



Федеральное агентство по рыболовству  
Государственный научный центр Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение  
«Всероссийский научно-исследовательский институт  
рыбного хозяйства и океанографии»



**II Международная  
научно-практическая конференция**

# **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**

**(18-22 ноября 2024 г.)**

**Издательство ВНИРО  
МОСКВА**

Федеральное агентство по рыболовству  
Государственный научный центр Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Всероссийский научно-исследовательский институт  
рыбного хозяйства и океанографии»



# **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**

Материалы II Международной научно-практической  
конференции

Москва, ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», 18-22 ноября 2024 г.

Издательство ВНИРО

Москва, 2025

УДК 574.55:502:517.088.1

С 56

Рецензенты:

*Булатов О.А.*, доктор биологических наук, директор по научной работе ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»

*Криксунов Е.А.*, чл.-корр. РАН, доктор биологических наук, профессор кафедры ихтиологии биологического факультета МГУ

С 56 **Современные методы оценки и рационального использования водных биологических ресурсов.** Материалы II Международной научно-практической конференции, Москва, ФГБНУ «ВНИРО», 18-22 ноября 2024 г. / Авторы-составители: Д.А. Васильев, А.Е. Бобырев, А.И. Михайлов, Н.Г. Западаева, В.Р. Соколовский. М.: Изд-во ВНИРО. 2025. 181 с.

ISBN 978-5-85382-561-1

© ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», 2025

© Васильев Д.А., Бобырев А.Е., Михайлов А.И., Западаева Н.Г., Соколовский В.Р., 2025



### **Уважаемые коллеги!**

Сегодня мы открываем II Научно-практическую конференцию с международным участием «Современные методы оценки и рационального использования водных биологических ресурсов». Конференция посвящена памяти выдающегося деятеля отечественной рыбохозяйственной науки Владимира Константиновича Бабаяна и продолжает традиции основанных им еще в XX веке отраслевых методологических семинаров, подготовивших несколько поколений специалистов в области оценки запасов промысловых гидробионтов.

Целью данной конференции является развитие междисциплинарных связей и научных коммуникаций, а главное, получение новых научных результатов в области прикладной количественной биологии, математического моделирования динамики запасов промысловых гидробионтов, современных методов оценки и прогнозирования состояния водных биоресурсов, а также методов управления системами «запас-промысел».

Формат конференции с международным участием вызывает устойчивый интерес среди широкого круга исследователей. В общей сложности на конференцию было заявлено 50 тезисов докладов, посвященных актуальным проблемам рыбохозяйственной науки, связанным с анализом состояния ресурсных популяций гидробионтов. Тематика конференции достаточно широка и затрагивает не только прикладные исследования, направленные на совершенствование методов определения общих допустимых уловов и управления промыслом, но и более фундаментальные вопросы моделирования биологических систем. В конференции участвуют сотрудники практически всех филиалов и отделений ВНИРО, от Калининграда до Камчатки. В составе участников присутствуют исследователи из академической и университетской науки, а также сотрудники зарубежных научных учреждений из Казахстана, Белоруссии, Абхазии и США. В целом, следует отметить широкую географию проводимых исследований, таксономическое разнообразие объектов, изучаемых авторами представленных докладов, а главное, разнообразие приемов и способов анализа, включающих математическое моделирование, инструментальные методы и экосистемный подход, а также применение искусственного интеллекта.

В заключение хотелось бы пожелать продуктивного обмена идеями и успешной работы конференции!

Директор по науке ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»,  
доктор биологических наук

Булатов О.А.



