+		
<i>Monomorphina pyrum</i> (Ehrenberg) Mereschkowsky 1877	+	+	+	+
<i>Phacus caudatus</i> Hübner 1886	+	+	+	+
<i>Phacus curvicauda</i> Svirenko 1915	+	+	+	+
<i>Phacus longicauda</i> (Ehrenberg) Dujardin 1841		+		+
<i>Phacus pleuronectes</i> (O.F.Müller) Nitzsch ex Dujardin 1841		+		
<i>Phacus</i> sp.	+	+		+
<i>Strombomonas</i> sp.	+	+	+	+
<i>Trachelomonas intermedia</i> P.A.Dangeard 1902		+		
<i>Trachelomonas planctonica</i> Svirenko 1914	+	+	+	+
<i>Trachelomonas rotunda</i> Svirenko 1914			+	+
<i>Trachelomonas</i> sp.		+		+
<i>Trachelomonas verrucosa</i> A.C.Stokes 1887	+	+	+	+
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1834	+	+	+	+

Данные о видовом разнообразии фитопланктона в исследуемых водоемах можно использовать для экстраполяции состояния водоёмов в других регионах с аналогичными условиями. Мониторинг фитопланктона помогает выявить изменения в экосистеме, вызванные антропогенной нагрузкой, такими как сброс сточных вод или изменение землепользования.

Таким образом, фитопланктон играет ключевую роль в мониторинге экосистем водоёмов и может служить важным инструментом для оценки воздействия антропогенных факторов на водные ресурсы. Это создает необходимость в исследовании экологического состояния водоёмов и разработке природоохранных мероприятий для обеспечения безопасности населения.

#### **Список литературы**

1. Абакумов В.А. Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям. Л., 1981. С. 117-136.
2. Власов О.С. Экология и охрана окружающей среды. Волгоград, 2008. 104 с.
3. <https://www.algaebase.org>

## ОПЫТ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПРОДУКЦИИ ФИТОПЛАНКТОНА МАЛЫХ ОЗЕР С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В.В. Скворцов

ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет  
им. А. И. Герцена» (РГПУ им. А. И. Герцена), г. Санкт-Петербург, [vlad\\_skvortsov@mail.ru](mailto:vlad_skvortsov@mail.ru)

*Аннотация: Целью настоящей работы является построение прогностической модели для оценки величины продукции фитопланктона малых озёр с использованием искусственных нейронных сетей. Материалом послужили результаты многолетних исследований Института озераедения РАН малых озёр, расположенных на Карельском перешейке и в Латгалии. В результате были построены две прогностические модели: первая (для мезотрофных и эвтрофных озёр), которая характеризуется следующими показателями надёжности и ошибки  $R^2 = 0,964$ ,  $MAPE = 15,1\%$  и вторая (только для мезотрофных), которая характеризуется следующими показателями надёжности и ошибки  $R^2 = 0,930$ ,  $MAPE = 11,0\%$ . Достигнутая точность прогнозирования обеих моделей, построенных с использованием искусственных нейронных сетей позволяет рекомендовать их для практического использования.*

Ключевые слова: первичная продукция, малые озёра, искусственные нейронные сети, прогноз

Такая характеристика озерных экосистем, как продукция фитопланктона является важнейшей оценкой продукционного потенциала озёрной экосистемы. Обычно получение этой информации требует проведения регулярных полевых наблюдений и проведение лабораторных анализов, что не всегда возможно. Однако существует возможность на основе анализа существующей информации об озерных экосистемах построить экспертные системы для количественной оценки этого параметра.

Целью настоящей работы является построение регрессионных моделей для надежного предсказания продукции фитопланктона (первичной продукции,  $г\ С/ м^3\ год^{-1}$ ) экосистем малых озёр.

В этой работе мы опирались на информацию из базы лимнологических данных малых озёр, построенной нами. Основу ее составили опубликованные данные исследований, проведенных сотрудниками Института озераедения РАН в 1975-1992 гг. (Реакция экосистем ..., 1983; Особенности формирования ..., 1984; Изменение структуры ..., 1988; Трансформация ..., 1989; Трифонова, 1990; Экология зарастающего ..., 1999). В базу включены сведения о 20 малых озерах с площадью зеркала от 0,04 до 14,2 км<sup>2</sup>, расположенных на Карельском перешейке Ленинградской области РФ и в восточной части Латвийской республики (Латгалия). База состоит из 50 записей и содержит более 20 лимнологических характеристик (табл. 1). Все озера, включенные в нее, были исследованы в течение от одного до четырёх вегетационных сезонов. Гидрологические, гидрохимические и гидробиологические характеристики (параметры) являются средними оценками за указанный сезон года. Исследованные озера относятся к мезотрофным (17 озёр) и эвтрофным водоёмам (3 озера) по классификации С.П. Китаева (1984). Величина продукции фитопланктона мезотрофных озёр в среднем составляла  $29,8 \pm 2,20\ г\ С/ м^3\ год^{-1}$ , а в эвтрофных –  $153,6 \pm 12,28\ г\ С/ м^3\ год^{-1}$ . Исходя из этого было принято решение построить две регрессионные модели: для всех озёр (мезо- и эвтрофных) и отдельно только для мезотрофных.

Таблица 1. Статистические параметры показателей базы данных исследованных малых озер Карельского перешейка и Латгалии

Показатель (размерность)	Среднее значение	Медиана	Наименьшее значение	Наибольшее значение	Коэффициент вариации
Площадь озера (км <sup>2</sup> )	2,33	0,26	0,04	14,20	193,12
Объем озера (км <sup>3</sup> )	8,62	0,69	0,04	92,40	238,12
Средняя глубина (м)	3,7	3,7	0,7	7,8	46,20
Максимальная глубина (м)	8,0	7,0	1,0	26,0	69,90
Емкость озерной котловины (в долях)	0,52	0,53	0,30	0,69	19,17
Удельный водосбор (в долях)	19,72	18,40	1,00	98,10	96,08
Лес-болото (%)	50,6	50,8	0,0	100,0	57,70
Пашня (%)	26,2	23,7	0,0	60,8	63,70
Поселения (%)	23,2	25,0	0,0	53,0	72,70
Цветность (град Pt-Co шкалы)	43	40	15	102	49
Площадь литорали (%)	34,9	28,5	15,3	100,0	58,60
Условный водообмен (год <sup>-1</sup> )	2,51	0,86	0,00	25,10	220,81
Прозрачность (м)	1,84	1,70	0,50	4,00	46,00
Концентрация общего фосфора (мг/л)	0,055	0,046	0,011	0,209	65,06
Минерализация (сумма ионов) (мг/л)	187,21	210,00	11,70	328,00	57,00
Первичная продукция (г С/ м <sup>3</sup> )	40,89	30,45	12,31	179,00	90,42

Учитывая то обстоятельство, что в экосистемах практически отсутствуют линейные связи между компонентами, пришлось отказаться от классических линейных моделей множественной регрессии и использовать современные методы, такие как Data mining и, в частности, одну из процедур — сплайны многомерной адаптивной регрессии (MARSplines) и искусственные нейронные сети (artificial neural networks – ANN). Для расчётов использовалась программная среда Statistica 12. Результатом применения метода MARSplines, в частности, оказалось определение наиболее важных предикторов величины первичной продукции в малых озерах. Таковыми оказались четыре параметра — (1) средняя глубина озера, (2) доля водосбора озера, покрытого лесами и болотами, (3) доля водосбора, отведённого под пашни и (4) концентрация общего фосфора в воде.

Эти характеристики были использованы в качестве предикторов для построения нейронно-сетевых регрессионных моделей. Для построения регрессионных моделей использовалось 90% записей базы данных, оставшиеся 10% данных, выбранных случайным образом, являлись независимой выборкой для оценки качества полученных моделей и точности предсказания величины первичной продукции. Качество моделей оценивалось при помощи величин коэффициента детерминации (R<sup>2</sup>) и средней абсолютной ошибки в процентах (MAPE):

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|O_i - M_i|}{O_i} * 100\%$$

где N – число измерений, O<sub>i</sub> – измеренные значения, M<sub>i</sub> – предсказанные значения

В процессе построения моделей оценивались такие показатели, как производительность обучения, производительность тестирования (показатели тождественные множественному коэффициенту корреляции R), ошибки обучения и тестирования и вид функции активации скрытых нейронов и выходного нейрона (линейная, логистическая, экспоненциальная и гиперболический тангенс).

В результате испытания нейронно-сетевых регрессионных моделей и сравнения их результатов с восемью независимыми выборками были разработаны частные прогностические модели для количественной оценки величины продукции фитопланктона мезотрофных и эвтрофных малых озёр, которые характеризуются следующими показателями точности (табл. 2).

Таблица 2. Оценки качества полученных частных моделей и средняя оценка ( $\bar{x} \pm SE$ ) (мезо- и эвтрофные озёра)

Модели	R <sup>2</sup>	MAPE
1	0,989	18,0%
2	0,967	15,0%
3	0,799	18,0%
4	0,707	15,2%
5	0,962	14,6%
6	0,479	22,6%
7	0,857	10,0%
8	0,910	16,4%
Среднее	0,834±0,12	16,2%±2,5%

Окончательная версия данной регрессионной модели, построенная на всём массиве данных (мезотрофные и эвтрофные озёра), состоит из четырёх входов (указанных выше предикторов), девяти скрытых нейронов с логистической активационной функцией и одного выходного нейрона с линейной функцией (рис. 1). Параметры прогностической модели следующие: R<sup>2</sup> = 0,964, MAPE = 15,1 %

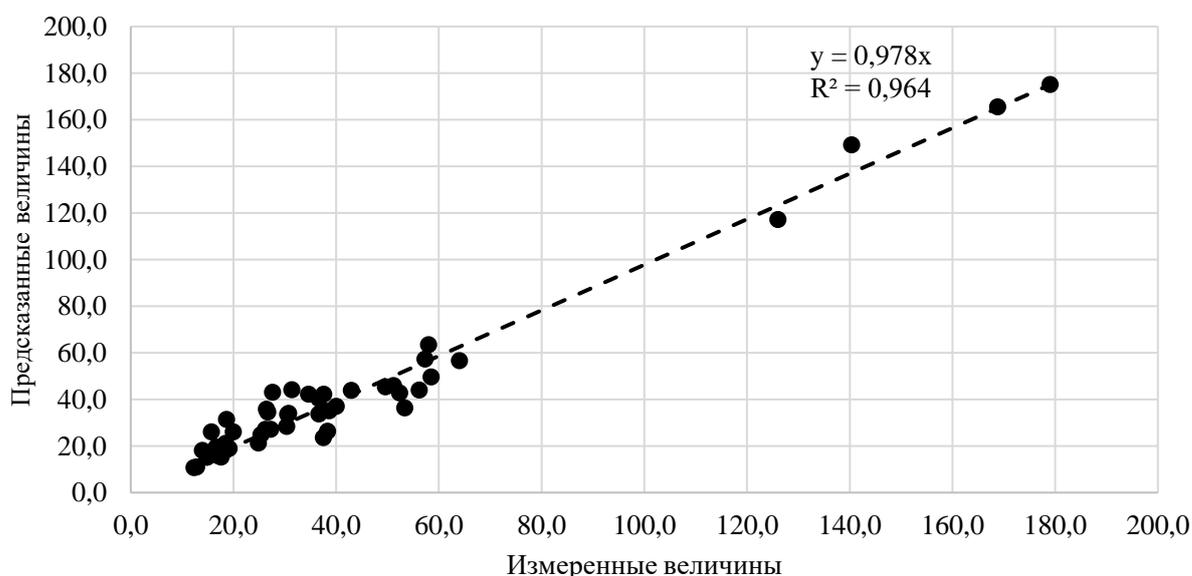


Рисунок 1. Сравнение измеренных и предсказанных величин первичной продукции (г С/ м<sup>3</sup> в сутки) (мезотрофные и эвтрофные озёра)

Результаты трёх испытаний нейронно-сетевых регрессионных моделей, построенных на материале только мезотрофных озёр, представлены в табл. 3.

Таблица 3. Оценки качества полученных частных моделей и средняя оценка ( $\bar{x} \pm SE$ ) для мезотрофных озёр

Модель	R <sup>2</sup>	MAPE
1	0,841	19,0%
2	0,956	10,0%
3	0,990	10,0%
Среднее	0,929±0,04	13,0%±3,0%

Окончательная версия данной регрессионной модели, построенная на всём массиве полных данных только мезотрофных озёр, состоит из четырёх входов (указанных выше предикторов), девяти скрытых нейронов с экспоненциальной активационной функцией и одного выходного нейрона с логистической функцией (рис. 2). Параметры данной прогностической модели следующие: R<sup>2</sup> = 0.930, MAPE = 11.0%.

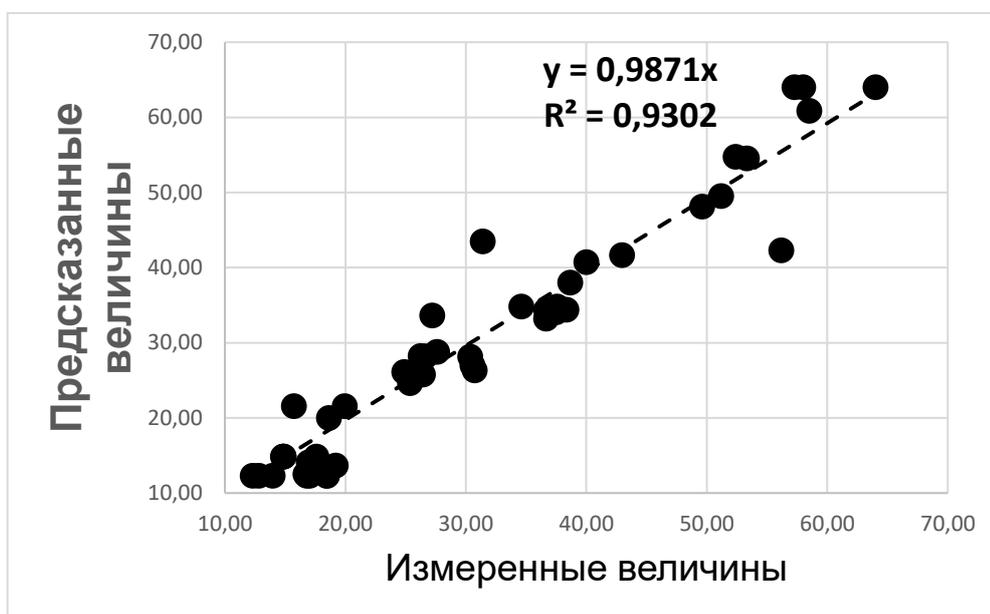


Рисунок 2. Сравнение измеренных и предсказанных величин первичной продукции (г С/ м3 год-1) (мезотрофные озёра)

Достигнутая точность прогнозирования обеих моделей, построенных с использованием искусственных нейронных сетей, оценивается как хорошая (10-20%) (Lewis, 1982).

Таким образом, можно сделать заключение, что эти модели можно рекомендовать для практического использования специалистами лимнологами и ихтиологами для оценки продукционного потенциала малых озёр в пределах указанной территории. Модель сохранена в виде рабочего файла на языке программирования C++.

Работа выполнена на факультете биологии РГПУ им. А.И. Герцена в рамках Направления № 21 «Адаптивные реакции биологических систем на специфические и неспецифические воздействия факторов внешней среды» по теме «Экология сообществ зообентоса озёр, рек, морей и их изменений под действием природных и антропогенных факторов».

#### Список литературы

1. Изменение структуры экосистем озёр в условиях возрастающей биогенной нагрузки. Л.: Наука, 1988. 312 с.
2. Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озёр разных природных зон. М.: Наука, 1984. 130 с.
3. Особенности формирования качества воды в разнотипных озерах Карельского перешейка. Л.: Наука, 1984. 296 с.

4. Реакция экосистем озёр на хозяйственное преобразование их водосборов. Л.: Наука, 1983. 240 с.
5. Трансформация органического и биогенных веществ при антропогенном эвтрофировании озёр. Л.: Наука, 1989. 268 с.
6. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука, 1990. 184 с.
7. Экология зарастающего озера и проблема его восстановления. СПб.: Наука, 1999. 222 с.
8. Lewis C.D. Industrial and Business Forecasting Methods. Butterworths Publishing. London, 1982. 40 p.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ РАЗМЕРОВ РЫБЫ И ОТОЛИТА ПРИ МАРКИРОВАНИИ МОЛОДИ СИГОВЫХ РЫБ

Н.В. Смешливая, С.М. Семенченко

Тюменский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» (Госрыбцентр), г. Тюмень,  
[n.smeshlivaya@gosrc.vniro.ru](mailto:n.smeshlivaya@gosrc.vniro.ru)

Аннотация: исследована взаимосвязь размеров отоликов с длиной молоди пяти видов сиговых рыб: нельмы *Stenodus leucichthys nelma*, пеляди *Coregonus peled*, пыжьяна *C. pidschian*, чира *C. nasus* и муксуна *C. muksun*. Предложен алгоритм и уравнения для расчета средней длины и массы молоди в момент мечения по размерам флуоресцентной ализариновой метки на отолике. Восстановленные размерно-весовые показатели молоди позволяют идентифицировать группы рыб при условии целенаправленного варьирования размерами при мечении.

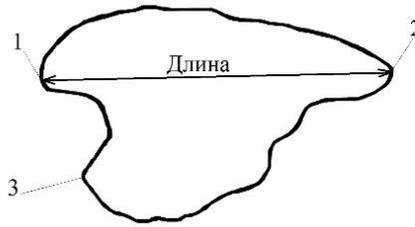
Ключевые слова: сиговые рыбы, отолит, длина тела, мечение, метка, маркирование

Несмотря на значительные масштабы работ по искусственному воспроизводству сиговых рыб в Российской Федерации, оценка их эффективности, как правило, не проводится. Наиболее корректным способом решения данной проблемы является массовое мечение личинок и молоди, выпускаемых с рыбоводных заводов. В пределах одного крупного речного бассейна, кроме естественного воспроизводства, на формирование пополнения популяции могут влиять выпуски молоди с нескольких рыбоводных заводов и питомников, что затрудняет оценку роли каждого из них. В лососеводстве Тихоокеанского бассейна данная задача решена за счёт массового термического или сухого маркирования отоликов (Акинчева, Рогатных, 1996; Мякишев и др., 2019). Однако, для сиговых рыб такие способы маркирования не подходят из-за мелких размеров отоликов в эмбриогенезе и в начале личиночного развития (Wzicitek et al., 2007). Для сиговых рыб наиболее перспективным является мечение отоликов при помощи флуорохромов, в частности, ализаринового красного (Eckmann, 2003; Poczuczyski et al., 2011; Смешливая, Семенченко, 2022, 2023). Однако существующие методы мечения сиговых рыб не позволяют идентифицировать рыб, выпущенных с того или иного предприятия при искусственном воспроизводстве.

Цель данной работы – оценить возможность идентификации групп молоди сиговых рыб, помеченных при разных размерах, за счёт использования функциональной связи между размерами рыбы и её отоликов.

По сиговым рыбам сведения о взаимосвязи размеров отоликов и рыбы отсутствуют.

Работы проводили в лаборатории Тюменского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» (Госрыбцентр) в апреле-июле 2023 и 2024 гг. Материалом для исследования служили личинки, мальки и ранние сеголетки нельмы *Stenodus leucichthys nelma*, пеляди *Coregonus peled*, пыжьяна *C. pidschian*, чира *C. nasus* и муксуна *C. muksun*. Молодь выращивали в аквариальной Тюменского филиала «ВНИРО» в бассейнах мини-УЗВ с кормлением науплиями артемии. Измерение и взвешивание рыб проводили на живом, нефиксированном материале. Массу молоди определяли поштучно при помощи весов AND GH-252 с точностью 0,01 мг после пятисекундного обсушивания на фильтровальной бумаге. Длину рыб измеряли от начала рыла до конца уростиля при помощи окуляр-микрометра стереоскопического микроскопа МБС – 10. Измерение отоликов проводили сразу после препарирования. Работы проводили только с сагитальными отоликами. У каждой особи измеряли только один отолит, выбранный по случайному принципу. Измерение отоликов проводили от рострума до построструма (Stevenson, Campana, 1992) при помощи окуляр микрометра микроскопа Nikon SMZ1270 (рис. 1).



1 – рoстрoм; 2 – пoстрoстрoм; 3 – aнтирoстрoм

Рисунок 1. Схема измерения саггитального отолита сиговых рыб

Измерения проводили с момента вылупления личинок до достижения молодью средней массы 2,2 г и средней длины 5,8 см. Методика мечения молоди сиговых ализариновым красным до таких размеров была отработана ранее (Смешливая, Семенченко, 2023). Мечение проводили методом погружения молоди в раствор ализарина красного с концентрацией 100 и 200 мг/л при экспозиции 4 ч и температуре воды 17 °С. Для регистрации меток использовали флуоресцентный микроскоп Nikon SMZ1270 с осветителем с длиной волны 540 нм. Измерение меток, повторяющих контур отолита при мечении, осуществляли аналогично измерению отолита. За период исследований были определены размерно-весовые характеристики рыб и длина отолитов у 41 экз. нельмы, 35 экз. пеляди, 35 экз. пыжьяна, 30 экз. чира и 50 экз. муксуна.

Видовой специфики формы отолитов у исследованных сиговых рыб не выявлено. По мере роста рыбы длина отолитов последовательно увеличивалась. Между длиной рыбы и длиной отолитов наблюдалась линейная зависимость ( $r = 0,978 - 0,988$ ) (рис. 2). Выборки по видам статистически достоверно не отличались, что не подтверждает видоспецифичность исследуемой взаимосвязи.

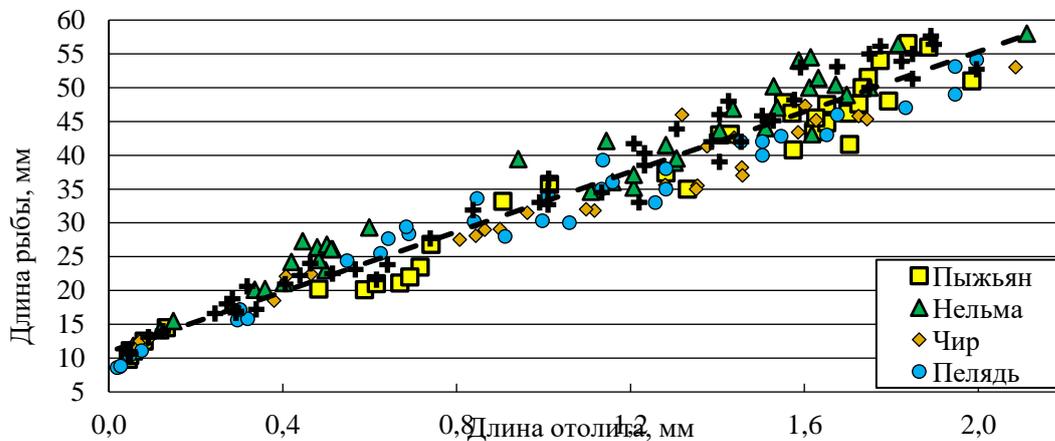


Рисунок 2. Взаимосвязь длины тела и длины саггитального отолита у молоди сиговых рыб

Результаты измерений аппроксимированы линейной функцией (табл. 1):

$$L = a l + b,$$

где  $L$  – длина рыбы, мм;  $l$  – длина отолита, мм;  $a$  и  $b$  – коэффициенты.

Таблица 1. Параметры уравнений зависимости длины молоди сиговых рыб от длины саггитального отолита

Вид	Количество измерений	Коэффициенты		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
Пыжьян	35	22,826	8,990	0,964
Нельма	41	22,394	12,917	0,957
Чир	30	20,313	11,091	0,967
Пелядь	35	21,037	10,625	0,965
Муксун	50	23,744	10,428	0,975
Сиговые	191	22,204	10,919	0,952

Приведённые уравнения позволяют восстанавливать длину молоди при известном размере отолита. Окрасивание отолита ализарином красным «фиксирует» его размеры и форму в виде флюоресцирующей метки, что даёт возможность обратным расчислением получить длину рыбы в момент мечения. Для этого, в случае отсутствия искажений при формировании и регистрации метки, в выше приведенных уравнениях необходимо заменить длину отолита *l* на предварительно измеренную длину метки *l<sub>м</sub>*. Однако сравнение прямых измерений отолитов личинок нельмы и муксуна в момент мечения с размером полученных меток дало существенное несовпадение результатов (табл. 2).

Таблица 2. Результаты сравнения размеров отолита личинок сиговых рыб в момент мечения и полученной метки

Показатель	Вид	
	нельма	муксун
Средняя длина отолита при мечении, мм	0,126±0,006	0,246±0,006
Средняя длина полученной метки, мм	0,169±0,009	0,284±0,020
Коэффициент поправки	0,746	0,866
Количество измерений	10	10

В опыте с нельмой длина метки в среднем оказалась на 25 % больше, чем длина отолита в момент мечения, а у муксуна – на 13 %. Следовательно, регистрируемая метка несколько крупнее по размеру, чем отолит при мечении. Для восстановления его реальной длины необходимо использовать соответствующий поправочный коэффициент (см. таблицу 2). В этом случае уравнение, позволяющее восстановить длину рыбы в момент мечения по длине ализариновой метки на отолите, будет иметь вид:

$$L_m = aKl_m + b,$$

где *L<sub>м</sub>* – длина рыбы в момент мечения, мм; *l<sub>м</sub>* – длина метки на отолите, мм; *a* и *b* – коэффициенты (см. таблицу 1); *K* – поправочный коэффициент, отражающий соотношение фактической длины отолита в момент мечения и длины метки.

Наиболее вероятной причиной эффекта «увеличения» метки по сравнению с отолитом в момент мечения является рассеивание света при его прохождении через ткани отолита, граничащие с флуоресцирующим слоем. В дальнейшем планируется оценить влияние размеров метки и размеров отолита на значение поправочного коэффициента. Для предварительных расчётов предлагается принять *K* = 0,8.

В рыбоводной практике принято ориентироваться не на длину, а на среднюю индивидуальную массу выращиваемой молоди. При необходимости, для восстановления этого показателя в момент мечения целесообразно использовать степенную

функциональную зависимость массы рыб от длины:

$$W_m = q L_m^k,$$

где  $W_m$  – масса рыбы, г;  $L_m$  – длина тела, г;  $q$  и  $k$  – коэффициенты. Параметры уравнений (табл. 3) получены аппроксимацией данных по личикам, малькам и ранним сеголеткам, используемых при измерении отолитов.

Таблица 3. Параметры уравнений зависимости массы от длины молоди сиговых рыб

Вид	Количество измерений	Коэффициенты		
		$q$	$k$	$R^2$
Пыжьян	35	0,0054	3,475	0,983
Нельма	41	0,0053	3,437	0,993
Чир	30	0,0060	3,528	0,980
Пелядь	35	0,0067	3,442	0,987
Муксун	50	0,0056	3,395	0,994
Сиговые	191	0,0059	3,425	0,984

Результаты исследований показали, что размеры ализариновой метки на отолите сиговых рыб позволяют восстановить среднюю длину и массу молоди в момент мечения. Направлено варьируя размерами молоди при мечении можно сформировать группы рыб для последующей идентификации отдельных особей по группам. На этом принципе, в частности, существует возможность маркирования выпускаемой молоди, позволяющего оценить роль отдельных рыбоводных предприятий в процессе воспроизводства.

#### Список литературы

1. Акинчева Е.Г., Рогатных А.Ю. 1996. Опыт мечения лососей на рыбоводных заводах посредством термического маркирования // Вопросы ихтиологии. 1996. Т. 36, № 5. С. 693-698.
2. Мязишев М.С., Иванова М.А., Зеленников О.В. К вопросу о мечении молоди тихоокеанских лососей и эффективности работы рыбоводных заводов // Биология моря. 2019. Т. 45, № 5. С. 342-348.
3. Смешливая Н.В., Семенченко С.М. Использование ализарина красного при мечении эмбрионов и личинок сиговых рыб // Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление: сборник материалов II Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию КамчатНИРО (4–6 апреля 2022 г., Петропавловск-Камчатский). Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2022. С. 240-246.
4. Смешливая Н.В., Семенченко С.М. Мечение молоди муксуна ализарином красным // Лососевые рыбы: биология, воспроизводство, промысел: материалы всероссийской научно-практической конференции (г. Мурманск, 23-24 марта 2023 г.). Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича. 2023. С. 394-401.
5. Eckmann R. Alizarin marking of whitefish, *Coregonus lavaretus* otoliths during egg incubation // Fisheries Management and Ecology. 2003. Vol. 10, № 4. P. 233-239.
6. Stevenson D.K., Campana S.E. Otolith microstructure examination and analysis // Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences. 1992. Vol. 117. 126 p.
7. Poczyczyski P., Koziowski K., Koziowski J., Martyniak A. Marking and return method for evaluating the effects of stocking larval vendace, *Coregonus albula* (L.), into Lake Wigry in 2000-2001 // Archives of Polish Fisheries. 2011. Vol. 19, № 4. P. 259-265.
8. Wzicitek B., Hliwa P., Krol J., Stabinski R., Kozlowski J., Nagiec M., Gomulka P. Optimization of the method for thermal marking of coregonid fish otoliths // Advances in Limnology. 2007. Vol. 60. P. 369-376.

## СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА КОНДОПОЖСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В.С. Смирнова

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск,  
[SmirnovaLera24@yandex.ru](mailto:SmirnovaLera24@yandex.ru)*

*Аннотация: в результате исследования были выявлены высокие количественные показатели развития летнего фитопланктона по всей акватории Кондопожской губы Онежского озера в 2019 г. и 2021 г., за исключением ее внешней части. Анализ многолетних изменений фитопланктона показал увеличение количественных показателей некоторых групп микроводорослей в центральной части залива, что свидетельствует об усилении процесса эвтрофирования в результате поступления биогенных элементов с отходами от форелевых ферм.*

Ключевые слова: водоросли, таксономический состав, количественные показатели, эвтрофирование, ЦБК, садковое форелеводство

Кондопожская губа – северо-западный залив Онежского озера, второго по величине пресноводного водоема в Европе. Одним из главных источников загрязнения залива на протяжении более 90 лет является Кондопожский целлюлозно-бумажный комбинат, расположившийся на побережье вершинной части. В результате длительного загрязнения сточными водами ЦБК произошли значительные изменения в биоценозах Кондопожской губы Онежского озера (Калинкина и др., 2011; Тимакова и др., 2014). Из-за распространения сточных вод в толще воды сформировались три зоны загрязнения: вершинная, центральная и внешняя часть (выход из залива) (Калинкина и др., 2011). Наибольшие показатели развития фитопланктона и его структурные изменения были отмечены в вершинной части Кондопожской губы (Тимакова и др., 2014). В настоящее время на акватории залива интенсивно развивается товарное производство садковой форели (Теканова и др., 2019). В центральной части Кондопожской губы располагается основная часть форелевых ферм. Фитопланктон, являясь первичным продуцентом органического вещества, быстро реагирует на различные изменения факторов среды. Таким образом, цель настоящего исследования являлось изучить современное состояние Кондопожской губы Онежского озера по показателям летнего фитопланктона.

Пробы воды для анализа фитопланктона были отобраны в августе 2019 г. и 2021 г. в различных частях Кондопожской губы Онежского озера: вершинная часть залива (К\_3; К\_4), центральная (К50; К\_6), внешняя (К\_7) и район расположения садковых форелевых хозяйств (СФХ) (KF1; KF2; KF4) (рис. 1). Всего было обработано 16 проб.

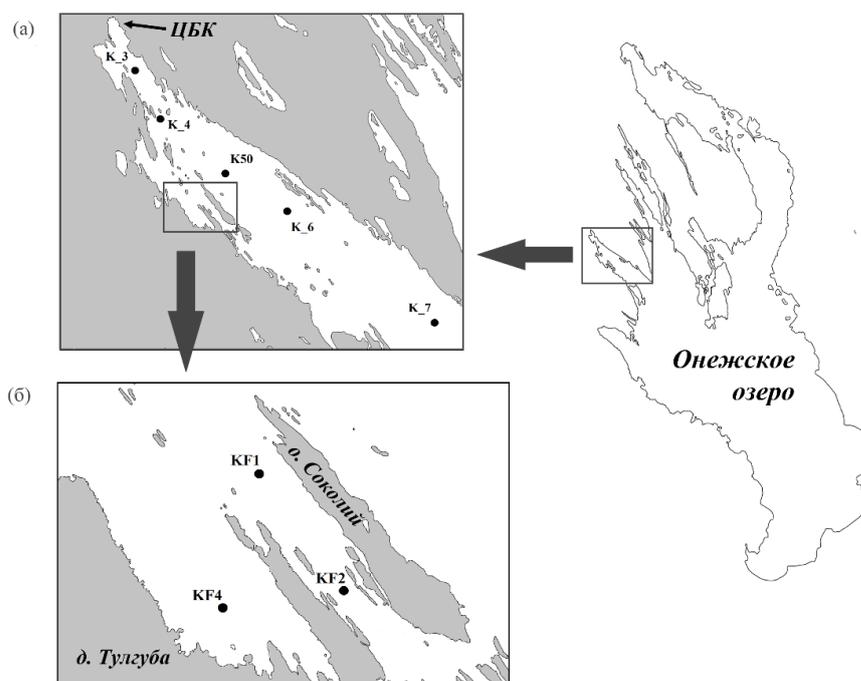


Рисунок 1. Карта-схема станций отбора проб в Кондопожской губе Онежского озера летом в 2019 г. и 2021 г.: (а) – Кондопожская губа; (б) – район расположения ферелевых ферм

Пробы фитопланктона (объемом 0.5л) отбирали с помощью батометра Рутнера. Далее камеральную обработку проб проводили по общепринятым методам в гидробиологии (Федоров, 1979). Для сравнения современных данных с многолетними использовали зарегистрированную базу данных «Планктон пелагиали Онежского озера» (Сярки и др., 2015). Для статистического анализа использовали непараметрический коэффициент ранговой корреляции Спирмена, выполненный в пакете Statistica Advanced 10 for Windows Ru.

В результате исследования на акватории Кондопожской губы выявлено 168 таксона, в том числе, 161 таксонов водорослей рангом ниже рода, 7 таксонов рангом до рода, принадлежащих к 7 систематическим отделам: Bacillariophyta – 57 (33,9 %), Chlorophyta – 47 (27,9 %), Cyanobacteria – 23 (13,7%); Chrysophyta – 26 (15,5 %); Euglenophyta – 6 (3,6 %); Cryptophyta – 4 (2,4 %), Dinophyta – 5 (3 %).

Главными доминантами на всех изученных участках Кондопожской губы Онежского озера являлись виды летних диатомей *Asterionella formosa* Hass., *Fragilaria crotonensis* Kitt., *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz. и главный представитель весенне-осеннего комплекса фитопланктона – *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Sim. Однако, помимо вышеперечисленных в доминантный комплекс входили некоторые виды центральных диатомей, зеленых, золотистых водорослей и цианобактерий (табл. 1).

На момент исследования в фитоценозе по биомассе (В) преобладали диатомовые водоросли (80,3-94,7 %). Исключением является показатели в открытой части залива (К\_7) в 2021 г. (Bacillariophyta – 50,3 %; Chrysophyta – 34,9 %). По численности (N) в основном преобладали Bacillariophyta, Chlorophyta, Chrysophyta и Cyanobacteria (рис.2). В наименьшем количестве присутствовали Dinophyta, Cryptophyta, Euglenophyta (по численности занимали не более 1 %).

Таблица 1. Доминантный комплекс фитопланктона в различных локальных частях Кондопожской губы Онежского озера летом в 2019 г. и 2021 г.

Район Кондопожской губы	Виды-доминанты
Вершинная часть	<i>Aulacoseira subarctica</i> (O. Müll.) Haworth emend Genkal <sup>Bac</sup>
Центральная часть	<i>Aulacoseira subarctica</i> <sup>Bac</sup> , <i>Melosira varians</i> Ag. <sup>Bac</sup> , <i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz. <sup>Bac</sup> , <i>Puncticulata bodanica</i> (Grun.) Håkansson <sup>Bac</sup> , <i>Coenococcus planctonicus</i> Korschik. <sup>Chl</sup>
Район расположения СФХ	<i>Aulacoseira subarctica</i> <sup>Bac</sup> , <i>Melosira varians</i> <sup>Bac</sup> , <i>Cyclotella meneghiniana</i> <sup>Bac</sup>
Внешняя часть	<i>Coenococcus planctonicus</i> <sup>Chl</sup> , <i>Dinobryon divergens</i> Imhof. <sup>Chry</sup> , <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> L. Ralfs. <sup>Cyan</sup> , <i>Gomposphaeria lacustris</i> Chod. <sup>Cyan</sup>

Примечание: Надстрочные обозначения принадлежности видов к отделу: <sup>Bac</sup> – Bacillariophyta; <sup>Chl</sup> – Chlorophyta; <sup>Cyan</sup> – Cyanobacteria; <sup>Chry</sup> – Chrysophyta.

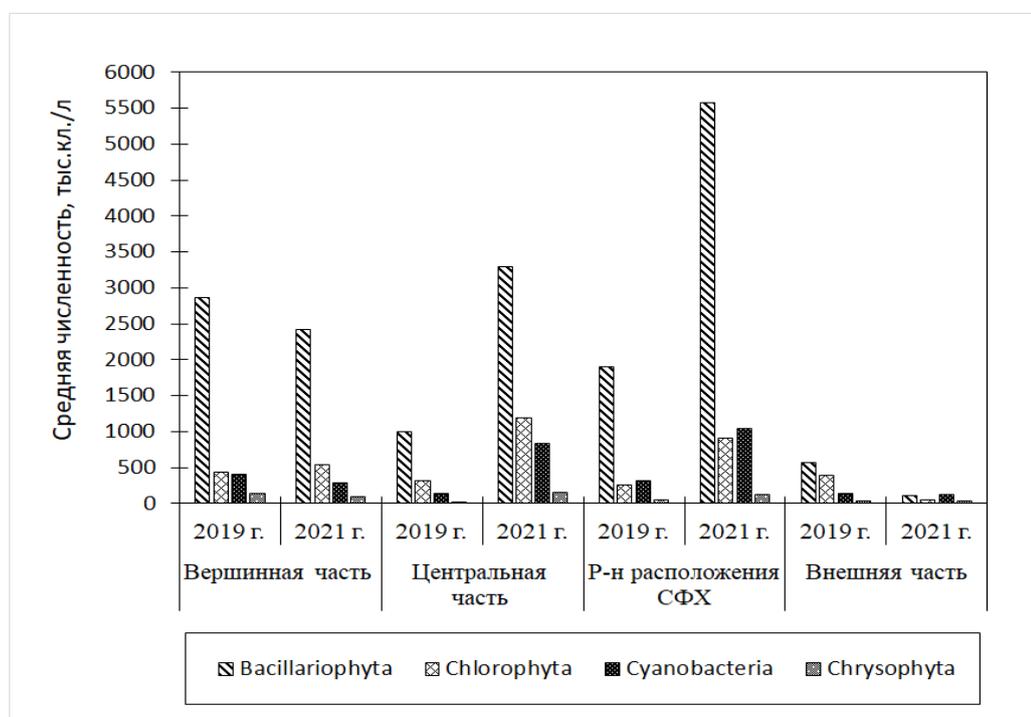


Рисунок 2. Динамика средней численности преобладающих таксономических групп фитопланктона в различных участках Кондопожской губы Онежского озера в период исследования (2019 г. и 2021 г.)

Несмотря на значительное сокращение фосфорной нагрузки от сточных вод ЦБК с 1990-х гг. по настоящее время (109 до 12 т/год) (Литвинова и др., 2021) значимых изменений в сообществе фитопланктона в вершинной части Кондопожской губы не было отмечено ( $p < 0,05$ ;  $n = 14$ ) (табл. 2). Как и ранее количественное развитие микроводорослей этого участка остается на уровне мезо-эвтрофии ( $N_{\max} = 5681$  тыс.кл./л;  $V_{\max} = 5,685$  мг/л) (табл.2).

Таблица 2. Средние количественные показатели развития фитопланктона в исследованных частях Кондопожской губы Онежского озера летом в 2019 г. и 2021 г. в ранний (1993–2017 гг.) и в современный периоды исследования (2019 г. и 2021 г.)

Районы Кондопожской губы	Ранние наблюдения		Современные наблюдения	
	N <sub>tot</sub> (тыс.кл./л)	V <sub>tot</sub> (мг/л)	N <sub>tot</sub> (тыс.кл./л)	V <sub>tot</sub> (мг/л)
Вершинная часть залива	2362±636	2,747±1,13	3618±1077	2,881±1,04
Центральная часть залива	597±119	0,392±0,08	3505±1188	1,851±0,25
Район расположения СФХ	-	-	5104±1260	3,071±0,56
Выход из залива	487±181	0,403±0,23	730±411	0,442±0,33

В прибрежье центральной части Кондопожской губы Онежского озера – в районе расположения СФХ по показателям фитопланктона в 2019 г. и 2021 г. была обнаружена зона эвтрофирования (N<sub>max</sub>=8212 тыс.кл./л; V<sub>max</sub>=5,402 мг/л) (см.табл.2). Формирование этой зоны связано с деятельностью форелевых хозяйств, подтверждением служат обнаруженные в районе расположения СФХ высокие концентрации общего фосфора (26-43 мкг/л – в водной толще; 36-130 мкг/л – в придонных слоях воды) (Теканова и др., 2019; Zobkov et. al., 2022). Количественный уровень развития фитопланктона в этом районе достигал пределов мезо-эвтрофных вод (Китаев, 2007).

В результате сравнения многолетних данных (1993-2017 гг.) с современными (2019 г. и 2021 г.) (табл.2) в центральной пелагической части Кондопожской губы было отмечено увеличение количественных показателей доминантного диатомового комплекса и возрастание численности и биомассы цианобактерий и зеленых водорослей, которые стали субдоминантами сообщества ( $p < 0,05$ ;  $n = 14$ ).

Таким образом, в результате исследования количественных и структурных показателей летнего фитопланктона были отмечено интенсивное развитие фитопланктона по всей акватории залива, за исключением внешней ее части. При анализе многолетних показателей статистически значимое увеличение количественных показателей некоторых групп водорослей было отмечено только в центральной части залива, что может служить о поступлении биогенных элементов с отходами форелевых ферм.

#### Список литературы

1. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.
2. Литвинова И.А., Калинкина Н.М., Теканова Е.В., Макарова Е.М., Ефимова А.Н. Антропогенная нагрузка и биоиндикация состояния Онежского озера (Верхне-Свирского водохранилища). База данных. Свидетельство о государственной регистрации № 2021620975, дата регистрации 17.05.2021. Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук» (RU).
3. Сярки М.Т., Теканова Е.В., Чекрыжева Т.А. Планктон пелагиали Онежского озера. База данных. Свидетельство о государственной регистрации № 2015620274, дата регистрации 13.02.2015. Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (ИВПС КарНЦ РАН) (RU).
4. Федоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: Наука, 1979. 166 с.
5. Теканова Е.В., Рыжаков А.В., Калинкина Н.М., Дмитриева Д.А., Фомина Ю.Ю., Макарова Е.М. Состояние экосистемы Кондопожской губы Онежского озера в условиях многофакторного воздействия // Водные ресурсы: проблемы и пути их решения : Тезисы докладов II международной конференции. Казань, 2008. С. 190-194.
6. Калинкина Н. М., Куликова Т. П., Литвинова И. А., Полякова Т. Н., Сярки М. Т., Теканова Е.В., Тимакова Т. М., Чекрыжева Т. А. Биоиндикация загрязнения вод и донных отложений в Кондопожской губе Онежского озера // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2011. № 3. С. 265-273.