## Оглавление

ОЦЕНКА ЗАПАСА ШПРОТА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО РОССИЙСКИМ ПРОМЫСЛОВЫМ И НАУЧНЫМ ДАННЫМ В.М. Амосова . . . . .	5
ОРГАНИЗАЦИЯ БАЗ ДАННЫХ ПО ПЛАНКТОНУ И БЕНТОСУ В ЦЕЛЯХ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ СПЕЦИАЛИСТОВ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ Д.Ф. Афанасьев, И.В. Биндарев, С.В. Бондарев, Н.С. Елфимова, Л.А. Живоглядова, С.Н. Кульба, М.Л. Мартынюк, Д.В. Хренкин . . . . .	9
О ПРОБЛЕМЕ РЫБОЛОВСТВА НА ЗАПОВЕДНОМ ОЗЕРЕ МАРКАКОЛЬ М.Т. Баймуканов . . . . .	11
ВЛИЯНИЕ ЛЮБИТЕЛЬСКОГО РЫБОЛОВСТВА НА СОСТОЯНИЕ ЗАПАСОВ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КРУПНЫХ ОЗЕР ОМСКОЙ ОБЛАСТИ (ОЗ. ИК, ОЗ. САЛТАИМ-ТЕНИС) П.С. Балацкий, В.Ф. Зайцев, А.Л. Абрамов, Е.А. Интересова. . . . .	14
СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ РЫБНЫХ СООБЩЕСТВ Р. ПРЕГОЛИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ П.Н. Барановский. . . . .	17
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОПУЛЯЦИЙ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ ПЕРВИЧНЫХ ДАННЫХ В.В. Безматерных . . . . .	21
ОТРАБОТКА ПОДХОДОВ К ПОЛУЧЕНИЮ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА РАКООБРАЗНЫХ НА ПРИМЕРЕ ДЛИННОПАЛОГО РАКА PONTASTACUS LERTODASTYLUS ИЗ РЕКИ ДОН В.Н. Белоусов, М.В. Суханова, В.К. Кузнецов, М.А. Савченко, Т.Д. Шрамко, А.С. Телоницкая, А.М. Стригунов . . . . .	26
ДИНАМИКА ЕСТЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА ЧИРА РЕКИ ОБИ В.Д. Богданов . . . . .	31
r-K-ОТБОР И ОТВЕТ ПОПУЛЯЦИИ НА ПРОМЫСЕЛ А.И. Болтнев, Н.П. Антонов, Е.А. Болтнев . . . . .	35
К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ РЕСУРСОВ КАСКАДНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛКУАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА Т.М. Брагина . . . . .	41
ГОДОВАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ОБЩИХ ЛИПИДОВ В ТЕЛЕ АЗОВСКОЙ ХАМСЫ ENGRAULIS ENCRASICOLUS MAEOTICUS В 2023 ГОДУ Л.А. Бугаев, А.В. Войкина, О.В. Кириченко . . . . .	45
К ПРОБЛЕМЕ ОЦЕНКИ ВОЗРАСТНОГО СОСТАВА УЛОВОВ ГРЕБЕНЧАТОЙ КРЕВЕТКИ PANDALUS HYP SINOTUS BRANDT, 1851 А.И. Буяновский, Д.Н. Юрьев . . . . .	49
ГОДОВАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ОБЩИХ ЛИПИДОВ В ТЕЛЕ ТЮЛЬКИ CLUPEONELLA CULTRIVENTRIS (NORDMANN, 1840) В 2023 ГОДУ А.В. Войкина, Л.А. Бугаев, О.В. Кириченко . . . . .	54
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕМА СПОРТИВНО-ЛЮБИТЕЛЬСКОГО РЫБОЛОВСТВА НА ВОДОЕМАХ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН М.Б. Габбасов, К.Б. Исбеков, А.В. Шуткараев, К.М. Шапен . . . . .	58
ПРОМЫСЛОВО–ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ЕНИСЕЙСКОГО ОСЕТРА Н.Д. Гайденок, В.А. Заделенов . . . . .	63
ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЭКОСИСТЕМЕ НИЖНЕГО ДОНА В 2024 Г. Л.Г. Горгола, Е.А. Туркевич, А.А. Петренко, Ю.В. Косенко . . . . .	66
ОЦЕНКА ЧИСЛЕННОСТИ КОСАТКИ ( <i>ORCINUS ORCA</i> , LINNAEUS, 1758) В ОХОТСКОМ МОРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СУДОВЫХ УЧЁТОВ 2015-2023 гг. П.С. Гущеров, М.Д. Кенин, И.А. Набережных, П.А. Тюпелеев . . . . .	71
ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЕВРОПЕЙСКОГО АНЧОУСА ( <i>ENGRAULIS ENCRASICOLUS</i> , 1758), ЗИМУЮЩЕГО В ВОДАХ АБХАЗИИ, В ПЕРИОД ИССЛЕДОВАНИЙ 2011-2023 ГГ. Р. С. Дбар, П. Д. Гамахария. . . . .	75
СОСТОЯНИЕ ЗАПАСА БАЙКАЛЬСКОГО ОМУЛЯ В ПЕРИОД МОРАТОРИЯ НА ВЫЛОВ Н. Г. Западаева . . . . .	79
СРАВНЕНИЕ ОЦЕНОК ЗАПАСА БАРЕНЦЕВОМОРСКОЙ ТРЕСКИ С ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ТРАЛОВОГО ПРОМЫСЛА Ю.А. Ковалев . . . . .	82
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИИ СИГА ОЗЕРА НАРОЧЬ СОГЛАСНО ДАННЫХ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ВЫЛОВА В.Г. Костоусов, О.Д. Апсолихова, Т.И. Попиначенко, В.И. Лишко . . . . .	87
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко, Е.В. Сыроваткин, И.А. Убарчук, В.И. Шевцов, Д.М. Панфилов. . . . .	91

ИНДЕКС БИОМАССЫ ТРЕСКИ В ЗАПАДНО-БЕРИНГОВОМОРСКОЙ ЗОНЕ С УЧЁТОМ ПРИДОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ С 1977 ПО 2024 ГГ. В.В. Кулик, А.Б. Савин, И.В. Мальцев, Р.Г. Безруков, И.А. Корнейчук	95
ОБ АКТУАЛЬНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТА ПАТАГОНСКОГО КЛЫКАЧА <i>DISSOSTICHTUS ELEGINOIDES</i> ИЗ ЯРУСНЫХ УЛОВОВ В ОТКРЫТЫХ ВОДАХ ЮГО-ЗАПАДНОЙ АТЛАНТИКИ (ЮЗА, РАЙОН ФАО 41) Н.Н. Кухарев, Н.А. Мисарь, Ю.В. Корзун	99
О ПРИМЕНЕНИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ: ТЕКУЩИЙ ЭТАП И ПЕРСПЕКТИВЫ Д.О. Логофет, Г.А. Александров	103
ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЛАНИРОВАНИЯ МАРИКУЛЬТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ПРИМОРСКОГО КРАЯ С.А. Ляшенко	108
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЭКОСИСТЕМАХ ПО ГЕНЕТИЧЕСКИМ ДАННЫМ Т.А. Марьяновская, Д.Ю. Щербаков	112
О ПРОДУКЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЯХ <i>GAMMARUS LACUSTRIS</i> В ВОДОЕМАХ БАСЕЙНА ОЗЕРА БАЙКАЛ И ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ПРИ РАСЧЕТЕ РЕКОМЕНДОВАННОГО ВЫЛОВА Д.В. Матафонов	114
ФИЛЬТР КАЛМАНА ПРИ НАСТРОЙКЕ ПРОДУКЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПО МНОГИМ РЯДАМ ИНДЕКСОВ ЧИСЛЕННОСТИ А. И. Михайлов, А. Е. Бобырев, Д. А. Шереметьев	117
ПРИМЕНЕНИЕ АНСЦЕНТНОГО ФИЛЬТРА КАЛМАНА В МОДЕЛИ σКАФКА С МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫМ ШУМОМ ПРОЦЕССА А.А. Михеев	120
ГЕНЕТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОСЕТРОВЫХ КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА Н.С. Мюге, А.Е. Барминцева	128
О ПРОБЛЕМЕ ПЛАСТИКОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ: ЭТАПЫ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВНИРО А.П. Педченко	133
МЕТОД ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РАЗГРАНИЧЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ МОДЕЛЕЙ ЭКОДИНАМИКИ С НЕЛИНЕЙНЫМИ РЕЖИМАМИ А. Ю. Переварюха, И. В. Трофимова	139
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПОДХОДА В ОЦЕНКЕ ЗАПАСА ЧЕРНОМОРСКОГО ШПРОТА: ОПЫТ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ М.М. Пятинский	143
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА LBI (LENGTH-BASED INDICATORS) В РЕГУЛИРОВАНИИ ПРОМЫСЛА ЗАПАСА СЕЛЬДИ-ЧЕРНОСПИНКИ В ДЕЛЬТЕ Р. ВОЛГА И.А. Сафаралиев, Т.В. Войнова, И.Н. Лепилина	146
ОЦЕНКА ЗАПАСА И ВЕЛИЧИНЫ РЕКОМЕНДОВАННОГО ВЫЛОВА СЕРЕБРЯНОГО КАРАСЯ <i>SARASSIUS AURATUS GIBELIO</i> КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА Ю.А. Северов, К.А. Шевчук, Т.А. Дускаева	151
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВОГО ЗРЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ФОТОМАТЕРИАЛОВ АВИАУЧЕТОВ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ Л.К. Сидоров	156
ОСНОВНЫЕ ПРОМЫСЛОВЫЕ ВИДЫ ИХТИОФАУНЫ ЧОГРАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА Ю.В. Сирота	160
ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ВИДОВОЙ СТРУКТУРЫ МАКРОБЕНТОСА ЛАГУННЫХ ЭКОСИСТЕМ (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ) А.П. Столяров	164
О КОМПЛЕКСЕ ПОПУЛЯЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УЛОВОВ В.В. Суханов	168
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ СЦЕНАРИЕВ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ РЫБНЫХ РЕСУРСОВ ПОДЗОНЫ ПРИМОРЬЕ Д.Л. Шабельский	172
ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОРИЕНТИРОВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗАПАСОВ В ДИНАМИЧНОЙ МОРСКОЙ СРЕДЕ А.Ф. Шаров	176
РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ COMBI 5 ВЕТА ВЕРСИЯ А.Д. Шереметьев, А.И. Михайлов, А.Е. Бобырев	178