7. Тимакова Т.М., Куликова Т.П., Литвинова И.А., Полякова Т.Н., Сярки М.Т., Теканова Е.В., Чекрыжева Т.А. Изменение биоценозов Кондопожской губы Онежского озера под влиянием сточных вод целлюлозно-бумажного комбината // Водные ресурсы. 2014. Т. 41, вып. 1. С. 74-82.
8. Zobkov M., Zobkova M., Galakhina N., Efremova N., Efremenko N., Kulik N. Data on the chemical composition of Lake Onego water in 2019–2021. 2022. Data in Brief 47. 108079.

## АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ФАУНЕ ГИДРОБИОНТОВ И РЫБ АРАЛЬСКОГО МОРЯ В XX–XXI В.

А.О. Смуров, И.С. Плотников, В.И. Гонтарь, Н.В. Аладин

*ФГБНУ Зоологический институт Российской академии наук (ЗИН РАН),  
г. Санкт-Петербург, [igor.plotnikov@zin.ru](mailto:igor.plotnikov@zin.ru)*

*Аннотация: Аральское море – бессточное соленое озеро в пустынной зоне Средней Азии, терминальный водоем Сырдарьи и Амударьи. До 1960-х гг., до его регрессии, его состояние было условно стабильным. В XX–XXI вв. в фауне произошли вызванные деятельностью человека существенные изменения. Причин этих антропогенных изменений в фауне Арала две: 1) вселение людьми чужеродных видов гидробионтов; 2) рост солености при вызванной деятельностью человека регрессии этого водоема.*

*Ключевые слова: Аральское море, фауна, беспозвоночные, рыбы, вселенцы, соленость*

Огромный личный вклад в изучение Аральского моря внес Лев Семёнович Берг. В течение 1900–1902 гг. он выполнил комплексное исследование Аральского моря. Все сведения об Арале Л.С. Берг (1908) обобщил в своем труде «Аральское море. Опыт физико-географической монографии».

Аральское море – большое бессточное соленое озеро в пустынной зоне Средней Азии на территории Казахстана и Узбекистана, терминальный водоем двух рек – Сырдарьи и Амударьи. До 1960-х гг., до его антропогенной регрессии, его состояние было условно стабильным. Арал состоит из двух основных частей: меньшей северной – Малое море или Малый Арал с несколькими заливами, и большей южной – Большое море или Большой Арал. До современной регрессии Малый и Большой Арал разделял остров Кокарал, а соединяли узкий и мелководный пролив Аузы-Кокарал и широкий, глубокий пролив Берга. Из-за такой структуры котловины, занимаемой Аралом, при регрессии он превращается в группу остаточных водоемов. До регрессии средняя соленость была 10,3‰ (Бортник, Чистяева, 1990). Основным источником воды для Арала – Амударья и Сырдарья, в бассейнах которых с древности развито орошение, забирающее часть речного стока. В XX в. площадь орошаемых земель стала быстро расти, что значительно увеличило безвозвратное изъятие речной воды. Наступивший к началу 1960-х гг. период естественного маловодья, тоже снизил приток речных вод. Водный баланс становится отрицательным, уровень Аральского моря начинает устойчиво снижаться, а соленость – расти (Бортник, Чистяева, 1990; Micklin et al., 2014).

К 1988–1989 гг. уровень упал на 13 м, и средняя соленость достигла 30 ‰. Пересохли соединявшие Малый и Большой Арал проливы, и Аральское море разделилось на 2 терминальных водоема. Падение уровня Малого Арала остановилось, а высыхание Большого Арала продолжилось. Весной 1990 г. уровень Малого Арала поднялся, и начался перелив избытка воды в Большой Арал поверх обсохшего дна пролива Берга. В 1992 г. сток перекрыли плотиной. Уровень Малого Арала повысился, началось постепенное снижение солености (Micklin et al., 2014).

Ихтиофауна Арала имеет низкое видовое разнообразие. Исходно она состояла из 20 видов рыб, из 7 семейств (Никольский, 1940). Карповых рыб было 12 видов, 3 вида принадлежали семейству окунёвых, из других семейств было только по одному виду. В аборигенной фауне отсутствовали морские виды рыб и преобладали пресноводные. Большинство аборигенных рыб является пресноводными. Основу фауны беспозвоночных Аральского моря составляют пресноводные и солоноватоводные виды (Аладин, 1996; Плотников, 2016).

Причин антропогенных изменений в фауне Арала в XX–XXI вв. две: 1) вселение людьми чужеродных видов гидробионтов; 2) рост солености при вызванной деятельностью человека регрессии этого водоема.

Аральское море становится значимым для экономики природным объектом только со второй половины XIX в., после вхождения региона в состав Российской империи, и в XX в. оно становится одним из важнейших рыбопромысловых водоемов (Никольский, 1940). Предложения пополнить ихтиофауну Аральского моря новыми видами промысловых рыб, и таким путем увеличить промысловые уловы, выдвигались еще в конце 1920-х гг. Целесообразность пополнения ихтиофауны обосновывали тем, что при ее низком видовом разнообразии кормовые ресурсы использовались аборигенными рыбами недостаточно эффективно. Вселение в Арал в 1950-х гг. новых видов гидробионтов обосновывали и тем, что запланированное гидростроительство и дальнейшее расширение орошаемых площадей в бассейнах Амударьи и Сырдарьи неизбежно уменьшат их сток, что приведет к росту солености моря, фауна существенно обеднеет, и Арал потеряет значение для рыбного хозяйства. Поэтому следовало вселением солоноватоводных и морских видов сформировать устойчивую к солености биоту (Карпевич, 1975).

Первые предложения по вселению в Аральское море ряда видов беспозвоночных для расширения кормовой базы промысловых рыб относятся к 1930-м гг., когда было предложено акклиматизировать двустворчатых моллюсков *Abra segmentum* и *Mytilaster lineatus*. Позже предлагались и другие акклиматизанты, такие как бокоплав, креветки и краб из Каспия, мизиды, и другие солоноватоводные беспозвоночные из Азово-Черноморского бассейна, Балтики и дальневосточных морей (Карпевич, 1975).

Изначально зоопланктон в Арале служил основной пищей только для малочисленной колюшки *Pungitius platygaster*. В небольшом количестве его потребляли шемая *Chalcalburnus chalcoides* и чехонь *Pelecus cultratus*. Им также питались мальки и молодь преобладавших в ихтиофауне бентосоядных и хищных рыб. Нагрузка на него была небольшой. В Арале не было высоко продуктивных полициклических планктонных Соперода, и более 70% биомассы рачкового зоопланктона создавал малопродуктивный моноциклический *Arctodiaptomus salinus*, так как нагрузка со стороны планктофагов была незначительной (Карпевич, 1975).

В 1929–1932 гг. неудачно пытались акклиматизировать пузанка *Alosa caspia* из Каспия. Хотя попытка вселения в 1932–1934 гг. каспийской севрюги *Acipenser stellatus* в итоге не дала результата, но вместе с ней занесли поражающую жабры осетровых рыб моногенею *Nitzschia sturionis*, которая перешла на аральского шипа *A. nudiventris* и в 1936 г. вызвала массовую его гибель (Догель, Лутта, 1937; Карпевич, 1975). В середине 1950-х гг. при неудачной попытке вселения из Каспия кефалей сингиля *Liza auratus* и остроноса *L. saliens* попутно занесли непромысловых атерину *Atherina boyeri*, рыбу-иглу *Syngnathus abaster* и бычков *Knipowitschia caucasica*, *Neogobius pallasii*, *Neogobius melanostomus*, *Proterorhinus marmoratus*, *Ponticola gorlap* и *P. syrman* (Карпевич, 1975). В 1954–1959 гг. интродуцировали облигатного планктофага салаку из Балтики. Салака, атерина и бычки быстро размножились, резко увеличив нагрузку на низкопродуктивный зоопланктон, и зимой 1960–1961 гг. массовая салаки и атерины погибла от истощения (Карпевич, 1975). В 1958–1960 гг. вселили рыб китайского комплекса (Карпевич, 1975): белый амура *Stenopharyngodon idella*, чёрного амура *Mylopharyngodon piceus*, пёстрого толстолобика *Hypophthalmichthys nobilis*, белого толстолобика *Hypophthalmichthys molitrix*, змеёголова *Channa argus*. Последней успешной плановой акклиматизацией стало вселение в 1979–1987 гг. из Азовского моря камбалы глоссы (Ermakhanov et al., 2012).

Первым вселенцем из беспозвоночных была креветка *Palaemon elegans*, попутно занесенная вместе с кефалями (Карпевич, 1975). Креветка употребляла в пищу и донных беспозвоночных, в том числе являвшегося ценным кормом для рыб бокоплав *Dikerogammarus aralensis*, что, в дальнейшем привело к его исчезновению (Плотников,

2016). Плановые работы по акклиматизации беспозвоночных началось в 1958 г. Из дельты Дона в 1958–1960 гг. в Арал вселили мизид *Paramysis lacustris*, *P. intermedia* и *P. baeri*, но натурализовались только первые 2 вида (Карпевич, 1975; Плотников, 2016). Следующей была полихета *Hediste diversicolor* из Азовского моря, ставшая важным объектом питания взрослых бентосоядных рыб и молоди хищных (Карпевич, 1975). Двустворчатого моллюска *Abra segmentum* вселяли из Азовского моря в 1960, 1961 и 1963 гг. К 1973 г. он распространился по всему морю и стал доминировать в макрозообентосе (Карпевич, 1975; Плотников, 2016). В 1965–1970 гг., для восстановления нарушенного салакой и атериной планктонного сообщества, завезли из Азовского моря копеподу *Calanipeda aquaedulcis*. К лету 1971 г., благодаря высокой плодовитости, она, быстро увеличила численность и расселилась по всему Аралу. Вместе с ней в Арал попали планктонные личинки краба *Rhithropanopeus harrisi*, который расселился только в пределах Большого Арала (Плотников, 2016).

Второй и основной причиной изменений в фауне Аральского моря, является его современная антропогенная регрессия. В 1961–1970 гг. рост солености был пока еще медленным. Изменения в фауне беспозвоночных были, в первую очередь, следствием вселения новых видов беспозвоночных и рыб. В этот период началось очень быстрое снижение численности и биомассы личинок Chironomidae, двустворок *Dreissena* и *Adacna*, а также брюхоногого моллюска *Theodoxus pallasi*. В 1970-х гг. скорость осолонения Арал возросла. основным фактором, воздействующим на фауну, становится рост солености. Она переживает первый кризисный период вследствие перехода через барьерную соленость 12–13 ‰. Исчезает наиболее богатая видами пресноводная составляющая фауны. Перестали встречаться Oligochaeta. К концу 1970-х гг. выпали солоноватоводные двустворки *Adacna* и все мизиды. Несмотря на продолжение роста солености, кризис сменился относительной стабилизацией. Исчезли все *Dreissena* и ветвистоусый рачок *Cercopagis pengoi aralensis*. К 1987 г. соленость Арала достигла второй барьерной солености 27–32 ‰, и фауна беспозвоночных вступила во второй кризисный период (Плотников, 2016), и произошло быстрое сокращение ее видового разнообразия. Исчезли последние сохранявшиеся понто-каспийские виды, к этому времени представленные только ветвистоусыми рачками из Rodonidae. Резко сократилось число видов Ostracoda и коловраток. После второго кризиса наступил новый период относительной стабилизации (Плотников, 2016). К этому времени уже исчезли все 3 вида обитавших в Арале мшанок. Из них *Victorella bergi* – эндемик Арала, а *Amathia imbricata aralensis* – эндемичный подвида.

В середине 1960-х гг. рост солёности повлиял на промысловых рыб, пагубно отразившись на развитии икры, и выживаемости сеголетков (Ermakhanov et al., 2012). С 1971 г. из-за роста солёности замедлился рост взрослых рыб, сокращалась их численность. В начале 1980-х гг. при солёности выше 18 г/л начали погибать и далее исчезли взрослые пресноводные рыбы, которые оставались только в реках Сырдарье и Амударье и в связанных с ними озёрах. Рыбный промысел на Аральском море прекратился (Ermakhanov et al., 2012). К концу 1980-х гг. в Арале сохранились только аборигенная колюшка и вселенцы – бычки, атерина, салака, камбала.

Стабилизация уровня Малого Арала после перекрытия пролива Берга и постепенное снижение солёности позволили пресноводным рыбам вернуться из Сырдарьи.

Стало возможным постепенное обратное вселение многих видов беспозвоночных, выпавших из фауны при осолонении моря. Это – формы, обитающие в Сырдарье и в существующих в ее низовьях озерах, или же виды, имеющие латентные яйца, сохраняющие свою жизнеспособность на протяжении длительного времени (Плотников, 2016).

После отделения Большого Арала его осолонение ускорилось, и к концу 1990-х гг. оно стало гипергалинным. Исчезли рыбы большинство видов беспозвоночных, пережившие первые кризисы, и естественным путем вселился ряд галобионтов, в том числе *Artemia parthenogenetica* (Плотников, 2016).

Работа выполнена при поддержке ФБГУН Зоологический институт Российской академии наук (ЗИН РАН), тема государственного задания 122031100274-7 «Систематизация и изучение динамики биологического разнообразия и функционирования экосистем континентальных водоемов в условиях антропогенного воздействия и изменения климата».

#### Список литературы

1. Аладин Н.В. Соленостные адаптации Ostracoda и Branchiopoda // Труды Зоологического ин-та РАН. 1996. Т. 265. С. 1-206.
2. Берг Л.С. Аральское море. Опыт физико-химической монографии // Известия Туркестанского отд. Русского географического общества. 1908. Т. 5, вып. 9. С. 1-580.
3. Бортник В.И., Чистяева С.П. (ред.) Аральское море. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 7. Л.: Гидрометеоздат, 1990. 196 с.
4. Догель В.А., Лутта А.С. О гибели шипа на Арале в 1936 году // Рыбное хозяйство. 1937. № 12. С. 26-27.
5. Карпевич А.Ф. Теория и практика акклиматизации водных организмов. М.: Пищевая промышленность, 1975. 432 с.
6. Никольский Г.В. Рыбы Аральского моря. М.: Изд-во МОИП, 1940. 216 с.
7. Плотников И.С. Многолетние изменения фауны свободноживущих водных беспозвоночных Аральского моря. СПб: ЗИН РАН, 2016. 168 с.
8. Ermakhanov Z.K., Plotnikov I.S., Aladin N.V., Micklin P. Changes in the Aral Sea ichthyofauna and fishery during the period of ecological crisis // Lakes and Reservoirs: Research and Management. 2012. № 17. P. 3-9.
9. Micklin P., Aladin N.V., Plotnikov I. (eds.) The Aral Sea. The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great Lake. Heidelberg: Springer, 2014. 453 p.

## АНАЛИЗ ДАННЫХ ПО ФИЛОГЕНИИ ВИРУСА ГЕМОРРАГИЧЕСКОЙ СЕПТИЦЕМИИ (VHS) РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ

Е.А. Сони́на, С.Л. Рудакова

ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва, [sonina@vniro.ru](mailto:sonina@vniro.ru), [rudakova@vniro.ru](mailto:rudakova@vniro.ru)

Аннотация: VHSV — чрезвычайно опасный вирус, вызывающий высокую гибель радужной форели и других видов рыб в аквакультуре, что увеличивает экономические потери предприятий. В этой работе представлен обзор филогенетических исследований изолятов VHSV у радужной форели в Северном полушарии.

Ключевые слова: вирусная геморрагическая септицемия, радужная форель, генотип, изоляты, филогения

Цель этой работы: провести анализ литературных данных по исследованию распространения VHSV (вируса геморрагической септицемии) радужной форели на основании результатов филогенетических исследований.

VHS – это заболевание, вызываемое одноименным вирусом VHSV, который принадлежит к роду *Novirhabdovirus* семейства *Rhabdoviridae*. Это оболочечный одноцепочечный вирус с отрицательной полярностью РНК, длиной и шириной соответственно 170-180 нм и 60-70 нм. Заболевание может приводить к серьезным экономическим потерям в аквакультуре, вплоть до гибели 100 % молоди (Walker et al., 2015).

Вирус передается горизонтально от рыбы к рыбе через воду и вертикально от родителей потомству через икру. Оптимальная температура возникновения болезни у молоди составляет 9-12 °С. Характерные внешние признаки заболевания: экзофтальм, кровоизлияния в мышечной ткани, жабрах, глазах и внутренних органах, вздутие живота, потемнение кожи, общая анемия (Vennerström et al., 2020).

В России нет информации по распространению и филогенетическим исследованиям этого вируса, авторам удалось найти только отрывочные данные о выделении и идентификации VHSV в некоторых хозяйствах нашей страны (Завьялова и др., 2021). Откуда вирус был завезен в Россию остается неизвестным, поскольку филогенетических исследований не проводили. Понимание источника проникновения вируса в каждом конкретном случае поможет разработать меры профилактики и контроля по предотвращению вспышек VHS и сохранения здоровья выращиваемой рыбы.

Все использованные в работе источники данных – это зарубежные статьи. При филогенетических исследованиях изолятов вируса VHSV было выделено четыре основных генотипа (I, II, III и IV) и девять подтипов (Ia-Ie и IVa-IVd), которые четко коррелируют с географическим распространением. Так у радужной форели отмечены следующие генотипы: Ia (обнаружен в пресных водоемах континентальной Европы, именно он является наиболее распространенным у радужной форели), Ib (обнаружен в Балтийском море побережье Швеции), Ic (обнаружен в пресноводных водоемах Дании), Id (обнаружен в 2000 г. в море близ берегов Финляндии), Ie - (обнаружен в Грузии и Турции в Черном море), генотип III (был диагностирован в 2007 г. в море у побережья Норвегии) (Infection..., 2021).

Геном VHSV состоит из 11158 нуклеотидов, который был полностью секвенирован. Он кодирует 5 структурных белков: нуклеопротеин N, фосфопротеин P, матричный белок M, гликопротеин G, полимеразу L, - и дополнительный неструктурный невирионный белок NV. Гены расположены в порядке 3'-N-P-M-G-NV-L-5' (Schutze..., 1999). Согласно исследованиям Байлона и Мериора (Baillon et al., 2020) в регуляции вирулентности играют роль маркеры R116S в белке NV и маркеры K46G и A241E в белке N.

Первая вспышка VHS радужной форели была зарегистрирована в 1950 г. в Дании в деревне Эгтвед, где первоначально был выделен вирус из молоди радужной форели (Jensen, 1965).

На основании филогенетических исследований был проведен анализ развития эпизоотий 1971-1999 гг. во Франции. Было показано, что все изученные изоляты VHSV (всего 63 изолята), за исключением L59X, принадлежат к европейскому генотипу I. Таким образом, велика вероятность, что вирус передавался из хозяйства в хозяйство за счет воды или перевозок зараженной молоди. Только один изолят (L59X) принадлежал к генотипу II, выделенному из прибрежных вод Британских островов. Что может указывать на его изолированное попадание в страну с посадочным материалом или другим путем (Thiéry et al., 2002).

Согласно филогенетическим исследованиям в Норвегии в Северном море в 2007 г. выделили изолят FA28.11.07 из морских рыб таких, как норвежская щука *Trisopterus esmarkii*, пикша *Melanogrammus aeglefinus*, мерланг *Merlangius merlangus*. Этот изолят стал первым в новом генотипе III VHS. Генетическая последовательность данного изолята идентична с изолятом NO-2007-50-385, который вызвал вспышку VHS у радужной форели, выращенной на морских фермах (Dale et al., 2009). Источник вируса не был идентифицирован, наиболее вероятно, что вирус попал на хозяйство из моря (Duesund et al., 2010).

При вспышке в 2014-2015 гг. на фермах в шести провинциях Северного и Западного регионов Ирана погибло более 60% выращиваемой радужной форели в 16 пресноводных хозяйствах. Ахмадивант и соавторы (11,12) считают, что вирусы, обнаруженные в Иране, произошли от европейских серотипов. Таким образом, филогенетические исследования изолятов из Ирана показали, что основной причиной возникновения VHS на рыбноводных фермах является импорт оплодотворенной икры из европейских стран.

В системе пресных вод Великих озер в США (озеро Сент-Клэр), где, в том числе обитает радужная форель, в 2003 г. был выделен VHSV из щуки-маскинонга, изолят является представителем североамериканского генотипа IV VHS, однако у него есть отличия, что предполагает его происхождение от морских видов рыб, обитающих в США и Канаде. Предполагают, что вирус был занесен через реку Святого Лаврентия. При этом в 1994 г. около побережья Канады был выделен изолят из черного палтуса, *Reinhardtius hippoglossoides* (Walbaum), который был отнесен к генотипу III (Elsayed et al., 2006), который также может быть переносчиком патогена в пресные воды Великих озер.

Эйнер-Дженсен и соавторы (Einer-Jensen et al., 2004) предполагают, что причиной появления новых изолятов, нетипичных для данной территории, может быть практика кормления сырой морской рыбой в континентальной Европе. Так, например, в Европе был обнаружен изолят генотипа Ib (JP-KRRV9601), полученный из выращенной на ферме в Японии японской камбалы *Paralichthys olivaceus*.

В настоящее время не зарегистрировано ни одного случая вируса VHS в Южном полушарии (Skall, Olesen, 2015). Поэтому необходимы строгие правила и мониторинг ввозимой икры рыб, чтобы предотвратить возникновение и распространение VHS на территориях свободных от вируса (Ahmadivanda et al., 2016)

Филогенетический исследования VHSV позволили не только дифференцировать вирус на геногруппы, но и определить пути распространения заболевания и локализацию первоначального природного очага инфекции.

#### Список литературы

1. Завьялова Е.А., Дрошнев А.Е., Гулюкин М.И. Вирусная геморрагическая септицемия // Руководство по вирусологии. 2013. С. 1128-1130.
2. Ahmadivanda S., Soltania M., Mardanib K., Shokrpoorc S., Rahmati-Holasooa H., Mokhtaria A., Hasanzadeh R. Acta Tropica Isolation and identification of viral hemorrhagic septicemia virus(VHSV) from farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in Iran // 2016. Vol. 156. P. 30-36.

3. Dale OB, Orpetveit I, Lyngstad TM, Kahns S, Skall HF, Olesen NJ, Dannevig BH: Outbreak of viral haemorrhagic septicaemia (VHS) in seawater-farmed rainbow trout in Norway caused by VHS virus Genotype III // *Dis Aquat Org.* 2009. Vol. 85. P. 93-103.
4. Einer-Jensen K., Ahrens P., Forsberg R. & Lorenzen N. Evolution of the fish rhabdovirus viral haemorrhagic septicaemia virus // *Journal of General Virology.* 2004. Vol. 85. P. 1167-1179.
5. Elsayed E., Faisal M., Thomas M., Whelan G., Batts W. & Winton J.R. Isolation of Viral Hemorrhagic Septicemia virus from muskellunge, *Esox masquinongy* (Mitchill), in Lake St Clair, Michigan, USA reveals a new sublineage of the North American genotype // *Journal of Fish Diseases.* 2006. Vol. 29. P. 611–619.
6. H. Duesund, S. Nylund, K. Watanabe, K. F Ottem, A. Nylund Characterization of a VHS virus genotype III isolated from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) at a marine site on the west coast of Norway // 26 January 2010
  1. Infection with viral haemorrhagic septicaemia virus // *Manual of diagnostic tests for aquatic animals.* 2021. Chapter 2.3.10.
7. L. Baillon, E. Mérour, J. Cabon, L. Louboutin, E. Vigouroux, A.L. Farias Alencar, A. Cuenca, Y. Blanchard, N. Jørgen Olesen, V. Panzarin, T. Morin, M. Brémont and S. Biacchesi The Viral Hemorrhagic Septicemia Virus (VHSV) Markers of Virulence in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) // *Frontiers in Microbiology.* 20 October 2020.
8. M. H. Jensen Research on the virus of Egtved disease // 10.08.1965 r.
  1. Schütze H, Mundt E, Mettenleiter TC Complete genomic sequence of viral hemorrhagic septicemia virus, a fish rhabdovirus // *Virus Genes.* 1999. Vol. 19. P. 59-65
9. Skall HF, Olesen NJ VHS virus-present situation. Paper presented at the DAFINET and profish workshop // University of Copenhagen, København. 17-18 Nov 2015.
10. Thiéry R., de Boisséson C., Jeffroy J., Castric J., de Kinkelin P., Benmansour A. Phylogenetic analysis of viral haemorrhagic septicaemia virus (VHSV) isolates from France (1971–1999) // 2002. Nov 7. Vol. 52(1). P. 29-37
  1. Vennerström P, Maunula L, Välimäki E, Virtala AM Presence of viral haemorrhagic septicaemia virus (VHSV) in the environment of virus-contaminated fish farms and processing plants. // *Dis Aquat Org.* 2020. Vol. 138. P. 145-154.
2. Walker PJ, Firth C, Widen SG, Blasdel KR, Guzman H, Wood TG, Vasilakis N Evolution of genome size and complexity in the Rhabdoviridae // *PLoS Pathog.* 2015. Vol. 11. e1004664.
11. Zorriehzahra M, Kakoolaki S, Mehrabi M, Sepahdari A, Ghasemi M, Yarmohammadi M, Ghiasi M Identification of some health indicators related to WOAHP notifiable viral diseases in Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) based on the strategic plan for producing Specific Pathogen Free (SPF) broodstock in Iran // *SAHMJ* 11.2019. Vol. 5. P. 71-82.

## ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА В ОРГАНИЗМЕ РЫБ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Е.А. Степаненко, И.В. Волкова, В.А. Чаплыгин

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет»,  
г. Астрахань, [Liza\\_10.03.97@mail.ru](mailto:Liza_10.03.97@mail.ru)*

*Аннотация: работа содержит результаты определения железа в органах и тканях (мышечная ткань, печень, гонады, жабры) каспийского рыбеца (*Vimba vimba persa*) и кутума (*Rutilus frisii kutum*). Материалы были собраны в осенний период 2022-2023 годов в средней части Каспийского моря. У исследованных особей было отмечено преимущественное накопление металла в печени. Минимальные концентрации у рыбеца обнаружены в мышцах, у кутума – в гонадах.*

Ключевые слова: аккумуляция металла, железо, ткани, промысловые виды, органы, концентрация

Интенсификация человеческой деятельности существенно ухудшает водохозяйственную, рыбохозяйственную и рекреационную функции водных объектов, оказывает негативное влияние на биоразнообразие всех экосистем, включая устойчивые, с высоким уровнем самоочищения (Исеналиева и др., 2014).

Чрезвычайную остроту в последние годы приобрела проблема сохранения экологического здоровья уникального природного объекта, каким является Каспийское море. В последние десятилетия экосистема Каспийского моря претерпевает изменения, вызванные воздействием климатических, геологических и антропогенных факторов. Работы по добыче нефти, а также реки, впадающие в Каспийское море, являются основными источниками загрязнения (Гаджимурадов, 2014).

Среди огромного количества поллютантов особое значение имеют тяжелые металлы, источником которых могут служить различные компоненты промышленных отходов, привнесенные в воды Каспия с речными стоками. Некоторые металлы в адекватной концентрации важны для гидробионтов (входят в состав структур и веществ, обеспечивающих биохимические процессы в организме). Например, железо в небольших концентрациях является жизненно необходимым металлом, но при его чрезмерном накоплении могут начаться процессы, способствующие нарушению гомеостаза в организме (Гуцуляк, Васильева, 2016).

В сложившихся экологических условиях биота является наиболее уязвимым и наименее защищенным компонентом в Каспийском бассейне. Изучение микроэлементного состава органов и тканей промысловых видов рыб Каспийского моря в условиях техногенеза биосферы является одним из актуальных направлений биогеохимических исследований (Ершова, 2021).

Объектами исследования являлись каспийский рыбец (*Vimba vimba persa*) и кутум (*Rutilus frisii kutum*). Пробы были отобраны в Средней части Каспия, осенью 2022-2023 гг. Исследования проводились на базе кафедры «Гидробиология и общая экология» ФГБОУ ВО Астраханский государственный технический университет.

Предварительная подготовка проб осуществлялась в соответствии с ГОСТ 26929-94. Определение железа проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии в соответствии с ГОСТ 30178-96. В работе использовали атомно-абсорбционный спектрофотометр Hitachi 180-50.

Статистическую обработку данных проводили при помощи программного продукта Microsoft Office Excel 2019.

В работе представлены результаты исследований концентрации железа в мышечной ткани, печени, гонадах и жабрах рыб (рис.).

Преимущественное накопление металла наблюдалось в печени рыб: 491,17 мг/кг сухого вещества (каспийский рыбец (*Vimba vimba persa*)) и 586,64 мг/кг сухого вещества (кутум (*Rutilus frisii kutum*)). Что, вероятно, связано со способностью печеночного протеина апоферритина аккумулировать до 23 % данного элемента к сухому веществу. Кроме того, клетки печени и купферовские клетки являются резервом железа в организме, накапливая его в виде ферритина (Войнар, 1960; Чаплыгин и др., 2020).

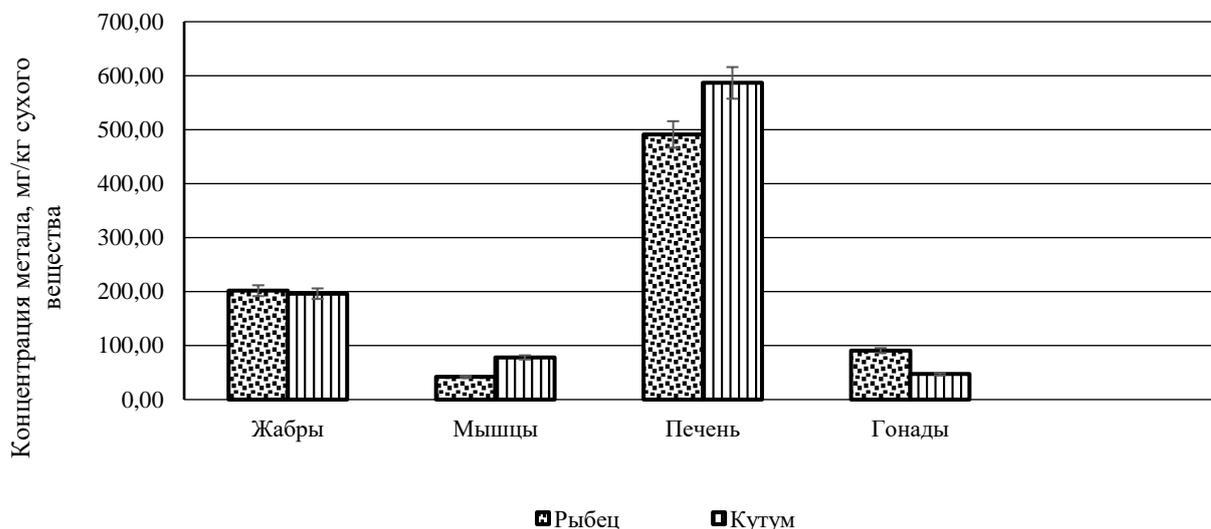


Рисунок. Содержание Fe в разных органах тканей рыб (каспийский рыбец (*Vimba vimba persa*)) и кутум (*Rutilus frisii kutum*)

Концентрация металла в жабрах составляла 201,67 мг/кг и 196,12 мг/кг сухого вещества у рыбака и кутума, соответственно.

В гонадах рыбака отмечалось большее (в 1,9 раза) содержание железа (90,81 мг/кг сухого вещества) по сравнению с концентрацией в гонадах кутума (47,16 мг/кг).

Мышечная ткань рыбака содержит 42,23 мг/кг сухого вещества, что в 1,8 раз меньше концентрации металла в мышечной ткани кутума (78,01 мг/кг сухого вещества).

Последовательный ряд возрастания концентрации железа в органах и тканях каспийского рыбака имеет следующий вид: Мышцы < Гонады < Жабры < Печень; в органах и тканях кутума: Гонады < Мышцы < Жабры < Печень

Сравнительный анализ содержания железа в печени в зависимости от половой принадлежности показал, что самцы кутума (660,48 мг/кг сухого вещества) и рыбака (531,14 мг/кг сухого вещества) накапливают железо интенсивнее, чем самки (кутума – 512,8 мг/кг, рыбака – 451,19 мг/кг сухого вещества).

Содержание металла в других органах не является показательным, так как разница между результатами незначительная. Самки и самцы аккумулируют железо в них одинаково.

#### Список литературы

1. Войнар А. И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. М.: Высш. шк., 1960. 544 с.
2. Гаджимурадов Г.Ш. Влияние токсикантов на репродуктивную систему рыб – представителей различных семейств в водоемах Дагестанской части Среднего Каспия // Рыбное хозяйство. 2024. № 1. С. 21-32. DOI: 10.37663/0131-6184-2024-1-21-32

3. ГОСТ 30178-96 Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. М: Стандартформ, 2010. 8 с.
4. ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов [Raw material and foodstuffs. Preparation of samples. Decomposition of organic matters for analysis of toxic elements]. М.: Изд-во стандартов, 2002. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200021120> (дата обращения: 23.08.2022).
5. Гуцуляк С.А., Васильева Л.М. Содержание тяжелых металлов в организме бычковых в российской зоне Северного Каспия // ТППП АПК. 2016. №2 (10). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-tyazhelyh-metallov-v-organizme-bychkovyh-v-rossiyskoy-zone-severnogo-kaspiya> (дата обращения: 10.09.2024).
6. Ершова Т.С., Зайцев В.Ф., Чаплыгин В.А., Канбетов А.Ш. Видовые особенности распределения микроэлементов в органах и тканях некоторых видов сельдевых (Clupeidae) Каспийского моря // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2021. № 1. С. 100-106. DOI: 10.24143/2073-5529-2021-1-100-106.
7. Исеналиева Ж.Н., Волкова И.В., Нгуен Т.Н. Гидрохимические и гидробиологические исследования некоторых водных объектов дельты реки Волги // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2014. № 2. С. 27-36. EDN SFNHLF.
8. Чаплыгин В.А., Хурсанов А.С., Ершова Т.С., Зайцев В.Ф. Видовые особенности накопления металлов в организме русского (*Acipenser gueldenstaedtii*, Brandt, 1833) и персидского (*Acipenser persicus*, Borodin, 1897) осетров Каспийского моря // Рыбное хозяйство. 2020. № 6. С. 47-52. DOI: 10.37663/0131-6184-2020-6-47-52.

## ОЦЕНКА РЫБОПРОДУКТИВНОСТИ МАЛЫХ ОЗЕР КАРЕЛИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЛАНСОВОЙ МОДЕЛИ

М.Т. Сярки, А. И. Сидорова, Ю. Л. Сластина

*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН,  
г.Петрозаводск, [MSyarki@yandex.ru](mailto:MSyarki@yandex.ru)*

*Аннотация: возросшее значение Республики Карелия как рекреационной зоны с развитием любительского и спортивного рыболовства усиливает актуальность рационального использования биоресурсов водоемов. Для оценки рыбопродуктивности была использована масс-балансовая модель В.В. Бульона, которая отражает наиболее общие закономерности распределения органического вещества и энергии в трофических сетях озерной экосистемы. Была проведена верификация модели по гидрохимическим и гидробиологическим показателям (биомасса фитопланктона, зоопланктона, макрозообентоса) озер (Крошнозеро, Урозери). Сравнение эмпирических данных с модельными расчетами показало хорошую сходимость. Было показано, что адекватность модели в описании водоемных процессов позволяет использования ее как инструмента для оценки рыбопродуктивности различных водоемов.*

*Ключевые слова: продукционно-деструкционные процессы, трофическая сеть, трофические звенья, планктон, бентос*

В Республике Карелия расположено свыше 60 тысяч озер и водоемов, от Великих озер Европы до больших, средних и малых озер (Озера Карелии, 2013). В последние годы выросло значение Карелии как рекреационной зоны с активным развитием любительского и спортивного рыболовства. Возросла актуальность оценок рыбопродуктивности различных водоемов.

Внутри водоемная трансформация вещества и энергии подчиняется общим законам, подобным фундаментальным законам физики и химии. С 60-х гг. прошлого века продолжается программа изучения продукционно-деструкционных процессов (Алимов и др., 2013) и с тех пор накоплено большое количество информации о водоемных процессах, которые формализованы в многочисленных имитационных и регрессионных моделях (Китаев, 2007). Одним из удачных примеров служит масс-балансовая модель трансформации вещества и энергии созданная В. В. Бульоном, которая отражает наиболее общие закономерности синтеза и распределения органического вещества и энергии в трофических сетях озерной экосистемы (Бульон, 2005, 2017, 2018). Модель использует закономерности, полученные при анализе данных по озерам северной и восточной Европы, Белоруссии и европейской части России и выраженные в регрессионных уравнениях (Häkanson, Boulion, 2002).

В работе использовался вариант модели с 5 входными параметрами (широта, средняя глубина, максимальная глубина, содержание общего фосфора и цветность) (Бульон, 2017). Точечная модель отражает потоки органического вещества и энергии в ккал/м<sup>2</sup>·год. Для пересчета энергетических единиц в биомассу применялись общепринятые коэффициенты.

На основе комплексных гидробиологических и гидрохимических исследований была проведена верификация модели по показателям различных звеньев продуцентов и консументов в озерах различного типа: ультраолиготрофного световодного озера Урозери и темноводного мезотрофного озера Крошнозеро (Syarki et al., 2023). Гидробиологические и гидрохимические исследования проводились по стандартным методикам. В исследованиях были проведены сезонные съемки на разных горизонтах. Анализ данных позволил провести корректное пространственно-временное осреднение величин, для сравнения с модельными расчетами.

Для расчетов по озеру Крошнозеро использовались входные данные (широта 61,6°, средняя глубина 6 м, максимальная глубина 13 м, содержание общего фосфора 62 мкг/л, цветность 67 град. Pt) (табл.1).

Таблица 1. Эмпирические и модельные показатели по оз. Крошнозеру

Величина	Эмпирические данные	Модельные данные
Прозрачность, м	1	1,1
Хлорофилл <i>a</i> ,	21	21,1
Биомасса фитопланктона, г/м <sup>3</sup>	2 (1,4-2,2)	2,1
Биомасса зоопланктона, г/м <sup>3</sup>	3 (2-4)	2,0
Биомасса бентоса, г/м <sup>2</sup>	6,2 (0,2-14,3)	10,2
Рыбопродукция, кг/га	-	23,4
Возможные выловы, кг/га	-	8

Для расчетов по озеру Урозеро использовались входные показатели (широта 61,9°, средняя глубина 12 м, максимальная глубина 35 м, содержание общего фосфора 6 мкг/л, цветность 5 град. Pt) (табл. 2).

Таблица 2 – Эмпирические и модельные показатели по оз. Урозеро

Величина	Эмпирические данные	Модельные данные
Прозрачность, м	10	6
Хлорофилл <i>a</i> ,	1,2 (1,1-2,0)	1,04
Продукция фитопланктона, ккал/м <sup>2</sup> · сезон	252*	243
Биомасса фитопланктона, г/м <sup>3</sup>	0,28 (0,14-0,65)	0,27
Биомасса зоопланктона, г/м <sup>3</sup>	0,47 (0,04-0,91)	0,26
Биомасса бентоса, г/м <sup>2</sup>	2,26	3,35
Рыбопродукция, кг/га	-	10,5
Возможные выловы, кг/га	-	3,6

\*Теканова, 2019

Сравнение эмпирических данных с модельными расчетами показало их сходство, даже для озера Урозеро, с особыми условиями для его экосистемы. Понятно, что из-за специфических характеристик озер и различий в пространственно-временных масштабах наблюдаются определенные расхождения. Но в данном случае даже величины одного порядка свидетельствуют об адекватности модели. Модель отражает даже изменение структуры рыбного сообщества и рыбопродукции при возрастании трофии. Так в оз. Урозеро рыбопродукция создавалась за счет планктофов на 54 %, бентофагов на 42 % и хищных на 7 %. В мезотрофном оз. Крошнозере роли несколько меняются, так планктофаги создают 39 %, бентофаги 47 %, а роль хищных позростает до 14 %.

Комплексное описание водоемных процессов позволяет использовать модель в различных направлениях: общее состояние экосистем в разнотипных озерах, оценка рыбопродуктивности, процессы эвтрофирования и влияние аллохтонного ОВ (через цветность воды), оценки изменения состояния экосистемы и соотношение звеньев при организации водохранилищ (изменение средних и максимальных глубин водоемов и формы котловины), оценка баланса, потребления и выделения углерода и CO<sub>2</sub> в водных экосистемах, оценки биотического углерода в осадконакоплении и т.д.

Сравнение эмпирических данных с модельными расчетами показало хорошую сходимость. Было показано, что адекватность модели в описании водоемных процессов с учетом различных факторов морфометрии котловины, свойств водосборов, биогенной нагрузки и т.д., позволяет использовать ее как инструмент для оценки рыбопродукции различных водоемов.

#### Список литературы

1. Алимов А.Ф., Богатов В.В., Голубков С. М. Продукционная гидробиология. 2013. М.: Наука, 344 с.
2. Бульон В.В. Моделирование потоков энергии в озерных экосистемах как инструмент гидробиологических исследований // Водные ресурсы. 2005. Т. 32, № 3. С. 361-370.

3. Бульон В.В. Два варианта балансовой модели для прогноза биопродуктивности водных экосистем // Водные ресурсы. 2017. Т. 44, № 6. С. 641-652.
4. Бульон В.В. Биотический поток вещества и энергии в системе «озеро и его водосбор» // Успехи современной биологии. 2018. Т. 138, № 5. С.503-515.
5. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.
6. Теканова Е.В. Современное состояние экосистемы озера Урозера (Карелия) по продукционно-деструкционным показателям // Труды Карельского научного центра РАН. 2019. № 5. С.83-89. doi:10.17076/eco980
7. Озера Карелии. Гидрология, гидрохимия, биота. Справочник / под ред. Н.Н. Филатова, В.И. Кухарева. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 468 с.
8. Häkanson, L. Boulion V.V. The Lake Foodweb – modelling predation and abiotic/biotic interactions. Leiden: Backhuys Pablischers. 2002. 344 p.
9. Syarki M., Sidorova A., Georgiev A., Slastina J. Biological resources of Lake Kroshnozero (North-West of Russia) // E3S Web of Conferences 420, 09007. 2023 EBWFF2023 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342009007>

## ФИТОПЛАНКТОН РЕКИ 1-Я ГУСЕЛКА (САРАТОВСКАЯ ОБЛАСТЬ) В ОСЕННИЙ ПЕРИОД

Д.В. Тарасов\*, В.В. Соляников\*\*, М.В. Степанов\*

\*Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (СГУ), г. Саратов, [denis.tarasov0356@gmail.com](mailto:denis.tarasov0356@gmail.com), [stepanovmv\\_69@mail.ru](mailto:stepanovmv_69@mail.ru)

\*\*Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, [lacrimas.777@mail.ru](mailto:lacrimas.777@mail.ru)

Аннотация: в работе приведены результаты альгологического исследования реки 1-ая Гуселка города Саратова. Проведен сравнительный анализ проб, собранных в сентябре 2023 года, с трёх участков реки. Обнаружено 22 вида водорослей, из них 17, относящихся к отряду Ochrophyta. Выявлены доминирующие, субдоминирующие виды фитопланктона на протяжении исследуемого участка реки.

Ключевые слова: фитопланктон, малые реки, урбанизированные ландшафты, 1-я Гуселка, ООПТ Природный парк «Кумысная поляна», Саратовская область

В настоящее время одними из самых уязвимых экосистем к антропогенным воздействиям являются малые реки. Они представляют собой водоёмы с водосбором не свыше 2000 м<sup>2</sup> и длиной до 100 км. По сравнению с большими реками в гидро-экологическом отношении изученность малых рек наиболее слаба (Хныкина, 2016).