## ОЦЕНКА ЗАПАСА ШПРОТА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО РОССИЙСКИМ ПРОМЫСЛОВЫМ И НАУЧНЫМ ДАННЫМ

**В.М. Амосова**

*Атлантический филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), Калининград,  
Россия*

E-mail: amosova@atlantniro.ru

Ключевые слова: шпрот (килька), Балтийское море, возрастной состав, оценка запаса

В условиях отсутствия у российских специалистов доступа к полной первичной информации по всей единице запаса шпрота, актуальным стал вопрос о применении только отечественных промысловых и научных данных в оценке и прогнозировании величины всего запаса 22-32 подрайонов Балтийского моря и, соответственно, установления общего допустимого улова (ОДУ). С этой целью в работе проведен анализ возрастного состава шпрота в российских и зарубежных промысловых (мониторинг промысла) и научных (тралово-акустические съемки) уловах.

На протяжении почти 30 лет (с 1995 г.) специалисты всех прибалтийских стран принимали участие в семинарах по чтению возраста шпрота из разных районов моря по научно-обоснованной методике Апса. Отмечено сходство возрастного состава шпрота в российской и в остальной акваториях моря [Амосова и др., 2018]. В последние годы (2021–2023 гг.) коэффициент детерминации ( $R^2$ ) по численности между возрастным составом промысловых уловов всего запаса шпрота и в российской акватории моря составил 0,71-0,87 (в среднем 0,82). Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) между возрастным составом научных уловов шпрота 24-28 подрайонов Балтийского моря (на этой группировке работает отечественный рыбопромысловый флот) и в российской акватории 26 подрайона моря составил 0,85-0,99 (в среднем 0,92). То есть в целом возрастной состав шпрота из российских промысловых и научных уловов корректно отражает возрастной состав запаса вида.

В данной работе в оценке запаса шпрота 22-32 подрайонов Балтийского моря в 1974–2020 гг. использованы возрастные ряды уловов всех прибалтийских стран, включая Россию, а в 2021–2023 гг. – только российские данные.

Традиционным методом расчета запаса вида является виртуально-популяционный анализ (ВПА) с настройкой по методу расширенного анализа выживания (XSA) при помощи апробированного на международном уровне программного обеспечения модуля ВПА и программной среды R. Ретроспективные оценки XSA нерестовой биомассы

шпрота, его пополнения и промысловой смертности (за 5 лет) проводились с помощью параметрического теста Mohn rho. В качестве альтернативного варианта оценивания запаса вида применен отечественный программный комплекс «КАФКА». Многовариантный краткосрочный прогноз (в нашем случае на 2025 г.) проводился при разных уровнях освоения общего допустимого улова (ОДУ) по программе MFDP (Multi Fleet Deterministic Projection) [Амосова и др., 2018; Труфанова, Амосова, 2021; Амосова, Зезера, 2023].

Получены следующие результаты. При условии полного (100%) освоения ОДУ 2023–2024 гг. всеми прибалтийскими странами общая биомасса запаса шпрота (кильки) к началу 2026 г. составит 1632 тыс. т, нерестовая биомасса (промысловый запас) – 921 тыс. т. Значение полученной нерестовой биомассы на 2025 г. (813 тыс. т) в 1,7 раза выше триггерной биомассы ( $B_{pa} = MSYB_{trigger} = 541$  тыс. т) и в 2 раза превосходит предельную нерестовую биомассу ( $B_{lim} = 459$  тыс. т). Снижение нерестовой биомассы в 2025–2026 гг. ниже биологических ориентиров при рассматриваемых уровнях освоения ОДУ не ожидается.

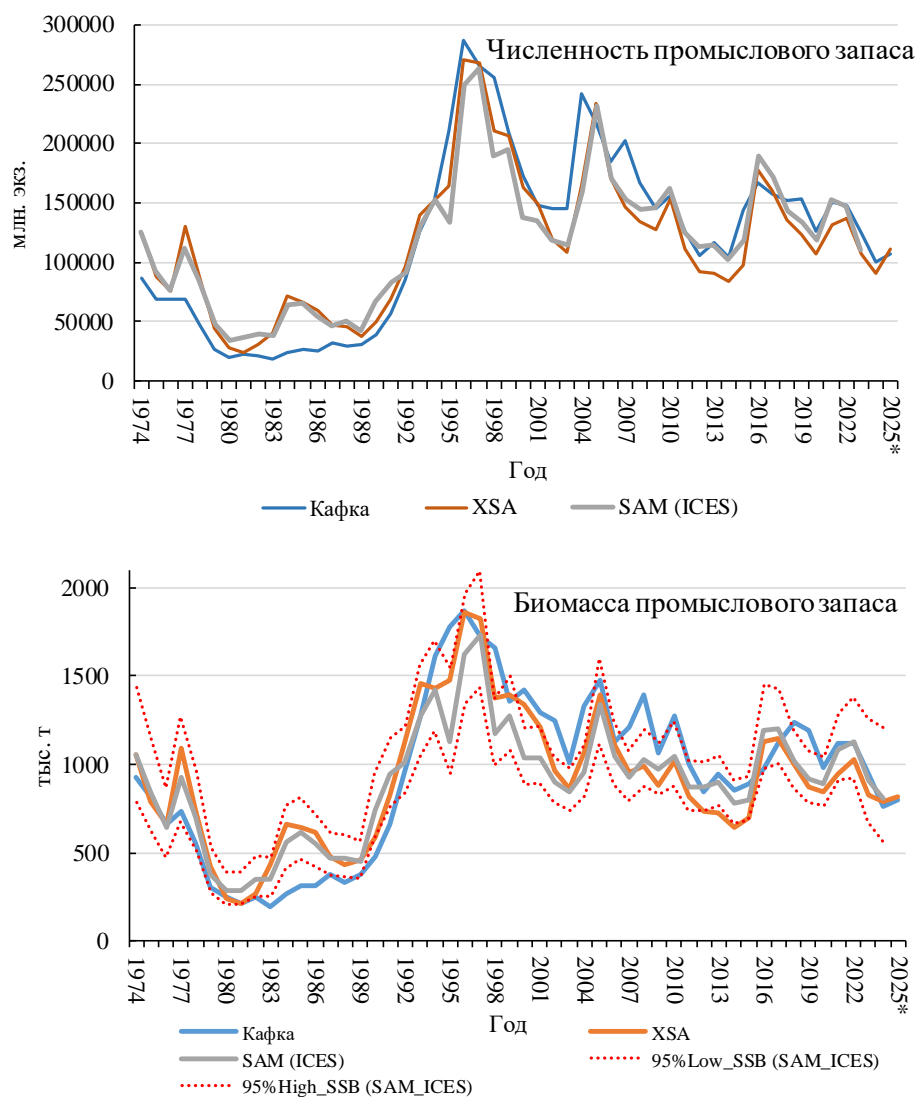
Необходимо отметить, что ретроспективные оценки (2019–2023 гг./2024 г.) нерестовой биомассы шпрота, его пополнения и промысловой смертности относительно постоянны. Так, по результатам параметрического теста Mohn rho пятилетний индекс Mohn rho для биомассы составил 0,16, для пополнения – 0,18, для промысловой смертности – 0,13. Результаты оценок величин запаса шпрота на 2023 г. для двух последних лет также показали незначительную разницу (таблица 1).

**Таблица 1.** Оценка нерестовой биомассы, промысловой смертности и пополнения шпрота (кильки) 22-32 подрайонов Балтийского моря на 2023 г. по расчетам в 2023 и 2024 гг.