К малым рекам Нижневолжского бассейнового округа Саратовской области относится 1-я Гусёлка, протекающая в пределах г. Саратов и дачных поселков. Длина её водотока равна 12 км, а водосборная площадь составляет 87,7 км<sup>2</sup>. В километре от устья в 1-ю Гусёлку слева по течению впадает 2-я Гусёлка. Длина её составляет также около 12 км. Площадь водосбора – 36,6 км<sup>2</sup> (Буркова, 2008). Вследствие небольших размеров своих водосборов водотоки р. Гуселка быстро реагируют на изменение антропогенной нагрузки. В реку поступают недоочищенные стоки промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства и транспорта. Значительное количество загрязняющих веществ поступает в р. Гусёлка с территории города с талыми водами, а также с несанкционированных свалок, которые расположены вдоль берега. При этом наблюдается эвтрофирование водоема, которое влечет за собой бурный процесс увеличения численности фотосинтезирующих организмов.

Фитопланктон в качестве биологического индикатора выступает наиболее информативным, так как один из первых реагирует на незначительные изменения состояния водной среды (Москалева, Старобогатова, 2020). Это проявляется, прежде всего, в изменении таксономического состава (Кадастровый..., 2024). Являясь продуцентом биогидроценозов, фитопланктон производит первичную биомассу экосистем и участвует в круговороте биоэлементов. Помимо этого, представители данной группы могут оказывать и негативные воздействия на сообщества, такие как выработка токсинов и являться причиной заморов водоема.

Цель данного исследования – определение видового состава фитопланктона и количественных показателей его развития малой реки 1-ая Гусёлка и его динамики в условиях антропогенного воздействия.

Отбор проб фитопланктона проводили в сентябре 2023 г. на трех участках реки от микрорайона Цветочный (пос. Юбилейный) до пос. Зональный (рис. 1). Участок 1 располагается в районе моста через 1-ую Гуселку на ул. 4-ая Прудовая (выше по течению от микрорайона Цветочный). Второй участок выбран в 1,5 км ниже по течению реки, в месте расположения СНТ «Ветеран-57». Третий участок расположен в 1,5 км ниже по течению от

второго участка, в месте пересечения ул. Яровая с руслом реки (мост в районе пос. Зоналка). По данным государственного реестра, второй и третий участки отбора проб относятся к ООПТ Природный парк «Кумысная поляна» (Кадастровый..., 2024).

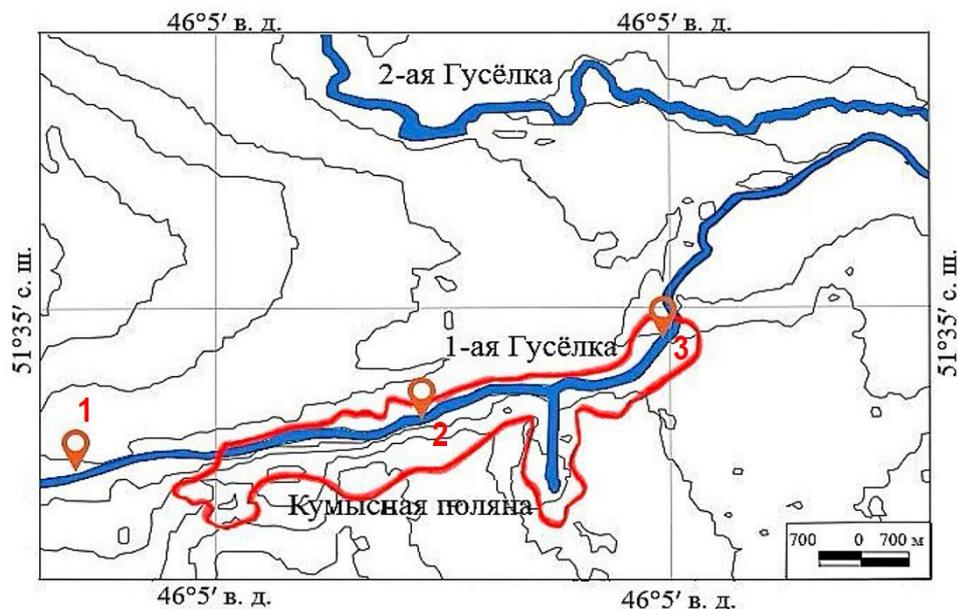


Рисунок 1. Схема расположения участков отбора проб

Фитопланктон фиксировали формалином с добавлением красителя Утермея; камеральную обработку проводили общепринятыми методами (Методика..., 1975). Видоидентификацию осуществляли на микроскопе Carl Zeiss Axio Scope A1 (Германия).

Для подсчета количества особей использовали формулу:

$$N = n * k(A/a) * v * (100/V),$$

где  $N$  – количество организмов в 1 литре воды;  $n$  – количество организмов, обнаруженных на просмотренных дорожках;  $k$  – коэффициент, показывающий во сколько раз объем счетной камеры меньше 1 см<sup>3</sup>;  $A$  – количество дорожек на счетной пластинке;  $a$  – количество дорожек, на которых производился подсчет водорослей;  $v$  – первоначальный объем пробы;  $V$  – объем сгущенной пробы. Исходя из формы и размера каждой отдельной особи была подсчитана биомасса.

При сравнении видового состава фитопланктона на трех участках использовалась применяемая в гидробиологии формула Сёрнсена:

$$K = 2c/a + b,$$

где  $K$  – коэффициент общности видового состава;  $c$  – число общих видов;  $a$  – число видов на участке А;  $b$  – число видов на участке В. Был подсчитан индекс биоразнообразия Шенонна по биомассе и численности

$$H = -\sum p_i * \log_2 p_i,$$

где  $H$  – разнообразие в битах (binary digit – «двоичный разряд» – сокращенно «bit»);  $p_i$  – удельное обилие вида  $i$ .

В результате исследования на первом участке отбора проб реки было отмечено наибольшее разнообразие видов. Первый участок характеризуется высокой мутностью, большим числом опалесцирующих веществ, участками с отсутствием течения. В составе микроводорослей зафиксировано 22 таксона, относящихся к трем систематическим группам цианобактерий (сине-зеленых водорослей) и водорослей: Cyanophyceae, Bacillariophyta, Euglenophyta. Основу численности и биомассы составили диатомовые и цианобактерии (рис. 2). Доминировали по численности и биомассе виды: *Dolichospermum spiroides* (Klebahn) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek, *Entomoneis alata*

(Ehrenberg) Ehrenberg, *Cocconeis pediculus* Ehrenberg. Субдоминирующими были виды: *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, *Caloneis amphisbaena* (Bory) Cleve, *Navicula gracilis* Lauby.

Единично отмечены представители семейств Spirulinaceae, Pleurosigmataceae, Surirellaceae, Rhoicospheniaceae, Pinnulariaceae, Bacillariaceae, Fragilariaceae.

Из эвгленовых водорослей обнаружены представители двух семейств: Euglenaceae – *Strombomonas conspersa* Tell & Conforti и Phacaceae – *Lepocinclis globosa* France.

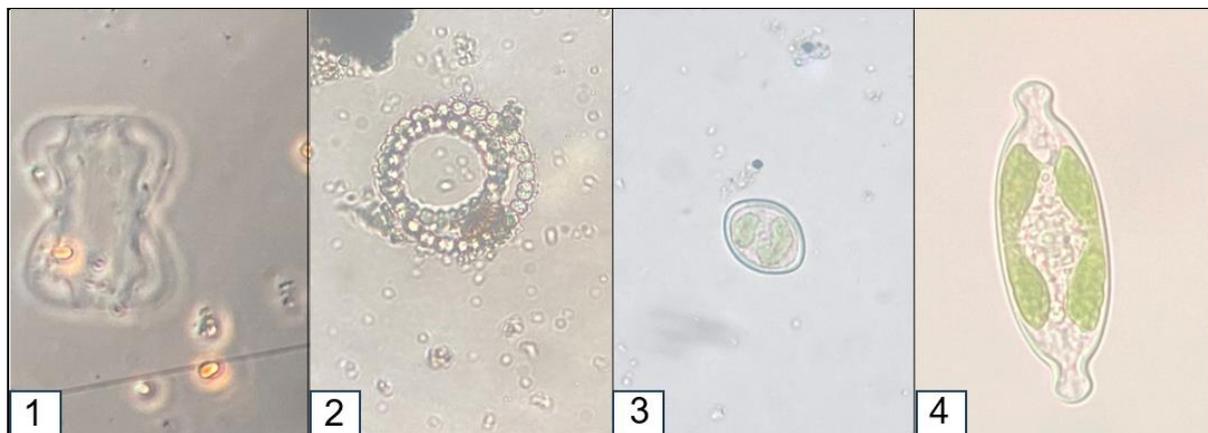


Рисунок 2. Некоторые представители фитопланктона реки 1-ая Гуселка. Обозначения: 1 – *Entomoneis alata*; 2 – *Dolichospermum spiroides*; 3 – *Cocconeis pediculus*; 4 – *Caloneis amphisbaena*

Вниз по течению реки разнообразие видов, их численность и биомасса значительно снижались. Второй участок расположен у родника, вследствие чего температура воды на данной станции снижена, по сравнению с первым участком. Место отбора проб характеризуется наименьшей мутностью из всех трёх станций отбора. В пробах не обнаружены представители отдела Euglenophyta. Наибольшим разнообразием также, как и на первом участке представлен отдел Bacillariophyta. Доминировали по численности и биомассе виды: *C. amphisbaena* и *Aulacoseira granulata* G.H.K.Thwaites.

На третьем участке реки, протекающей по лесистой (затененной) территории при пониженной температуре воды, в пробах отмечены только представители одного семейства диатомовых водорослей – Naviculaceae. Не обнаружены представители Суанорхусеае и Euglenophyta.

В условиях значительного антропогенного воздействия обильного цветения воды не наблюдалось, что можно связать с аккумуляцией органических веществ донными осадками реки (Ляшенко и др., 2020), представленными заиленными песками.

Наибольшим показателем индекса разнообразия характеризуется первая станция (табл.). Это можно связать с особенностями гидрологических условий (стоячий участок водоёма, избытком минеральных веществ, стимулирующих рост фитопланктона).

Таблица. Количественные характеристики участков отбора проб

Участок отбора проб	Температура (°C)	Глубина (м)	Индекс Сёрсенена	Индекс Шеннона	Сапробность
I	13,3	1,5	0,5	1,6	1,9
II	11,1	0,7	0,4	1,3	1,65
III	10,8	0,9	0,2	1,5	2,5

При сравнении видового состава участков, было отмечено, что наибольшим сходством обладают первая и вторая точки, в которых преобладают стагнофильные виды, а в третьей – реофилы.

По мере прохождения в сторону Гусельского залива качество воды участков заметно ухудшается. Так, станции отбора проб I и II относятся к  $\beta$ -мезасапробным (умеренно загрязненным), станция III – к  $\alpha$ -мезасапробным (загрязненным). Это связано с удалением от истока и увеличением количества дачных участков, расположенных по берегам.

В результате исследования было обнаружено 22 вида фитопланктонных организмов. Наибольшее разнообразие достигли представители отдела Bacillariophyta, они встречаются на протяжении всех исследуемых участков.

Высокая изменчивость количественных показателей фитопланктона, изменение его структуры свидетельствует о неустойчивом состоянии сообществ. Стоит отметить, что раннее альгологические исследования для данного водоёма не проводились. Впадая в Волгоградское водохранилище, река приносит с собой значительную часть абиогенных веществ, живых организмов. Регулярный мониторинг малых рек, связанных с крупными водоёмами, позволит выявить источник загрязнения, цветения водоёмов (Álvarez et al, 2015). Полученные результаты следует считать предварительными, требующими более детальных и углубленных исследований.

Авторы выражают благодарность фитопланктологу Саратовского филиала ФГБНУ «ВНИРО» Е.А. Джаяни, за подтверждение в правильности определения видов; сотруднику кафедры генетики СГУ им. Н.Г. Чернышевского О.Л. Госеновой за предоставление оборудования для работы.

#### Список литературы

1. Буркова Т.Н. Фитопланктон реки Сок (Среднее Поволжье) // Самарская Лука. 2008. Т. 17, № 1(23). С. 71–86.
2. Кадастровый отчет по ООПТ природный парк регионального значения «Кумысная поляна» ИАС «ООПТ России» (oort.aari.ru). 2024. 10 с.
3. Ляшенко О.А., Педченко А. П., Суслопарова О.Н. Мониторинг состояния фитопланктона Лужской губы Финского залива в условиях природного и антропогенного воздействий // Труды ВНИРО. 2020. Т. 179. С. 149-163. DOI 10.36038/2307-3497-2020-179-149-163.
4. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М: «Наука», 1975. 284 с.
5. Москалева А.С., Скоробогатова О.Н. Фитопланктон малых рек ХМАО-Югры // Проблемы рационального природопользования и история геологического поиска в Западной Сибири: Сборник тезисов VIII региональной молодежной конференции имени В. И. Шпильмана, посвященной 90-летию со дня образования Ханты-Мансийского автономного округа. 2020. С. 127-130.
6. Хныкина М.А. Геоморфология малых рек среднего течения реки Енисей в пределах города Красноярска // География и геоэкология на службе науки и инновационного образования: материалы XI Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному Дню Земли и 100-летию заповедной системы России. 2016. Вып. 11. С. 83-85.
7. Álvarez X., Valero E., Picos J. Eutrophication, water quality and nutrient loading: blooms of green algae // Congress on Environmental Contamination and Toxicology. 2015. P. 15-16.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ РЫБ ОЗЕРА ТЕЛЕЦКОЕ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

И.Ю. Теряева, Г.А. Романенко, В.И. Щербаков

Алтайский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АлтайНИРО»),  
г. Барнаул, [teriaeva@altai.vniro.ru](mailto:teriaeva@altai.vniro.ru)

Аннотация: в статье рассматривается современное состояние ихтиофауны Телецкого озера, расположенного в границах Турочакского и Улаганского районов Республики Алтай. Оценивается соотношение видов в ихтиофауне озера, дается характеристика промысловых видов рыб по материалам исследований 2023 года. Проведены паразитологические исследования местной ихтиофауны.

Ключевые слова: озеро Телецкое, Республика Алтай, ихтиофауна, промысловые виды, паразитофауна

Озеро Телецкое расположено в тектонической впадине между хребтами Алтынту и Корбу, на высоте 436 м в Северо-Восточном Алтае, административно – в границах Турочакского и Улаганского районов Республики Алтай. Площадь водоема 223 км<sup>2</sup>, длина – 77,7 км, ширина до 5.2 км. Средняя глубина 174 м, максимальная – 325 м. Котловина озера состоит из двух частей: южной – меридиональной (длина около 48 км) и северной – широтной (30 км), разделённых подводным хребтом (длина 2,3 км, ширина 0,6-0,8 км), возвышающимся над дном до 211 м. Берега крутые, скалистые. Грунты профундали представлены серыми илами, дно прибрежной части каменистое. В озеро впадает около 70 постоянных (крупнейшие – Чулышман (241 км) и Башкауз (219 км)) и 150 временных притоков, вытекает одна река Бия (Селегей, Селегей, 1978).

Ихтиофауна озера Телецкое представлена 15 видами рыб: краснокнижные – сибирский осётр (*Acipenser baerii* Brandt, 1869), ленок (*Brachymystax lenok* (Pallas, 1773)) (Красная книга Республики Алтай, 2017); промысловые – обыкновенный таймень (*Hucho taimen* Pallas, 1773), сибирский хариус (*Thumallus arcticus* Pallas, 1776), обыкновенный сиг (*Coregonus lavaretus* Linnaeus, 1758), обыкновенная щука (*Esox lucius* Linnaeus, 1758), елец (*Leuciscus leuciscus* (Linnaeus, 1758)), налим (*Lota lota* (Linnaeus, 1758)), речной окунь (*Perca fluviatilis* (Linnaeus, 1758)), лещ (*Abramis brama* (Linnaeus, 1758)), серебряный карась (*Carassius auratus* (Linnaeus, 1758)) (Распоряжение Правительства Российской Федерации № 2569-п); непромысловые – сибирский голец-усач (*Barbatula toni* (Dybowski, 1869)), речной гольян (*Phoxinus phoxinus* (Linnaeus, 1758)), сибирский подкаменщик (*Cottus sibiricus* Kessler, 1889), пестроногий подкаменщик (*Cottus poecilopus* Heckel, 1837) (Романенко и др., 2020).

Исследования проводили в мае, июле и ноябре 2023 г. на всей акватории водоема (за исключением ее части, относящейся к Алтайскому государственному природному биосферному заповеднику). Контрольный лов был проведен набором ставных жаберных сетей ячейности от 18 до 70 мм. Исследования осуществлялись согласно общепринятых ихтиологических методик (Правдин, 1966) с их современными дополнениями (Решетников, Попова, 2015). Изучались преимущественно промысловые виды рыб. Отбор проб и обработка материала по ихтиопатологическому состоянию гидробионтов проводились согласно МУК 3.2.3804-22 и общепринятых методик (Быковская-Павловская, 1985; Лабораторный практикум..., 1983). Для видовой идентификации паразитов использовали определители (Определитель паразитов..., 1984; 1985; 1987).

В озере Телецкое повсеместно распространенным и доминирующим по численности видом отмечен обыкновенный сиг *C. lavaretus*, имеющий две экологические формы, ранее рассматриваемые самостоятельными видами, – крупная малотычинковая (телецкий сиг) и мелкая многотычинковая (сиг Правдина) (Романенко и др., 2020). Наблюдаются сезонные

перемещения стад сига в озере – весной и в первой половине лета, пока вода в озере холодная, рыба держится на мелководных участках – в районе устья реки Чулышман и в заливах. В июле – августе, с прогреванием воды, уходит в глубоководную зону.

Доля обыкновенного сига в ихтиоценозе Телецкого озера составляет 26 %. В уловах 2023 г. в его стаде отмечены особи от 1+ до 6+ лет, с преобладанием трех- и четырехлеток (84,3 %) (табл.). Масса сигов в уловах варьировала от 13 до 708 г, при промысловой длине от 100 до 360 мм. Половозрелым обыкновенный сиг становится на 3-5 году жизни. Соотношение самок и самцов в половозрелой части стада близко к 3:1. Абсолютная плодовитость закономерно увеличивается с возрастом и составляет в среднем 2-3 тыс. шт., относительная – колеблется от 10 до 15 шт./г. Осенние преднерестовые концентрации образует в основном в мелководной северо-западной части озера. Нерест его происходит в октябре – ноябре при температуре воды плюс 4 –5 °С на галечном грунте в малопроточных участках. Инкубационный период длится всю зиму до распаления льда и занимает около 200 суток.

Для сибирского хариуса *T. arcticus* в озере Телецкое характерно расселение по всей акватории, за исключением глубин более 30-35 м. Его доля в ихтиоценозе составляет 22 %. Стадо сибирского хариуса в контрольных уловах 2023 г. сформировано особями 1+ – 7+ лет с промысловой длиной 116-363 мм и массой тела 31-893 г; преобладали особи младших возрастных групп (2+-4+) – 90 %. Показатели линейного и весового роста сибирского хариуса достаточно высоки (таблица). Половозрелым сибирский хариус становится в трехлетнем возрасте. Абсолютная плодовитость закономерно увеличивается с возрастом от 1,7 (2+) до 8,9 (5+) тыс. шт., относительная – колеблется от 9 до 12 шт./г. На нерест заходит в реки, поднимаясь до самых верховьев.

Речной окунь *P. fluviatilis* в озере Телецкое придерживается преимущественно мелководных участков Камгинского и Кыгинского заливов, устья реки Чулышман и района с. Артыбаш, больших миграций в озере не совершает. Осенью, с понижением температуры и началом штормовой погоды, отходит от берегов на глубину 25-40 м.

Доля речного окуня в ихтиоценозе озера составляет – 12 %. В контрольных уловах 2023 г. отмечен возрастной ряд от 1+ до 5+ лет с преобладанием трёх и четырехлетних особей. При этом окуню характерны высокие темпы роста (табл.).

Таблица. Размерно-возрастная структура популяций основных промысловых видов озера Телецкое Республики Алтай, 2023 г.

Возраст	Промысловая длина, мм		Масса, г		Возрастные группы, %
	средняя	lim	средняя	lim	
Обыкновенный сиг					
1+	149,8±7,6	100-175	39,5±5,0	13-58	1,8
2+	184,7±1,1	140-285	77,1±1,1	34-113	40,3
3+	216,9±1,0	190-266	133,7±1,8	90-237	44,0
4+	264,0±3,4	200-365	263,6±7,1	157-388	12,6
5+	309,6±5,0	300-323	460,8±23,2	402-538	0,9
6+	342,5±17,5	325-360	663,0±45,0	618-708	0,4
Сибирский хариус					
1+	136,3±10,4	116-150	36,0±2,5	31-39	3,3
2+	179,5±6,4	152-205	79,5±8,4	51-110	12,1
3+	238,4±4,1	197-333	184,3±9,2	104-380	52,7
4+	278,7±7,2	225-333	344,1±24,7	173-504	25,3
5+	306,0±3,8	300-313	420,0±11,6	397-434	3,3
6+	358,0±5,0	353-363	720,0±6,0	714-726	2,2
7+	360		893		1,1

Возраст	Промысловая длина, мм		Масса, г		Возрастные группы, %
	средняя	lim	средняя	lim	
Речной окунь					
1+	113,0±3,4	100-135	27,5±2,6	18,5-47,0	6,2
2+	147,0±2,3	110-202	63,6±2,8	27-175	38,3
3+	170,7±2,5	133-221	113,9±6,4	55-264	38,3
4+	208,3±7,3	160-350	194,3±1,2	88-412	13,9
5+	255,0±9,2	215-295	384,3±51,4	196-594	3,3
Налим					
1+	191,0±5,6	170-200	47,2±4,7	30-56	6,7
2+	279,4±5,4	240-313	185,4±9,1	134-230	14,7
3+	375,3±10,1	356-390	402,0±15,7	371-422	4,0
4+	485,4±15,6	435-520	1289,8±162,2	804-1818	6,7
5+	542,1±8,3	490-580	1806,6±71,6	1291-2141	16,0
6+	604,3±8,8	560-670	2382,3±98,7	1717-3500	22,7
7+	668,2±9,0	590-730	3271,7±103,6	2730-4124	24,0
8+	736,3±59,5	610-895	4174±546,0	2879-5541	5,2
Обыкновенная щука					
1+	308,4±9,5	220-445	285,5±22,3	104-577	32,6
2+	397,7±6,7	320-535	582,1±28,8	241-999	43,8
3+	523,1±8,1	485-610	1256,3±55,8	1011-1802	20,2
4+	682,7±40,3	605-740	3239,0±401,6	2445-3741	3,4

Налим *L. lota* – наиболее глубоководный представитель ихтиофауны озера – встречается до глубин 100-120 м. Его доля в ихтиоценозе озера составляет 9 %. Возрастная структура уловов 2023 г. включала особей от 1+ до 8+ лет с незначительным преобладанием семи и восьмилетних особей (таблица). Соотношение самцов и самок в стаде близко к 1:1.

Обыкновенная щука *E. lucius* в озере Телецкое встречается в основном в литоральной зоне, массовые ее скопления наблюдаются лишь на мелководных участках. Щука придерживается приустьевых участков впадающих в озеро рек и биотопов с наличием хорошо развитой водной растительности.

Доля обыкновенной щуки в ихтиоценозе озера Телецкое составляет 19 %. В контрольных уловах 2023 г. были представлены особи в возрасте от 1+ до 4+, с преобладанием младшевозрастных групп (таблица). Массовое созревание особей отмечено в возрасте четырёх лет (3+). Соотношение полов во время нереста было близко к 1:1. Абсолютная плодовитость закономерно увеличивается с возрастом и колеблется от 18,7 (4+) до 54,0 (5+) тыс. шт., относительная – колеблется от 10 до 20 шт./г.

По результатам проведенных ихтиопаразитологических исследований вышеперечисленных видов рыб выявлено 12 видов паразитов, относящихся к моногенеям, цестодам, трематодам, нематодам, ракообразным и моллюскам: *Dactylogyrus* sp., *Gyrodactylus cernae*, *Triaenophorus nodulosus*, *T. crassus*, *Diplostomum* sp., *D. spathaceum*, *Ichthyocotylurus platycephalus*, *Cystidicoloide ephemeridarum*, *Ichthyobronema hamulatum*, *Contracoecum* sp., *Ergasilus sieboldi*, *Anodonta cygnea*.

Наибольший видовой состав паразитов отмечен у щуки, выявлено шесть видов: *Dactylogyrus* sp., *Triaenophorus nodulosus*, *Ichthyobronema hamulatum*, *Contracoecum* sp., *Ergasilus sieboldi*, *Anodonta cygnea*. Доминирующей по уровню инвазии является цестода *T. nodulosus*, паразит найден у всех особей в выборке с максимальным количеством – 64 экз. Субдоминант – моногенетический сосальщик *Dactylogyrus* sp., минимальная инвазия щуки отмечена глосидиями моллюсков *A. cygnea*.

Субдоминант по видовому составу паразитов – сибирский хариус. Паразитофауна представлена пятью видами: *Dactylogyrus* sp., *D. spathaceum*, *T. nodulosus*, *T. crassus*, *C.*

*ephemeridarum*. Наибольшая встречаемость отмечена по сосальщику *Dactylogyrus* sp. (66,7 %), максимальные количественные показатели инвазии – у нематоды *S. ephemeridarum* (ИО – 4,3 экз.). Наименьшее заражение по всем показателям установлено по цестоде *T. nodulosus*.

При анализе сига, речного окуня и налима зарегистрировано по три вида паразитов. У налима и окуня паразитарный состав одинаков, выявлены цестоды *T. nodulosus*, метацеркарии трематод *Diplostomum* sp. и *I. platycephalus*. Отметим, что у обоих видов рыб *T. nodulosus* и *Diplostomum* sp. паразитировали в организме всех особей в выборке. Однако, установлены различия в количественных показателях. Цестоды наиболее массово паразитировали у налима (ИИ – до 25 экз.), трематоды – у окуня (ИИ – до 13,5 экз.). При исследовании сига зарегистрированы *G. cernae*, *D. spathaceum*, *S. ephemeridarum*. Уровень заражения выявленными паразитами фоновый. Наибольшая инвазия – моногенетическим сосальщиком *G. cernae*, наименьшая – метацеркариями *D. spathaceum*.

Ихтиофауна Телецкого озера в настоящее время отличается стабильным состоянием, ввиду отсутствия чрезмерной антропогенной нагрузки и загрязнений. Единственным неблагоприятным аспектом можно отметить высокий уровень ННН-промысла. Опасных для здоровья человека паразитов не зарегистрировано. Выявленная паразитофауна является специфичной для водоема и анализируемых видов рыб.

#### Список литературы

1. Быховская-Павловская И.Е. Паразиты рыб – руководство по изучению. Л.: Наука, 1985. 117 с.
2. Красная книга Республики Алтай: Животные / ред. А.В. Бондаренко. Горно-Алтайск: Изд-во ГАГУ, 2017. 368 с.
3. Лабораторный практикум по болезням рыб / под ред. В.А. Мусселиус. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 253 с.
4. МУК 3.2.3804-22 «Методы санитарно-паразитологической экспертизы рыбы, моллюсков, ракообразных, земноводных, пресмыкающихся и продуктов их переработки»
5. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Т. 1. Л.: Наука, 1984. 431 с.; Т. 2. Л.: Наука, 1985. 425 с., Т. 3. Л.: Наука, 1987. 583 с.
6. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищевая промышленность, 1966. 375 с.
7. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 18.11.2017 № 2569-р (ред. от 10.02.2021) «Об утверждении перечней видов водных биоресурсов, в отношении которых осуществляются промышленное рыболовство и прибрежное рыболовство».
8. Решетников Ю.С., Попова О.А. О методиках полевых ихтиологических исследований и точности полученных результатов // Труды ВНИРО. 2015. Т. 156. С. 112-129.
9. Романенко Г.А., Лукерин А.Ю., Теряева И.Ю., Трофимов А.Н., Елизарьев Д.Г. Ихтиофауна Телецкого озера в современных условиях // Полевые исследования в Алтайском биосферном заповеднике. 2020. № 3. С. 190-196.
10. Селегей В.В., Селегей Т.С. Телецкое озеро. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 143 с.

## БЕНТОФАУНА РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВОДОЕМОВ ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ

Т.Д. Ткачева, Ю.В. Басько, В.П. Горелов, Н.В. Куценко

*Волгоградский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»,  
г. Волгоград, [tkacheva.tania.666@gmail.com](mailto:tkacheva.tania.666@gmail.com)*

*Аннотация: исследования бентофауны проведены в вегетационные периоды 2021-2023 гг. на 15 разнотипных водоемах поймы: реки Волга и Ахтуба; озера Запорное, Дегтярное, Самсоновское, Большая Невидимка, Жупирка, Дубок, Кудаевское, Бесчастное, Боярский Лиман; ерики Гнилой, Осиновый, Калинов, Старая Ахтуба. В водоемах определялся качественно-количественный состав бентосных организмов.*

Ключевые слова: Волго-Ахтубинская пойма, реки, озера, ерики, бентосные организмы

Волго-Ахтубинская пойма расположена на юго-востоке Волгоградской области и ограничена двумя водотоками: р. Волгой и ее основным рукавом – р. Ахтубой, в которых преобладают песчаные биотопы, характерные для всех крупных рек европейской части. Внутренняя пойма богата озерами, ериками, а в паводковый период и кратковременно существующими водоемами – полями, в которых происходит размножение и нагул молоди проходных и туводных промысловых видов рыб. Пойменные озера мелководны с глубинами 1,5-2 м с высокой степенью зарастаемости макрофитами, являющимися особым биотопом для гидробионтов. Донные биотопы озер были представлены грунтами с различной степенью заиления: черными мелкодисперсными илами, заиленным песком, глиной. Ерики служат магистральными водоемами, по которым в период весеннего половодья вода проникает во внутреннюю часть поймы. В весенний период ерики проточны, а в меженный период они подобны озерам. Ерики отличаются от озер наличием течения в паводковый период, меньшей степенью зарастания и более высокими показателями глубин (до 6 метров). Преобладающий биотоп в ериках – заиленный песок.

Материалом для настоящей работы послужили результаты трехлетних гидробиологических исследований (2021-2023 гг.) в течение вегетационных периодов (весной, летом и осенью) в русловой и прибрежной частях водоемов Волго-Ахтубинской поймы в границах Волгоградской области. В качестве объектов исследований выбраны 15 разнотипных водоемов Волго-Ахтубинской поймы, данные которых можно экстраполировать на всю территорию поймы: реки Волга и Ахтуба; озера Запорное, Дегтярное, Самсоновское, Большая Невидимка, Жупирка, Дубок, Кудаевское, Бесчастное, Боярский Лиман; ерики Гнилой, Осиновый, Калинов, Старая Ахтуба. Всего обработано и проанализировано 154 пробы, в том числе 50 – в реках, 42 – в ериках и 62 – в озерах.

Сбор бентосных проб на глубоководных участках водоемов осуществлялся при помощи дночерпателя ДАК-250 (с площадью захвата 0,025 м<sup>2</sup>), а в зарослях и прибрежном мелководье гидробиологическим скребком (с облавливаемой площадью 0,21 м<sup>2</sup>). Дальнейшая обработка бентоса проводилась в лабораторных условиях (Салазкин и др..., 1983; Салазник, Огородникова, 1984). Для идентификации видов использовались определители (Жадин, 1952; Кутикова, Старобогатов, 1977; Определитель..., 2004; Кантор, 2005). При выделении распространения видов зообентоса в водоемах использовался коэффициент встречаемости (Методика..., 1975). Тип донных отложений определялся по общепринятой шкале (Руководство, 1983). Уровень количественного развития донной фауны как кормовой базы для рыб определялся по классификации М.Л. Пидгайко с соавторами (1968).

По особенностям водного режима, морфологии, происхождению все многообразие водоемов Волго-Ахтубинской поймы укладывается в четыре группы: реки, озера, ерики и

полои. Ввиду того, что полои относятся к временным водоемам и в них развивается особая эфемерная фауна, которая по своим качественным и функциональным характеристикам в корне отличается от таковой в постоянных пойменных водоемах (реки, озера, ерики), этот тип водоемов не рассматривается в данной работе.

К первой группе водоемов относятся формирующие пойму водотоки, русла рек Волги и Ахтубы. По основным гидрологическим показателям абиотических факторов (скорости течения, особенностям грунта, гидрохимическим показателям и др.) водотоки имеют весьма близкое сходство. Уровненный режим рр. Волги и Ахтубы зависят от сбросов воды через створы Волжской ГЭС, находящейся выше по течению рек. Весьма схожи они и по качественному составу, и по количественным показателям их биоценозов. Количество выявленных видов различных групп донных организмов представлено в таблице 1. Видовое разнообразие донной фауны рек по многолетним данным оценивается в 92 таксона, в составе которых 17 представителей малощетинковых червей, 15 видов моллюсков, 17 – ракообразных, 26 – личинок хирономид, 2 – полихеты и 15 видов из группы прочих донных организмов (поденки, стрекозы, ручейники, жуки и др.). Среди относительно разнообразной фауны доминантными являются несколько: из личинок хирономид – представители рода *Chironomus* sp., *Polypedilum nubeculosum* (Meigen), из олигохет – *Tubifex newaensis* (Michaelsen), из высших ракообразных – виды рода *Pontogammarus* sp. и *Stenogammarus macrurus* (Sars), из моллюсков – мелкие формы брюхоногих *Lithoglyphus naticoides* (C.Pfeiffer), *Theodoxus astracanicus* (Starobogatov in Starobogatov, Filchakov, Antonova et Pirogov) и полихета *Hypania invalida* (Grube). Субдоминантами являются личинки хирономид *Stictochironomus histrio* (Fabricius), *Cryptochironomus defectus* (Kieffer), *Cladotanytarsus mancus* (Walker), олигохеты *Potamothrix moldaviensis* (Vejdovsky et Marazek), *Limnodrilus* sp., двустворчатый моллюск *Dreissena bugensis* (Andrusov) и бокоплав *Dikerogammarus haemobaphes* (Eichwald). Из группы прочих бентосных организмов чаще других встречались мокрецы *Ceratopogonidae* n.d., пиявки *Herpobdella octoculata* (L.) и ручейники *Hydropsyche ornatula* (Mc. Lachland). В донных сообществах водотоков преобладают реофильные виды.

Бентофауна внутренних водоемов Волго-Ахтубинской поймы схожа и характеризуется высоким видовым разнообразием (табл. 1). В составе зообентоса ериков идентифицировано 109 видов донных организмов. Из которых 16 – представители малощетинковых червей, 22 вида моллюсков, 5 – ракообразных, 26 – личинок хирономид и 40 таксонов других видов (стрекозы, поденки, ручейники, жуки, клопы и пр.). Ядро массовых видов, играющих основную роль в количественных показателях, составляли: *Endochironomus albipennis* (Meigen), *Glyptotendipes gripekoveni* (Kieffer) и виды рода *Chironomus* sp. из личинок хирономид; *Potamothrix hammoniensis* (Michaelsen) из олигохет; *Viviparus viviparus* (L.), *Unio pictorum* (Linne), *Dreissena polymorpha* (Pallas) из моллюсков; поденки *Caenis horaria* (Linne), *Cloen dipterum* (Linne). Субдоминантами выступали личинки хирономид *Polypedilum* sp., *Cricotopus (Isocladus) silvestris* (Fabricius), *Parachironomus (C.) pararostratus* (Harnisch), малощетинковые черви *T. newaensis* (Michaelsen), *Limnodrilus hoffmeisteri* (Claparede), *L. udekemianus* (Claparede), моллюски *L. naticoides* (C.Pfeiffer) и ручейник *Ecnomus tenellus* (Rambur).

Видовой состав озер насчитывал максимальное количество среди всех исследованных типов водоемов и составлял 119 видов беспозвоночных, включающих 19 моллюсков, 24 личинки хирономид, 13 олигохет, 12 ракообразных и 51 представителя прочих групп. Преобладающими видами среди донной фауны являются представители пелофильной и фитофильной фаун: *Endochironomus albipennis* (Meigen), *P. (C.) pararostratus* (Harnisch), *Polypedilum (s.str.) convictum* (Walker), *G. Gripekoveni* (Kieffer) и виды рода *Chironomus* sp. из личинок хирономид, *Viviparus viviparus* (L.) из моллюсков, *L. hoffmeisteri* (Claparede) из олигохет и *Limnomysis benedeni* (Czerniavsky) из ракообразных. Второстепенными видами бентосного сообщества озер являлись личинки хирономид

*Cryptochironomus defectus* (Kieffer), *C. (Isocladius) silvestris* (Fabricius), *Procladius (Holotanytus) ferrugineus* (Kieffer), олигохеты *Potamothrix hammoniensis* (Michaelson) и *L. udekemianus* (Claparede), моллюски *Lymnaea (R.) ovata* (Draparnaud), *L. (R.) lagotis* (Schranck), *Dr. polymorpha* (Pallas), бокоплав *D. haemobaphes* (Eichwald). Среди представителей группы прочих донных организмов в большей степени встречались поденки *Caenis horaria* (Linne) и *Cloen dipterum* (Linne), ручейник *Ec. tenellus* (Rambur), пиявка *Piscicola geometra* (L.) и мокрецы Ceratorogonidae n.d. Подавляющее большинство таксонов водоемов внутренней поймы являются типичными лимнофилами, приуроченными к малопроточным участкам, заиленным грунтам и зарослям макрофитов, что обусловлено особенностями гидрологического режима водотоков, характеризующихся очень низкой скоростью течения.

Таблица 1. Количество видов бентосных организмов различных типов водоемов Волго-Ахтубинской поймы за период 2021-2023 гг.

Группы организмов	Количество видов бентосных организмов по типам водоемов		
	реки	ерики	озера
олигохеты	17	16	13
полихеты	2	0	0
хинономиды	26	26	24
ракообразные	17	5	12
моллюски	15	22	19
прочие	15	40	51
Всего	92	109	119

Количественные показатели зообентоса в водоемах поймы на протяжении вегетационного периода и по годам подвержены существенным колебаниям. Количественные показатели общего зообентоса в реках по усредненным многолетним данным составили 3115 экз./м<sup>2</sup> по численности и 205,46 г/м<sup>2</sup> по биомассе (табл. 2). В составе бентоса немало ракообразных и червей (олигохеты и полихеты), обладающих высокой калорийностью и представляющих особую ценность в качестве корма для рыб. За счет этих групп организмов средняя многолетняя биомасса «мягкого» бентоса составляет 8,2 г/м<sup>2</sup>, что позволяет отнести реки к «высококормным».

Средние значения численности и биомассы в озерах составили 905 экз./м<sup>2</sup> и 74,35 г/м<sup>2</sup> соответственно (табл. 2). Основу численности составляют личинки хинономид (27 %) и олигохеты (42 %), типичные представители пелофильной фауны. Подавляющая же часть биомассы (96 %) приходится на долю моллюсков. В целом, по уровню развития донной кормовой базы для рыб озера можно отнести к «среднекормным» водоемам.

Усредненные общие количественные показатели зообентоса в ериках равнялись 1552 экз./м<sup>2</sup> по численности и 607,94 г/м<sup>2</sup> по биомассе (табл. 2). Основу численности на 28 % составляли олигохеты и на 30 % представители группы прочих бентосных организмов, а биомассы – моллюски (99 %). Уровень развития биомассы характеризует данные водоемы как «среднекормные» по зообентосу.

Таблица 2. Количественные показатели бентофауны различных типов водоемов Волго-Ахтубинской поймы за период 2021-2023 гг.

Группы организмов	Количественные показатели бентофауны по типам водоемов					
	реки		ерики		озера	
	численность, экз./м <sup>2</sup>	биомасса, г/м <sup>2</sup>	численность, экз./м <sup>2</sup>	биомасса, г/м <sup>2</sup>	численность, экз./м <sup>2</sup>	биомасса, г/м <sup>2</sup>
олигохеты	796	1,30	430	0,60	378	0,77
полихеты	601	1,99	0	0,00	0	0,00
хинономиды	422	0,48	406	1,68	245	0,54

Группы организмов	Количественные показатели бентофауны по типам водоемов					
	реки		ерики		озера	
	численность, экз./м <sup>2</sup>	биомасса, г/м <sup>2</sup>	численность, экз./м <sup>2</sup>	биомасса, г/м <sup>2</sup>	численность, экз./м <sup>2</sup>	биомасса, г/м <sup>2</sup>
ракообразные	350	3,80	124	0,46	115	0,65
моллюски	816	197,33	129	603,73	53	71,38
прочие	131	0,56	463	1,46	113	1,01
бентос, всего	3115	205,46	1552	607,94	905	74,35
«мягкий» бентос, всего	2300	8,13	1423	4,20	851	2,97

Для сравнения бентофауны на водоемах различного типа к полученным данным были применены коэффициенты общности видового состава по Жаккару ( $K_j$ ) и Серенсена-Чекановскому ( $K_s$ ). Данные коэффициенты изменяются от 1 (в случае полного совпадения видов сообществ) до 0 (если в сравниваемых выборках нет общих видов). Наиболее сходны по видовому составу ерики и озера ( $K_j=0,5$  и  $K_s=0,6$ ), а в реках и озерах отмечается меньшее совпадение видов донных сообществ ( $K_j=0,3$  и  $K_s=0,4$ ).

#### Список литературы

1. Жадин В.И. Моллюски пресных и солоноватых вод СССР. М.-Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1952. 376 с.
2. Кантор Ю.И., Сысоев А.В. Каталог моллюсков России и сопредельных стран. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. 627 с.
3. Кутикова Л.А., Старобогатов Я.И. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. (Планктон и бентос) Л.: Гидрометеиздат, 1977. 512 с.
4. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Под ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовского. М.: Наука, 1975. 254 с.
5. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 6. Моллюски, Полихеты, Немертины // Под ред. С.Я. Цалолихина. СПб., 2004. 528 с.
6. Пидгайко М.Л., Александров Б.М., Иоффе Ц.И., Максимова Л.П. Краткая биолого-продукционная характеристика водоемов Северо-Запада СССР // Известия ГосНИОРХ. 1968. Т. 67. С. 205-228.
7. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений: монография / Под ред. В.А. Абакумов. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 240 с.
8. Салазкин А.А., Алимов А.Ф., Финогенова Н.П., Винберг Г.Г. Зообентос и его продукция. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Л.: ГосНИОРХ-ЗИН, 1983. 52 с.
9. Салазкин А.А., Огородников В.А. Задачи и методы изучения использования кормовой базы рыбой. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Л.: ГосНИОРХ-ЗИН, 1984. 19 с.

## АТЛАНТИЧЕСКИЙ ЛОСОСЬ РЕКИ ПЕЧОРА: ЦЕННЫЙ РЕСУРС ИЛИ ИСЧЕЗАЮЩИЙ ВИД?

А.М. Торцев, Н.С. Владыкина

*Северный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» (Северный), г. Архангельск,  
[torzevalex@severniro.vniro.ru](mailto:torzevalex@severniro.vniro.ru), [vladykina@severniro.vniro.ru](mailto:vladykina@severniro.vniro.ru)*

*Аннотация: в работе приведен анализ многолетних данных по уловам атлантического лосося (семги) в ходе промышленного лова, представлены биологические параметры производителей, рассмотрена динамика изменения структуры популяции.*

Ключевые слова: атлантический лосось (семга), р. Печора, промышленное рыболовство

Река Печора протекает по территории северо-востока Европейской части России в границах Республики Коми и Ненецкого автономного округа (далее – НАО) (Порочкин и др., 1975). Длина водотока составляет 1809 км, а водосборная площадь – 322000 км<sup>2</sup>.

Для коренных народов Севера и местного населения, проживающих на территории республики и округа, биологические ресурсы р. Печора, в первую очередь, имеют продовольственное значение.

В настоящее время в акватории р. Печора ведется промысел таких видов рыб как атлантический лосось, горбуша, сиг-пыжьян, омуль арктический, ряпушка, чир, пелядь, щука, окунь, язь. Наиболее ценным промысловым видом считается семга, но отсутствие рационального подхода к использованию ее запасов привело к значительному сокращению его численности (Торцев и др., 2023).

Цель работы заключается в оценке состояния промыслового запаса атлантического лосося (*Salmo salar* Linnaeus, 1758) р. Печора.

В качестве материалов для исследования использованы данные промысловой статистики территориальных управлений Росрыболовства, а также сведения, полученные в ходе наблюдений на участке промышленного лова атлантического лосося в 2023 г. Лов лосося ведется плавными сетями. На биологический анализ отобрано 210 экз. сёмги. Кроме того, используются данные по оценке плотностей распределения пестрятки сёмги на нерестово-выростных участках (притоках р. Печора), где ежегодно проводятся ресурсные исследования.

В 2023 г. промышленный лов атлантического лосося проводился на 11 рыболовных участках на территории НАО и 15 участках Республики Коми, любительское рыболовство велось на 4 участках в округе (рис. 1).

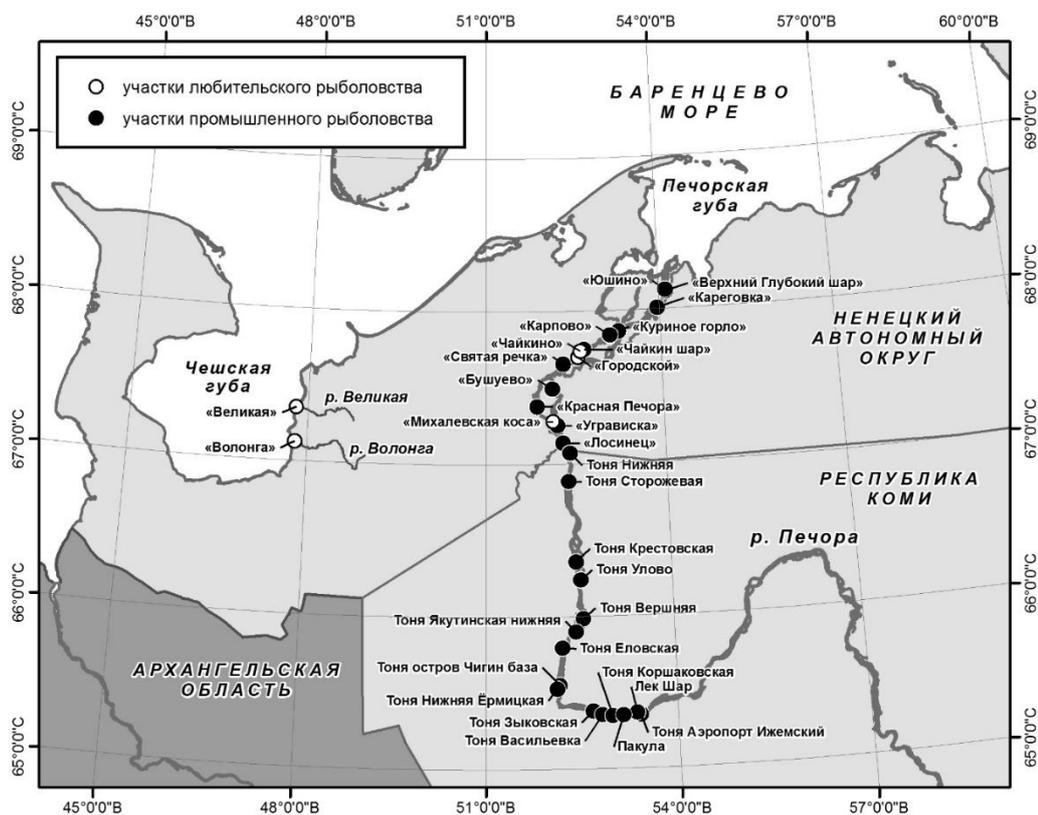


Рисунок 1. Добыча атлантического лосося на территории Ненецкого автономного округа и Республики Коми

Объемы вылова и освоение квот за последние 10 лет представлены в таблице 1. Средний процент освоения составляет 63,5 %. За десятилетний период с 2014 по 2023 гг. наблюдается снижение уловов как в абсолютном выражении до 14 т, так и в относительном до 74 %, в то время как максимальные значения отмечены в 2018 г. – 17 т (88 % освоения выделенных запасов). Стоит отметить, что наибольший процент освоения квот приходится на 2017-2019 гг., а в последние годы наблюдается тенденция сокращения уловов. В связи с этим уменьшаются и объемы, выданные по разрешениям.

Таблица 1. Вылов семги в р. Печора в 2014–2023 гг.

Год	Выдано по разрешениям, т	Освоено по разрешениям, т	Освоение, %
2014	14,95	9,88	51,2
2015	12,50	8,19	41,0
2016	11,40	6,63	33,0
2017	18,36	15,43	82,1
2018	18,95	17,03	88,3
2019	20,40	16,84	81,0
2020	19,99	15,11	69,0
2021	23,19	11,31	45,4
2022	18,80	13,52	70,4
2023	17,38	13,89	73,9
Среднее	17,59	12,78	63,5

Биологические показатели, полученные в ходе наблюдений в 2023 г. представлены в табл. 2. Средние размерно-весовые характеристики взрослых особей атлантического лосося составили: средняя длина (АС) 76 см, изменяясь от 55 до 112,5 см, а средний вес 5,45 кг, варьируя от 2 до 15 кг. Соотношение полов (самцы:самки) составило 1,0:2,3. При этом размерно-весовые характеристики незначительно снизились в сравнении с предыдущими

годами. При этом наблюдения на промысле в республике показали только единичные поимки атлантического лосося.

Таблица 2. Размерно-весовые характеристики семги бассейна р. Печора в 2014-2023 гг.

Показатель	Год										
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Длина, см	74,8	77,1	Данные отсутствуют					55	76,5	76,0	
Масса, кг	5,3	6,3	Данные отсутствуют					5,9	5,5	5,5	

Помимо сбора данных по производителям атлантического лосося Северный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» проводит исследования по изучению состояния естественного воспроизводства семги. Работы традиционно ведутся на р. Унья, где проходит сбор ихтиологического материала с использованием малькового невода и электролова. Так, в среднем для НВУ водотоков бассейна р. Унья в пределах исследованных частей их русел (с учетом коэффициента уловистости) 0,12 экз. на 100 м<sup>2</sup>.

Плотности распределения пестряток по годам представлены на рис. 2.

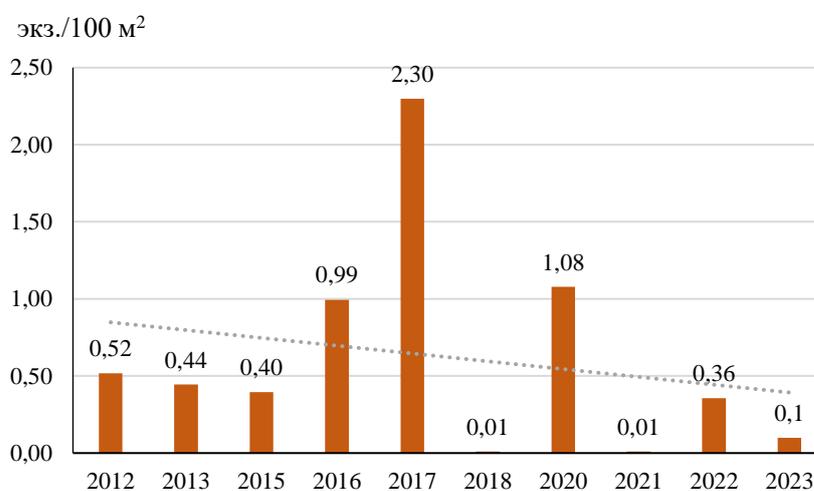


Рисунок 2. Плотности распределения пестряток в р. Унья

На диаграмме видно, что наибольшие значения плотностей распределения пестрятки семги на нерестово-выростных участках отмечались в 2017 г. В последующие годы, как представлено на графике, плотности снижаются, находясь на минимальных значениях за десятилетний период наблюдений. Общий тренд за десятилетний период наблюдений носит понижающий характер.

Оценка фонда НВУ осуществлялась также в русловых частях рек Пижма и Валса. Плотности расселения пестряток семги составили в среднем для НВУ водотоков бассейна р. Пижма 1,6 экз. на 100 м<sup>2</sup> нагульной площади. В ходе исследований на р. Валса в уловах лосось не наблюдался.

Необходимо отметить, что результаты проведенных в последние годы ресурсных исследований показывают, что заполнение нерестилищ на притоках р. Печора наиболее полно происходит в границах промыслового района. В то же время в верховьях Печоры заполнение нерестилищ имеет крайне низкий уровень. Это является косвенным признаком, что незначительное количество производителей атлантического лосося доходит до верхней части бассейна р. Печора, где происходит его нерест.

Подводя итог проведенному исследованию, необходимо отметить, что в настоящее время использование запасов печорской группы популяций атлантического лосося крайне востребовано как среди промышленников, так и рыбаков-любителей. Осуществляется как специализированный лов лосося, так и его прилов при промысле сиговых видов рыб.

Вместе с тем, состояние запасов сёмги находится в таком состоянии, что прогнозировать их увеличение не приходится. Размерно-весовые характеристики производителей, заходящих на нерест, имеют незначительную понижающую тенденцию. Объемы добычи производителей стагнируют на уровне порядка 14 т в год. Плотности распределения молоди атлантического лосося с течением времени снижаются. Это показывает, что производители семги не достигают нерестилищ печорской сёмги, что приводит к невысоким плотностям распределения молоди семги на нерестово-выростных участках.

Таким образом, семга однозначно является ценным ресурсом для местного населения и приезжающих рыбаков-любителей. Однако браконьерский лов производителей семги, идущей на нерест, крайне негативно сказывается на состоянии группы популяций печорской семги. Преобладание ННН-лова (Торцев, 2021) над законным использованием запасов атлантического лосося неизбежно приведет к исчезновению популяций вида.

#### Список литературы

1. Порочкин Е.М., Зарбаилов А.Ю. Внутренние водные пути СССР. М.: Транспорт, 1975. 432 с.
2. Торцев А.М., Чупов Д.В. Современное состояние промысла атлантического лосося в р. Печора // Лососевые рыбы: биология, воспроизводство, промысел : Материалы всероссийской научно-практической конференции (г. Мурманск, 23-24 марта 2023 г.) / Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО». Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2023. С. 449-453.
3. Торцев А.М. Промысел лосося атлантического (сёмги) в низовьях р. Мезень // II Пахтусовские чтения: арктические горизонты : Материалы Всероссийской очно-заочной научно-практической конференции. Архангельск, 2021. С. 271-276.

## ЗООПЛАНКТОН ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ 2023 ГОДА

А.Е. Трифионов

*Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга)), г. Санкт-Петербург, [trifonov@niorh.vniro.ru](mailto:trifonov@niorh.vniro.ru)*

*Аннотация: представлены результаты сезонных исследований зоопланктона Ладожского озера полученные в рамках рыбохозяйственного мониторинга. Указаны количественные характеристики и распределение сообщества по основным районам озера, расположенным в Ленинградской области и Республике Карелия. Ключевые слова: зоопланктон, численность, биомасса, пространственное распределение, Ладожское озеро*

Ладожское озеро занимает шестнадцатое место по площади (17680 км<sup>2</sup>) и четырнадцатое по объему (848 км<sup>3</sup>) среди крупнейших пресноводных водоемов Европы, являясь одним из самых северных среди них (Атлас, 2002; Ладога, 2013; Ладожское, 2015). Ладожское озеро практически полностью определяет сток главной реки г. Санкт-Петербург – р. Невы, оказывая существенное воздействие на состояние и формирование вод Балтийского моря, расположенного у побережий трех стран Финского залива. Озеро играет ключевую роль в экономике европейской части Российской Федерации в целом не только как крупнейший источник водных ресурсов, но и как важное звено водной транспортной магистрали, связывающей северо-западный регион с центральными и южными регионами России и обеспечивающей выход на зарубежные рынки через Финский залив и Балтийское море. Водосбор Ладоги имеет высокий культурно-исторический и рекреационный потенциалы. На озере работают крупные рыболовецкие и рыбноводческие предприятия (Кондратьев и др., 2021).

В рамках рыбохозяйственных исследований вся акватория Ладожского озера условно разделена на восемь районов, охватывающих Ленинградскую область и Республику Карелия: Волховская (станции 1-4), Свирская (станции 6-8) и Шлиссельбургская (станции 23-25) губы, западный (станции 16-18), восточный (ст. 11, 27, 28), склоновый (станции 5, 9, 10, 21, 22), шхерный (станции 12-15) и глубоководный (центральный) (станции 19, 20, 26) районы. Сетка станций учитывает гидрологические и геоморфологические особенности озера, а также расположение основных нагульных районов рыб.

Сбор и анализ первичных данных по зоопланктону Ладожского озера выполнен в мае-июне и в августе-сентябре 2023 г. в рамках ежегодных рыбохозяйственных исследований на многолетней мониторинговой сетке станций (рис. 1).

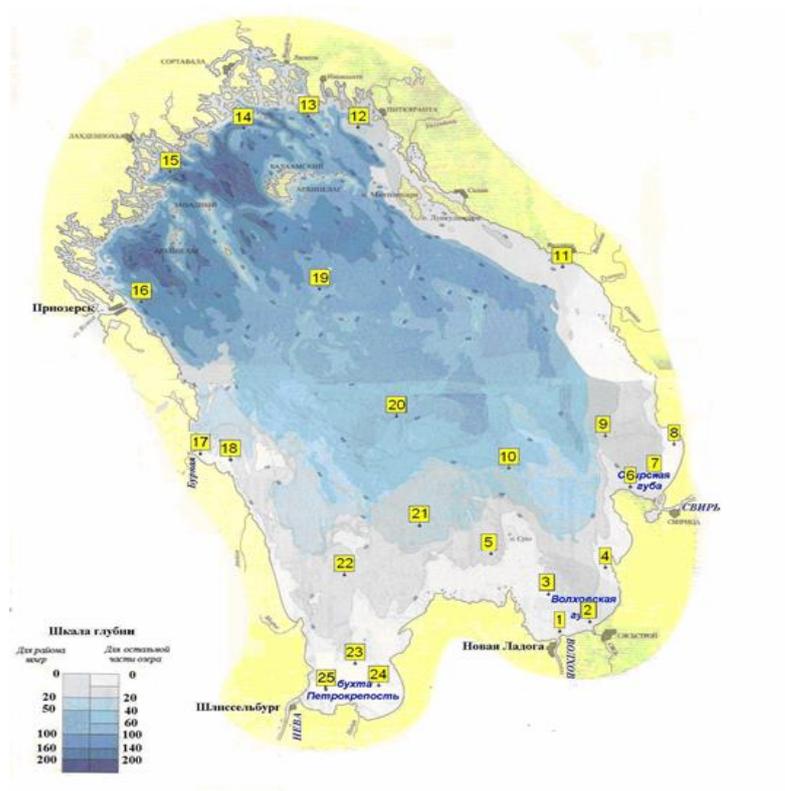


Рисунок 1. Гидробиологические станции на акватории Ладожского озера

Пробы зоопланктона отбирали при помощи средней планктонной сети Джеди (диаметр входного отверстия – 18 см, сито № 70) тотально на большинстве станций. На глубоководных станциях №№ 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 26 пробы отбирали фракционно (по слоям: от 10 м до поверхности, от 20 до 10 м и от дна до 20 м). Отобранные пробы обрабатывали с использованием традиционных рекомендованных методик (Методические рекомендации, 1984).

В 2023 г. в составе пелагического зоопланктона Ладожского озера зарегистрировано 68 видов: коловраток (*Rotifera*) – 29, ветвистоусых (*Cladocera*) – 18 и веслоногих (*Copepoda*) – 21 вид. В мае-начале июня было отмечено 53 вида (коловратки – 20, ветвистоусые – 16, веслоногие – 17), в сентябре – 45 (коловратки – 22, ветвистоусые – 10, веслоногие – 13). Наибольшее число видов отмечалось в Волховской (52), Свирской (45) губах и в Склоновом районе (43), наименьшее – в Восточном (35) и Глубоководном (34) районах.

В начале лета количественные показатели зоопланктона изменялись в зависимости от исследуемого участка озера в широком диапазоне и составляли: численность - от 0,27 тыс. экз./м<sup>3</sup> в Западном районе до 320,85 тыс. экз./м<sup>3</sup> в Свирской губе, а биомасса от 0,004 г/м<sup>3</sup> в Западном районе до 2,090 г/м<sup>3</sup> в Склоновой зоне. Значительно различались и усредненные по районам показатели численности (2,51-261,91 тыс. экз./м<sup>3</sup>) и биомассы (0,046-1,217 г/м<sup>3</sup>). Более высокие показатели обилия зоопланктона были характерны для трех южных мелководных заливов и для склоновой зоны. Минимальные величины численности и биомассы были характерны для Глубоководного (2,63 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 0,055 г/м<sup>3</sup>), Шхерного (2,51 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 0,045 г/м<sup>3</sup>) и Западного (3,98 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 0,056 г/м<sup>3</sup>) районов озера.

По численности на большей части акватории озера преобладали коловратки (72,3-94,1 %), только в Глубоководном и Шхерном районах они уступали холодноводным веслоногим, которые здесь доминировали (70,5 и 87,2 % соответственно).

Биомассу зоопланктона на большей части акватории озера формировали ракообразные, обеспечивая от 74,1 (Восточный р-н) до 99,7 % (Шхерный р-н) ее общей величины. Доля веслоногих при этом составляла от 73,4 до 99,6 %. Только в Волховской и

Свирской губах по биомассе преобладали коловратки (52,0 и 58,9 %), вклад ракообразных соответственно равнялся 48,0 и 41,1 % при доле ветвистоусых (21,2 и 24,2 %) и веслоногих (26,8 и 16,9 %). В группу лидеров входили *Eudiatomus gracilis* (Sars, 1863), *Eurytemora lacustris* (Poppe, 1887) и *Limnocalanus macrurus* (Sars G.O., 1863), реже *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863). Из них только крупный холодноводный реликтовый *L. macrurus* определял величину биомассы в Западном, Глубоководном, Шхерном районах и Шлиссельбургской губе. Ветвистоусые вносили значимый вклад в общую биомассу в Волховской и Свирской губах, за счет *Bosmina coregoni* Baird, 1857 и других видов рр. *Bosmina* и *Daphnia*.

Осенью локальные величины численности зоопланктона варьировали по акватории озера от 5,22 тыс. экз./м<sup>3</sup> в Шхерном р-не до 78,47 тыс. экз./м<sup>3</sup> в Волховской губе, а биомассы – от 0,083 на акватории Западного р-на до 2,137 г/м<sup>3</sup> в Волховской губе. Также высокая (более 1 г/м<sup>3</sup>) биомасса отмечалась на одной из станций Восточного района.

При значительном разбросе средних по районам показателей численности (8,23-60,47 тыс. экз./м<sup>3</sup>) и биомассы (0,130-1,300 г/м<sup>3</sup>) осенью, как и весной, более высокие концентрации зоопланктона были характерны для трех южных мелководных заливов.

Коловратки преобладали по численности в Свирской (60,5 %) и Шлиссельбургской (50,1 %) губах, в Волховской губе и Склоновом р-не их вклад составил 36,7 % и 33,7 %, на остальной акватории он был существенно ниже. Вклад веслоногих в общую численность в Свирской, Шлиссельбургской и Волховской губах был небольшим (29,5; 39,3 и 40,2 % соответственно), на остальной акватории он превышал 50% с максимумом 70,6 % в Восточном р-не. Доля ветвистоусых составляла по акватории от 9,5% до 23,1 % с максимумом в Волховской губе.

Биомассу зоопланктона повсеместно формировали ракообразные (веслоногие и ветвистоусые): в Шлиссельбургской губе они в сумме обеспечивали 70,5 %, на остальной акватории – более 90 % с максимумом (97,8 %) в Восточном р-не. Доминировали веслоногие (51,4-87,6 %). В Волховской, Свирской и Шлиссельбургской губах их доля составляла 51,4, 58,2 и 68,6 %, на остальной акватории она превышала 70 %.

Теплолюбивые ветвистоусые обеспечивали 19,2-41,5 % биомассы в мелководных прогреваемых губах, значительно меньшим их вклад был в глубоководных районах озера.

В группу лидирующих по биомассе входили *T. oithonoides*, *E. gracilis*, *E. lacustris*, и *L. macrurus*. Последние три определяли уровень биомассы в Склоновом, Западном, Глубоководном и Шхерном районах. Ветвистоусые *Leptodora kindtii* (Focke, 1844), *Limnoscidea frontosa* (Sars, 1862), а также, *Bosmina coregoni* и виды р. *Daphnia*, вносили значимый вклад в общую биомассу зоопланктона в трех южных заливах, а *B. coregoni* и на остальной акватории.

Результаты исследования показали, что в 2023 г. зоопланктон представлен типичными для Ладожского озера видами. Практически все из них являются кормовыми объектами для молоди окуневых, карповых (коловратки, молодь ракообразных) и взрослых рыб-планктофагов, в том числе корюшки и сиговых (ветвистоусые, веслоногие ракообразные) (Огородникова, 1995; Суслопарова, 1995, 1999).

Сезонная динамика зоопланктона в Ладожском озере обычно характеризуется наличием двух: весенне-летнего и летне-осеннего пиков численности и биомассы, реже – одного летнего (август). Первый пик обычно приходится на май-июнь и обусловлен массовым появлением в планктоне коловраток и молоди веслоногих, второй – на конец июля-август, реже на август-начало сентября и связан с кульминацией развития всех видов летнего зоопланктона. Осенью (начиная с сентября) происходит общее снижение численности и биомассы зоопланктона, снижение роли ветвистоусых и доминирование по биомассе веслоногих (Огородникова, 2009).

В начале лета локальные величины численности зоопланктона варьировали по акватории Ладожского озера в пределах 0,27-320,85 тыс. экз./м<sup>3</sup>, а биомассы – 0,004-2,090

г/м<sup>3</sup>. В начале осени диапазон локальных показателей составил 5,22-78,47 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 0,083-2,137 г/м<sup>3</sup>. Видовая и количественная структура зоопланктона в первый период наблюдений отвечала условиям весеннего, во второй – осеннего сезона.

В целом на акватории Ладоги по численности в зоопланктоне преобладали коловратки, основу биомассы обеспечивали веслоногие (рис. 2).

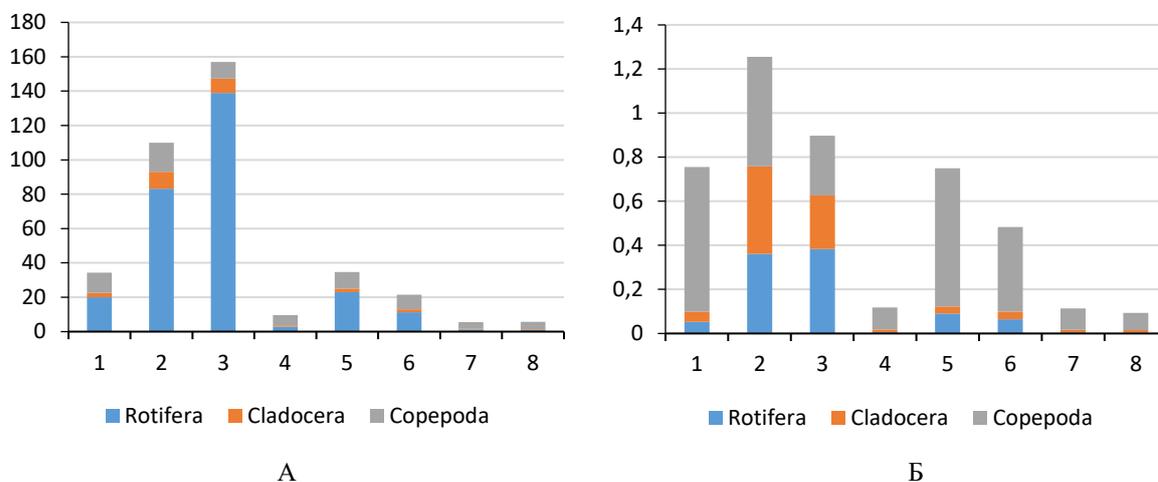


Рисунок 2. Средние показатели численности (тыс. экз./м<sup>3</sup>, А) и биомассы (г/м<sup>3</sup>, Б) зоопланктона Ладожского озера в 2023 г. (1 – Шлиссельбургская, 2 – Волховская, 3 – Свирская губы, 4 – западный, 5 – склоновый, 6 – восточный, 7 – центральный, 8 - шхерный районы)

Показатели обилия зоопланктона в 2023 г. находились в границах многолетнего ряда величин, характерных для Ладожского озера. Так, за период 2018-2022 гг. численность летнего зоопланктона составила в среднем от 29,6 (центральный р-н) до 115,04 тыс. экз./м<sup>3</sup> (Волховская губа), а биомасса – от 0,527 (западный р-н) до 1,532 г/м<sup>3</sup> (Волховская губа), что также сопоставимо и с более ранними исследованиями (Огородникова, 2009; Суслопарова и др., 2011, 2014).

Основная зона нагула планктофагов (молодь всех видов рыб, а также корюшка, ряпушка и другие) в 2023 г., включающая три южных залива, часть склоновой зоны и мелководные участки западного района (по данным рыбохозяйственных исследований лаборатории ихтиологии Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО»), характеризовалась сравнительно высоким уровнем развития зоопланктона, что обеспечивало благоприятные для рыб кормовые условия.

В соответствии с принятой классификацией (Пидгайко и др., 1968), для глубоководных участков Ладожского озера кормовую базу планктофагов можно охарактеризовать как «малокормную» (биомасса менее 1 г/м<sup>3</sup>). В южных заливах - «малой – средней кормности» (биомасса около 1 г/м<sup>3</sup> до 2 г/м<sup>3</sup>), на отдельных станциях Склонового района и Волховской губы - «выше средней» (биомасса более 2 г/м<sup>3</sup>).

Максимальные показатели численности и биомассы были характерны для мелководных южных заливов озера, высокая численность зоопланктона – для склонового района. Минимальные количественные показатели зоопланктоценозов зафиксированы для глубоководных участков западного, шхерного и центрального районов. Высокие показатели зоопланктона обусловлены более благоприятными гидрологическими условиями (прогреваемость мелководной части озера, поступление биогенов со стоком крупных рек).

#### Список литературы

1. Атлас. Ладожское озеро / Под ред. В.А. Румянцева. Изд. «444 Военно-картографическая фабрика МО РФ». СПб., 2002. 129 с.

2. Кондратьев С.А., Алхименко А.П., Кудерский Л.А. Ладожское озеро – геостратегический водный объект, определяющий жизнедеятельность северо-западных территорий России // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата. СПб., 2021. С. 12-21.
3. Ладога : монография / Под ред. В. А. Румянцева, С. А. Кондратьева. СПб.: Нестор-История, 2013. 468 с.
4. Ладожское озеро: теория и реальность / В. В. Меншуткин, Н. А. Петрова, И. В. Иофина и др.//Российская академия наук, Санкт-Петербургский экономико-математический институт, Институт озераедения. СПб.: Нестор-История, 2015. 75 с.
5. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Винберг Г.Г., Лаврентьева Г.М. (ред.). Л.: ГосНИОРХ, ЗИН АН СССР, 1984. 33 с.
6. Огородникова В.А. Питание и пищевые отношения личинок пелагических окуневых в южной части Ладожского озера // Сб. научн. тр. ГосНИОРХ. 1995. Вып. 314. С. 269-289.
7. Огородникова В.А. Современное состояние зоопланктона южной части Ладожского озера как кормовой базы рыб-планктофагов // Сб. научн.тр. ФГНУ «ГосНИОРХ». 2009. Вып. 334. С. 75-95.
8. Пидгайко М.Л., Александров Б.М., Иоффе Ц.И. и др. Краткая биолого-продукционная характеристика водоемов Северо-Запада СССР // Изв. ГосНИОРХ. 1968. Т. 67. С. 205-228.
9. Сулопарова О.Н. Особенности питания и пищевые взаимоотношения молоди массовых видов рыб Ладожского озера и Невской губы : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб. 1999. 22 с.
10. Сулопарова О.Н. Питание корюшки европейской *Osmerus eperlanus eperlanus* (L.) в южной части Ладожского озера // Сб. научн. тр. ГосНИОРХ. 1995. Вып. 314. С. 262-268.
11. Сулопарова О.Н., Мицкевич О.И., Огородникова В.А., Терешенкова Т.В. Сезонные и межгодовые изменения основных компонентов экосистемы (фито-, зоопланктон, макрозообентос) Южной Ладоги по результатам исследований в 2009-2010 гг. // Исследование экосистем крупных рыбопромысловых водоемов Северо-Запада России: Сб. науч. тр. Вып. 341. СПб.: Нестор-История, 2011. С. 201-243.
12. Сулопарова О.Н., Терешенкова Т.В., Огородникова В.А., Зуев Ю.А., Мицкевич О.И. Изменения летних гидробиоценозов южной Ладоги по материалам многолетних исследований ГосНИОРХ // Рыбохозяйственные исследования на водных объектах Европейской части России: Сб. науч. работ, посвященный 100-летию ГосНИОРХ. СПб., 2014. С. 238-258.

## ОСОБЕННОСТИ ВНЕШНЕЙ КРИПТИЧЕСКОЙ ОКРАСКИ ОКУНЯ (*PERCA FLUVIATILIS* L., 1758) В РАЗНОТИПНЫХ ВОДОЕМАХ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.Ю. Тропин

*Вологодский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ВологодНИРО»),  
г. Вологда, [tropin@vologod.vniro.ru](mailto:tropin@vologod.vniro.ru)*

*Аннотация: выявлено, что увеличению фенотипического разнообразия популяций окуня в разнотипных водоемах региона способствует возрастание частоты встречаемости в зонах пигментации простого фена I и сложного II. Изменение степени пигментации окуня носит клинальный характер с увеличением показателя с юга на север. Обнаружена зависимость между степенью изолированности озера и уровнем внутривидовой изменчивости окуня.*

Ключевые слова: речной окунь, фены, изменчивость, внешняя криптическая окраска, Вологодская область, индекс пигментации

Речной окунь является одним из наиболее распространенных и многочисленных видов рыб, населяющих водоемы Европейской части России (Берг, 1949; Покровский, 1951; Рыбы в заповедниках России, 2010; Блохин, Решетникова, Интересова, 2017). Известно, что этот вид характеризуется высокой степенью внутривидовой изменчивости, которая обусловлена экологической пластичностью окуня к разнообразным условиям среды (Бобырев, 2015; Тропин, 2020). Первоначально, изучение популяционной изменчивости окуня, было основано на анализе пластических и меристических признаков, в то время как рассмотрению качественных характеристик организма, включая и особенностей внешней криптической окраски не уделялось должного внимания (Рыбы в заповедниках России, 2010; Зеленецкий, 1992).

В последние годы для выявления внутривидовых различий окуня используются фенетические методы, основанные на выделении фенов, которые регистрируются в IV зонах пигментации. Фены являются альтернативными дискретными признаками, которые отражают специфику генетической структуры организма. Поэтому степень и характер внутривидовой изменчивости будут проявляться через особенности окраски рыб (Зеленецкий, 1992). Формирование поперечно-полосатой пигментации окуня происходит на мальковом этапе развития и окончательно складывается к шести месяцам и в дальнейшем не изменяется. Это позволяет исключить размерно-возрастную изменчивость фенов и создает возможность для объективного анализа фенетического разнообразия популяций рыб. При этом изменчивость непосредственно проявляется через набор фенов, частоте их встречаемости по зонам и величину индекса пигментации ( $I_3$ ), которые формируют фенетический облик конкретной популяции (Шайкин, 1989; Зеленецкий, 1992, Полетаев, 2014; Тропин 2020).

Вологодская область, расположенная на севере Европейской части России, обладает густой гидрографической сетью. Сложный и длительный генезис, равнинность территории, а также избыточное увлажнение в сочетании с разнообразными формами гляциальной деятельности привели к формированию разнотипных водных объектов, включая реки, малые и крупные озера (Квасов, 1975). Специфика водных объектов способствуют возникновению внутривидовой изменчивости рыб, включая и окуня. Поэтому целью данной работы является изучение особенностей внешней криптической окраски речного окуня в разнотипных водоемах Вологодской области.

Ихтиологический материал был собран в 2007-2020 гг. на трех крупных (Белое, Воже и Кубенское) и на семи малых озерах Вологодской области. Отлов окуня проводился различными орудиями лова, в том числе неводами, тралом, а также разноячейными

ставными сетями. Всего было обработано 1075 экз. рыб. Полный биологический анализ речного окуня осуществлялся на свежесобранном материале по общепринятым ихтиологическим методикам (Правдин, 1966). Изучение особенностей внешней криптической окраски речного окуня проводилось путем анализа ее элементов (фенов). Внутрипопуляционное разнообразие окуня оценивали по частоте встречаемости фенов, среднему числу ( $\mu$ ) и доле редких морф ( $h$ ). Сходство в распределении частот морф между отдельными популяциями определялось по рассчитанному показателю сходства ( $r$ ) и критерию идентичности ( $I$ ) (Животовский, 1979, 1980).

В результате изучения криптической окраски окуня водоемов Вологодской области были выявлены одно – так и многокомпонентные, включающие два или три простых. Основными однокомпонентными элементами являлись: «I», «II», «V», «V1,2», а также элемент «у». Реже на теле рыб регистрировались фено «W», «d» и «X». Простой элемент «у» практически никогда не обнаруживался как самостоятельный фен. Среди многокомпонентных наиболее распространенным был фен «II», образованный двумя продольными цельными полосами. Часто встречались и разные сочетания фенов «I» и «V» друг с другом, которые формировали двухкомпонентные модификации («IV» и «VI»). Кроме того, достаточно распространенными были многокомпонентные элементы окраски, являющиеся результатом совмещения в одной из зон пигментации простых фенов «I» и «V» с «у» (например, «uI» и «Iy»).

По результатам исследований была выявлена зональная динамика частоты встречаемости фенов криптической окраски окуня для каждой из исследованных популяций, которая была сопоставима с данными изучения рыб из других водоемов. Так, в I зоне пигментации около 70-80 % приходится на фен «I», являющийся типичным однокомпонентным элементом окраски. Во II зоне общая площадь поверхности тела рыб увеличивается, что приводит к повышению разнообразия элементов окраски, а доля фена «V» возрастает до 50-60 %. Кроме того, в этой зоне начинают отмечаться редкие многокомпонентные фено и сложный элемент «II». Представленность фенов окраски не снижается и в III зоне пигментации, однако значительно увеличивается доля фена «V», достигая у окуня из популяции речной части Шекснинского водохранилища 90 %. В последней IV зоне в связи с уменьшением ее площади доля фена «V» несколько снижается, а значение элемента «I» увеличивается. При этом повышение в популяциях речного окуня доли фена «II» происходит путем перераспределения элементов окраски во II–IV зонах пигментации за счет вытеснения фена «I» и снижения доли «V». Таким образом, прослеживается замена однокомпонентных фенов на многокомпонентные, что подтверждает унимодальность распределения фенов криптической окраски рыб.

Анализ частоты распределения фенов с использованием коэффициента Животовского ( $\mu$ ), показал, что наибольшая изменчивость наблюдается во II и III зонах, соответственно 8,02 и 6,52 (рис. 1).

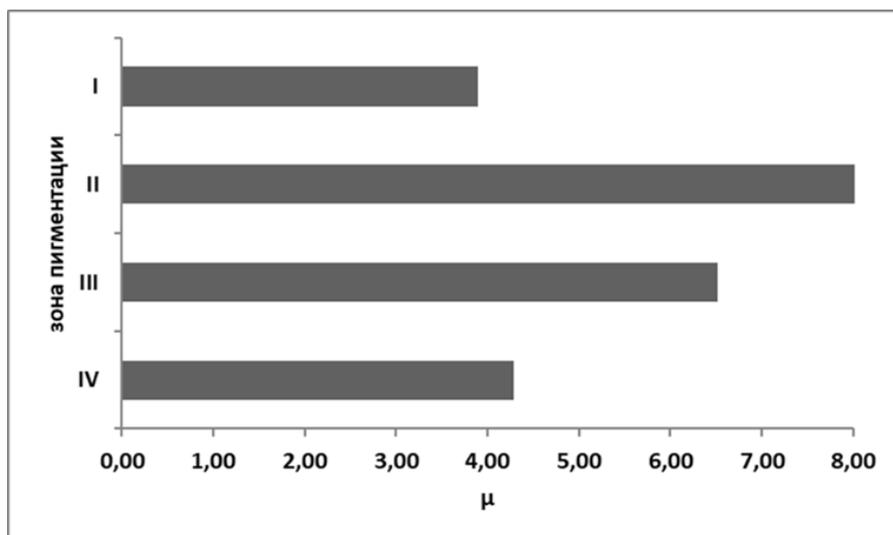


Рисунок 1. Разнообразие фенотипов (по коэффициенту Животовского ( $\mu$ )) по зонам пигментации популяций речного окуня водоёмов Вологодской области

Причем доля редких морф выше в III зоне, чем во II. Эти зоны соответствуют расширению туловища рыб к середине тела, что приводит к увеличению общей площади поверхности тела и к наиболее полному раскрытию генотипа.

Исследование индекса пигментации окуня ( $I_p$ ) в популяциях разных водоемов показало клинальный характер его изменения с увеличением значения в направлении с юга на север. Так, если в озерах Кубенском и Косковском, расположенных в южной части региона  $I_p$  окуня составляет 1,31-1,32, то в более северных водоемах (оз. Воже и Ковжском), он равен, соответственно, 1,4 и 1,6 (рис. 2).

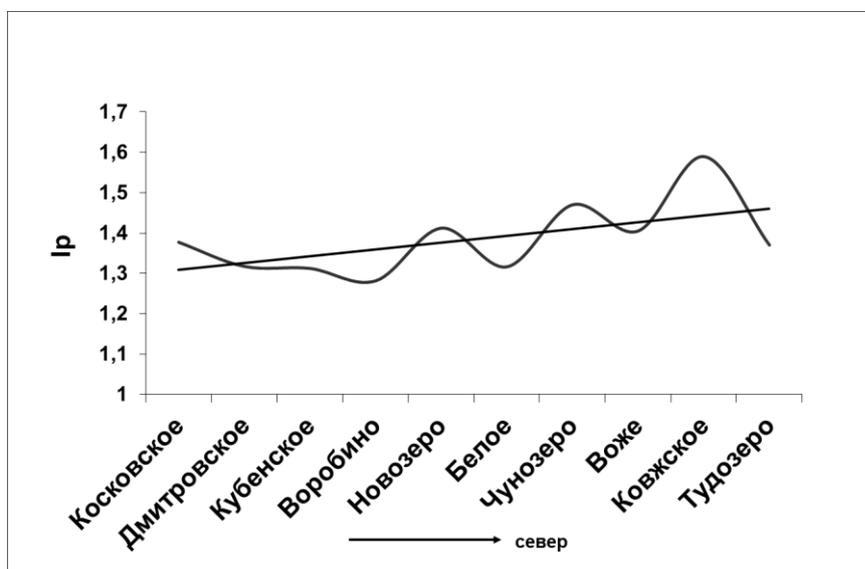


Рис. 2 – Клинальная изменчивость индекса пигментации окуня ( $I_p$ ) в озерах Вологодской области

Следует отметить, что для оз. Тудозеро, непосредственно связанного с крупным Онежским озером, индекс пигментации ниже (1,37), что подтверждает влияние проточности на пигментированность окуня. Повышение пигментации рыб обусловлено изменением частот фенотипов криптической окраски вследствие замены простых фенотипов I и v двухкомпонентными. Поэтому в водоемах северных широт увеличивается доля окуней со сложными фенотипами v, II, а также более редкими – vu, Iu, uv и т. д. Кроме того, в оз. Воже и Чунозеро существенную долю в окраске занимали фенотипы w, d и x, а сложные фенотипы с элементом u составляли 80% от числа всех редких фенотипов. Следует отметить, что выявленная

географическая зависимость доли редких фенотипов от пространственного расположения водоема нарушается в озерах, которые имеют большую проточность, высокую прозрачность и низкую степень зарастания. В таких водоемах пигментированность окуня снижена, а в криптической окраске преобладают простые фены, при этом доля редких незначительна. Так, например, в озерах Белое и Воробино индекс пигментации рыб снижается и это обусловлено слабым развитием в них зарослевой растительности. Кроме того, снижается роль отбора в формировании внешней окраски окуня при уменьшении пресса хищников, прежде всего щуки, местообитания которой приурочены к зарослям макрофитов.

Таким образом, увеличению фенотипического разнообразия популяций речного окуня способствует возрастание частоты встречаемости в зонах пигментации простого фена I, а также сложного – II. Изменение степени пигментации окуня носит клинальный характер с увеличением показателя с юга на север. Выявлено, что существует выраженная зависимость между степенью изолированности озера и уровнем внутривидовой изменчивости окуня. В малых озерах происходит увеличение индекса пигментации и доли редких морф с повышением величины цветности и степени зарастаемости водоемов. Исследование географических особенностей изменчивости окуня в водоемах Вологодской области, подтвердило формирование отличных по внешнему виду популяций рыб под влиянием условий обитания, из которых наибольшее значение имеет географическое положение, морфологические особенности водоема, а также степень его зарастания.

#### Список литературы

1. Берг Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. М.-Л.: АН СССР, 1949. Т. 3. С. 930-1381.
2. Блохин А.Н., Решетникова С.Н., Интересова Е.А. Речной окунь (*Perca fluviatilis* L.) в водоемах Томской области // Вестник рыбохозяйственной науки. 2015. Т. 2, № 3 (7). С. 20-24.
3. Бобырев А.Е. К вопросу о формировании экологических группировок в популяциях речного окуня *Perca fluviatilis* // Вопросы ихтиологии. 2013. Т. 53, № 6. С. 699-706.
4. Животовский Л.А. Показатель внутривидового разнообразия // Журнал общей биологии. 1980. Т. XLI, № 6. С. 828-836.
5. Животовский Л.А. Показатель сходства популяций по полиморфным признакам // Журнал общей биологии. 1979. Т. XL, № 4. С. 587-603.
6. Зеленецкий Н. М. Эколого-географическая изменчивость морфологических признаков окуня (*Perca fluviatilis* L.) в ареале : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Борок, 1992. 26 с.
7. Квасов Д.Д. Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л., 1975. 278 с.
8. Покровский Е.Н. Материалы по исследованию внутривидовой изменчивости окуня // Труды Карело-Финского отделения ГосНИОРХ. Петрозаводск, 1951. Т. 3. С. 95-149.
9. Полетаев А.С. Сравнение фенотипических особенностей речного окуня (*Perca fluviatilis* L., 1758) различных водных объектов Минской области Республики Беларусь и предполагаемые факторы, влияющие на изменчивость его криптической окраски // Труды БГУ. Минск, 2014. Т. 9, ч. 2. С. 143-150.
10. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
11. Рыбы в заповедниках России: в 2 томах / под. ред. Ю.С. Решетникова. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. Т. 1. Пресноводные рыбы. 628 с.
12. Тропин Н.Ю. Эколого-биологические особенности и промысловое значение речного окуня (*Perca fluviatilis* L., 1758) в крупных рыбохозяйственных водоемах Вологодской области : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2020. 24 с.
13. Шайкин А.В. Выделение внутривидовых группировок у рыб с помощью анализа окраски тел // Журнал общей биологии. 1989. Т. 50, № 4. С. 491-503.

## ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕКИ МИУС В РАЙОНЕ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ И РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ (ПО ДАННЫМ ЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА 2024 г.)