Оцениваемый параметр	Оценка 2023 г.	Оценка 2024 г.	Разница, %
Нерестовая биомасса в 2023 г., тыс. т	843	822	–2,5
Промысловая смертность в 2023 г. ( $F_{bar3-5}$ )	0,39	0,38	–2,6
Численность пополнения в 2023 г. (возраст 1 год, млрд экз.)	44	39	–11,4%

Для сравнения проведен анализ собственных оценок промыслового запаса шпрота и прогнозирования его биомассы по двум моделям (XSA и КАФКА) с результатами работы Рабочей группы ИКЕС 2023 г., которая оценивала запас с помощью модели SAM, относящейся к так называемым моделям пространства состояний (State Space Models)

[Амосова, 2018; Амосова, Зезера, 2023; ICES, 2023]. В целом очевидно совпадение динамики численности и биомассы шпрота по всем трем моделям (рисунок 1).



**Рисунок 1.** Динамика численности и биомассы промыслового запаса шпрота (кильки) 22-32 подрайонов Балтийского моря по оценкам с помощью модели XSA (XSA), КАФКА (Кafka) и SAM (SAM (ICES)) на фоне 95% доверительных границ для модели SAM (95 %High\_SSB(SAM\_ICES); 95%Low\_SSB(SAM\_ICES))

Таким образом, возможно использование возрастного состава российских промысловых и научных уловов для оценки и прогнозирования величины запаса шпрота 22-32 подрайонов Балтийского моря, установления ОДУ.

Автор выражает глубокую признательность старшему специалисту Лаборатории Балтийского моря Васильевой Татьяне Георгиевне за непосредственную помощь в сборе корректного материала и достоверное определение возраста шпрота.

#### Список литературы

- Амосова В.М., Васильева Т.Г., Зезера А.С. 2018. О перспективах развития отечественного промысла шпрота в Балтийском море до 2025 г. // Труды ВНИРО. Т. 171. С. 39–55. DOI: 10.36038/2307–3497–2018–171–39–55.
- Труфанова И.С., Амосова В.М. 2021. Долгосрочный прогноз российской добычи сельди в Балтийском море // Труды ВНИРО. Т. 186. № 4. С. 78-90. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-186-78-90.
- Амосова В.М., Зезера А.С. 2023. Новый подход к оценке и прогнозированию величины запаса шпрота в Балтийском море в современных условиях // Труды ВНИРО. Т. 194. С. 118-130. DOI: 10.36038/2307-3497-2023-194-118-130.
- ICES. 2023. Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS). ICES Scientific Reports. 5:58. 606 p. DOI: 10.17895/ices.pub.23123768.

**ОРГАНИЗАЦИЯ БАЗ ДАННЫХ ПО ПЛАНКТОНУ И БЕНТОСУ  
В ЦЕЛЯХ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ СПЕЦИАЛИСТОВ  
ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ**

**Д.Ф. Афанасьев<sup>1</sup>, И.В. Биндарев<sup>2</sup>, С.В. Бондарев<sup>2</sup>, Н.С. Елфимова<sup>2</sup>,  
Л.А. Живоглядова<sup>2</sup>, С.Н. Кульба<sup>2</sup>, М.Л. Мартынюк<sup>2</sup>, Д.В. Хренкин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Ростов-на-Дону, Россия*

E-mail: afanasevdf@vniro.ru

Ключевые слова: система управления базами данных, планктон, зообентос

Широкий спектр задач, стоящих перед специалистами-гидробиологами, подразумевает необходимость хранения и анализа больших объемов данных по водным экосистемам. В Азово-Черноморском рыбохозяйственном бассейне специалисты регионального филиала ежегодно оценивают кормовую базу водных биологических ресурсов нескольких десятков водных объектов. Базы данных (БД) по качественному составу и структурным характеристикам планктонных и донных биоценозов Азовского моря формируются с 50-х гг. прошлого века. Только для этого водного объекта временные ряды наблюдений включают информацию с более чем с 200 гидробиологических съемок. При таких объемах правильно структурированная, логически выстроенная и удобная для пользователя система управления базами данных (СУБД) становится незаменимым инструментом, позволяющим быстро находить необходимую информацию, анализировать ее и принимать обоснованные решения.

Еще в 90-х гг. в институте для обработки рейсовых данных по фито-, зоопланктону и зообентосу на платформе Microsoft Visual FoxPro (VFP) (Ver. 5 и 6) было разработано программное обеспечение, а также БД, работавшие корректно только в среде Windows 95–98. Этот комплекс имел ряд ограничений, а именно невозможность добавлять или изменять справочник водоемов, районов, станций, а также добавлять произвольные водоемы; менять данные в кодификаторе организмов; экспортировать данные в табличном виде в Excel для дальнейшей обработки; был однопользовательским.

На смену этому программному обеспечению пришли программные комплексы «СУБД Фитопланктон Азово-Черноморского бассейна» и «СУБД Бентос Азово-Черноморского бассейна». Оба комплекса имеют структуру «клиент-сервер» и схожи, как в строении БД, так и в клиентском ПО.

В качестве сервера в этих комплексах используется база данных PostgreSQL установленная на сервере Ubuntu. Клиент-серверная структура дала возможность работать



нескольким пользователям одновременно как внутри локальной сети НИИ, так и через интернет.

Новые СУБД сохранили преемственность за счет переноса данных из старых баз. В новых базах реализовано хранение справочников водоемов, классификаторов организмов с возможностью добавления любого количества произвольных данных в эти справочники. Так же в БД хранятся результаты полевых исследований по ряду абиотических параметров среды (глубина, тип грунта), орудиям лова и т.д. Готовые выборки данных не хранятся в базе, а генерируются непосредственно по запросу.

Клиентская часть реализована на языке MS Visual Basic 2012 и работает в среде Windows версий 7–11. Меню клиента разделено на разделы, такие как «Ввод результатов исследований», «Получение однолетних и многолетних выборок из результатов исследований» и «сервис» для обслуживания БД.

В новых комплексах реализовано разграничение прав пользователей по уровню доступа: администратор – доступен весь пользовательский спектр корректировок БД, оператор ввода данных – доступ только к пакету ввода, запрос отчетов. Так же в комплексе «Бентос Азово-черноморского бассейна» реализовано разграничение пользователей по географическому признаку, что позволяет специалистам разных филиалов вносить изменения только для водных объектов в пределах зоны ответственности филиала.

Большинство вычислений при формировании выборок данных перенесено на сервер для разгрузки клиентских ПК и минимизации трафика. Для хранения базы данных используется бесплатная версия сервера БД. Экспорт в формат «Excel» также осуществляется с использованием бесплатных библиотек.

В настоящее время работа над СУБД продолжается, происходит тестирование комплексов по фитопланктону и зообентосу, добавление новых выборок по запросам пользователей. Еще один комплекс, третий по счету, «СУБД Зоопланктон Азово-Черноморского бассейна» находится в разработке. В этом комплексе будет реализована подпрограмма для оценки трофической обеспеченности личинок планктоноядных рыб – хамсы и тюльки, которая позволит подсчитать численность и биомассу мелкой фракции зоопланктона – наушлиев и коловраток.

В целом, опыт использования современных СУБД в Азово-Черноморском филиале, следует признать положительным. Удобные средства фильтрации, сортировки и статистической обработки данных, предоставляемые СУБД, дают специалистам мощный инструмент для глубокого анализа многолетних данных.

**О ПРОБЛЕМЕ РЫБОЛОВСТВА НА ЗАПОВЕДНОМ ОЗЕРЕ МАРКАКОЛЬ****М.Т. Баймуканов***Учреждение «Институт гидробиологии и экологии», Республика Казахстан*

E-mail: institute\_he@ihe.kz

Ключевые слова: ленок, хариус, заповедник, озеро, местное население, квота, лимит

Вопрос регулирования рыболовства на заповедном озере Маркаколь (Восточно-Казахстанская область) постоянно поднимается со второй половины 70-х годов прошлого века, когда был организован Маркакольский государственный природный заповедник, охвативший большую часть озера Маркаколь. В озере были многочисленны эндемичные популяции ленка и хариуса, систематический статус которых – предмет отдельных работ [Мина, 1986; Weiss et al., 2020]. История рыболовства подробно описана ранее [Баймуканов, 2009; Баймуканов, Дауенев, 2009].

Но продолжающееся сокращение численности указанных видов рыб озера указывает на необходимость совершенствования законодательства в области заповедных территорий и поиска компромиссов между сохранением запасов рыб и интересов местного населения.

На побережье озера Маркаколь располагаются четыре населенных пункта: села Урунхайка, Карагайлыбулак (Нижняя Еловка), Верхняя Еловка, Матабай. Общая численность населения составляла в прибрежных к озеру Маркаколь населенных пунктах в 2010 году 523 человека, из которых старше 18 лет – 401 житель, в 2016 году – 470 человек, из которых среди взрослого населения к людям, имеющим стабильный заработок, относится 65 %.