А.В. Трушков, Ю.В. Косенко, Т.Е. Баскакова, Т.Б. Картамышева

*Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»),  
г. Ростов-на-Дону, [trushkovav@azniirkh.vniro.ru](mailto:trushkovav@azniirkh.vniro.ru)*

*Аннотация: в летний период 2024 г. в р. Миус отмечен благоприятный для водных биоресурсов кислородный режим. Локальное защелачивание воды до 8,61 усл.ед. в нижнем течении реки не являлось критичным для гидробионтов. Концентрации в воде минеральных форм азота не превышали ПДК<sub>р/х</sub>. Отмечено локальное накопление фосфатного фосфора в районе г. Миусинск, не исключен факт негативного антропогенного влияния на акваторию.*

Ключевые слова: река Миус, вода, гидрохимический режим, среда обитания, водные биологические ресурсы

Исследование гидрохимического статуса рек, протекающих через Донецкую и Луганскую Народные Республики, имеет важное экологическое и рыбохозяйственное значение, поскольку позволяет дать оценку условий среды обитания водных биологических ресурсов. Одной из рек, представляющих наибольшую актуальность, является р. Миус.

Миус – река, берущая начало на склонах Донецкого кряжа, протекающая по территории Донецкой и Луганской Народных Республик, Куйбышевского, Матвеево-Курганского и Неклиновский районов Ростовской области. Впадает в Миусский лиман Таганрогского залива. Длина реки 258 км, площадь бассейна 6680 км<sup>2</sup>. В бассейне Миуса существует несколько небольших водохранилищ, используемых для водоснабжения промышленности, гидроэнергетики и мелиорации. На берегах реки и водохранилищ располагаются рекреационные объекты (Ресурсы..., 1964; Воробьев и др., 2019).

Гидрохимические исследования р. Миус проведены в августе 2024 г. Отбор проб выполнен в соответствии с ГОСТ Р 59024-2020 с поверхностного горизонта воды на 6 точках забора: точка №1 – район г. Миусинск ДНР (48.076229 N, 38.893341 E); точка №2 – район с. Дмитровка ДНР (47.923977 N, 38.936106 E); точка №3 – район с. Куйбышево Ростовской области (47.813448 N, 38.885510 E); точка №4 – район пос. Матвеев-Курган Ростовской области (47.568439 N, 38.852405 E); точка №5 – район с. Покровское Ростовской области (47.417969 N, 38.891806 E); точка №6 – Миусский лиман (47.261183 N, 38.818323 E) (рис. 1).

Для определения температуры воды использован термометр ТМ-10. Гидрохимический анализ включал определение растворенного в воде кислорода (РД 52.24.419-2019), рН воды (Инструкция по эксплуатации рН-метра), азота аммонийного (РД 52.24.383-2018), азота нитритного (РД 52.24.518-2008), азота нитратного (РД 52.24.523-2009), фосфатов по фосфору (РД 52.24.382-2019), кремниевой кислоты (РД 52.24.433-2018).

В р. Миус глубина составляла 80-100 см, в районе г. Миусинск – 40 см. Максимальная скорость течения отмечена в верхнем течении реки, минимальная – в нижнем течении. Низкая температура воды зафиксирована в верхнем течении в районе г. Миусинск (18,6 °С), в нижнем течении реки в районе с. Покровское она увеличивалась до 26,4 °С. Каменистый тип грунта в верхнем течении реки изменялся до каменисто-илистого в среднем течении и илистого – песчано-илистого в нижнем течении.

Зарастаемость берегов высшей водной растительностью увеличивалась по мере снижения скорости течения реки. Наличие зарастаемости прибрежной части реки в объеме 40-60 % отмечено от с. Куйбышево до устья. При этом, зарастаемость непосредственно

Миусского лимана была максимальна и составляла 90-95 % (при наличии заболоченности территории). Топкий берег также отмечен в р. Миус в районе пос. Матвеев-Курган.

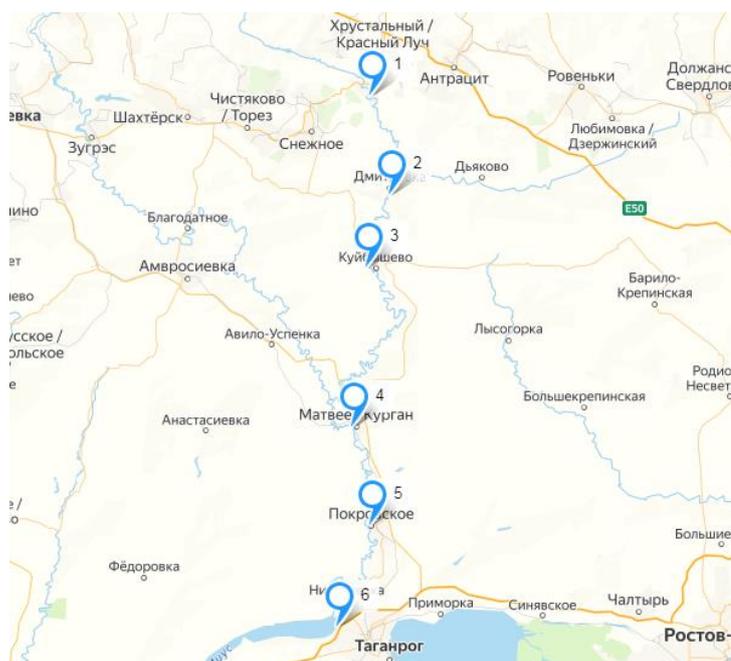


Рисунок 1. Карта-схема отбора проб воды в р. Миус

Кислородный режим р. Миус формировался в различных гидрологических условиях. В верховье и среднем течении реки (г. Миусинск – с. Куйбышево) повышенные скорости течения и наличие грунтового питания приводило к сниженной активности фотосинтетических процессов. Как следствие, насыщение воды кислородом составляло 85–92 %. В степной части (южнее пос. Матвеев-Курган) течение замедляется, температура воды увеличивается, что способствовало развитию интенсивного фотосинтеза (>135 % насыщения воды кислородом) (рис. 2). Абсолютное содержание растворенного в воде кислорода варьировало в диапазоне 8,0–12,4 мг/дм<sup>3</sup> и не снижалось ниже ПДК<sub>р/х</sub>.

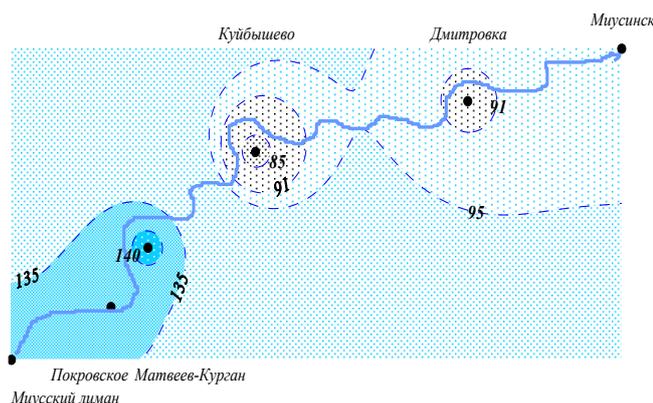


Рисунок 2. Пространственное распределение насыщения воды кислородом в р. Миус в августе 2024 г., % насыщения

Величина рН воды варьировала по акватории в диапазоне 8,06-8,61 усл. ед., что соответствовало слабощелочной и щелочной реакции среды. Пространственное распределение рН воды совпадало с уровнем насыщения воды кислородом. Максимум рН воды (8,38-8,61 усл.ед) зафиксирован при интенсивном фотосинтезе в нижнем течении р. Миус. Локальное, некритичное для жизнедеятельности водных биологических ресурсов, защелачивание воды отмечено в створе пос. Матвеев-Курган (рис. 3).

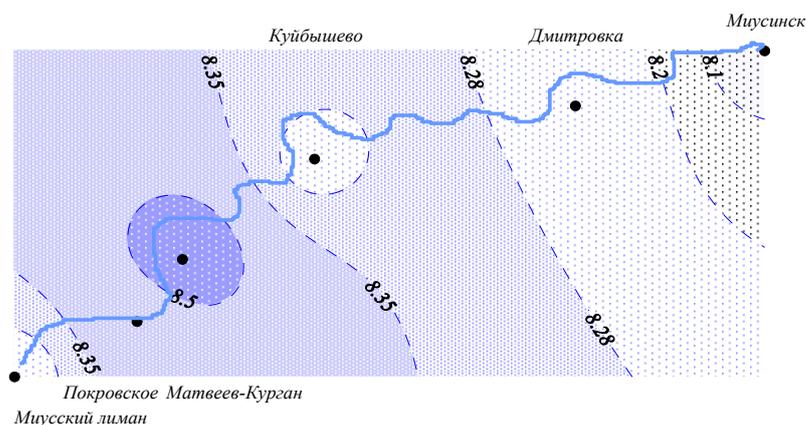


Рисунок 3. Пространственное распределение рН воды в р. Миус в августе 2024 г., усл.ед.

Содержание аммонийного азота в воде характеризовалось равномерностью пространственного распределения, варьируя в узком диапазоне  $0,117-0,127$  мг/дм<sup>3</sup>.

Концентрация в воде нитритного азота составляла в среднем  $0,0094$  мг/дм<sup>3</sup> при варьировании от  $<0,0050$  до  $0,0182$  мг/дм<sup>3</sup> и достаточно четко соотносилась с динамикой растворенного кислорода. Так, в верхнем и среднем течении р. Миус (г. Миусинск – с. Куйбышево) при пониженном содержании кислорода концентрация нитритного азота была минимальна (до  $0,0068$  мг/дм<sup>3</sup>). Повышение содержания азота нитритного отмечалось в створах пос. Матвеев-Курган и с. Покровское при максимуме растворенного кислорода. В районе Миусского лимана концентрация нитритного азота в воде резко снижалась до  $<0,0050$  мг/дм<sup>3</sup> (рис. 4).

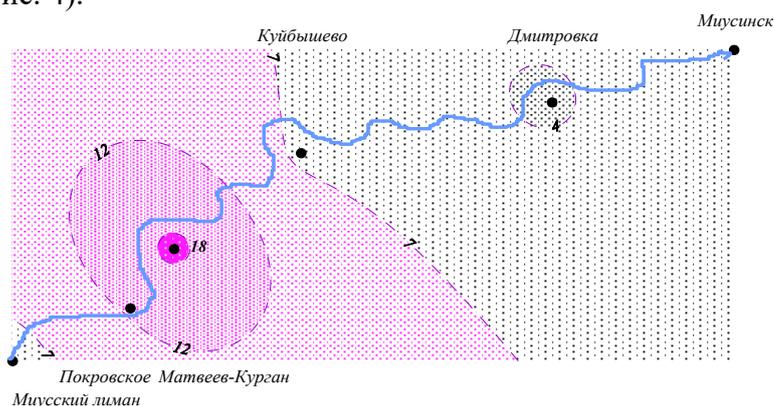


Рисунок 4. Пространственное распределение нитритного азота в р. Миус в августе 2024 г., мг/м<sup>3</sup>

Аналогичное пространственное распределение отмечено и для азота нитратного (рис. 5). В целом, концентрации минеральных форм азота в воде р. Миус не превышали ПДК<sub>р/х</sub>.

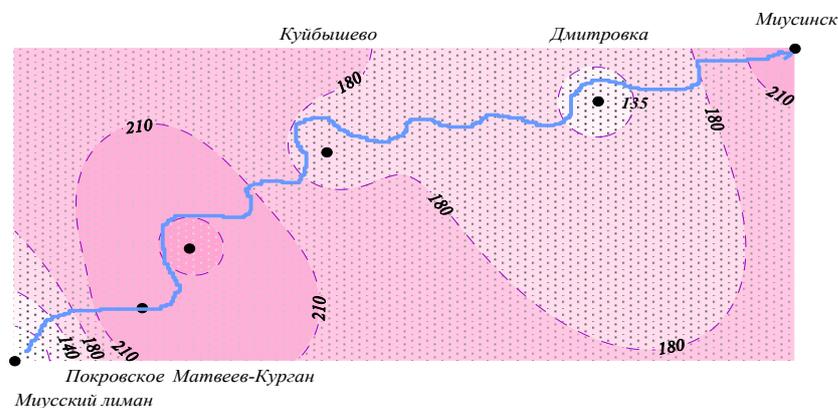


Рисунок 5. Пространственное распределение нитратного азота в р. Миус в августе 2024 г., мг/м<sup>3</sup>

Содержание фосфатного фосфора в среднем составляло  $0,078 \text{ мг/дм}^3$ , варьируя в широком диапазоне от  $0,035$  до  $0,232 \text{ мг/дм}^3$ . Максимум фосфатов (по фосфору) в створе г. Миусинска превысил ПДК<sub>р/х</sub> для эвтрофных водоемов в 1,2 раза, для мезотрофных – в 1,6 раз, для олиготрофных – в 4,6 раз. Данный факт диктует необходимость проведения дальнейших мониторинговых работ. Не исключено антропогенное загрязнение акватории фосфатами. В нижнем течении реки преобладал фотосинтез, благодаря которому содержание фосфатного фосфора постепенно снижалось до  $0,035 \text{ мг/дм}^3$  (рис. 6).

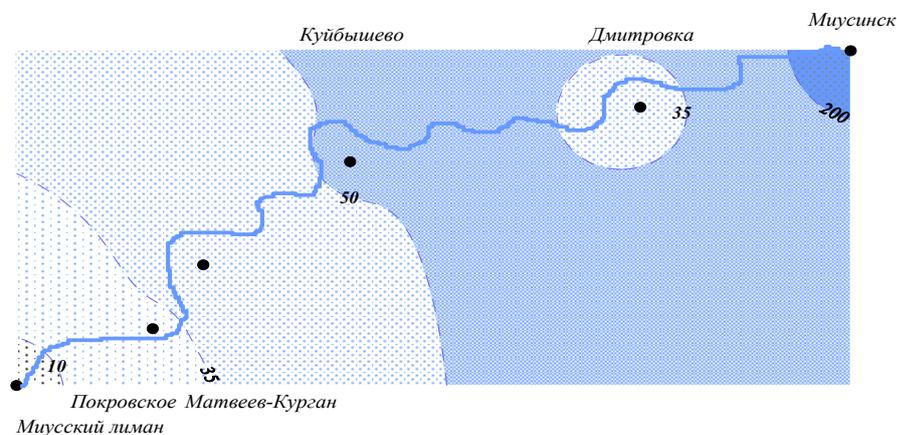


Рисунок 6. Пространственное распределение фосфатного фосфора в р. Миус в августе 2024 г.,  $\text{мг/м}^3$

Концентрация кремнекислоты в воде составляла в среднем  $4,3 \text{ мг/дм}^3$ , варьируя в диапазоне от  $3,0$  до  $5,9 \text{ мг/дм}^3$ . Максимальное содержание кремниевой кислоты фиксировалось в створах пос. Матвеев-Курган и с. Покровское, что связано с влиянием поверхностного стока балок Мокрая и Сухая Камышеваха, Соленая, р. Каменка, расположенных в Матвеево-Курганском районе (рис. 7).

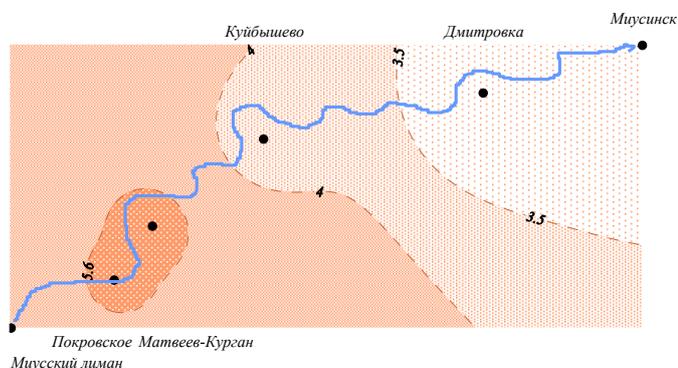


Рисунок 7. Пространственное распределение кремнекислоты в р. Миус в августе 2024 г.,  $\text{мг/м}^3$

Таким образом, р. Миус от г. Миусинск до впадения в Миусский лиман в пространственном отношении различается по гидролого-гидрохимической характеристике. Верхнее течение реки отличается малыми глубинами, высокой скоростью течения, низкой температурой воды и пониженной активностью фотосинтеза. К устью реки скорость течения снижается, увеличивается глубина, активность фотосинтетических процессов значительно возрастает. В нижнем течении р. Миус отмечается заболоченность берегов, увеличение доли илистых донных осадков, зарастаемость высшей водной растительностью. В целом, в р. Миус в летний период 2024 г. отмечен благоприятный для гидробионтов кислородный режим. Локальное защелачивание воды до  $8,61$  усл.ед. в районе пос. Матвеев-Курган (нижнее течение реки) не являлось критичным для жизнедеятельности водных биоресурсов. Концентрации в воде минеральных форм азота не превышали ПДК<sub>р/х</sub> и не

лимитировали развитие фитопланктона. Локальное накопление фосфатного фосфора, в концентрациях не летальных для гидробионтов, отмечено в районе г. Миусинск, не исключен факт негативного антропогенного влияния на акваторию. Концентрация в воде кремниевой кислоты была достаточна для развития диатомовых водорослей.

#### **Список литературы**

1. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 7. Донской район / Под ред. Д.Д. Мордухай-Болтовского. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 267 с.
2. Воробьев Е.В., Усова Е.В., Орехова Ю.В. Анализ динамики и источников поступления ионов марганца, меди, никеля и алюминия в трансграничную реку Миус в период с 2003 по 2017 годы // Юг России: экология, развитие. 2019. Т. 14, № 1. С. 81-93. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-1-81-93.

## ОБЪЁМЫ ТОВАРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ В РЕСПУБЛИКЕ КАРЕЛИЯ

И.А. Тыркин\*, А.В. Картанович\*\*, А.В. Тыркина

\* Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, [igor7895@yandex.ru](mailto:igor7895@yandex.ru)

\*\* Карельский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («КарелНИРО»)  
г. Петрозаводск, [kartanovich@karel.vniro.ru](mailto:kartanovich@karel.vniro.ru), [nusha.90-12@mail.ru](mailto:nusha.90-12@mail.ru)

*Аннотация: в работе приводятся краткие сведения о площади водных объектов Карелии, сведения о выращенной товарной радужной форели с 1988 по 2022 г., предельные объёмы выращивания товарной форели в водоёмах Карелии. Рассматриваются причины успешного развития аквакультуры (лососеводства) на Северо-Западе России. Приводятся факторы негативного воздействия на водную среду при товарном выращивании радужной форели. Представлены необходимые гидрохимические требования к водной среде при выращивании форели.*

Ключевые слова: аквакультура, радужная форель, объёмы выращивания, садковое рыбоводство, эвтрофирование

Экологическая безопасность функционирования сообществ гидробионтов в разнотипных водных экосистемах под влиянием природных и антропогенных факторов является одной из важных задач современной науки (гидробиологии, ихтиологии и др.) для обеспечения устойчивого развития человечества. Особенно чувствительными к негативным воздействиям со стороны техносферы являются водные системы Европейского Севера, к которым территориально относится Республика Карелия, где водоемы в геологическом отношении весьма молоды и требуют бережного отношения.

В настоящее время в северных водных объектах наблюдается сокращение запасов и резкое падение добычи (вылова) ценных промысловых видов рыб, что привело к интенсификации работ, направленных на интродукцию промысловых объектов и разработку биотехники культивирования различных организмов. За последние 40 лет в рыбохозяйственной отрасли большое значение приобретает аквакультура.

Аквакультура – это разведение и выращивание водных организмов с целью получения товарной продукции, осуществляемые под контролем человека. В мировом рыбном хозяйстве, в ведущих рыболовных странах она признана одним из основных факторов, улучшающих состояние экономики, способствующих обеспечению продовольственной безопасности, насыщению внутреннего рынка, занятости населения.

В настоящее время, по экономическим причинам, в стране развивается импортозамещение в области рыбного сырья. Важную роль в этом направлении играет продукция садковой аквакультуры. Важнейшей задачей в развитии данного направления сельскохозяйственной деятельности является увеличение производства и расширение ассортимента отечественной рыбной продукции. Согласно «Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года» планируется расширение производства товарной аквакультуры до 700 тыс. т в год.

Согласно стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации существенное развитие рыбохозяйственного комплекса Северо-Западного федерального округа заключается в увеличении производства продукции с высокой добавленной стоимостью из морских видов рыб и индустриального лососеводства.

Перспективным и рентабельным направлением развития рыбного хозяйства в Республике Карелия является садковое выращивание холодолюбивых видов рыб семейства лососевых (преимущественно радужной форели). Параллельно с развитием выращивания товарной рыбы в естественных водоёмах происходит развитие индустриальной

аквакультуры в системах замкнутого водоснабжения. Этот вид аквакультуры предполагает высокую степень интенсификации производства, что позволяет получить полный контроль над процессом выращивания рыб и поддержании параметров водной среды на оптимальном уровне, в связи с чем, продуктивность в промышленных системах ожидается наиболее высокая по сравнению с другими видами аквакультуры.

Целью работы являлся анализ объёмов выращивания радужной форели в водоёмах Карелии с 1988 по 2022 гг.

Площадь Республики Карелия составляет 172,4 тыс. км<sup>2</sup>, и для нее характерно уникальное изобилие озер (более 60 тысяч). В ее пределах находится около 50% акватории Ладожского и 80 % – Онежского озер, являющихся крупнейшими пресноводными водоемами Европы. Самую многочисленную группу (более 50 тысяч) составляют озера площадью до 10 га, от 1000 га и более – всего 155. Озерность территории республики достигает 21%, и этот показатель является одним из самых высоких в мире (Озера Карелии, 2013).

Исследования по изучению возможности выращивания радужной форели *Parasalmo mykiss* Walbaum в водоёмах Карелии были начаты в 1960-х гг. прошлого столетия (Горбунова, Дмитриенко, 1964; Арендаренко, 1976). На основании этих работ было установлено, что водные объекты Республики Карелия с естественным ходом температур, являются подходящими для выращивания холодолюбивых видов рыб (преимущественно форели).

Выращиванием радужной форели в садках в промышленных объёмах стали заниматься в конце 1980-х гг. (Рыжков, 2002; Рыжков, Кучко, 2008). Воспроизводство форели в естественных водоёмах южной части Карелии оказалось успешным и востребованным, что привело к устойчивому увеличению объёмов выращивания товарной рыбы. Республика Карелия стала лидером производства форели (70 %) в России.

По данным Росрыболовства (Итоги деятельности..., 2021), в последние годы в Северо-Западном федеральном округе значительно увеличился объем производства товарной рыбы семейства Лососевые, на 98 % представленные атлантическим лососем (семга) и радужной форелью. По объёмам производства среди субъектов Российской Федерации Республика Карелия занимает третье место по объёмам производства товарной продукции, уступая Мурманской области и Приморскому краю.

Разведение форели в республике за последние 20 лет существенно выросло (рис.). Если в 2000 г. ее было выращено всего 1,16 тыс. т, то в 2020 г. рыбоводными хозяйствами выращено 36,4 тыс. т разновозрастной рыбы, в том числе товарной рыбы 26,48 тыс. т. По сравнению с 2019 г. объем выращенной рыбы в 2020 г. вырос на 11,2 %, а товарной рыбы на 18,8 %. В 2021 г. выращено 34,9 тыс. т разновозрастной рыбы (96,3 % к 2020 г.), в том числе 24,4 тыс. т товарной рыбы (92,1 % к 2020 г.). Снижение показателей выращивания обусловлены сложившимися в летний период экстремальными температурами, при которых выращиваемая форель прекратила питаться. В 2022 г. рыбоводными предприятиями было выращено 36,6 тыс. т разновозрастной рыбы (105 % к 2021 г.), в том числе 24,9 тыс. т товарной рыбы (102 % к 2021 г.). Среди видов товарного воспроизводства радужная форель занимает 99,9 % от общего объема выращенной разновозрастной рыбы. В республике воспроизводством занимаются и таких видов как – сиг и осетр, но их доля от объема выращенной рыбы составляет 0,1 %. В настоящее время в республике функционирует 74 форелевых хозяйства (Государственный доклад о состоянии окружающей среды, 2023).

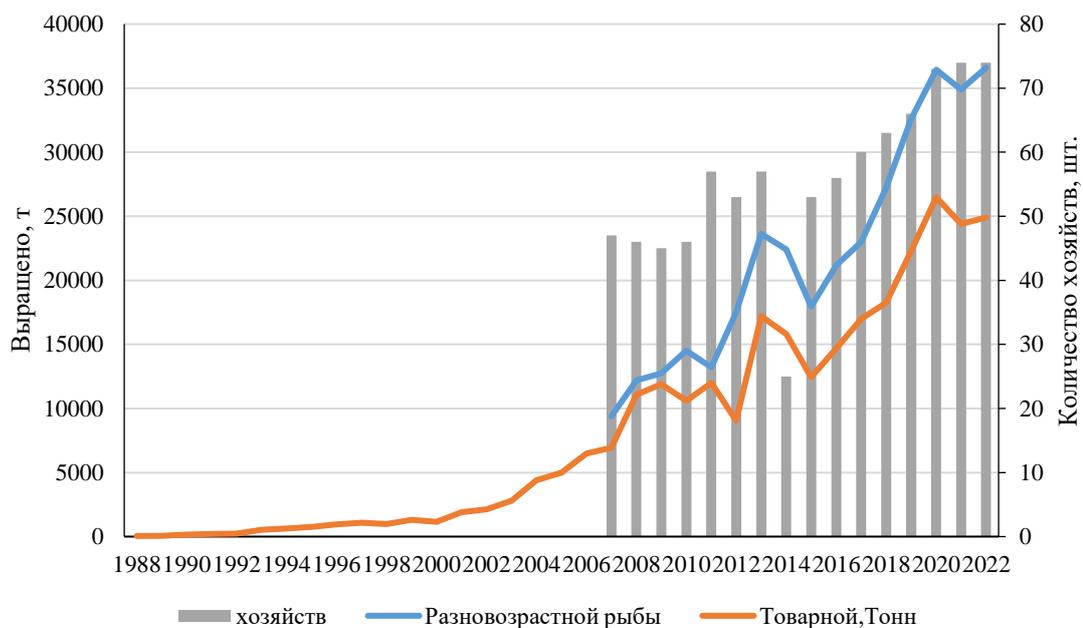


Рисунок. Выращивание товарной форели в Республике Карелия

Успешному развитию форелеводства в Карелии способствуют благоприятные климатические условия региона (длительный световой период во время вегетации, оптимальные температуры, большие запасы чистой воды), развитые транспортные сети, квалифицированные кадры и государственная поддержка предпринимателей в области товарной аквакультуры. В республике накоплен достаточный технологический опыт, и в настоящее время сформировался рыбохозяйственный комплекс индустриального выращивания товарной рыбы.

Основным условием при производстве форели является сохранение качества природных вод. Это особенно актуально для северных водоемов, в которых процессы трансформации органических веществ осуществляются крайне медленно. Все, что попадает в воду от форелевых хозяйств, не успевает трансформироваться, и может привести к изменению качества воды и даже трофического статуса водоемов при нарушении объемов выращивания товарной рыбы (Стерлигова, Ильмаст, 2018).

Основными источниками загрязнения при выращивании радужной форели в садках являются корм, продукты метаболизма, а лимитирующими факторами служат биогенные элементы (азот и фосфор).

На некоторых обследованных форелевых фермах уже отмечается ежегодное «цветение» воды, идет усиленное образование детрита и заиление грунтов (Решетников и др., 1982; Комулайн, 2003, 2004 и др.) Изменение условий существования влияют на все звенья трофической цепи, начиная от фитопланктона, зоопланктона, бентоса и заканчивая рыбами. На некоторых озерах с выращиванием радужной форели в составе фитопланктона стали доминировать диатомовые водоросли (до 90 %), и их биомасса достигает 0,64 г/м<sup>3</sup> (Комулайн, 2004). Биомасса зоопланктона возросла в два раза и в его составе появились коловратки (*Synchaeta stylata*, *S. pectinata*, *Polyarthra luminosa*), принадлежащие к группе индикаторов повышенной трофности (Кучко, 2004). Резко увеличилась биомасса бентоса за счет хирономид, олигохет, моллюсков и бокоплавов, менее чувствительных к воздействию антропогенных факторов. В составе рыбного населения ранее лососевые виды рыб (лосось и форель) регулярно присутствовали в уловах, а в последнее время встречаются единично. Происходит постепенное изменение трофического статуса озер от олиготрофного к мезотрофному типу.

По мнению специалистов КарНЦ РАН по гидрологическим гидрохимическим и гидробиологическим показателям только около 100 водоемов Республики Карелии, могут быть использованы для выращивания радужной форели (Стерлигова, Ильмаст, 2018).

По расчетным данным, с применением разных методик было установлено, что объемы производства форели в пресных водах республики могут быть доведены до 30-35 тыс. тонн в год и не более. Дальнейшего увеличения объемов выращивания форели, допустить никак нельзя, так как это приведет к еще более мощному эвтрофированию водоемов за счет отходов от ферм, и качество воды настолько ухудшится, что будет непригодна для обитания рыб и водопользователей (Стерлигова, Ильмаст, 2018).

Для предотвращения необратимых последствий на водных экосистемах с товарным выращиванием форели необходимо проведение мониторинговых исследований по всем показателям состояния экосистемы: аммонийный азот, общий азот, минеральный фосфор, кислород, перманганатная окисляемость, рН, фитопланктон, зоопланктон, бентос, рыбы, количество и качество используемого корма.

Таким образом, форелеводство в водоёмах Карелии развивается успешно, чему способствуют благоприятные климатические условия региона, транспортная сеть, поддержка государства. За последние 10 лет объёмы воспроизводства радужной форели увеличились более чем в 2 раза с 9 до 24,9 тыс. т в 2022 г. Рекордный объём форели был выращен в 2020 г. и составил 26,5 тыс. т. По данным КарНЦ РАН предельный объём выращивания радужной форели в пресноводных водоемах может составлять до 35 тыс. т. При дальнейшем увеличении объёмов выращивания без изменения технологии выращивания (состава кормов) или применения рыбохозяйственной мелиорации будет приводить к деградации экосистем в водоёмах Карелии в следствии эвтрофирования.

#### Список литературы

1. Арендаренко Г.А. Методические указания по выращиванию радужной форели в водоемах Карелии. Петрозаводск: Изд-во «Карелия», 1976. 17 с.
2. Горбунова З.А., Дмитриенко Ю.С. О возможности выращивания радужной форели в малых озерах Карелии // Рыбное хозяйство Карелии. Вып. 8. Петрозаводск: Карельское книжное изд-во, 1964. С. 82-86.
3. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2022 г. Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия. Петрозаводск, 2023. 265 с.
4. Итоги деятельности Федерального агентства по рыболовству в 2021 году: ФАР.
5. Комулайнен С.Ф. Методические рекомендации по изучению фитоперифитона в малых реках. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2003. 43 с.
6. Комулайнен С.Ф. Экология фитоперифитона малых рек Восточной Фенноскандии. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2004. 182 с.
7. Кучко Я.А. Влияние форелевого хозяйства на сообщество зоопланктона озерно-речной экосистеме : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск: ПетрГУ, 2004. 20 с.
8. Озера Карелии. Справочник / Под ред. Н.Н. Филатова. В И. Кухарева. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2013. 464 с.
9. Решетников Ю.С., Попова О.А., Стерлигова О.П. и др. Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. М.: Наука, 1982. 248 с.
10. Рыжков Л.П. Состояние и возможности аквакультуры на Европейском Севере // Проблемы воспроизводства, кормления и борьбы с болезнями рыб при выращивании в искусственных условиях : Мат-лы конф. Петрозаводск: ПетрГУ, 2002. С. 14-21.
11. Рыжков Л.П., Кучко Т.Ю. Садковое рыбоводство. Петрозаводск. 2008. 162 с.
12. Стерлигова О.П., Ильмаст Н.В. Состояние и перспективы развитие форелеводства в Республике Карелия // Рыбохозяйственные водоёмы России: фундаментальные и прикладные исследования : Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием (Санкт-Петербург, 2-4 апреля 2018 г.). ФГБНУ «ГосНИОРХ», 2018. С. 591-595.

## ЗООПЛАНКТОН БУХТЫ БЛАГОПОЛУЧИЯ (СОЛОВЕЦКИЙ АРХИПЕЛАГ) В СЕРЕДИНЕ ЛЕТА

Н.В. Усов

*Зоологический ин-т РАН (ЗИН РАН), г. Санкт-Петербург,  
Институт водных проблем Севера РАН (ИВПС РАН),  
г.Петрозаводск, [nikolay.usov@gmail.com](mailto:nikolay.usov@gmail.com)*

*Аннотация: с 15 по 20 августа 2024 г. в рамках гидробиологических исследований в Гавани Благополучия о. Большой Соловецкий выполнен отбор проб мезозoopланктона и измерения гидрофизических параметров. Определен состав зоопланктона, показана смена доминант на станциях в куту бухты, что связано с локальными особенностями гидрологического режима. Показано сильное обеднение видового состава в наиболее загрязненной части бухты.*

**Ключевые слова:** Соловецкий архипелаг, мезозoopланктон, распределение, доминирование, органическое загрязнение

Работы выполнялись в рамках рекогносцировочного этапа исследований, с целью выбора ключевых участков прибрежной акватории в пределах Гавани Благополучия о. Большой Соловецкий для формирования сети мониторинга. Сформирована сетка станций отбора проб (рис. 1), максимально полно охватывающая акваторию. Натурные исследования включали гидрофизические измерения, отбор гидробиологических и гидрохимических проб. Планируемые работы необходимы для характеристики трофического статуса и качества вод прибрежной акватории в р-не Гавани Благополучия, которые могут отражать антропогенную нагрузку на водную экосистему.

Пробы мезозoopланктона отбирали на пяти станциях (рис. 1), на разном удалении от кута бухты Благополучия, в разные фазы приливного цикла – на полной и малой воде. Пробы зоопланктона отбирали сетью Джели с диаметром входного отверстия 26 см и ячейей фильтрующего сита 100 мкм, фиксировали формалином (2-4 %) и обрабатывали счетным методом. Для этого объем пробы доводили до 200 мл, брали из нее 3 аликвоты по 1 мл, в которых подсчитывали массовые формы (>5-10 экз. на аликвоту), затем во всей пробе считали менее многочисленных животных. На самой глубокой станции S-1 пробы отбирали вертикальной протяжкой сети в слое 0-5 м. На остальных станциях, где глубины не превышали 5 м в полную воду, пробы отбирали с поверхности 10-л ведром, проливая воду через планктонную сеть. На каждой станции фильтровали 250 л воды (0,25 м<sup>3</sup>), что равно профильтрованному объему воды при 5-метровой протяжке.



Рисунок 1. Станции отбора проб в Гавани Благополучия о. Большой Соловецкий.

Параллельно с отбором проб зоопланктона измеряли температуру воды, соленость, концентрацию взвеси и хлорофилла *a*.

В мезозоопланктоне бухты Благополучия отмечено 24 таксона истинно планктонных организмов и личинок донных беспозвоночных. Наиболее массовыми были *Acartia longiremis*, *Eurytemora affinis affinis*, *Evadne nordmanni*, личинки Cirripedia и Gastropoda.

Максимальная численность отмечена на мористой станции S1 на малой воде и на станции S3 на полной воде (35720 и 35160 экз./м<sup>3</sup>, соответственно) (рис. 2) – это почти в 2 раза выше средних значений в прибрежье Белого моря в это время года (Usov et al., 2013; Отченаш, Остапенко, 2019). Наименьшая численность зоопланктона отмечена в кутовой части бухты, рядом с выходом сточных вод (ст. S4). Эти значения в 3-4 раза ниже характерных для прибрежья Белого моря.

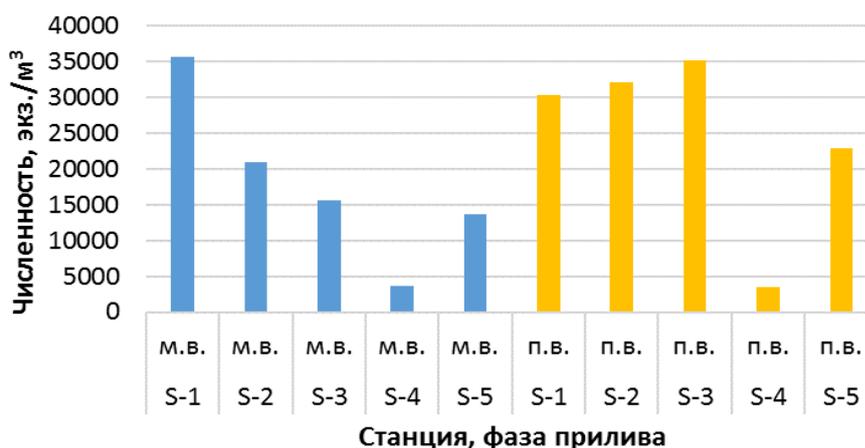


Рисунок 2. Распределение мезозоопланктона по акватории бухты Благополучия на малой (м.в.) и полной (п.в.) воде

Самым массовым видом на всех станциях в бухте Благополучия была *Acartia longiremis*, только на кутовых станциях уступая по численности *Eurytemora* sp. (рис. 3). На малой воде максимальная численность *A. longiremis* наблюдалась на станции S3 (8332 экз./м<sup>3</sup>), с приливом численность на этой и более кутовых станциях снизилась, но значительно возросла на мористых станциях S1 и S2 (21590 и 24260 экз./м<sup>3</sup>). Этот вид в массе развивается в прибрежной зоне Белого моря в летний период (Прыгункова, 1974). *A. longiremis* является эвригалинным видом (Dutz, Christensen, 2018), однако в Белом море избегает сильно опресненных участков моря (Прудковский, 2002; Прудковский, 2003).

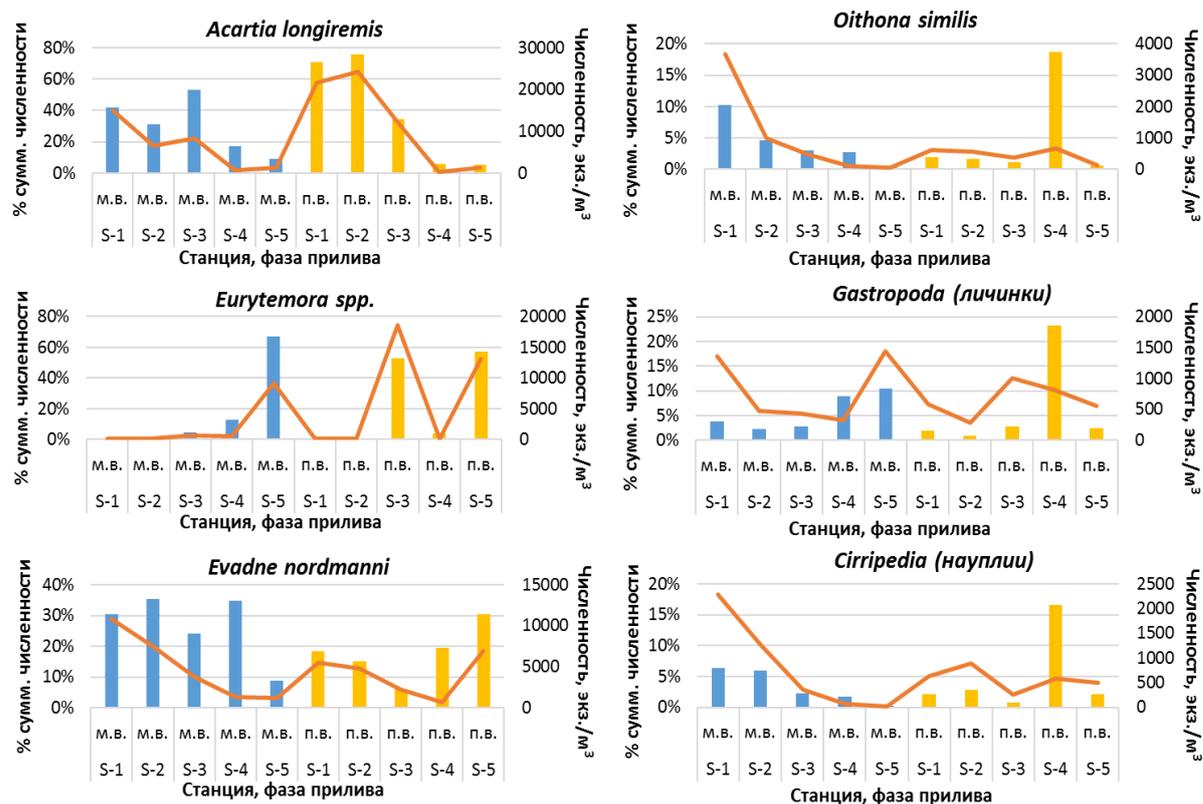


Рисунок 3. Распределение наиболее многочисленных видов по акватории бухты Благополучия по малой (м.в.) и полной (п.в.) воде. Столбики – доля вида в суммарной численности зоопланктона, линия – его численность

Распределение *Eurytemora* sp. крайне неравномерно и подвержено значительным изменениям в течение приливного цикла (рис. 3). Распределение этого вида было обратным таковому *Acartia longiremis*: *Eurytemora* sp. доминировал на кутовых станциях. На отливе наибольшая его численность наблюдалась на самой кутовой станции S5 (9200 экз./м<sup>3</sup>). На приливе численность *Eurytemora* sp. резко выросла на станции S3 (18590 экз./м<sup>3</sup>), сохраняясь высокой на ст. S5 (13100 экз./м<sup>3</sup>). Здесь на долю *Eurytemora* sp. приходилось более 50 % численности зоопланктона.

Не обнаружено достоверной связи распределения двух массовых видов с температурой воды, соленостью, концентрацией хлорофилла а и взвеси (рис. 4). По всей видимости, распространение *A. longiremis* и *Eurytemora* sp. в бухте определяется их конкурентными отношениями, на что указывает практически зеркальное их распределение.

На малой воде наибольшая численность еще одного массового вида *Evadne nordmanni* была смещена в сторону мористых станций, на полной воде – в сторону кутовых (рис. 3). При этом на станции S4, где численность большинства видов, в том числе и *E. nordmanni*, резко снижается по сравнению с другими точками, этот вид доминировал на малой воде и был среди доминант на полной. *E. nordmanni* является эвригалинным тепловодным видом (Gieskes, 1971). Температура и соленость в районе исследований находились в пределах, оптимальных для данного вида (Зубаха, Усов, 2004, Usov et al., 2013). Вероятно, наблюдаемое распределение *E. nordmanni* определяется иными факторами.

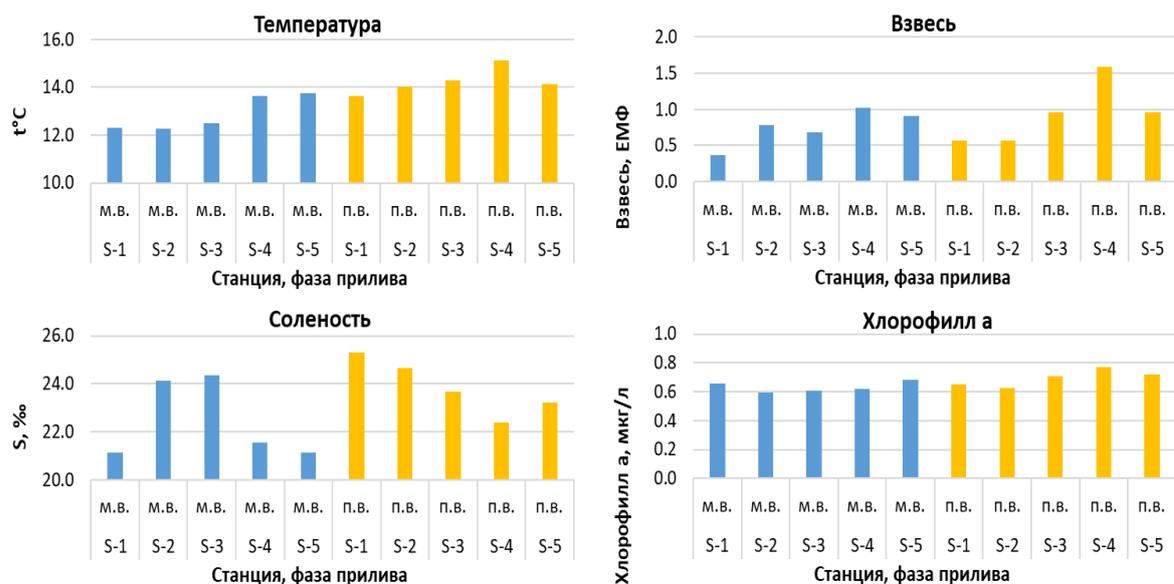


Рисунок 4. Градиенты основных параметров среды в акватории бухты Благополучия на малой и полной воде

Численность *Oithona similis* и личинок Cirripedia на малой воде падает по направлению к куту бухты (рис. 3). В распределении личинок брюхоногих моллюсков (Gastropoda) не выявлено закономерностей. На приливе в распределении этих видов не обнаружено каких-либо четких градиентов, за исключением того, что все они доминировали на станции S4. *Oithona similis* – океанический вид-космополит, один из наиболее массовых в Белом море (Шувалов, 1965; Прыгункова, 1974). Температура и соленость в бухте Благополучия не выходила за пределы оптимальных для этого вида (Зубаха, Усов, 2004). В данной акватории *O. similis*, по-видимому, вытеснена более многочисленными *Acartia longiremis* и *Eurytemora affinis affinis*. Распределение личинок Cirripedia и Gastropoda, по всей видимости, соответствует распределению их взрослых стадий в бентосе.

Таким образом, проведенные исследования показали:

- количественные показатели сетного зоопланктона в бухте Благополучия, за исключением станции S4, значительно превышают среднемноголетние значения в прибрежной зоне Белого моря в это время года;
- доминирование эвригалинных тепловодных видов, отмеченное в бухте, характерно для поверхностных слоев воды в Белом море в середине летнего периода;
- резкое снижение численности зоопланктона на станции S4 указывает на неблагоприятные условия, что можно связать с поступлением в бухту сточных вод в непосредственной близости от данной точки.

Работа выполнена в рамках научной темы «Состояние прибрежной экосистемы Белого моря в пределах Соловецкого архипелага» (рег. номер FMEN-2024-0016; ИВПС РАН) и темы Госзадания «Динамика структуры и функционирование экосистем Белого моря и сопредельных арктических морей» (рег. номер 122031100283-9; ЗИН РАН).

#### Список литературы

1. Зубаха М.А., Усов Н.В. Температурные оптимумы массовых видов зоопланктона Белого моря // Биология моря. 2004. Т. 30, № 5. С. 347-351.
2. Отченаш Н.Г., Остапенко З.В. Видовое разнообразие зоопланктона эстуария р. Онега в районе о. Кий в 2016-2017 гг. // Актуальные проблемы биоразнообразия и природопользования : Мат-лы конф., Керчь, 15-17 мая 2019 г. Симферополь: ИТ «Ариал», 2019. С. 618-622.

3. Прудковский А.А. Структура сообщества зоопланктона в зоне смешения морских и пресных вод (губа Чернореченская, Кандалакшский залив Белого моря) // Труды Беломорской биологической станции МГУ. 2002. Т. 8. С. 186-192.
4. Прудковский А.А. Жизненный цикл *Acartia bifilosa* (Copepoda, Calanoida) в Белом море (губа Чернореченская, Кандалакшский залив) // Труды Беломорской биологической станции МГУ. 2003. Т. 9. С. 164–168.
5. Прыгункова Р.В. Некоторые особенности сезонного развития зоопланктона губы Чупа Белого моря // Исследование фауны морей. 1974. Т. 13(21). С. 4-53.
6. Шувалов В.С. Сезонная изменчивость размеров и некоторые особенности биологии *Oithona similis* Claus (Copepoda, Cyclopoida) в Белом море (Кандалакшский залив) // Океанология. 1965. Т. 5, вып. 2. С. 338-347.
7. Dutz J., Christensen A. M. Broad plasticity in the salinity tolerance of a marine copepod species, *Acartia longiremis*, in the Baltic Sea // Journal of Plankton Research. 2018. Vol. 40, Issue 3. P. 342-355. <https://doi.org/10.1093/plankt/fby013>
8. Gieskes W.W.C. Ecology of the Cladocera of the North Atlantic and the North Sea, 1960–1967 // Netherlands Journal of Sea Research. 1971. Vol. 5, Issue 3. P. 342-376. [https://doi.org/10.1016/0077-7579\(71\)90017-2](https://doi.org/10.1016/0077-7579(71)90017-2)
9. Usov N., Kutcheva I., Primakov I., Martynova D. Every species is good in its season: Do the shifts in the annual temperature dynamics affect the phenology of the zooplankton species in the White Sea? // Hydrobiologia. 2013. Vol. 706, no. 1. Pp. 11–33. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1435-z>

## ПЕРВЫЕ НАХОДКИ *KELLICOTTIA BOSTONIENSIS* В ОЗЕРЕ СЯМОЗЕРО

Ю.Ю. Фомина

Карельский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КарелНИРО»),  
г. Петрозаводск, [rambler7780@rambler.ru](mailto:rambler7780@rambler.ru)

Аннотация: американская коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) впервые обнаружена в озере Сямозеро. В августе 2023 г. она была встречена в юго-западной части водоема и её численность достигала 8,5 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Численность аборигеного вида *K. longispina* достигала 16,7 тыс. экз./м<sup>3</sup>.

Ключевые слова: инвазии, расселение видов, зоопланктон, коловратка, Карелия

В настоящее время в Карелии американская коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) отмечена только в Онежском озере и в Выгозерском водохранилище. Так, в 2012-2013 гг. в прибрежной зоне Петрозаводской губы Онежского озера коловратка достигала численности до 0,1 тыс. экз./м<sup>3</sup> (Сярки, 2015). По данным исследования августа 2017 г. (Сярки, 2019), *K. bostoniensis* распространилась по всему Выгозерскому водохранилищу, кроме самой северо-восточной его части, и максимальная её численность 780 экз./м<sup>3</sup> отмечалась в маленьком заливе Лейгуба.

Озеро Сямозеро одно из крупных озер южной Карелии. Водоем принадлежит к бассейну Балтийского моря, расположено в средней части водосбора р. Шуи – притока Онежского озера. Координаты центра: 61°57' с.ш., 33°10' в.д. Площадь озера составляет 266 км<sup>2</sup>, объём – 1,79 км<sup>3</sup>, средняя глубина – 6,7 м, максимальная глубина – 24,5 м (Озера Карелии, 2013).

В работе использованы данные летней съемки 16 августа 2023 г. в губе Сяргилахта озера Сямозеро. Отбор проб и камеральная обработка производились общепринятыми методами (Методические рекомендации..., 1984; Комплексное..., 2011). Пробы зоопланктона отбирали с помощью количественной сети Джеди с диаметром 18 см и размером пор 0,1 мм. Глубина станций варьировала от 2 до 5,6 м.

*K. bostoniensis* – североамериканский вид, интенсивно расселяющийся по водоёмам Южной Америки и Европы. Предположительно коловратка является неарктический видом, вселившийся в палеарктический регион. Впервые *K. bostoniensis* описана в 1908 г. Русселетом в искусственном озере г. Бостон (США). Вид обычен для Великих озер, а также заливов, устьев рек, многих болот США и Канады (Жданова, Добрынин, 2011; Zhdanova et al., 2016).

По данным исследования в озере Сямозеро впервые была обнаружена чужеродная коловратка *K. bostoniensis*. Во время предыдущих исследований (Балагурова, 1959; Филимонова, 1961, 1962; Куликова, 2004; Кучко и др., 2018) вид отмечен не был. На станции, располагающейся ближе к открытой части озера коловратка не встречена. На других исследованных станциях распределение *K. bostoniensis* было неравномерным, численность варьировала от единичных экземпляров (менее 100 экз./м<sup>3</sup>) до 8,5 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Наибольшие количественные показатели зафиксированы в вершинной части губы. В популяции *K. bostoniensis* отмечены самки с яйцами, доля которых в среднем составляла 15%, что свидетельствовало об устойчивом характере развития летних популяций.

*Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879) является обычным представителем планктонной фауны северных широт, входит в состав руководящих видов в озерах Карелии, в том числе озере Сямозере (Куликова, 2017). В период исследования численность аборигеного вида изменялась от 0,8 до 16,7 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Показатели обилия *K. longispina* в среднем выше чужеродной *K. bostoniensis* в 1,5 раза (5,1 тыс. экз./м<sup>3</sup> против 3,5 тыс. экз./м<sup>3</sup>).

Распространение коловратки обычно связывают с ее переносом балластными водами судов. Дальнейшее распространение данного вида происходит по речным системам и с миграциями водоплавающих птиц. Птицы на поверхности тела могут транспортировать живых коловраток и их покоящиеся яйца на значительные расстояния во время миграций (Жданова, Добрынин, 2011; Zhdanova et al., 2016). Наиболее вероятно, что *K. bostoniensis* была занесена в озеро Сямозеро с перелётными птицами.

#### Список литературы

1. Балагурова М.В. Оз. Сямозеро // Озера Карелии. Природа, рыбы и рыбное хозяйство: справочник. Петрозаводск, 1959. С. 163-182.
2. Жданова С.М., Добрынин А.Э. *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) в водоемах Европейской России // Биология внутренних вод. 2011. № 1. С. 45-52.
3. Комплексное гидрохимическое и биологическое исследование качества вод и состояния водных и околоводных экосистем: методическое руководство. Часть 1. Полевые исследования / под ред. Т.И. Моисеенко. - Тюмень: изд-во Тюменского гос-го университета. 2011. 128 с.
4. Куликова Т.П. Зоопланктон водных объектов бассейна реки Шуя. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 124 с.
5. Куликова Т.П. Зоопланктон водных объектов Республики Карелия (Россия): История изучения, основные направления исследований, видовой состав, библиография. Издатель: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 125 с.
6. Кучко Я.А., Ильмаст Н.В., Кучко Т.Ю. Характеристика зоопланктона Сямозера (южная Карелия) по результатам многолетнего мониторинга // Известия РАН. Серия биологическая. 2018. № 5. С. 557-564.
7. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов в гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 33 с.
8. Озера Карелии. Справочник / под ред. Н.Н. Филатова, В.И. Кухарева. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. 463 с.
9. Сярки М.Т. Вселение американской коловратки *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) в Выгозерское водохранилище (Республика Карелия) // Российский Журнал Биологических Инвазий. 2019. № 3. С. 111-116.
10. Сярки М.Т. Зоопланктон // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях / отв. ред. Н.Н. Филатов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С. 121-127.
11. Филимонова З.И. Зоопланктон озера Сямозера // Труды Сямозерской комплексной экспедиции. Петрозаводск, 1961. Т. 2. С. 56-81.
12. Филимонова З.И. Зоопланктон Сямозера, его динамика и кормовое значение для рыб // Гидробиологические исследования. Тарту, 1962. Ч. 3. С. 106-116.
13. Zhdanova S.M., Lazareva V.I., Bayanov N.G., Lobunicheva E.V., Rodionova N.V., Shurganova G.V., Kulakov D.V., P'in M.Yu. Distribution and ways of dispersion of American rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) in waterbodies of European Russia // Russian Journal of Biological Invasions. 2016. Vol. 7. No. 4. P. 308-320.

**МАКРОЗООБЕНТОС КУТУЛУКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (САМАРСКАЯ ОБЛАСТЬ) В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Е.И. Филинова

*Саратовский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», г. Саратов, [e.filinowa@yandex.ru](mailto:e.filinowa@yandex.ru)*

Аннотация: представлены результаты исследований и дана характеристика состава и структуры макрозообентоса Кутулукского водохранилища, расположенного в Самарской области, проведенных по программе оценки состояния запасов водных биологических ресурсов с целью разработки рекомендаций по оптимизации их эксплуатации.

Ключевые слова: макрозообентос, Кутулукское водохранилище, численность, биомасса, кормность

Кутулукское водохранилище расположено на территории Самарской области, создано в среднем течении р. Кутулук, в 1941 г. По основным морфометрическим параметрам относится к категории средних по размеру, неглубоких водоемов (Авакян и др., 1987). Объем водохранилища 0,1 км<sup>3</sup>, площадь водного зеркала при НПУ – 20,9 км<sup>2</sup>, длина – 13,7 км, ширина – от 1,4 до 2,5 км, средняя глубина около 4,7 м, максимальная – до 16 м. Водохранилище представляет собой вытянутый водоем с мало изрезанной береговой линией. По характеру гидрологического режима водоем относится к типу сезонного регулирования с неустойчивым уровнем – среднегодовое колебание уровня воды может превышать 100 см. По степени зарастания Кутулукское водохранилище слабо заросшее, не более 10 % поверхности водного зеркала занято воздушно-водной и водной растительностью. Прибрежная растительность наиболее развита в верховье водохранилища, где она имеет массивно-зарослевый характер и составляет около 60% водной поверхности (Соловьева, 2007).

Макрозообентос Кутулукского водохранилища исследовали в 2016 и 2018 гг. для анализа привлечены первичные материалы за 2021 г., предоставленные Д.И. Мелёшиным. Пробы зообентоса отбирали трижды за вегетационный период в литорали и медиали на двух трансектах – в верховье и озеровидном участке. Сбор и обработка проб осуществлялись по общепринятой методике

Всего в водоеме идентифицировано 55 видов и таксономических единиц надвидового ранга максимально возможного к идентификации. Максимальное видовое обилие характерно для литоральных, заросших высшей водной растительностью биотопов, заселенных преимущественно гетеротопной фитофильной и эврибионтной фауной. В группе гетеротопных беспозвоночных наиболее часто (в 50 % проб) встречались личинки *Chironomus sp. plumosus* (Linne, 1758) и *Cladotanytarsus gr. mancus* (Walker, 1856), К обычным для водохранилища видам (встречаемость около 40 %) следует отнести *Polypedilum gr. nubeculosum* (Meigen, 1818), *Procladius ferrugineus* (Kieffer, 1918). Все прочие личинки *Chironomidae* встречены редко. Единично регистрировали личинок Insecta из состава Odonata, Coleoptera, Ephemeroptera и Diptera – сем. Tabanidae, Ceratopogonidae, Muscidae и Sciomyzidae. Среди представителей постоянноводной фауны на всех исследованных биотопах идентифицированы по половозрелым особям олигохеты рода *Limnodrilus* – *L. udekemianus*, Claparede, 1862, *L. hoffmeisteri*, Claparede, 1862, *L. claparedianus* Ratzel, 1868. Наиболее частые находки пелофильной фауны данной таксономической группы характерны для иловых отложений медиали водохранилища. В пробах макрозообентоса помимо собственно бентических форм обнаружены нектобентические мизиды – *Paramysis (M) intermedia* (Czerniavsky, 1882).

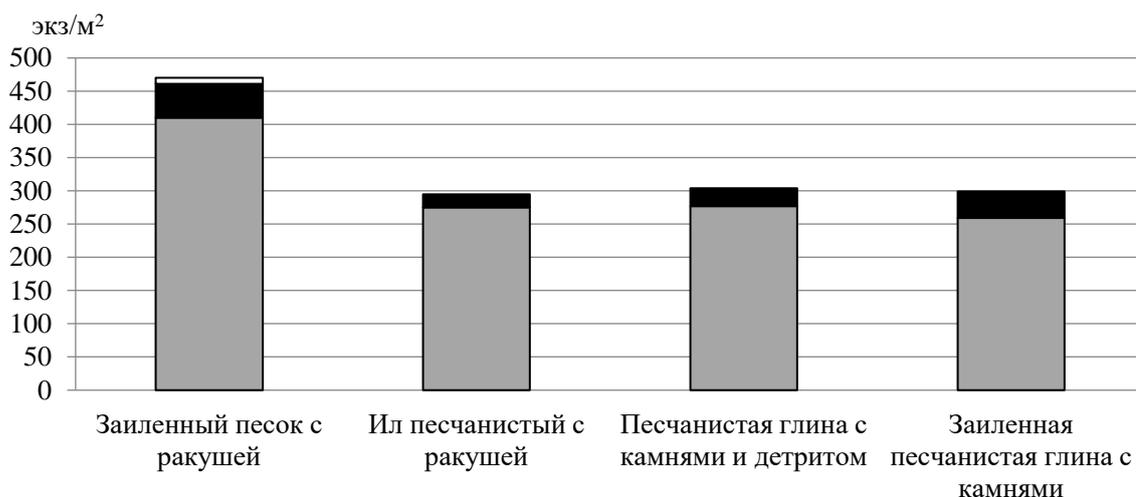
Малакофауна водохранилища бедна. В 100 % проб макрозообентоса, отобранных на биотопах песка с различной степенью заиленности, встречены двустворчатые моллюски

*Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771). В открытой литорали единично зарегистрированы представители р. *Unio*, в зарослях высшей водной растительности – легочные фитофильные моллюски р.р. *Euglesa* и *Anizus*.

Выявлена значительная пространственная и межгодовая вариабельность количественного развития донной фауны водохранилища. Общая численность и общая биомасса макрозообентоса на различных биотопах в годы исследований колебались (от 70 до 1830 экз/м<sup>2</sup>, и от 0,19 до 489,31 г/м<sup>2</sup> соотвенно) и в значительной мере эти показатели зависели от гидрологических условий, характера донных отложений и сезонной динамики популяций доминирующих бентонтов. Установлено, что в среднем за вегетационный период количественные показатели развития кормового макрозообентоса ежегодно были максимальными на заиленном песке с ракушей (рис.). Данный биотоп характерен для мелководных массивов в верховье водохранилища. Сравнительно низкие показатели численности и биомассы зообентоса зарегистрированы на черном песчанистом иле в медиали верховья, а также на песчанистой глине с камнями различной степени заиленности в озеровидном участке.

Максимальная общая биомасса наиболее продуктивного биотопа литорали на илистом песке с ракушей была обусловлена кормовыми моллюсками *Dreissena polymorpha*, при сравнительно невысокой численности. На всех биотопах в общей численности лидировали беспозвоночные мягкого зообентоса (от 86 до 93 %). В этой группе по численности (до 60 %) доминировали эврибионтные личинки хирономид *Chironomus sp. plumosus* на долю которых приходилось 65-75 % от соответствующего показателя, характеризующего данную группу гидробионтов.

Следует отметить, что на начальных этапах существования Кутулукского водохранилища отмечалась крайняя бедность видового состава и невысокие показатели численности и биомассы донной фауны, дрейссениды в донных сообществах отсутствовали (Ляхов, 1950).



а



б

Рисунок. Структура численности (а) и биомассы (б) макрозообентоса в Кутулукском водохранилище в период исследований на разных биотопах в 2018 г.

Впервые *Dreissena polymorpha* была обнаружена в водоеме Р.А. Михайловым (2015). В соответствии с полученными данными в настоящее время дрейссениды – основной кормовой компонент в макрозообентосе. Однако в 2018 г. на обширных осушенных участках литорали, после снижения уровня в межень, зафиксированы в массе пустые разноразмерные (2,5-20,6 мм) створки дрейссенид и единичные – унионид. Комовой потенциал водохранилища по зообентосу за счет массовой гибели кормовых моллюсков значительно уменьшился. В 2021 г. при снижении амплитуды колебания уровня в межень отмечено увеличение численности и биомассы макрозообентоса в среднем по водохранилищу на порядок. На долю *D. polymorpha* приходилось около 60 % численности и около 85 % биомассы.

В соответствии с классификацией водохранилищ по биомассе кормового макрозообентоса (Пидгайко, 1987) в 2016 г. Кутулукское водохранилище относилось к категории выше средней кормности (биомасса кормового макрозообентоса находилась в диапазоне 5,8-7,6 г/м²). В 2018 г., в связи с напряженными экологическими условиями в результате сработки уровня в летний период и осушением продуктивных площадей

мелководий, категория водохранилища по зообентосу снизилась до малокормной (биомасса кормовых бентонтов в среднем по водоему не превышала 3 г/м<sup>2</sup>). К 2021 г. кормность водохранилища по зообентосу достигла весьма высококормного уровня (значительно превышала 15 г/м<sup>2</sup>).

В целом для биоты водохранилища неблагоприятна периодическая потеря в качестве кормовой ниши для нагула бентосоядных видов рыб значительной площади мелководий при осушении в течение длительного периода. Наиболее значимо отрицательное влияние сработки уровня проявляется в верховье водохранилища, где площадь мелководий максимальна (Буторин, Успенский, 1984; Малинина и др., 2010; Шашуловский и др., 2011). В то же время известно, что на осушаемых площадях дна водоема проявляется эффект «летования», способствующий восстановлению и даже повышению продуктивности донных биоценозов при последующем залитии осушенных участков, за счет заселения их гетеротопной фауной с коротким жизненным циклом (Сухойван, Ляшенко, 1970). Следует учитывать, что восстановление постоянноводной фауны – олигохет и дрейссенид возможно лишь при длительной стабилизации водного режима и краткосрочных снижениях уровня на протяжении вегетационного периода.

Полученные данные использованы для расчета приемной емкости Кутулукского водохранилища с целью вселения бентосоядных видов рыб.

#### Список литературы

1. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища М., Мысль 1987. 331 с. 2. Буторин Н.В., Успенский С.М. Значение мелководий в биологической продуктивности водохранилищ // Биологические ресурсы водохранилищ. М.: Наука, 1984. С. 23-41.
2. Ляхов С.М. Бентос Кутулукского водохранилища (Куйбышевская область) // Зоол. журн. 1950. Т. 29, вып. 1. С. 93-96.
3. Малинина Ю.А., Далечина И.Н., Донецкая В.В., Седова О.В., Сониная Е.Э., Филинова Е.И. Влияние резкого падения уровня воды на состояние кормовой базы и зарастаемость Волгоградского водохранилища // Экология водных беспозвоночных : Материалы конференции. Борок, 2010. С. 194-195.
4. Михайлов Р.А. Распространение моллюсков рода *Dreissena* в водоемах и водотоках Среднего и Нижнего Поволжья // Российский журнал биологических инвазий. 2015. № 1. С. 64-78.
5. Пидгайко М.Л. Биологическая продуктивность водохранилищ Волжского каскада // Изв. ГосНИОРХ, Т. 138, 1978. С. 45-59.
6. Соловьёва В.В. Растительность Кутулукского водохранилища // Фиторазнообразии Восточной Европы. 2007. № 2. С. 17-29.
7. Сухойван П.Г., Ляшенко А.Ф. Значение мелководий для воспроизводства рыбных запасов в днепровских водохранилищах // Тез. докл. к совещ. по комплекс. использованию мелководий водохранилищ в народном хозяйстве. М., 1970. С. 25-27.
8. Шашуловский В.А., Ермолин В.П., Малинина Ю.А., Сониная Е.Э., Филинова Е.И. О негативном влиянии гидрологического режима 2009 г. на воспроизводство биологических ресурсов Волгоградского водохранилища // Рыбное хозяйство. 2011. № 4. С.37-38.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПАТОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЫБ БРАТСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ)

А.С. Фомина

*Байкальский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («БайкалНИРО»),  
Бурятский государственный университет, медицинский институт  
(БГУ, МИ), г. Улан-Удэ, [anafoma@mail.ru](mailto:anafoma@mail.ru)*

*Аннотация: в работе представлены результаты гистологических исследований рыб из заливов Братского водохранилища с разной антропогенной нагрузкой. Отбор материала проводили в летний период 2016, 2019 и 2022 гг. в заливах Ийской, Ангарской и Окинской частях водохранилища. Для оценки гистологических препаратов печени использовали методику анализа с присвоением каждой аномалии определенного коэффициента значимости. За период исследований выявлено, что в наибольшей степени патоморфологические реакции печени проявляются у окуня и плотвы из заливов Сухой Лог, Индобь, Шумилово. Значительно ухудшилось состояние рыб заливов Худобка, Асынга. У большинства рыб в печени отмечались: жировая дистрофия гепатоцитов, реологические нарушения, деструктивные изменения паренхимы проявлялись вплоть до разрушения портальных трактов, фиброз разной степени выраженности. Гистологический анализ показал патологические изменения в жабрах у рыб всех заливов. В жаберном эпителии наблюдались гиперплазия, утолщение, слипание и разрушение жаберных ламелл. У рыб из заливов Индобь, Добчур и Сухой Лог поражения жабр были выражены в наибольшей степени. По характеру комплексных показателей крови (цитопатологии, лейкоцитарный состав) и гистологических данных, наибольший неблагоприятный эффект воздействия среды отмечается в заливах Сухой Лог, Добчур, Средний Баян, Кантин, Тынкобь, Худобка, Асынга.*

Ключевые слова: Братское водохранилище, окунь, плотва, жабры, печень, гистопатология

Поскольку токсиканты способны аккумулироваться в тканях гидробионтов, а также оказывать прямое и опосредованное влияние на их внутренние органы и ткани, показателем экологического благополучия водоема могут служить данные морфофункциональных преобразований клеток и тканей органов гидробионтов. Иркутская область, в составе которой находится и Братский промышленный узел, входит в состав лидирующих промышленных центров Сибири. В области находятся предприятия нефтехимической, химической и целлюлозно-бумажной промышленности. Территория Иркутской области занимает первое место по уровню ртутной нагрузки в Российской Федерации.

Братское водохранилище принадлежит к числу крупнейших долинных водохранилищ мира. Более половины притока (62-65 %) водохранилища приходится на воды оз. Байкал. По особенностям гидрологического и гидробиологического режима в пределах Братского водохранилища выделяется три основных участка: Ийский, Ангарский и Окинский (Иванов, 1991). Цель данной работы – проведение патоморфологических исследований органов рыб из разных заливов Братского водохранилища для получения информации об экологотоксикологическом благополучии водоема.

Отбор ихтиопатологических проб проводили в летне–осенний период 2016, 2019 и 2022 гг. на станциях, расположение которых определялось морфометрическими, гидробиологическими и экологическими особенностями водоема. Поскольку Братское водохранилище находится в зоне воздействия нескольких химических комбинатов, фоновые станции подбирались с учетом данных о микроэлементном и ионном составе вод, гидробионтов и донных отложений заливов, отраженных в общедоступной литературе (Леонова, Андрулайтис, 2006; Алиева и др., 2009). Сбор и обработка ихтиологических материалов проводились по общепринятым методикам, изложенным в руководстве И.Ф. Правдина (1966). Для анализа патоморфологических реакций были отобраны преобладающие виды рыб в Братском водохранилище: плотва и окунь. При

ихтиопатологическом исследовании не регистрировались экземпляры рыб с клиническими признаками бактериальных болезней и механического травмирования.

Микроморфологические исследования форменных элементов периферической крови, лейкоцитарный состав, тканей печени и жабр рыб проводили общепринятыми гематологическими и гистологическими методами исследований, соответственно.

По результатам исследований выявлено, что интенсификация эритропоэза по сравнению с особями фоновых участков осуществляется у рыб заливов: Ангарская часть – Сухой Лог, Окская часть – залив Асынга. Достоверное снижение малодифференцированных клеток эритроидного ряда, свидетельствующее об угнетении эритропоэза, выявлено у рыб залива Кантин. По результатам исследований установлено, что наибольшего разнообразия и частоты проявления цитопатологические изменения эритроцитов периферической крови выявляется у рыб в заливах: Ангарская часть – Сухой лог, Конолда, Средний Баян; Ийская часть – Худобка, Кантин; Окская часть – Тынкобь, Асынга.

Для рыб фоновых заливов Ангарской, Ийской и Окской частей Братского водохранилища характерны в печени незначительные сосудистые нарушения. Также отмечаются очаги скопления пигментов старения, разрушения и дегенерации эритроцитов – липофусцина. Из клеточных форм дистрофии наиболее выражены зернистая и жировая дистрофия гепатоцитов, однако в паренхиме органа они представлены не повсеместно.

Варианты ответов ткани печени рыб на неблагоприятные условия среды отражены ниже в табл.

Таблица. Ответные гистологические реакции печени рыб исследованных районов

Варианты ответов	Морфологическая характеристика	Заливы, где отмечена указанная патология рыб по данным 2016 и 2022 гг.
Слабо выраженная деструкция клеток	Нерезкая деформация клеток (увеличение или уменьшение их в размерах при сохранении формы, ядер и четкости границ), увеличение расстояния между ними при сохранении балочного строения, неоднородность цитоплазмы (зернистость, вакуолизация), гипо- или гиперхромность при окраске гематоксилин-эозином.	Ванькин, Бада, Атубь
Умеренно выраженная деструкция гепатоцитов, умеренное нарушение микро- и макроциркуляторного русла	Границы клеток сохранены или несколько сглажены, деформация клеток (угловатость, неровность контуров), деформация ядер, нарушение балочного строения, разрушение отдельных гепатоцитов с выпадением билирубина. Скопления липофусцина преимущественно в перипортальной зоне.	Кежма-Волоковая, Нижний Имбей, Добчур, Тынкобь
Выраженная деструкция гепатоцитов, выраженное нарушение микро- и макроциркуляторного русла	Резко деформированные группы гепатоцитов с нарушением их контурности, нечеткость границ, разрушение ядер, беспорядочное расположение печеночных клеток. Разрушение портальных трактов. Липофусцин скапливается в перипортальной зоне и дальше. Нарушения соединительной ткани: фиброзы разного уровня.	Кантин, Худобка Индобь, Сухой Лог, Асынга

При исследовании жабр рыб обнаружено утолщение респираторного эпителия у рыб во всех заливах Братского водохранилища за счет набухания и пролиферации эпителия. Искривление ламелл при сочетании с гиперплазией эпителия отмечалась даже у рыб фоновых станций – Атубь в Ийской части, Тынкобь в Окинской части. Данные изменения

эпителиа затрудняют диффузию кислорода в кровь и приводят к гипоксии. Утолщение и слияние ламелл характерно для жабр окуня из заливов Добчур, Сухой Лог. У рыб из заливов Индобь, Добчур и Сухой Лог поражения жабр были выражены в наибольшей степени. Наряду с репаративной регенерацией жаберного эпителиа отмечена дезинтеграция клеток респираторного эпителиа на верхушках ламелл и их некроз.

В заключении следует отметить, что по характеру комплексных показателей крови и гистологических данных, наибольший неблагоприятный эффект воздействия среды отмечается в заливах Сухой Лог, Добчур, Средний Баян, Кантин, Тынкобь, Худобка, Асынга. В последних двух заливах в динамике с 2016 г. отмечается ухудшение основных показателей крови рыб и микроморфологическая картина печени.

Выраженные патологические изменения печени рыб заливов Добчур и Шумилово Братского водохранилища видимо, объясняются переносом вод в эти заливы из крупных водотоков реки Ия и Ангара. В заливы осуществляется сброс сточных вод от близлежащих одноименных населенных пунктов. Кроме того, в залив близ деревни Шумилово поступают воды, в которых идет вынос через залив Прибойный вод с превышением концентрации ртути (техногенного и природного характера) (Коваль и др., 2003). Донные отложения этой части водохранилища (центральная зона) по степени изменения геологической среды по геохимическим критериям (превышение фона по содержанию ртути в 5-10 раз) характеризуются как сильноизмененные (Леонова, Андрулайтис, 2006).

Сравнительный анализ данных патоморфологических исследований трех частей Братского водохранилища показал, что реакции печени рыб из заливов Ангарской части водохранилища носят характер хронических поражений и представлены в органе разнообразнее. Патоморфологические реакции печени рыб из залива Сухой Лог имели так же сравнительно более выраженный характер, у части особей окуня идентифицировался субтотальный некроз ткани. По данным геохимических исследований, акватория залива Сухой Лог принадлежит зоне Долоновского расширения (район г. Братска, вход в Окинское расширение, приплотинная часть г. Братска), где формируется особая зона с замедленным водообменом и стабильно регистрируются высокие концентрации Hg, Pb, Cd, Zn, Cu (Леонова, Андрулайтис, 2006). На этих участках в придонном слое воды содержание элементов всегда выше, чем в поверхностном.

Таким образом, относительно высокий общий уровень патологии клеток и разнообразие форм патологических изменений печени и жабр рыб Братского водохранилища указывают на наличие постоянного стрессорного воздействия комплекса факторов среды на организм рыб. Специфика повреждений рассматриваемых органов свидетельствует о наличии как компенсаторных и защитных изменений ткани, так и хроническом характере поражений ткани с преобладанием деструктивных явлений в ней и полной потери структуры и функции органа. На сегодняшний день в заливах Ангарской части складываются наиболее неблагоприятные условия для гидробионтов Братского водохранилища.

#### Список литературы

1. Алиева В.И., Ломоносов И.С., Гребенщикова В.И. Динамика поступления техногенных микроэлементов в воды Братского водохранилища // Геоэкология, инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2009. № 3. С. 241-247.
2. Иванов И.Н. Гидроэнергетика Ангары и природная среда. Новосибирск: Наука, 1991. 129 с.
3. Коваль П.В. и др. Антропогенная компонента и баланс ртути в экосистеме Братского водохранилища // Доклады РАН. 2003. Т. 388. № 2. С. 225-227.
4. Леонова Г.А., Андрулайтис Л.Д. Ртуть в экосистеме Братского водохранилища // Экология промышленного производства. Издательство: Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас». М., 2006. № 1. С. 12-17
5. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.

## ОБОСНОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

Г.Т. Фрумин\*, Е.С. Негодина\*\*

\**Российский государственный педагогический университет  
им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург, [gfrumin@mail.ru](mailto:gfrumin@mail.ru)*

\*\**Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург, [10020092@rambler.ru](mailto:10020092@rambler.ru)*

*Аннотация: приведены три методики расчета региональных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водных объектах: методика С.А. Патины, методика Д.Г. Замолодчикова и методика Е.В. Веницианова и соавторов. Установлена высокая теснота связи между региональными предельно допустимыми концентрациями металлов в водоемах и водотоках Северо-Западного региона России и их кларками в земной коре.*

Ключевые слова: металлы; экологическое нормирование; принцип санитарного максимализма; кларки

В 1985 г. Верховный Совет СССР принял постановление, в котором различным министерствам и ведомствам было поручено провести комплекс научных исследований с целью перевода всей системы государственного контроля загрязнения окружающей среды в стране на экологическую основу. Предложено разработать принципиально новый экологический подход к нормированию антропогенных воздействий, которые в настоящее время основываются на предельно допустимых концентрациях (ПДК) загрязняющих веществ, имеющих для воды одного и того же объекта разные значения для различных водопользователей.

С 1990-х гг. система рыбохозяйственных ПДК (ПДКРХ) подвергается аргументированной критике, подробно изложенной в ряде работ (Волков и др., 1996; Левич, Терехин, 1997; Дмитриев, Фрумин, 2004; Гагарина, 2012; Тимофеева, Фрумин, 2015). К примеру, федеральные ПДКРХ не учитывают специфику функционирования водных экосистем в различных природно-климатических зонах (широтная и вертикальная зональность) и биогеохимических провинциях (естественные геохимические аномалии с различным уровнем содержания природных соединений).

Цель исследований заключалась в обосновании региональных предельно допустимых концентраций (ПДКРЕГ) металлов (приоритетных загрязняющих веществ) в воде водных объектов (водоемов и водотоков) Северо-Западного региона России.

Для расчётов ПДКРЕГ были использованы три различных метода, разработанные С.А. Патиным (1979), Д.Г. Замолодчиковым (1993) и Е.В. Венициановым с соавторами (2015) (табл. 1).

Математические модели, приведенные в табл. 1, были применены для расчетов ПДКРЕГ в воде различных водных объектов. Для иллюстрации приведена табл. 2, в которой для последующего анализа добавлены значения ПДК металлов для рыбохозяйственных водных объектов (ПДКРХ) и среднее содержание металлов в земной коре (кларки) (Григорьев, 2009).

Авторы методы	Модель
С.А. Патин	$ПДК_{РЕГ} = C_{СР} + 2\sigma$ , $C_{СР}$ – средняя концентрация, $мкг/дм^3$ , $\sigma$ – стандартное отклонение
Д.Г. Замолодчиков	$ПДК_{РЕГ} = ВК + 1,5(ВК-НК)$ , ВК и НК – верхняя и нижняя квартили распределения
Е.В. Веницианов и соавторы	$ПДК_{РЕГ} = ВК - 2,9\sigma/\sqrt{N}$ , N – объем выборки

Таблица 2. Региональные предельно допустимые концентрации металлов в Онежском озере,  $мкг/дм^3$

Авторы метода/металл	Fe	Mn	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Al
С.А. Патин	495	186	1,8	2,0	3,0	7,9	0,2	0,8	554
Д. Г. Замолодчиков	279	44	1,1	1,6	3,0	6,8	0,1	0,8	697
Е.В. Веницианов и соавторы	129	4,7	0,6	0,9	1,6	3,5	0,04	0,4	230
ПДК <sub>РХ</sub> , $мкг/дм^3$	100	10	20	10	1	10	1	6	40
Кларк, $мг/кг$	40600	770	92	50	39	75	0,64	17	76100

Приведенные в табл. 2 результаты расчетов ПДК<sub>РЕГ</sub> показывают существенные различия этих величин в зависимости от метода расчета. К примеру, ПДК<sub>РЕГ</sub> марганца в Онежском озере равна 186  $мкг/дм^3$  при расчете методом С.А. Патина и 4,7  $мкг/дм^3$  при расчете методом Е.В. Веницианова с соавторами, то есть различие составляет 39,6 раз.

Как следует из табл. 2, наименьшие величины ПДК<sub>РЕГ</sub> зафиксированы для каждого из пяти рассмотренных металлов при использовании метода Е.В. Веницианова с соавторами.

Центральное место при регламентации воздействия вредных веществ на человека и гидробионтов занимает «принцип санитарного максимализма»: когда все неоднозначно, все неопределенно, нормативы трактуются в сторону ужесточения, то есть в сторону снижения показателя (Возняк, Лепихин., 2018). Иными словами, в качестве оптимального метода расчетов ПДК<sub>РЕГ</sub> следует рассматривать метод, разработанный Е.В. Венициановым и соавторами.

Соотношение между натуральными логарифмами ПДК<sub>РЕГ</sub> и натуральными логарифмами кларков металлов ( $г/кг$ ) в земной коре проиллюстрировано в табл. 3.

По данным табл. 2 рассчитаны отношения ПДК<sub>РЕГ</sub>/ПДК<sub>РХ</sub> (рис. 1).

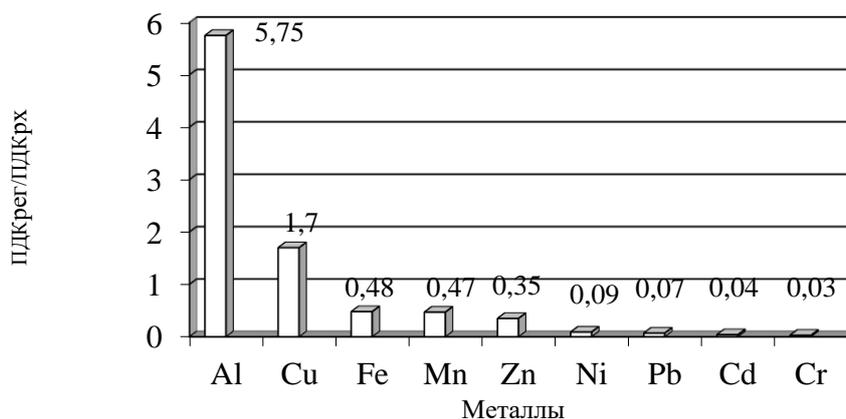


Рисунок 1 – Отношение региональных предельно допустимых концентраций металлов в Онежском озере к предельно допустимым концентрациям металлов для рыбохозяйственных водоемов

Таблица 3. Соотношение между натуральными логарифмами региональных предельно допустимых концентраций металлов в воде водных объектов и натуральными логарифмами их кларков в земной коре

Водный объект	Модель	Теснота связи
Река Большая Нева	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}})=2,981+0,4\ln(\text{кларк})$ $n=5$ $r=0,98$ $r^2=0,50$ $\sigma_{Y(X)}=0,50$ $F_p/F_T=7,9$	Весьма высокая
Река Славянка	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}})=2,853+0,36\ln(\text{кларк})$ $n=9$ $r=0,89$ $r^2=0,80$ $\sigma_{Y(X)}=0,65$ $F_p/F_T=5,2$	Высокая
Река Плюсса	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}})=4,289+0,68\ln(\text{кларк})$ $n=6$ $r=0,99$ $r^2=0,99$ $\sigma_{Y(X)}=0,40$ $F_p/F_T=38,7$	Весьма высокая
Река Вуокса	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}})=2,391+0,49\ln(\text{кларк})$ $n=5$ $r=0,97$ $r^2=0,94$ $\sigma_{Y(X)}=0,66$ $F_p/F_T=6,4$	Весьма высокая
Река Луга	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}})=4,142+0,51\ln(\text{кларк})$ $n=5$ $r=0,99$ $r^2=0,98$ $\sigma_{Y(X)}=0,43$ $F_p/F_T=16,6$	Весьма высокая
Река Великая	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}})=3,522+0,45\ln(\text{кларк})$ $n=6$ $r=0,99$ $r^2=0,99$ $\sigma_{Y(X)}=0,13$ $F_p/F_T=152,4$	Весьма высокая
Озеро Ильмень	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}})=3,392+0,57\ln(\text{кларк})$ $n=7$ $r=0,96$ $r^2=0,92$ $\sigma_{Y(X)}=0,70$ $F_p/F_T=10,0$	Весьма высокая
Псковское озеро	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}})=3,419+0,47\ln(\text{кларк})$ $n=6$ $r=0,97$ $r^2=0,93$ $\sigma_{Y(X)}=0,61$ $F_p/F_T=8,2$	Весьма высокая
Онежское озеро	$\ln(\text{ПДК}_{\text{РЕГ}})=-2,67+0,67\ln(\text{кларк})$ $n=9$ $r=0,97$ $r^2=0,94$ $\sigma_{Y(X)}=0,67$ $F_p/F_T=21,4$	Весьма высокая

Примечание. Здесь  $n$  – число металлов,  $r$  – коэффициент корреляции,  $r^2$  – коэффициент детерминации,  $\sigma_{Y(X)}$  – стандартная ошибка,  $F_p$  – расчетное значение критерия Фишера,  $F_T$  – табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 95%

Согласно шкале Чеддока соотношение между величинами ПДКРЕГ и кларками характеризуется «высокой» теснотой связи между переменными ( $r=0,7-0,9$ ) для реки Славянка, для других рассмотренных водных объектов — как «весьма высокая» ( $r=0,9-0,99$ ) (Макарова, Трофимец, 2002).

Приведенные зависимости адекватны ( $F_p > F_T$ ) и полезны для предсказания величин ПДКРЕГ для других металлов ( $F_p/F_T > 4$ ) (Дрейпер, Смит, 1986).

Таким образом, проведенные исследования показали, что:

1. Для корректной оценки степени загрязненности водного объекта веществами двойного генезиса необходимо учитывать региональные природно-климатические особенности его водосбора. Наиболее существенный недостаток федеральной системы рыбохозяйственных предельно допустимых концентраций вредных веществ — отсутствие учета природно-климатических особенностей водосборов конкретных водных объектов (естественные геохимические аномалии с различным уровнем содержания природных соединений).

2. Различными авторами предложены методы расчётов региональных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водных объектах (ПДКРЕГ). Для расчётов ПДКРЕГ металлов использованы три наиболее популярных метода: метод С.А. Патина, метод Д.Г. Замолодчикова и метод Е.В. Веницианова и соавторов. Следуя принципу санитарного максимализма, установлено, что в качестве оптимального метода расчётов ПДКРЕГ следует рассматривать метод, разработанный Е.В. Венициановым и соавторами.

3. Теснота связи между натуральными логарифмами региональных предельно допустимых концентраций металлов в воде рассмотренных водных объектов и натуральными логарифмами их кларков по шкале Чеддока в основном характеризуется как «весьма высокая».

#### Список литературы

1. Веницианов Е.В., Мирошниченко С.А., Лепихин А.П., Губернаторова Т.Н. Разработка и обоснование региональных показателей качества воды по содержанию тяжелых металлов для водных объектов бассейна Верхней Камы // Водное хозяйство России. 2015. № 3. С. 50-64.
2. Возняк А.А., Лепихин А.П. Разработка региональных ПДК: необходимость, методика, пример // Географический вестник. 2018. № 2(45). С. 103-114.

3. Волков И.В., Заличева И.Н., Шустова Н.К., Ильмаст Т.Б. Есть ли экологический смысл у общефедеральных рыбохозяйственных ПДК? // Экология. 1996. № 5. С. 350-354.
4. Гагарина О.В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы. Учебно-методическое пособие. Ижевск: Удмуртский университет. 2012. 199 с.
5. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: Уро РАН, 2009. 382 с.
6. Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. Учебное пособие. СПб.: Наука, 2004. 295 с.
7. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Финансы и статистика, 1986. 366 с.
8. Замолодчиков Д.Г. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. Т. 15. С. 214-233.
9. Левич А.П., Терехин А.Т. Метод расчета экологически допустимых уровней воздействия на пресноводные экосистемы // Водные ресурсы. 1997. № 3. С. 328-335.
10. Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в Excel. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.
11. Патин С.А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. М.: Пищевая промышленность, 1979. 304 с.
12. Тимофеева Л.А., Фрумин Г.Т. Проблемы нормирования качества поверхностных вод // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2015. № 38. С. 215-229.

## ПАЗАРИТЫ БЫЧКОВЫХ ВИДОВ РЫБ АГРАХАНСКОГО ЗАЛИВА КАСПИЙСКОГО МОРЯ

З.А. Хасбулатова\*, Д.Г. Курбанова\*, З.К.Ханова\*\*

\* Волжско-Каспийский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»),  
отдел «Западно-Каспийский», г. Махачкала, [hzara69@bk.ru](mailto:hzara69@bk.ru), [dzubairova1998@mail.ru](mailto:dzubairova1998@mail.ru)

\*\* Дагестанский государственный университет, г. Махачкала, [zagida.khanova@mail.ru](mailto:zagida.khanova@mail.ru)

Аннотация: в данной работе изложены данные по изучению паразитофауны бычковых видов рыб Аграханского залива Каспийского моря. Приведены материалы качественного и количественного состава паразитов бычковых рыб. Исследования проводили методом неполного паразитологического анализа. Было выявлено 5 вида паразитов, класса *Cestoda*, *Nematoda*, *Crustacea*.

Ключевые слова: Рыба, бычковые, паразитофауна, гельминт, паразит, хозяин, трематода, нематода

В Каспийском море обитают 124 вида и подвида рыб. В промышленных масштабах добывают 29. Особо ценными представителями ихтиофауны являются осетровые (белуга, русский и персидский осетр, севрюга и стерлядь), лосось, минога и белорыбца, добыча которых запрещена. Основным промысловым видам рыб относятся килька, сельди, кефаль, вобла, лещ, судак, сазан, сом, щука и кутум. Каспийские бычковые рыбы добывались преимущественно для научных целей, используются в любительском и спортивном рыболовстве. При ведении весеннего промысла обыкновенной кильки в ставных неводах, а также проходных и полупроходных видов рыб, бычковые виды в сети и ставные килечные невода попадали в качестве прилова. Только в 2020 г. Каспии начали вылавливать бычковых в промышленном масштабе. В Каспийском море обитают 35 видов бычковых (Воловик и др., 2008; Богущкая и др., 2013). В Каспийском бассейне многие бычковые рыбы – эндемики, в том числе – бычок-кругляк *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814), бычок-песочник *Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1814) и хвалынский (каспийский) бычок *Neogobius caspius* (Eichwald, 1831). Эти виды многочисленны северном и среднем Каспии (Гаевская, 2004; Гуцуляк, 2014), в том числе у Дагестанского побережья (Абдусаматов, 2001).

Целью настоящего исследования является изучение видового состава паразитофауны бычковых видов рыб акватории Аграханского залива Каспийского моря.

В данную статью вошли результаты исследований, проведенных в 2024 г. Аграханском заливе дагестанского побережья Каспийского моря. Неполному (Гаевская, 2004) паразитологическому анализу было подвергнуто 24 экз. бычковых. Паразитологические исследования проводили в весенний период во время промыслового вылова рыб. Паразитов определяли по «Определителю паразитов пресноводных рыб фауны СССР» (Михайлов, 1973) с использованием биологических микроскопов «Микмед-5» и стереоскопических микроскопов МБС-10В. В процессе исследований оценивали экстенсивность и интенсивность инвазии, а также индекс обилия паразитов. Экстенсивность инвазий (ЭИ) – это процентное соотношение зараженных рыб в стаде, популяции и т. д. Интенсивность инвазии (ИИ) – это количественное содержание возбудителей на одном экземпляре рыб. Средняя интенсивность инвазий (СИИ) – число паразитов, приходящиеся в среднем на одну зараженную рыбу. Индекс обилия (ИО) паразитов рассчитывают путем деления суммы найденных паразитов на число исследованных рыб. Он более достоверно отражает ИИ в стаде или популяции рыб.

Для изучения патологического процесса, происходящего в организме, и оценки клинического состояния было просмотрено более 24 экземпляров бычковых видов. Перед вскрытием каждую особь взвешивали и измеряли. В ходе проведенных исследований у бычковых видов рыб были выявлены 5 видов паразитов из 3 классов: *Contracaecum* sp.

(Nematoda: *Anisakidae*), *Protecephalidae* sp (Cestoda: *Caryophyllaeidae*), *Eustrongylides excisus* (Nematoda: *Diotophymidae*), *Cucullanellus minutus* (Nematoda: *Cucullanidae*), *Ergasilus nanus* (Crustacea: *Ergasilidae*) (табл.).

Таблица – Показатели зараженности бычковых видов рыб

Вид паразита	Кол-во исследов. рыб, экз.	Кол-во заражен. рыб, экз.	Общее кол-во паразитов, экз.	Интенсив. инвазий экз. (макс.-мин.)	ЭИ %	СИИ	ИО, экз.
<i>Ergasilus nanus</i>	24	20	234	2-47	83,3	11,7	9,7
<i>Protecephalidae</i> sp.	24	4	18	1-9	16,6	4,5	0,75
<i>Cucullanellus minutus</i>	24	24	203	1-23	100	8,4	8,4
<i>Eustrongylides excisus</i>	24	12	17	1-2	50,0	1,4	0,7
<i>Contracaecum</i> sp.	24	2	3	1-2	8,3		

Развитие паразитических копепод, как правило, прямое, без смены хозяев. Однако некоторые виды, в частности представители рода лернэоцер (*Lernaeocera*), в своем развитии используют промежуточных хозяев, в роли которых также выступают рыбы. Вышедшая из яйца свободноплавающая личинка после нескольких линек превращается в самку или самца. Продолжительность жизни копепод различна. Одни виды живут несколько недель, другие – несколько месяцев, третьи – до 1,5 – 2 лет (Бауэр и др., 1977; Определитель..., 14987; Гаевская, 2004). Паразитические ракообразные оказывают на рыбу механическое и токсическое влияние. Паразит локализуется под эпителием покровов тела и жабр, питается кровью, тканевой жидкостью и отслоенными клетками эпителия, что приводит к нарушению обменных процессов.

На жаберных лепестках были выявлены *Ergasilus nanus* интенсивностью от 2 до 47 экземпляров, экстенсивность составило 83,3 %. Прикрепившись к жабрам, *Ergasilus nanus* разрушают жаберные филаменты, вызывая усиленное слизеотделение, в результате чего нарушается дыхание рыб.

Выявленные цестоды *Protecephalidae* sp. в кишечнике рыб прикреплялись к стенкам сколексами. В местах прикрепления паразита отмечены геморрагии и язвочки. Численность паразитов составила от 1-9 экз., экстенсивность инвазии 16, 6 %. Жизненные циклы цестод рода *Protecephalidae* сложный, связаны с чередованием поколений и сменой хозяев. Первый промежуточный хозяин, как правило – различные ракообразные. Рыбы служат как окончательными хозяевами цестод, так и дополнительными или в данном случае бычковые виды рыб являются паразитическими хозяевами лет (Бауэр и др., 1977; Гаевская, 2004).

*C. minutus* узкоспецифичные нематоды в меньшей степени инвазировали рыбу и были выявлены только в виде зрелых форм. Зараженность бычковых рыб составила 100%, интенсивность инвазий колебалась от 1 до 23 экз. Доминировали половозрелые гельминты, что указывает на завершение их цикла развития. Нематоды локализовались в просвете кишечника, не вызывая патогенного воздействия, инвазия протекала на бессимптомном уровне.

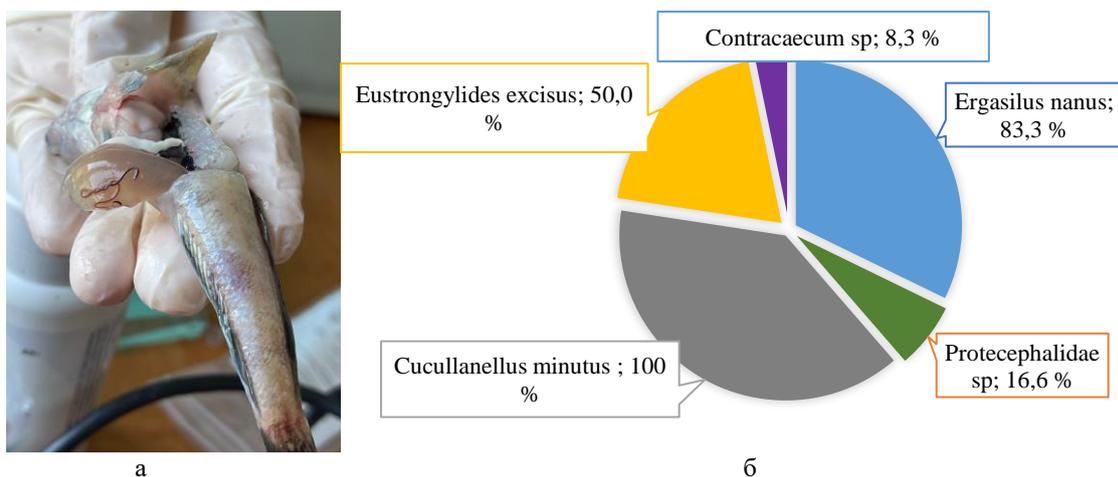


Рисунок 1. Нематода *E. excisus* на плавательном пузыре бычковых (а), годовые показатели зараженности (б)

Нематода *E. excisus* относится к широко распространенным гельминтам Каспийского моря. Зараженность бычковых рыб составила 50 %. Круглый червь ярко-красного цвета у бычковых рыб в основном выявляли без капсулы, свободно лежащем на органах и тканях рыб, многие экземпляры гельминтов выявляли на поверхности тела или частично вышедшими из-под чешуй рыб (рис. 1а). Интенсивность составила 1-2 экземпляра на рыбе при том, что исследованные рыбы были небольших размеров. *E. excisus* относится к числу потенциально опасных для человека паразитов. Половозрелого возраста нематода достигает в организме птиц-ихтиофагов, таких как баклан, цапля и рыбацкие утки. Окончательными хозяевами в определенных случаях могут служить осетровые виды рыб, а также каспийский тюлень лет (Ломакин, 1974; Гаевская, 2004).

*C. spiculigerum* у бычковых выявили в просвете кишечника интенсивностью инвазий от 1-2 экз., процент зараженности составил 8,3 %. Нематода *C. spiculigerum* относится к семейству *Anisakidae* и является широко специфическими паразитами карповых и других представителей ихтиофауны Каспийского моря. В тело рыб попадает при поедании промежуточных хозяев веслоногих рачков и др., завершает жизненный цикл в definitivoном хозяине (водоплавающие птицы) (Гаевская, 2004).

Таким образом у бычковых видов рыб Аграханского залива выявлено 5 видов гельминтов, из которых нематода *Cucullanellus minutus* имеет 100 % зараженность, как же отмечается высокий процент зараженности жабр ракообразными 83,3 %. Эпизоотическое и эпидемиологическое значение имеют 3 вида гельминтов *Protecephalidae sp.*, *Cucullanellus minutus*, *Eustrongylides excisus*.

#### Список литературы

1. Бауэр О.Н., Мусселиус В.А., Николаева В.М., Стрелков Ю.А. Ихтиопатология. М., 1977. 430 с.
2. Быховская-Павловская И.Е. Паразитологическое исследование рыб // Методы паразитологических исследований. Л.: Наука, 1969. 108 с.
3. Гаевская А.В. Паразиты и болезни морских и океанических рыб в природных и искусственных условиях. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2004. 237 с.
4. Гуцуляк С.А. Бычковые Каспийского моря. LAP LAMBERT: Academic Publishing, 2014. 56 с.
5. Казанчев Е.Н. Рыбы Каспийского моря : определитель. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 167 с.
6. Ломакин В.В. Эколого-фаунистический анализ нематод рыб Каспийского моря // Тр. ГЕЛАН. М.: Наука, 1974. Т. 24. С. 86-96.
7. Микаилов Т.К. Паразиты рыб водоемов Азербайджана. Баку: ЭЛМ, 1973. 296 с.
8. Определитель паразитов пресноводных рыб СССР / И.Е. Быховская-Павловская, А.В. Гусев, М.Н. Дубинина и др. М.-Л.: АН СССР, 1962. 776 с. (Определители по фауне СССР, изд. ЗИН АН СССР; вып. 80.)
9. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР // Под. ред. О.Н. Бауера. Т.3: Паразитические многоклеточные (Вторая часть). Л.: Наука, 1987. 587 с.

10. Определитель рыб и беспозвоночных Каспийского моря / Багуцкая Г.Н., Кияшко П.В., Насека А.М., Орлов А.И. Т.1: Рыбы и моллюски // М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 513 с.

## ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОРМОВОЙ БАЗЫ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НИЖНЕГО ДОНА В ЦЕЛЯХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЕМНОЙ ЕМКОСТИ

Д.В. Хренкин\*, Л.А. Живоглядова\*, Н.С. Елфимова\*,  
С.В. Бондарев\*, П.М. Заикина\*, Д.Ф. Афанасьев\*\*, А.В. Мирзоян\*\*

\*Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»),  
г. Ростов-на-Дону, [hrenkindv@azniirkh.vniro.ru](mailto:hrenkindv@azniirkh.vniro.ru), [zhivoglyadovala@azniirkh.vniro.ru](mailto:zhivoglyadovala@azniirkh.vniro.ru),  
[elfimovans@azniirkh.vniro.ru](mailto:elfimovans@azniirkh.vniro.ru), [bondarevsv@azniirkh.vniro.ru](mailto:bondarevsv@azniirkh.vniro.ru), [zaikinapm@azniirkh.vniro.ru](mailto:zaikinapm@azniirkh.vniro.ru)  
\*\*ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва, [afanasevdf@vniro.ru](mailto:afanasevdf@vniro.ru), [arsenfish@vniro.ru](mailto:arsenfish@vniro.ru)

Аннотация: в работе представлены материалы по видовому составу и количественным характеристикам зоопланктона и зообентоса нижнего течения реки Дон по данным съемок летнего периода 2016-2023 гг. Установлено, что структурные характеристики зоопланктона оставались неизменными на протяжении всего периода исследования, в сообществе доминировали веслоногие ракообразные (60-70 % общей биомассы планктеров), биомасса зоопланктона изменялась в диапазоне от 43,9 до 344,3 мг/м<sup>3</sup>. На долю кормового бентоса приходилось не более 10 % общей биомассы донного сообщества. Биомасса наиболее доступной для молоди рыб «мягкой» фракции составляла 2,8-25,6 г/м<sup>2</sup>.

Ключевые слова: зоопланктон, зообентос, кормовая база рыб, рыбохозяйственная характеристика

Объективная оценка приемной емкости – ключ к максимально эффективному использованию ресурсов водоемов России для выращивания важных в рыбохозяйственном отношении видов рыб. В современных условиях антропогенного преобразования водной экосистемы Дона существование многих популяций ценных в промысловом отношении видов поддерживается за счет их искусственного воспроизводства на рыбоводных предприятиях.

В Азово-Черноморском рыбохозяйственном бассейне осуществляют искусственное воспроизводство леща *Abramis brama* (Linnaeus, 1758), судака *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758), тарани *Rutilus heckelii* (von Nordmann, 1840) и некоторых других частичковых рыб, а также осетровых. Искусственное воспроизводство является одним из источников формирования промысловых запасов перечисленных видов. При определении количества выпускаемой молоди наиболее часто используемым в России и за рубежом подходом к оценке приемной емкости водоемов является гидробиологический подход, оперирующий продукцией кормовых организмов с последующим пересчетом в рыбопродукцию.

На ранних стадиях онтогенеза при переходе к экзогенному питанию основу рациона большинства рыб составляют организмы зоопланктона. Подращенная молодь переходит на питание донными организмами – хирономидами, ракообразными, моллюсками.

Гидробиологические исследования Нижнего Дона в рамках рыбохозяйственного направления проводят с первой половины XX в. (Волков, 1929, Мордухай-Болтовской, 1940, Вертебная, 1957, Шейнин, Фесенко, 1955 и др.). В начале 2000-х гг. эти работы носили эпизодический характер, в связи с чем, сведения о состоянии кормовой базы водных биоресурсов р. Дон этого периода не многочисленны (Брызгалов и др., 2000; Студеникина и др. 2001; Шляхова, 2004; Тевяшова, 2006; Дельта Дона..., 2009).

Планомерные, регулярные работы по оценке кормовой базы водных биологических ресурсов в р. Дон начаты Азово-Черноморским филиалом ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» в 2016 г. Ежегодно в период с мая по сентябрь филиал выполняет до 4-х комплексных эколого-рыбохозяйственных съемок.

Район исследования включал участок р. Дон от станицы Романовской до устья, в том числе рукава дельты – Большая Кутерьма, Малая Кутерьма, Мокрая Каланча, Сухая Каланча. Работы, как правило, вели по стандартным разрезам (5–7 разрезов по продольному

профилю реки). На каждой пробе отбирали на трех станциях – на фарватере, у левого и правого берегов. Отбор проб зоопланктона проводили путем фильтрации воды через сеть Апштейна (диаметр пор газа 76 мкм). Объем фильтрованной воды – 100 л. Зообентос отбирали с помощью дночерпателя Петерсена с площадью захвата 0,025 или 0,036 м<sup>2</sup>. Сконцентрированные пробы зоопланктона фиксировали 40% формалином до содержания его в пробе 4 %, пробы зообентоса – 75 % спиртом с добавлением формалина для предотвращения мацерации тканей червей.

Камеральную обработку проб проводили по принятым методикам (Абакумов, 1983). Для расчета биомассы зоопланктона использовали индивидуальные веса. К кормовой фракции зообентоса отнесен весь «мягкий бентос» (олигохеты, полихеты, ракообразные, насекомые), а также моллюски с длиной раковины до 1 см.

В составе зоопланктонного сообщества выявлено 47 таксонов, относящихся к истинным планктерам, и пять таксонов – к временным. Истинных планктеров представляли три основных группы – коловратки (Rotifera), ветвистоусые ракообразные (Cladocera), веслоногие (Copepoda) ракообразные. Наибольшее разнообразие наблюдали среди коловраток – 18 таксонов, веслоногие ракообразные насчитывали 13 таксонов, ветвистоусые – 11 таксонов. Среди временных планктеров отмечены хириноиды, личинки червей и моллюсков.

За весь период исследований биомасса зоопланктона изменялась от 43,9 до 344,3 мг/м<sup>3</sup>, в среднем составляя 117,4 мг/м<sup>3</sup>. Минимальные показатели развития зоопланктонного сообщества отмечались в 2016 г., максимальные – в 2021 г.

Доминирующее положение по биомассе занимали веслоногие ракообразные, на их долю приходилось 60-70 % от общей биомассы. В массе развивались *Calanipeda aquaedulcis*, *Eurytemora affinis affinis* и виды семейства Cyclopidae. На долю ветвистоусых ракообразных приходилось 30-40 % от общей биомассы. Доминирующее положение принадлежало видам родов *Bosmina*, *Diaphanosoma*, *Chydorus* и видам семейства Daphniidae. Доля копепод и представителей временного планктона в формировании биомассы была незначительна.

В составе макрозообентоса было зарегистрировано более 70 таксонов беспозвоночных из пяти основных групп: малощетинковые черви (Oligochaeta), многощетинковые черви (Polychaeta), моллюски (Mollusca), ракообразные (Crustacea), насекомые (Insecta). Также в пробах были отмечены представители мейобентоса – нематоды (Nematoda) и ракушковые раки (Ostracoda). Основу видовых списков формировали ракообразные (до 50 %).

Как правило, на долю кормовой фракции зообентоса приходилось от 2 % до 13 % общей биомассы зообентоса. Исключением стали съемки 2019 и 2020 гг., когда наблюдали массовое оседание молоди моллюсков, главным образом *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771), за счет которых доля кормовой фракции увеличилась до 28-35 %.

Для молоди рыб наиболее доступна «мягкая» фракция кормового бентоса, основными группами которой являются ракообразные, черви и насекомые. Среди последних наиболее значимы личинки двукрылых насекомых сем. Chironomidae (Фесенко, 1955; Желтенкова, 1964). Биомасса «мягкой» фракции зообентоса варьировала от 2,8 до 25,5 г/м<sup>2</sup>, в среднем за весь период наблюдений составляя 8,2 г/м<sup>2</sup>. Низкие показатели развития донных сообществ были зарегистрированы на песчаных грунтах, где биомасса кормовых организмов редко превышала 1 г/м<sup>2</sup>. Максимальные значения были характерны для илистых грунтов, богатых органикой и друзовых сообществ дрейссены.

Результаты гидробиологических съемок легли в основу современных расчетов приемной емкости р. Дон для вышеуказанных видов рыб. Показано, что приемная емкость реки меняется сообразно изменениям кормовой базы р. Дон и гидрологического режима реки.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Азово-Черноморского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» О.В. Стрельченко, В.В. Журавлеву, Д.В. Вехову за помощь на полевом этапе исследований.

#### Список литературы

1. Абакумов В.А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л., 1983. 190 с.
2. Брызгало В.А., Коршун А.М., Никаноров А.М., Соколова Л.П. Гидробиологические характеристики нижних участков Дона в условиях длительного антропогенного воздействия // Водные ресурсы. 2000. Т. 27, № 3. С. 357-363.
3. Вертебная П.И. Санитарно-биологическое исследование р. Дон и Цимлянского водохранилища в 1952-1953 гг. // Труды проблемных и тематических совещаний ЗИН. 1957. Вып. VII. С. 176-180.
4. Волков Л.И., Ершов А.Ф. Водоемы Аксайско-Донского займища в гидробиологическом и рыбохозяйственном отношении // Тр.Сев.-Кавказ. ассоц. н.-исслед. институтов. 1929. № 39. 38 с.
5. Дельта Дона: эволюция в условиях антропогенной трансформации стока. Ростов-на-Дону: ФГУП «АзНИИРХ», 2009. 184 с.
6. Желтенкова М.В. Питание осетровых рыб южных морей // Труды ВНИРО. 1964. Т. 54, Вып. 2. С. 9-47.
7. Мордухай-Болтовской Ф.Д. Состав и распределение донной фауны в водоемах дельты Дона // Тр. Аз.ЧерНИРО. 1940. Т. 12, № 2. С. 3-96.
8. Студеникина Е.И., Шляхова Н.А., Шейнин М.С. Многолетние изменения зоопланктона Нижнего Дона. // Тезисы докл. 8 съезда гидробиологического общества. 2001. Т. 1. Калининград. С. 265-266.
9. Тевяшова О.Е. Оценка формирования зоопланктонных комплексов в водоемах нижнего Дона в разные периоды после зарегулирования стока реки Дон// Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна. Сб. трудов АзНИИРХ (2004–2005 гг.). Ростов–на–Дону: «Медиа-пресс», 2006. С.113-120.
10. Фесенко Е. А. Питание молоди судака и леща в низовьях Дона // Труды ВНИРО. 1955. Т. 31. С. 286-305.
11. Шейнин М.С., Фесенко Е.А. Кормовая база личинок промысловых рыб в р. Дон и восточной части Таганрогского залива // Реконструкция рыбного хозяйства Азовского моря. 1955. С. 276-286.
12. Шляхова Н.А. Состав и динамика зоопланктона Нижнего Дона. Стратегия развития аквакультуры в условиях XXI века // Матер. Межд. научно-практич. Конференции. Минск: ОДО «Тонпик», 2004. С. 255-256

## ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПАРАЗИТОФАУНЫ ЩУКИ (*ESOX LUCIUS L.*) И ПЛОТВЫ (*RUTILUS RUTILUS L.*) БОГУЧАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Ю.К. Чугунова

*Красноярский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («НИИЭРВ»),  
г. Красноярск, [jhermann@mail.ru](mailto:jhermann@mail.ru)*

Аннотация: показаны основные тренды изменения состава паразитофаун щуки и плотвы Богучанского водохранилища в процессе трансформации исходного водотока и формирования водохранилища. С созданием Богучанского водохранилища трематоды, связанные с моллюсками и нематоды, развивающиеся через бентос, выпали из состава паразитофаун исследуемых видов хозяев, при этом возросла численность паразитов, развивающиеся с участием копепоидитной группы зоопланктона. Отмечены виды, ранее не регистрируемые у рыб в водоемах Красноярского края, включая Богучанское водохранилище (*Philometra rischta*, *Paradilepis scolecina*), а также паразиты, имеющие эпизоотическое значение (*Triaenophorus nodulosus*, *Ligula intestinalis*, *Argulus foliaceus*). Паразитов рыб, опасных для человека, у щуки и плотвы Богучанского водохранилища – не зарегистрировано.

Ключевые слова: Паразитофауна, щука, плотва, Богучанское водохранилище

Богучанское водохранилище – это относительно молодой водоем, расположенный на территории Иркутской области и Красноярского края, наполнение которого осуществлялось с 2012 по 2015 гг. Площадь водного зеркала составила 2326 км<sup>2</sup>, средняя глубина 25 м (максимальная до 75 м) (Корпачев и др., 2018).

Сбор материала осуществлялся на протяжении всего периода существования водохранилища с начала заполнения и по настоящее время. Полное паразитологическое вскрытие рыбы (без исследований крови) проводилось на живом материале по общепринятой методике (Быховская-Павловская, 1985) и фиксированном 10 % раствором формалина (Доровских, Степанов, 2009). В качестве объектов исследования для подготовки настоящей работы были выбраны два представителя ихтиофауны, различающиеся особенностями биологии и типом питания: щука *Esox lucius* (L.) и плотва *Rutilus rutilus* (L.).

Исходный состав фауны паразитов щуки и плотвы был представлен видами, ранее обитавшими в р. Ангаре. В составе паразитофауны щуки в 2012 г. насчитывалось 13 видов из 9 классов (табл. 1).

Таблица 1. Паразитофауна щуки Богучанского водохранилища

Класс, вид паразита	2012 г. n=15		2015 г. n=15		2020 г. n=15		2024 г. n=15	
	ЭИ, %	ИО, экз.	ЭИ, %	ИО экз.	ЭИ, %	ИО экз.	ЭИ, %	ИО экз.
<b>Мухозоа</b>	6,6	0,5	–	–	–	–	–	–
<i>Myxidium lieberkuehni</i> Bütschli, 1882								
<i>Myxosoma anurum</i> (Cohn, 1895)	13,3	1,9	–	–	–	–	6,6	7,1
<i>Hennequya psorospermica</i> Thelohan, 1895	26,6	1,3	–	–	–	–	–	–
<i>H. lobosa</i> (Cohn, 1895)	–	–	–	–	6,6	0,06	–	–
<b>Oligohymenophorea</b>	26,6	+	–	–	–	–	–	–
<i>Apiosoma sp.</i>								
<i>Apiosoma piscicolum</i> Blanchard, 1885	–	–	6,6	+	20,0	+	6,6	+
<i>A. campanulatum</i> (Тимофеев, 1962)	–	–	–	–	46,6	+	20	+
<i>A. minimicronucleatum</i> Vanina, 1968	–	–	26,6	+	33,3	+	6,6	+
<i>Apiosoma esocinum</i> Lubaraskaja, 1965	–	–	–	–	20,0	+	–	–

Класс, вид паразита	2012 г. n=15		2015 г. n=15		2020 г. n=15		2024 г. n=15	
	ЭИ, %	ИО, экз.	ЭИ, %	ИО экз.	ЭИ, %	ИО экз.	ЭИ, %	ИО экз.
<i>A. baueri</i> (Kaschkowski, 1965)	–	–	–	–	13,3	+	–	–
<i>Epistylis lwoffii</i> Faure-Fremiet, 1943	–	–	26,6	+	20,0	+	13,3	+
<i>Capriniana piscium</i> (Bütschli, 1889)	–	–	–	–	6,6	++	–	–
<i>Trichodina acuta</i> Lom, 1961	–	–	13,3	+	–	–	–	–
<i>T. esocis</i> Lom, 1960	–	–	–	–	53,3	+	6,6	+
<i>T. rectangli</i> Chen et Hsien, 1964	–	–	6,6	+	20,0	+	–	–
<i>Trichodinella epizootica</i> (Raabe, 1950)	66,6	+	33,3	+	53,3	++	33,3	+
<i>Tripartiella copiosa</i> (Lom, 1959)	–	–	6,6	+	–	–	–	–
<b>Monogenea</b> <i>Tetraonchus monenteron</i> (Wagener, 1857)	93,3	11,6	100,0	33,8	80,0	5,9	73,3	4,6
<i>Gyrodactylus lucii</i> Kulakowskaja, 1951	–	–	–	–	–	–	6,6	1,13
<b>Cestoda</b> <i>Triaenophorus nodulosus</i> (Pallas, 1781)	93,3	15,2	86,6	14,5	60,0	1,6	100,0	10,8
<i>Proteocephalus percae</i> (Müller, 1780)	–	–	6,6	0,06	–	–	–	–
<b>Trematoda</b> <i>Azygia robusta</i> Odhner, 1911	40,0	0,8	–	–	–	–	–	–
<i>Diplostomum spathaceum</i> (Rudolphi, 1819) mc	6,6	0,3	–	–	–	–	–	–
<b>Chromadorea</b> <i>Raphidascaris acus</i> (Bloch, 1779)	66,6	10,6	20,0	4,3	–	–	–	–
<i>Camallanus lacustris</i> (Zoega, 1776)	–	–	–	–	26,6	0,3	73,3	2,5
<i>Desmidocercella numidica</i> (Seurat, 1920) larvae	–	–	6,6	0,06	–	–	–	–
<b>Еоacanthocephala</b> <i>Neoechinorhynchus sp.</i>	6,6	0,06	–	–	–	–	–	–
<i>Echinorhynchus sp.</i>	–	–	–	–	–	–	20,0	0,8
<b>Hirudinea</b> <i>Piscicola geometra</i> (Linnaeus, 1761)	46,6	2,8	–	–	–	–	–	–
<b>Copepoda</b> <i>Ergasilus briani</i> Markewitsch, 1932	–	–	–	–	6,6	0,06	–	–
<i>Argulus foliaceus</i> Linnaeus, 1758	–	–	–	–	–	–	13,3	0,9
<b>Bivalvia</b> <i>Anodonta sp.</i>	33,3	0,3	–	–	–	–	–	–
<b>Всего видов</b>	<b>13</b>		<b>12</b>		<b>15</b>		<b>13</b>	

Примечание: здесь и в таблице 2 знак (–) – данные отсутствуют, «+» – единично, «++» – мало

Особенностью паразитофауны щуки в 2012 г. является наличие 8 видов паразитов связанных в развитии с бентосом. Спустя 3 года существования водохранилища произошла резкая смена видового состава паразитов в сторону преобладания паразитических инфузорий, причем эта тенденция сохранялась на протяжении последующих лет и к 2020 г. у щуки из 15 видов паразитов зарегистрировано 10 видов инфузорий и только 1 вид (*H. lobosa*), использующий в развитии олигохет. В настоящее время паразитические простейшие также доминируют по числу видов, однако встречаемость их не превышает 33,3 %. В сравнении с 2012 г. микроспоридии представлены единично, метацеркарии трематод р. *Diolostomum*, пиявки и глохидии моллюсков – выпали из состава паразитофауны щуки, а с 2020 г. не регистрируются специфичные нематоды *R. acus*. Напротив, к 2024 г. наблюдается существенный рост зараженности щуки цестодами *T. nodulosus* (100 %) и нематодами *C. lacustris* (73,3 %), первыми промежуточными хозяевами которых являются планктонные ракообразные.

При этом лентец широкий *Dibothriocephalus latus* (Linnaeus, 1758) Lühe, 1899 (syn. *Diphyllobothrium latum*) до настоящего времени не обнаружен.

Исходный состав паразитов плотвы Богучанского водохранилища характеризовался наличием 10 видов из 6 систематических групп и малым количеством специфичных видов (табл. 2).

Таблица 2. Паразитофауна плотвы Богучанского водохранилища

Класс, вид паразита	2012 г. n=15		2015 г. n=15		2020 г. n=45	
	ЭИ, %	ИО, экз.	ЭИ,%	ИО, экз.	ЭИ,%	ИО, экз.
<b>Myxozoa</b>	–	–	33,3	19,6	51,1	43,7
<i>Mixidium rhodei</i> Leger, 1905						
<i>Myxobolus muelleri</i> Bütschli, 1882	6,6	1,6	26,6	0,8	13,3	2,4
<i>Myxobolus diversicapsularis</i> Sluchai, 1966	–	–	–	–	8,8	1,15
<i>M. pseudodispar</i> Gorbunova, 1936	–	–	–	–	2,2	0,04
<i>Myxobolus</i> sp.	6,6	0,2	–	–		
<b>Oligohymenophorea</b>	20,0	+	–	–	–	–
<i>Apiosoma campanulatum</i> (Timofeev, 1962)						
<i>Trichodina spathulata</i> Kulemina, 1968	–	–	13,3	0,13	8,8	+
<i>Paratrichodina incisa</i> (Lom, 1959)	26,6	0,9	20,0	5,06	4,4	+
<b>Monogenea</b> <i>Gyrodactylus</i> spp.	–	–	6,6	0,06	8,8	0,2
<i>Dactylogyrus similis</i> Wagener, 1909	80,0	7,7	13,3	0,26	22,2	1,02
<i>D. sphyrna</i> Linstow, 1878	–	–	13,3	0,2	6,6	0,06
<i>D. crucifer</i> (Wagener, 1857)	46,6	15,0	86,6	11,9	100,0	51,7
<i>D. nanus</i> Dogiel et Bychowsky, 1934	–	–	86,6	2,7	55,5	2,2
<i>D. suecicus</i> Nybelin, 1937	–	–	33,3	1,5	10,6	0,14
<i>Dactylogyrus</i> sp.	–	–	6,6	0,13	–	–
<i>Paradiplozoon homoion</i> Bychowsky & Nagibina, 1959	13,3	0,13	40,0	0,5	31,1	0,7
<b>Cestoda</b>	6,6	0,06	6,6	0,06	–	–
<i>Triaenophorus nodulosus</i> (pl) (Pallas, 1781)						
<i>Ligula intestinalis</i> Linnaeus, 1758	–	–	–	–	8,8	0,15
<b>Trematoda</b>	100,0	60,2	13,3	11,8	–	–
<i>Diplostomum spathaceum</i> (Rudolphi, 1819) mc						
<i>Diplostomum commutatum</i> (Diesing, 1850) Dubois, 1937 mc	–	–	13,3	3,8	–	–
<b>Chromatodorea</b>	–	–	–	–	4,54	0,3
<i>Philometra rischta</i> Skrjabin, 1917						
<b>Copepoda</b>	20,0	0,4	–	–	17,4	0,5
<i>Ergasilus briani</i> Markevich, 1932						
<i>Argulus foliaceus</i> Linnaeus, 1758	–	–	–	–	2,2	0,06
<b>Arachnida</b>	–	–	–	–	4,4	0,13
<i>Porohalacarus hydrachnoides</i> Lohmann, 1893						
<b>Всего видов</b>	<b>10</b>		<b>15</b>		<b>18</b>	

Абсолютный доминант по величине встречаемости (100 %) и численности (60,2 экз.) – метацеркарии трематод *D. spathaceum*, субдоминант – моногенеи *D. similis* (80 %). В последующие годы отмечено увеличение числа видов за счет разнообразия моногенетических сосальщиков, которые составляют современную основу паразитофауны плотвы. Полностью отсутствуют паразиты, чье развитие включает брюхоногих или двустворчатых моллюсков, а миксоспоридии, развивающиеся с участием олигохет, представлены ограниченным числом видов. При этом отмечена нематода *Philometra rischta*, ранее не регистрируемая в водохранилищах бассейна Енисея. В целом, планктонный комплекс паразитофауны у плотвы, питающейся преимущественно растительной пищей к 2020 г. еще не сформировался.

Тем не менее, предварительные материалы обработки проб плотвы, собранные в июле 2024 г., свидетельствуют о наличии и высокой зараженности (свыше 90 %) рыб мероцеркоидами цестоды *Paradilepis scolecina* (Rudolphi, 1819) (рис.), первыми

промежуточными хозяевами которой служат планктонные копеподы, а дефинитивными – бакланы рода *Phalacrocorax*.



Рисунок. Мероцеркоид *Paradilepis scolecina* из печени плотвы Богучанского водохранилища, 2024 г. (увеличение 10×20)

Трансформация р. Ангары при создании Богучанского водохранилища привела к значительным изменениям состава и структуры сообществ всех групп организмов водной биоты, что напрямую отразилось и на паразитофауне рыб. Основу фауны для щуки и плотвы формируют виды с прямым циклом развития, отмечено резкое сокращение (вплоть до выпадения отдельных групп) паразитов, чье развитие протекает с участием бентосных организмов и напротив увеличение зараженности рыб цестодами и нематодами, первыми промежуточными хозяевами которых служит зоопланктон. Экспансия баклана с высокой численностью популяций птиц в акватории Богучанского водохранилища привела к появлению цестоды *P. scolecina*, ранее не регистрируемой в водоеме.

#### Список литературы

1. Быховская-Павловская И.Е. Паразиты рыб. Руководство по изучению. Л.: Наука, 1985. 122 с.
2. Доровских Г.Н., Степанов В.Г. Методы сбора и обработки ихтиопаразитологических материалов : учебное пособие. Сыктывкар: Изд-во Сыктывкарского государственного университета, 2009. 132 с.
3. Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А., Гудаева Е.А. Морфометрические характеристики проектируемых водохранилищ ГЭС Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2018. Т. 36, № 5. С. 411-417.

## ДИНАМИКА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ФИТОПЛАНКТОНА В НЕБОЛЬШОМ РАВНИННОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Е.А. Шашуловская, С.А. Мосияш, И.Н. Далечина

*Саратовский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («СаратовНИРО»), г. Саратов  
[shash.elena2010@yandex.ru](mailto:shash.elena2010@yandex.ru)*

*Аннотация: показаны изменения содержания биогенных элементов и фитопланктона в воде Пензенского (Сурского) водохранилища в 2020-2023 гг. на фоне современной климатической трансформации. Установлена связь количественных и структурных характеристик фитопланктона с содержанием биогенных элементов и гидрологическими параметрами водохранилища.*

*Ключевые слова: биогенные элементы, биомасса и численность фитопланктона, объем притока, Пензенское водохранилище*

Небольшие мелководные водоемы, расположенные вблизи урбанизированных территорий, наиболее уязвимы к загрязнению. Зарегулирование стока замедляет естественные процессы самоочищения и ускоряет эвтрофирование. Этому способствует и современное потепление климата, которое согласуется с динамикой Североатлантического колебания (САК) – важнейшей характеристикой крупномасштабной циркуляции атмосферы в Северном полушарии (Малинин, Гордеева, 2014).

Пензенское (Сурское) водохранилище, созданное в 1979 г. на слиянии рек Суры и Узы для обеспечения водой населения, является самым крупным искусственным водоемом в Пензенской области. Площадь водохранилища при нормальном подпорном уровне составляет 11 тыс. га, объем – 560 млн м<sup>3</sup>. Коэффициент водообмена ~2,5 раза/год. Большие площади мелководий, повышение среднегодовой температуры воды, слабый водообмен и сложная конфигурация обусловили в Пензенском водохранилище в настоящее время условия для ускорения процессов эвтрофикации (Осипов и др., 2007). Поэтому исследования содержания основных биогенных элементов (азота и фосфора) и структуры фитопланктона как основных трофических показателей имеет важное значение.

Цель настоящей работы – изучение содержания и распределения биогенных элементов и показателей фитопланктона в воде Пензенского водохранилища в 2020-2023 гг.

Гидрохимический материал и пробы фитопланктона отбирали синхронно на русловых и прибрежных участках Пензенского водохранилища с учетом вегетационного сезона: весной (в конце апреля), летом (июль) и осенью (октябрь) по стандартным мониторинговым разрезам, карта-схема которых представлена в работе (Шашуловская и др., 2020).

Определение трех форм минерального азота, минерального и общего фосфора проводили фотометрическим методом, общего азота – методом ИК-спектрометрии. Камеральную обработку фитопланктона осуществляли общепринятым методом (Методические..., 1984).

В период исследования годовой приток воды Сурского водохранилища изменялся от 1,01 до 1,56 км<sup>3</sup> (табл. 1). Максимальная годовая водность 2023 г. была обеспечена за счет притока воды к водохранилищу в марте в количестве 0,63 км<sup>3</sup>. Резкий подъем воды наблюдался в основном, в апреле. Средняя температура воды за вегетационный период колебалась в небольшом интервале 12,2-12,4 °С.

Таблица 1. Гидрологические, термические и климатические показатели Сурского водохранилища в 2020-2023 гг.

Год исследования	Приток, км <sup>3</sup>		Температура воды, °С				САК	
	апрель	годовой	апрель	июль	октябрь	средняя за сезон наблюдения	весна	годовой
2020	0,14	1,01	4,4	21,5	10,9	12,3	-1,58	3,49
2021	0,22	1,03	2,2	24,5	9,8	12,2	-1,9	-4,78
2022	0,39	1,23	3,1	22,8	11,4	12,4	0,23	3,35
2023	0,15	1,56	4,8	21,4	10,9	12,4	-0,82	-3,94

Наиболее холодным был июль 2023 г. Однако, в среднем за вегетационный период, температура воды в этом году практически не отличалась от предыдущих лет за счет теплой весны и осени (табл.1). Продолжительность ледостава составила в основном 135-139 дней, и только в 2020 г. его продолжительность сократилась до 114 дней из-за аномально теплой зимы.

Количественное содержание биогенных элементов является одним из важнейших факторов, определяющих качество воды в водных экосистемах, и, как следствие, условия существования гидробионтов.

Доминирующей формой минерального азота в водохранилище, как и в предыдущие годы (Шашуловская и др..., 2020), являлись нитраты, сезонная динамика которых выражалась в максимальных концентрациях в весенний период и снижении в отдельные годы до аналитического нуля в летний. Летом при максимальном прогреве водоема усиливаются минерализационные процессы и доминирующей формой азотистых соединений становится аммоний (табл. 2). Содержание нитритов в основном характеризовалось низкими значениями и колебалось в интервале <0,006 – 0,10 мгN/дм<sup>3</sup>. Однако весной 2020 г. концентрации этого соединения возросли в воде водохранилища до 0,15-0,36 мгN/дм<sup>3</sup>. Видимо, теплая зима и короткий период ледостава привели к поступлению аномального паводкового стока.

Таблица 2. Содержание биогенных элементов (среднее значение и его ошибка) в воде Сурского водохранилища в 2020-2023 гг.

Показатель	Весна	Лето	Осень
Азот аммония, мг/дм <sup>3</sup>	0,27±0,01	0,29±0,03	0,16±0,01
Азот нитритов, мг/дм <sup>3</sup>	0,059±0,011	0,011±0,001	0,011±0,002
Азот нитратов, мг/дм <sup>3</sup>	0,67±0,07	0,05±0,01	0,24±0,04
Азот минеральный, мг/дм <sup>3</sup>	1,00±0,07	0,35±0,03	0,40±0,04
Азот органический, мг/дм <sup>3</sup>	0,06±0,02	0,57±0,09	0,20±0,02
Фосфор минеральный, мг/дм <sup>3</sup>	0,092±0,008	0,14±0,01	0,14±0,01
Фосфор органический, мг/дм <sup>3</sup>	0,050±0,010	0,12±0,02	0,030±0,010

Содержание фосфора минерального изменялось в диапазоне 0,02-0,35 мг/дм<sup>3</sup>. Сезонная динамика элемента характеризовалась низкими концентрациями в весенний период и накоплением в летне-осенний сезон (табл. 2). Причины подобного явления были подробно описаны в нашем исследовании (Шашуловская и др., 2020). Наибольшая стратификация в 2-6 раз отмечена в апреле 2020 г. и июле 2020 и 2022 гг., когда приток воды к водохранилищу был минимальный.

В течение вегетационного сезона менялось соотношение минеральных и органических форм биогенных элементов. Весной весь азот в воде водохранилища представлен минеральными формами, что свидетельствует о доминирующей роли в их балансе поверхностного стока.

Летом в связи с прогревом водных масс и интенсификацией развития автотрофов концентрация органического азота увеличивалась до 62 %. В отдельные годы снижение

содержания неорганических форм азота (преимущественно нитратов) настолько велико, что недостаток этого элемента лимитировал развитие фитопланктонного сообщества (Шашуловская и др., 2020). В то же время интенсивно происходит деструкция органического вещества (ОВ), протекают процессы аммонификации, и в водоеме обнаруживается увеличение ионов аммония. Одновременно происходит и новообразование ОВ, следствием чего является увеличение органического фосфора.

В осенний период происходит деструкция ОВ и в окружающую среду поступают конечные продукты минерализации – неорганические формы азота и фосфора.

В связи с особенностями морфометрии и гидрологии водохранилище отличается большой гетерогенностью концентраций исследуемых показателей. Так, весной 2020 г. содержание аммонийного азота в Сурском заливе было выше, чем в Приплотинном плесе в 3 раза, нитратов, наоборот, в 3 раза меньше. Содержание железа в Сурском заливе было выше, чем в Приплотинном в 4 раза. В летний период Сурской и Узинский заливы различались по содержанию минерального фосфора в 4 раза. В одном разрезе водохранилища концентрации ингредиентов в прибрежных и русловых участках в некоторых случаях различались в 10 раз. В другие исследуемые годы наблюдалась аналогичная ситуация. Очевидно, в весенний период причиной подобной гетерогенности концентраций являлись особенности водосбора рек, формирующих водохранилище, а летом – разный уровень биопродукционных процессов и низкие, до полного отсутствия, скорости течения.

Корреляционные отношения между параметрами среды показали сильную связь значений индекса САК за весенний период с величиной притока в апреле. С объемом половодья тесно связаны величины нитратов ( $r=0,91$ ). Динамика аммонийного азота коррелирует с концентрациями фосфатов ( $r=0,95$ ), и оба показателя отрицательно связаны с изменениями весеннего и годового индекса САК, что свидетельствует, вероятно, о меньшей роли водосбора в их динамике.

Фитопланктон формирует энергетическую основу для всех последующих стадий биопродукционных процессов в водохранилище, поэтому изучение его количественных и структурных показателей имеет важное значение.

Видовой состав фитопланктона за вегетационный сезон 2020-2023 гг. насчитывал 116-138 таксонов. Наибольшим числом таксонов были представлены Bacillariophyta и Chlorophyta. По численности доминировали цианобактерии, составляя от 62 % до 92 %. По биомассе лидировали в 2020 г. цианобактерии (60 %), 2021 г. – динофитовые (78 %), 2022 г. – диатомовые с сопутствующими цианобактериями и криптофитовыми, 2023 г. – цианобактерии (41 %).

В летний период 2020-2023 гг. общая численность водорослей изменялась по участкам от 0,62 до 110,0 млн кл/дм<sup>3</sup>, а биомасса – от 0,2 до 55,388 мг/дм<sup>3</sup>. По численности доминировали цианобактерии, составляющие 78-98 %. Они были представлены *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae* и *Microcystis aeruginosa*. По биомассе во все годы лидировали представители Cyanobacteria (37-84 %), в отдельные годы в доминанты входили криптофитовые (23 %) и динофитовые водоросли (43 %). Из Cryptophyta преобладали – *Cryptomonas erosa*, *Cr. brevis* и *Rhodomonas lens*, из Dinophyta – *Ceratium hirundinella*. Существенные колебания численности, биомассы и представленности отдельных таксонов по участкам водохранилища отмечены во все сезоны, как и в предыдущие годы. Максимальные величины численности и биомассы фитопланктона наблюдались в 2023 г. (табл. 3), который характеризовался более высокой температурой воды весной и осенью, а также увеличенным объемом годового притока.

Таблица 3. Средневегетационная численность и биомасса фитопланктона Сурского водохранилища в 2020, 2022-2023 гг.

Отделы	Численность, млнкл/дм <sup>3</sup>			Биомасса, мг/дм <sup>3</sup>		
	2020 г.	2022 г.	2023 г.	2020 г.	2022 г.	2023 г.
Bacillariophyta	0,310	0,707	1,578	0,260	0,650	0,840
Сyanobacteria	4,671	4,908	22,869	0,230	0,499	1,640
Chlorophyta	0,141	0,482	0,124	0,090	0,135	0,110
Euglenophyta	0,020	0,026	0,042	0,130	0,127	0,190
Сryptophyta	0,089	0,239	0,107	0,050	0,425	0,090
Dinophyta	0,005	0,005	0,024	0,280	0,081	1,150
Всего	5,240	6,367	24,745	1,040	1,917	4,030

Проведенный множественный корреляционный анализ позволил выявить связи между параметрами среды и характеристиками фитопланктона. Общая численность, биомасса цианобактерий и зеленых водорослей тесно связана с величиной годового притока в водохранилище ( $r = 0,95, 0,91, 0,80$  соответственно). Динамика Cyanobacteria связана с температурой воды: с ее ростом в исследуемые годы наблюдалось увеличение летней биомассы цианобактерий. Диатомовые, а также криптофитовые и динофитовые тесно связаны с высокими коэффициентами корреляции  $0,82-0,99$  с концентрациями аммонийного азота и фосфатов. С этими соединениями соответственно связана и общая биомасса водорослей, так как ее величину определяют крупноклеточные формы этих отделов водорослей ( $r=0,81-0,98$ ).

Таким образом, за исследуемые годы выявлена связь содержания биогенных элементов с гидрологическими и климатическими факторами. Структурные и количественные характеристики фитопланктона определяются термическим режимом, а также содержанием аммонийного азота и фосфора. Полученные данные являются начальным этапом изучения воздействия климатических и гидрологических факторов на Сурское водохранилище в меняющихся условиях среды.

#### Список литературы

1. Малинин В.Н., Гордеева С.М. Североатлантическое колебание и увлажнение Европейской территории России // Общество. Среда. Развитие. 2014. № 2. С. 191-198.
2. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресных водоемах: фитопланктон и его продукция. 1984. Л.: ГосНИОРХ. 32 с.
3. Осипов В.В., Янкин А.В., Ильин В.Ю. Современное состояние рыбного населения Пензенского водохранилища // Поволжский экологический журнал. 2007. № 4. С. 321-329.
4. Шашуловская Е.А., Мосияш С.А., Далечина И.Н., Филимонова И.Г., Гришина Л.В., Кузина Е.Г., Шашуловская О.В. Динамика трофических показателей малого равнинного водохранилища в разные периоды его существования (на примере Пензенского водохранилища на р. Сура) // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология. 2020. № 4, вып. 13. С. 368-386. DOI: 10.17516/1997-1389-0334.

## О БИОЛОГИИ МЯГКОГО БЫЧКА *MALACOCOTTUS ZONURUS* (PSYCHROLUTIDAE) В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ

А.Ю. Шейбак, О.А. Мазникова

ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва, [sheibak@vniro.ru](mailto:sheibak@vniro.ru)

Аннотация: представлены новые данные по распределению и линейно-массовые характеристики мягкого бычка в северной части Охотского моря в летний период, а также определены его численность и биомасса. Ключевые слова: *Malacocottus zonurus*, Охотское море, распределение, численность, биомасса

Мягкий бычок – широкобореальный тихоокеанский мезобентальный вид, обитающий на глубинах от 27 до 1980 м, преимущественно в пределах континентального склона. Многочислен или обычен в Беринговом, Охотском и Японском морях, у Командорских, Курильских и Японских о-вов (Шмидт, 1950; Тупоногов, Кодолов, 2014; Токранов, Орлов, 2015). У западной Камчатки, Северных Курильских островов и северо-западной части Берингова моря встречаемость мягкого бычка в донных уловах превышает 50% (Матвеев, Блищак, 2021). Однако актуальные сведения о его биологии в северной части Охотского моря в литературных источниках отсутствуют.

В основу работы положены данные, собранные при выполнении донной траловой съемки в северной части Охотского моря с 27 июня по 29 июля 2024 г. на СТР «Сланцы» (судовладелец «Рыболовецкий колхоз им. В.И. Ленина») (рис. 1). Всего выполнено 146 тралений донным тралом ДТ/ТВ 27.1/24.4 с длиной мешка 10 м и мелкочейную вставку (10 мм). Общая площадь обследованной акватории составила 214 тыс. км<sup>2</sup>. Количество проанализированных особей – 208 экз. Масса рыб определена на весах морского исполнения «Marel» (точность ±1 г). Температуру воды измеряли с помощью стационарных датчиков «Термохрон» (точность ±0,5 °С), закрепленных на верхней подбуре трала и работающих в автономном режиме. Для оценки численности и биомассы использован площадной метод (Аксютин, 1968). Расчет площади тралений и построение карт распределения вида выполнен в свободной кроссплатформенной геоинформационной системы «QGIS 3.22» (<https://qgis.org/ru/site/forusers/download.html>).

В пределах обследованной акватории *Malacocottus zonurus* в уловах донного трала зарегистрирован в диапазоне глубин от 97 до 422 м при температуре от -0,1 до 2,2 °С, а частота встречаемости составила 51,0 %. Учетные численность и биомасса вида в среднем составили 565±113 экз./км<sup>2</sup> и 111,1±23,6 кг/км<sup>2</sup> (рис. 1). Наиболее плотные скопления отмечены в южной части полигона в пределах изобат 210-302 м в теплых модифицированных охотоморских водах (0,1-1,5 °С) (23-15185 экз./км<sup>2</sup> и 0,4-2876,3 кг/км<sup>2</sup>, ср. 30±7 экз. и 5,8±1,3 кг).

Численность и биомасса мягкого бычка по результатам проведенных исследований оценены в 1,265 млрд экз. и 21,089 тыс. т.

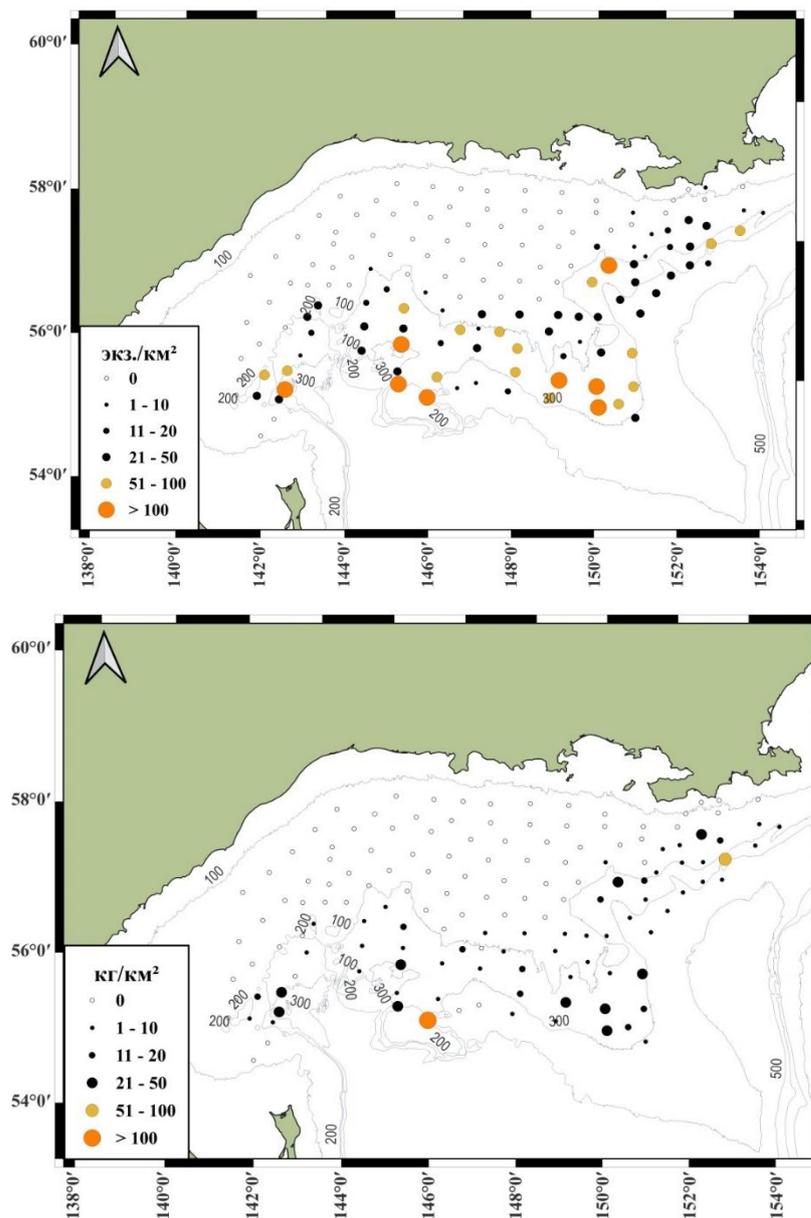


Рисунок 1. Пространственное распределение численности (экз./км<sup>2</sup>) и биомассы (кг/км<sup>2</sup>) мягкого бычка в северной части Охотского моря в июне - июле 2024 г.

В северной части Охотского моря в июне-июле текущего года основу уловов формировали особи длиной от 7 до 30 см, при этом доля рыб длиной 20-23 см составила 56 % (рисунок 2). Например, в июне-июле 2021 г. в водах у западного побережья Камчатки линейные характеристики исследуемого вида были сопоставимы с таковыми из уловов СТР «Сланцы» (Матвеев, Блищак, 2021). Однако модальную группу формировали рыбы более крупные особи 23-26 см, доля которых в улове достигала 72 %. В свою очередь в тихоокеанских водах у юго-восточной Камчатки и Северных Курильских островов, а также в северо-западной части Берингова моря длина вида в уловах достигала 35 и 39 см, соответственно (Токранов, Орлов, 2015; Глубоков и др., 2019).

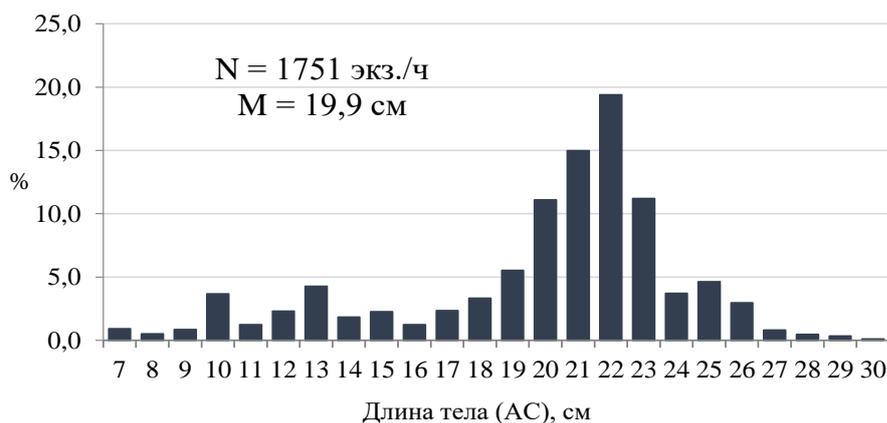


Рисунок 2. Размерный состав мягкого бычка в северной части Охотского моря в период выполнения донной траловой съемки 27.06 – 29.07.2024 г.

Весовые характеристики охотоморского мягкого бычка были варьировали от 7 до 690 г, в среднем составив  $211 \pm 2$  г (рис. 3). Зависимость между длиной ( $L$ , см) и массой ( $W$ , г) тела описывается степенной функцией с высокой степенью детерминации ( $R^2 = 0,98$ ).

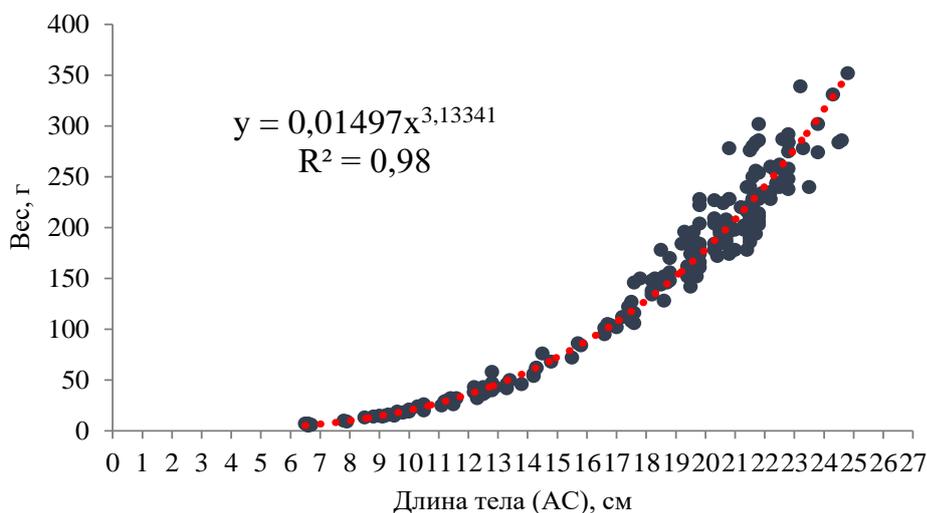


Рисунок 3. Зависимость массы от длины тела мягкого бычка в северной части Охотского моря в период выполнения донной траловой съемки 27.06 – 29.07.2024 г.

Психролютовые бычки являются одним из наименее изученных семейств отряда Scorpaeniformes, а полученные данные в ходе ресурсных исследований на СТР «Сланцы» расширяют имеющиеся представления о биологии мягкого бычка и его роли в ихтиоценозе Охотского моря.

#### Список литературы

1. Аксютин З.М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях. М.: Пищевая пром-ть, 1968. 288 с.
2. Глубоков А.И., Глубоковский М.К., Ковачева Н.П. Новые данные о мягком бычке *Malacocottus zonurus* (Psychrolutidae) из северо-западной части Берингова моря // *Вопр. ихтиологии*. 2019. Т. 59, № 3. С. 360-363.
3. Матвеев А.А., Блищак Н.М. Распределение и размерный состав мягкого бычка *Malacocottus zonurus* (Psychrolutidae) у западного побережья Камчатки // *Сохранения биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : Материалы XXII Международной научной конференции*. Петропавловск-Камчатский, 2021. С. 157-160.
4. Токранов А.М., Орлов А.М. Рогатковидные рыбы семейств Hemitripterae и Psychrolutidae прикамчатских вод // *Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование : матер. VI Всерос. науч.-практ. конф.* Петропавловск-Камчатский. КамчатГТУ. 2015. Ч. 1. С. 145-150.

5. Тупоногов В.Н., Кодолов Л.С. Полевой определитель промысловых и массовых видов рыб дальневосточных морей России. Владивосток: Русский Остров, 2014. 336 с.
6. Шмидт П.Ю. Рыбы Охотского моря. М.: Изд-во АН СССР, 1950. 370 с.
7. QGIS [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный: <https://qgis.org/ru/site/forusers/download.html> (дата обращения 10.09.2024 г.)

## ВЛИЯНИЕ КОРМОВ НА УСПЕШНОСТЬ СМОЛТИФИКАЦИИ СЕГОЛЕТКОВ ЧАВЫЧИ (КАМЧАТКА, МАЛКИНСКИЙ ЛОСОСЕВЫЙ РЫБОВОДНЫЙ ЗАВОД)

Е.В. Шульгина\*, В.Н. Леман\*, Е.В. Есин\*\*

\* ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва, [cherry@vniro.ru](mailto:cherry@vniro.ru), [leman@vniro.ru](mailto:leman@vniro.ru)

\*\* Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН,  
г. Москва, [esinevgeniy@yandex.ru](mailto:esinevgeniy@yandex.ru)

Аннотация: оценено влияние отечественных кормов на смолтификацию и готовность заводской молоди чавычи к переходу в морскую воду. Показано влияние состава кормов на рост, физиологическое состояние и гормональный статус рыб. Молодь средней массой 4,5 г переводили из пресной в морскую воду и оценивали её выживаемость и ряд физиологических показателей. Минимальная масса молоди, способной к смолтификации – 3,1 г.

Ключевые слова: чавыча, заводская молодь, смолтификация, корма, Камчатка

Река Большая (Западная Камчатка) имеет важное рыбопромысловое значение, в ней воспроизводятся все виды рода *Oncorhynchus*, включая чавычу *O. tshawytscha*. Большерецкая популяция этого вида ранее была самой многочисленной на западе полуострова, но к началу XXI в. её численность снизилась в 2-3 раза. По оценкам экспертов (Региональная концепция..., 2008; Запорожец и др., 2010) сокращение численности большерецкой чавычи было связано с масштабным нелегальным выловом (браконьерством), значительно превышающим суммарный официальный вылов и пропуск производителей чавычи на нерестилища. По этой причине специализированный промысел чавычи в р. Большая с 2000 г. был запрещен. В настоящее время поддержание её численности, помимо охраны рек от браконьерства, осуществляется за счёт разведения на Малкинском лососевом рыбноводном заводе (МЛРЗ), расположенном на р. Ключёвка, притоке р. Большая.

МЛРЗ – единственный завод в России, на котором выращивают молодь чавычи. Чавыча – л вид тихоокеанских лососей с длительным пресноводным периодом жизни. Доля таких видов в общем объеме искусственного воспроизводства тихоокеанских лососей во всем мире чрезвычайно мала, что связано со сложностью получения физиологически полноценных смолтов, способных регулировать водно-солевой баланс при переходе к обитанию из пресной воды в морскую. На МЛРЗ применяется уникальная биотехника подращивания молоди чавычи на теплой, подогретой геотермальными источниками, воде, что позволяет получать молодь массой 7 г за один рыбноводный сезон и выпускать в начале мая смолтов-сеголеток. К этому времени, как правило, в реке уже складываются благоприятные гидрологические и гидробиологические условия, а также начинается скат дикой молоди лососей. Выпуск смолтов, физиологически готовых к покатной миграции в море, ослабляет конкуренцию в реке с дикой молодью, а также повышает эффективность и рентабельность искусственного воспроизводства.

Процесс подращивания молоди чавычи на МЛРЗ отработан и из года в год точно повторяется. Однако в связи с отказом от традиционных импортных кормов в производственном рыбноводном цикле 2023–2024 гг. возникла задача по производственному испытанию различных кормов российского производства, которые ранее не использовались на МЛРЗ. В связи с этим цель настоящей работы – проверка успешности смолтификации молоди чавычи при её подращивании на отечественных кормах разной рецептуры. Экспериментальные работы провели на двух кормах, условно обозначенных – «стандарт» и «эксперимент». Оба корма имеют одинаковую пищевую ценность (протеин 50 %, жир 9 %, клетчатка 1,5 %, зола 11 %, фосфор 0,8 %), в их состав

входит рыбная и пшеничная мука, дрожжи, пшеничный глютен, витаминно-минеральный премикс, пробиотик Субтилис, рыбий жир,  $\beta$ -глюкан и антиоксидант. В корм «эксперимент» дополнительно включены креветочная мука и заменитель обезжиренного молока.

В отличие от традиционных импортных кормов использованные отечественные корма, новые для МЛРЗ, не позволили дорастить молодь чавычи до нормативной навески, равной 7 г, при которой практически вся молодь является смолтами (Леман, Шульгина, 2004; Шульгина и др., 2023; Приказ Минсельхоза России от 30.01.2015 № 25). Средняя масса молоди при выпуске с МЛРЗ в мае 2024 г. составила 4,92 г.

Перед выпуском молоди чавычи с МЛРЗ, в период с 24 апреля по 3 мая 2024 г. была проведена оценка гормонального статуса молоди чавычи и её способности регулировать водно-солевой баланс. Средняя масса экспериментальной молоди составила  $4,48 \pm 0,07$  г (1,93-7,00 г). Гормональный статус оценивали по концентрации двух гормонов – кортизола и лептина в плазме крови, с использованием заводских наборов реактивов DBC (Канада) для иммуноферментного анализа. Кортизол – гормон стресса, регулирующий гликолиз, концентрация которого у лососевых рыб при смолтификации должна повышаться. Также при смолтификации должна сильно изменяться концентрация лептина, который регулирует пищевую активность и метаболизм жировой ткани. Способность к регулированию водно-солевого баланса оценивали в солёностных экспериментах трёх разных типов: в суточном тесте в воде солёностью 40 ‰, по которому критерием готовности молоди к переходу в морскую воду является выживаемость более 50 % особей (Clarke, Blackburn, 1977), а также в трёх- и шестисуточных тестах в воде солёностью 30 ‰. Солёность 30 ‰ примерно соответствует поверхностной солёности западной части Охотского моря. Во всех солёностных экспериментах оценивали выживаемость молоди, потерю массы тела вследствие обезвоживания, аномальные поведенческие реакции, а также долю молоди, способную поддерживать осмолярность крови в пределах 340 мосм/л после перевода в воду повышенной солёности. Рыб, способных поддерживать данный уровень осмолярности, относят к полноценным смолтам (Clarke, Blackburn, 1977; Смирнов, Кляшторин, 1989, 1991; Кляшторин, Смирнов, 1990; Шульгина, Смирнов, 2015). В ходе проведения работ осмолярность цельной крови измерялась на осмометре Varco (США).

При выдерживании в течение одних суток в солёности 40 ‰ выживаемость молоди составила около 90 %, различий по влиянию кормов «стандарт» и «эксперимент» на выживаемость не выявлено. Потеря массы тела в среднем превышала 14 % при максимальном уровне в 9 %, отмеченном ранее на импортных кормах. Перевод молоди в воду солёностью 30 ‰ на трое суток показал её низкую выживаемость. При этом потеря массы тела также превышала 14 %. После трёхсуточного выдерживания выживаемость молоди чавычи, выращенной на корме «стандарт», составила 51 %, на корме «эксперимент» – 62 %. Ни в одном из опытов не оказалось сеголеток чавычи, способных поддерживать осмолярность крови на уровне  $\leq 340$  мосм/л (рис.). После шестисуточной экспозиции выживаемость сеголеток чавычи снижалась до 29 % на корме «стандарт» (из выживших, только у 23 % особей осмолярность крови оказалась ниже 340 мосм/л) и до 40 % на корме «эксперимент» (из них 41 % рыб являлся полноценными смолтами). Минимальная масса молоди чавычи, при которой процесс смолтификации был успешно завершён, составила 2,7 г (без учёта потери массы за счёт обезвоживания в солёной воде) или 3,1 г (с учётом 14 %-ой потери массы тела).

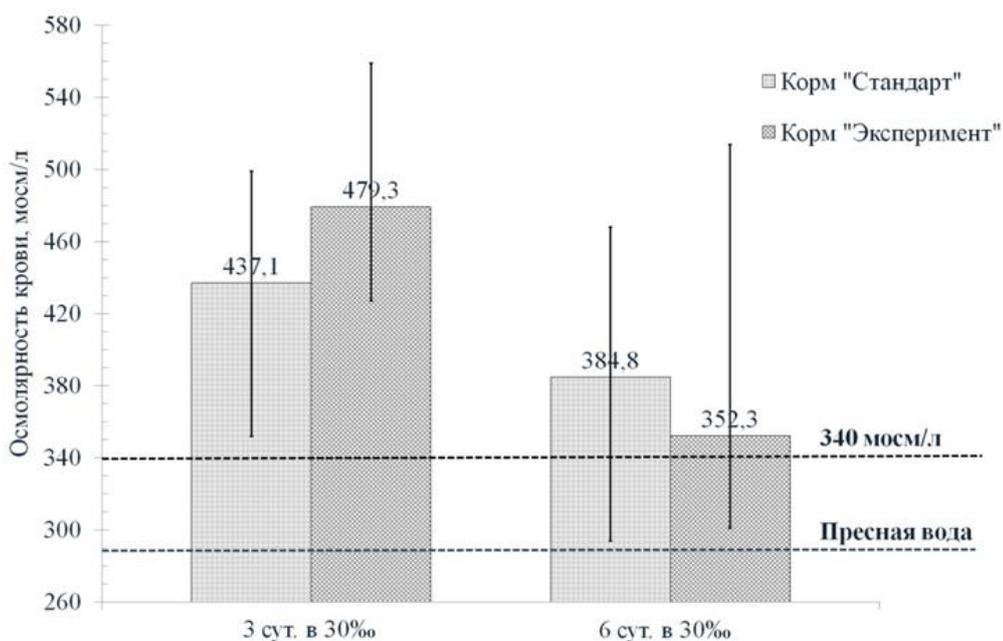


Рисунок. Осмолярность крови у сеголеток чавычи, подращиваемых на МЛРЗ на разных кормах, после трёх- и шестисуточного выдерживания в воде солёностью 30 ‰

Как показали анализы гормонального статуса экспериментальной партии молоди чавычи, уровень кортизола у неё при использовании обоих типов кормов оказался снижен настолько, что не попал в границы обнаружения, заявленные производителем для аналитического набора. Очень низкий уровень кортизола наблюдался как у молоди после выдерживания в солёной воде, в том числе и для смолтов, так и у взятой из контроля в пресной воде. Уровень лептина в группе, которую выращивали на корме «стандарт», был достоверно ниже у смолтов (в среднем 0,65 нг/г), чем у несмолтифицированных особей (0,80 нг/г) (ANOVA  $F = 5,8$   $p = 0,0317$ ). В группе рыб, выращенной на корме «эксперимент», наблюдалась противоположная картина – у смолтов концентрация лептина (1,01 нг/г) была достоверно выше ( $F = 10,9$   $p = 0,0059$ ), чем у несмолтифицированных особей (0,88 нг/г).

Полученные результаты говорят о важности состава и рецептуры корма при подращивания молоди лососевых рыб с длительным пресноводным периодом жизни с целью получения физиологически полноценных и жизнеспособных смолтов. Исследования, проведённые в 2024 г. на МЛРЗ, подтвердили актуальность разработки, подбора и испытания кормов различного состава в производственных условиях и оценки их пригодности по показателям, характеризующим успешность процесса смолтификации у молоди чавычи накануне её выпуска с рыбоводного завода в реки. Исследования будут продолжены в следующем году.

Авторы выражают благодарность руководству и коллективу Малкинского лососевого рыбоводного завода за помощь в работе.

#### Список литературы

1. Запорожец О.М., Шевляков Е.А., Запорожец Г.В., Антонов Н.П. Возможности использования данных о нелегальном вылове тихоокеанских лососей для реальной оценки их запасов // Вопросы рыболовства. Т. 8, № 3(31). С. 471-483.
2. Кляшторин Л.Б., Смирнов Б.П. Оценка готовности к морской миграции у искусственно выращиваемой молоди нерки // Рыбное хозяйство. 1990. № 2. С. 42-45.
3. Леман В.Н., Шульгина Е.В. О пороговом размере смолта и пластичности развития осморегуляторных способностей у молоди чавычи (западная Камчатка) // Проблемы естественного и искусственного воспроизводства рыб в морских и пресноводных водоемах : Тез. докл. межд. научной конф., 9-10 июня 2004 г. Ростов-на-Дону: ООО «ЦВВР», 2004. С. 82.

4. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 30 января 2015 г. №25 «Об утверждении Методики расчета объема добычи (вылова) водных биологических ресурсов, необходимого для обеспечения сохранения водных биологических ресурсов и обеспечения деятельности рыбоводных хозяйств, при осуществлении рыболовства в целях аквакультуры (рыбоводства)».
5. Региональная концепция сокращения незаконной добычи лососевых рыб в Камчатском крае: Монография / В.Н. Леман, О.М. Запорожец, Е.А. Шевляков [и др.]; КамчатНИРО, ВНИРО, Программа развития ООН. М.: ВНИРО, 2008. 107 с.
6. Смирнов Б.П., Кляшторин Л.Б. Осморегуляторные способности молоди кеты *Oncorhynchus keta* при длительном выращивании в пресной воде // Вопросы ихтиологии. 1989. Т. 29, Вып 4. С. 617–623.
7. Смирнов Б.П., Кляшторин Л.Б. Ускоренное выращивание смолта-сеголетка чавычи // Рыбное хозяйство. 1991. №5. С. 28-30.
8. Шульгина Е.В., Леман В.Н., Есин Е.В. Оценка готовности к обитанию в морской воде молоди чавычи при её тепловодном подращивании на Малкинском рыбоводном заводе (Камчатка) // Труды ВНИРО. 2023. Т. 194. С. 155-164.
9. Шульгина Е.В., Смирнов Б.П. Определение готовности к поклатной миграции заводской и дикой молоди кижуча *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum, 1792) // Труды ВНИРО. 2015. Т. 158. С. 41-47.
10. Clarke, W. C., Blackburn J. A seawater challenge test to measure smolting of juvenile salmon // Fish. Mar. Servo Tech. Rep. 1977. Vol. 705. 11 p.

## MYTILUS CORUSCUS AQUACULTURE AND RESEARCH ON FAST GROWTH GENES IN ZHOUSHAN IN CHINA

X. Zhao (З. Чжао), X. Dong (С. Дун)

National Engineering Research Center for Marine Aquaculture, Zhejiang Ocean University, Zhejiang, China, [dongxiangli@zjou.edu.cn](mailto:dongxiangli@zjou.edu.cn)

**Abstract:** the thick shell mussel (*Mytilus coruscus*) is a major economically farmed shellfish in Zhoushan, China. The nutritional value, economic culture and market value of *M. coruscus* are far more than those of other shellfish, and they have broad market value and prospect. However, the development of *M. coruscus* aquaculture has stagnated due to overfishing, environmental degradation and water pollution. Therefore, it is necessary to improve the species of *M. coruscus* and cultivate new strains of fast-growing *M. coruscus* to meet the demands of the market and farmers. In this paper, we take the muscle of *M. coruscus*, which is an important economic trait, as the argument, and study the genes related to rapid muscle growth as the direction, meanwhile, combine with the distribution, current situation and problems of *M. coruscus* aquaculture industry in Zhoushan, China, to conduct a comprehensive analysis of new fast-growing *M. coruscus* strains, and further elaborate on the methodology of the study of new fast-growing *M. coruscus* strains. This study will provide a theoretical basis for subsequent research on new *M. coruscus* strains and fill the current gap in research on growth-related genes of *M. coruscus*.

**Keywords:** Zhoushan, China; *Mytilus coruscus*; fast-growing; new strains

*Mytilus coruscus* is a major economically cultivated mollusk in Zhoushan, China. Its nutritional value, economic cultivation, and market value far exceed those of other mollusks. This paper introduces the distribution, current status, and issues of the *M. coruscus* aquaculture industry in Zhoushan, China, as well as the scope of research on a new strain of *M. coruscus* with fast growth.

The *M. coruscus* aquaculture industry is an important component of Zhoushan's aquaculture sector. The production of *M. coruscus* in Zhoushan accounts for a significant portion of the national production of mussels, with its sales market covering the entire country and exports to multiple countries, indicating a broad market prospect. This industry has increased the annual income of local farmers and directly driven the employment and income growth of nearly 10,000 people in the region. The *M. coruscus* industry in China is widely distributed along the coastal areas of major provinces such as Shandong, Liaoning, Zhejiang, Fujian, Guangdong, and Hainan. Currently, the main cultivation areas for *M. coruscus* are in the Shengsi and Dongji Sea areas of Zhejiang (Yurui et al., 2010) (fig. 1).

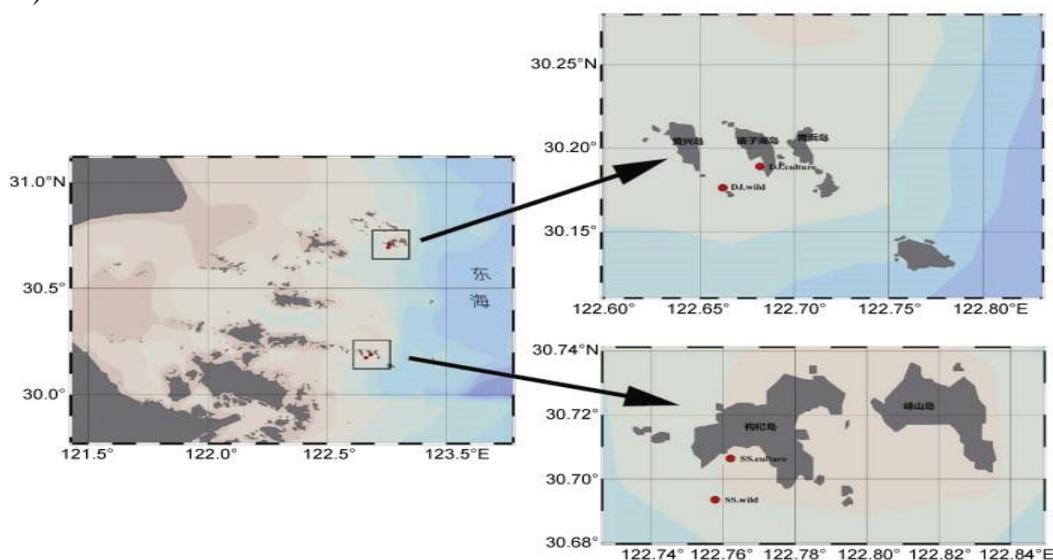


Figure 1 – Sampling stations for *Mytilus coruscus* cultivation and wild growth areas in Gouqi Island (lower right) and Dongji Island (upper right)

Currently, the main cultivated economic mollusks in China include oysters, scallops, and mussels. Mussels are mainly divided into three types: *M. coruscus*, *Mytilus edulis*, and *Perna viridis* (fig. 2).



Figure 2 – *M. coruscus*, *M. edulis* and *P. viridis*

#### *M. coruscus* aquaculture in Zhoushan

Seed quality degradation: Currently, the seed for *M. coruscus* mainly relies on natural seeds and semi-artificial seed collection. Overfishing by fishermen has led to a decline in marine resource abundance, reducing the natural resources of *M. coruscus* and causing natural seed degradation (Kangmei and Jianfeng, 2007). With the pollution of the breeding environment, *M. coruscus* ingests microorganisms and heavy metals from the environment, which accumulate through the food chain and eventually pose certain hazards to human health, leading to shellfish poisoning incidents (Nianhua et al., 2001). The reduction in the cultivation density of *M. coruscus* has led to slower growth rates, decreased plumpness, and a higher likelihood of smaller sizes (Yongtian, 2007). The current cultivation methods for *M. coruscus* mainly rely on the experience of veteran fishermen, lacking specific parameters for suitable cultivation environments and different growth stages of mussels as theoretical bases, resulting in high mortality rates, uneven sizes, and low yields during cultivation, which restricts the development of the *M. coruscus* aquaculture industry (Jianyu, 2023).

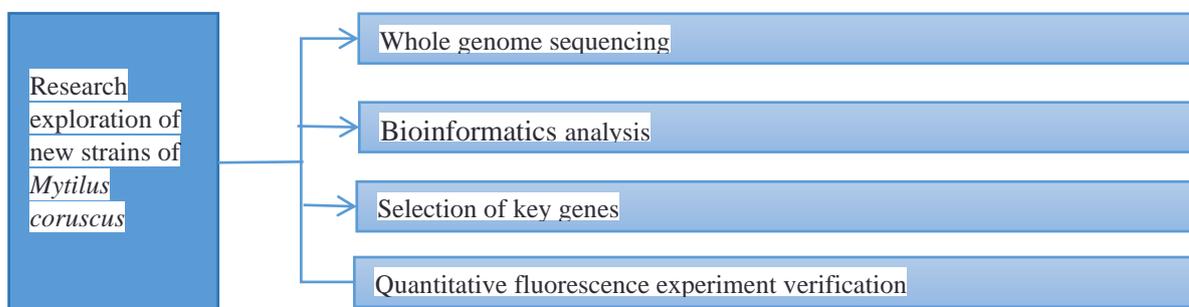


Figure 3 – Flowchart of the breeding process for the new strain of *Mytilus coruscus* with fast growth

Exploration of new *M. coruscus* strains with fast growth Currently, to meet the needs of farmers for higher economic benefits and the increasing market demand for *M. coruscus*, China is gradually increasing its research efforts on new *M. coruscus* strains, vigorously promoting environmentally friendly *M. coruscus* cultivation, and adopting more scientific and advanced aquaculture methods. This experiment takes rapid growth characteristics as the starting point for the selection of new *M. coruscus* strains, observing the economic traits of multiple extreme-sized *M. coruscus*, such as shell length, shell width, and meat yield, for comparative analysis, and selecting individuals with larger sizes to establish a germplasm resource bank for *M. coruscus*. Using whole-genome sequencing technology, a preliminary analysis of genes related to *M. coruscus* growth was conducted. The results were further localized and screened for candidate genes related to growth through genome-wide association studies and transcriptome sequencing, and the functions of these candidate genes and their regulatory mechanisms on *M. coruscus* traits were studied, providing an

in-depth analysis of the regulatory pathways of *M. coruscus* growth traits. The predicted genes obtained were verified through quantitative fluorescence analysis experiments, and high-quality *M. coruscus* containing fast growth genes were selected. Using traditional breeding methods such as population selection and molecular-assisted breeding, large-scale seed cultivation was conducted to screen for new *M. coruscus* strains with fast growth.

Conclusion: *M. coruscus* is an important cultured economic mollusk in Zhoushan, China. This article mainly introduces the distribution, current status, issues of *M. coruscus* aquaculture, and the research on a new strain of *M. coruscus* with fast growth.

#### References

1. Jianyu H., Mengxue J., Jianxin W. et al. Mytilus farming drives higher local bacterial diversity and facilitates the accumulation of aerobic anoxygenic photoheterotrophic related genera // Science of the Total Environment. 2023. Vol. 856 (P1). P. 158861-158861.
2. Kangmei C., Jianfeng W. Research on artificial propagation technology of *Mytilus coruscus* // Southern Fisheries. 2007. Vol. 3. P. 26-30.
3. Nianhua Y., Wei L., Huijun N. et al. Water quality and mussel hygiene monitoring in mussel culture waters of Shengsi Islands // Chinese Journal of Hygiene and Inspection. 2001. Vol. 3. P. 345-346.
4. Yongtian L. Preliminary study on the causes of mass mortality of purple mussel (*Mytilus edulis* Linnaeu) // Modern Fishery Information. 2007. Vol. 3. P. 26-28.
5. Yurui Z., Jilin X., Xiaojun Y. Effects of five microalgae on the growth of juvenile mussels of four beach shellfish species // Oceanographic Research. 2010. Vol. 28(03). P. 60-66.

**Рыбохозяйственная наука. История, современность, перспективы**  
Материалы Международной научно-практической конференции,  
посвященной 110-летию Санкт-Петербургского филиала  
ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга)

Подписано в печать ...

Формат 70x100/16

печ. л. 39,5

Тираж 300 экз.

ФГБНУ «ВНИРО»

105187, г. Москва, проезд Окружной, д. 19

Тел.: 8(499) 369-92-86