Согласно Закону РК «Об особо охраняемых природных территориях» местному населению, проживающему в охранный зоне Маркакольского государственного заповедника, разрешается любительское рыболовство на специально отведенных участках озера. Общая площадь этих участков составляет около 5 % от акватории оз. Маркаколь. Разрешенное на оз. Маркаколь рыболовство является вынужденной мерой с целью снижения браконьерского прессинга и преследующего цель повысить заинтересованность местного населения в устойчивом использовании рыбных ресурсов оз. Маркаколь.

Освоение рекомендуемого для любительского (спортивного) рыболовства объема составляет за 2013-2016 гг. от 7 до 22 % (таблица 1).

**Таблица 1.** Рекомендуемый объем лова и фактический вылов по реализованным путевкам за ряд лет.

Годы	Рекомендуемый объем, т	Фактически выловлено, т	% освоения
2013	48,73	3,797	7,8
2014	39,423	3,78	9,6
2015	35,075	7,53	21,5
2016	23,153	3,29*	14,2
Примечание: * - за 8 месяцев			

Но по данным анкетирования и экспертным оценкам местным населением путем рыболовства на спиннинг и зимнюю удочку вылавливается никак не меньше установленного лимита. Нелегальный лов рыб, в особенности в нерестовый весенний период, также существует.

С целью упорядочения рыболовства местным населением возможно рассмотреть вопрос распределения лимита между семьями, проживающими в охранный зоне заповедника (квотирование). Каждая семья может получить право получить квоту, размер которой зависит от количественного состава семьи. Определяется ежегодная норма вылова каждым человеком, равная частному объема лимита на общую численность населения, проживающего в охранный зоне заповедника. Норма вылова умножается на количество людей в данной семье, что и показывает потенциальную квоту вылова. При таком распределении лимита должна появиться заинтересованность местного населения в сохранении рыбных ресурсов, поскольку размер квоты напрямую зависит от состояния популяций рыб. Каждая семья получит возможность планомерно использовать и распределять в течение года свою квоту. Таким образом, население будет противопоставлено браконьерскому вылову рыб.

С целью упорядочения рекомендуется также ввести ограничения по срокам рыболовства: с 1 марта по 15 апреля, с 15 ноября по 31 декабря. Именно в эти сроки происходит наиболее активный подледный лов, который гарантированно позволит освоить местному населению выделенную квоту.

Законодательного пояснения требует и несоответствие между вкладываемым смыслом в термин «любительское рыболовство» и «любительское рыболовство, разрешаемое для нужд местного населения». Закон РК «Об охране, воспроизводстве и использовании животного мира» предлагает следующую формулировку: «Любительское (спортивное) рыболовство — лов рыбных ресурсов и добывание других водных животных

в целях удовлетворения спортивных и эстетических потребностей ... и для личного потребления выловленной продукции ...». В настоящее время любительское (спортивное) рыболовство понимается в качестве рекреационного рыболовства, то есть направленного, прежде всего, на отдых людей. О нуждах местного населения толкований нет.

Таким образом, термин «любительское рыболовство» не отражает в полной мере принципиальную направленность разрешения местному населению проводить лов рыб на заповедной акватории оз. Маркаколь для обеспечения нужды. Предлагается ввести термин «рыболовство в целях самообеспечения местного населения» и рассмотреть возможность предоставления местному населению права на рыболовство в целях самообеспечения по нулевой ставке, поскольку он направлен для обеспечения нужды.

#### Список литературы

- Баймуканов М.Т. 2009. История рыболовства на оз. Маркаколь, проблемы сохранения рыбных ресурсов, генофонда рыб и пути их решения // Труды Маркакольского заповедника. Т. 1. Ч. 2. Усть-Каменогорск. С. 90-101.
- Баймуканов М.Т., Дауенев Е.С. 2009. К вопросу рыболовства на оз. Маркаколь // Биоразнообразие и устойчивое развитие природы и общества: Материалы международной научно-практической конференции. Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, 12-13 мая 2009 г. Алматы: Қазақ университеті. Ч. 2. С. 13-16.
- Мина М.В. 1986. Микроэволюция рыб: Эволюционные аспекты фенетического разнообразия. М. 208 с.
- Weiss S., Jacqueline Grimm J., Gonçalves D., SecciPetretto G., Englmaier G., Baimukanov M., et al. 2020. Comparative genetic analysis of grayling (*Thymallus* spp. Salmonidae) across the paleohydrologically dynamic river drainages of the Altai-Sayan mountain region // Hydrobiologia The International Journal of Aquatic Sciences. P. 2823-2844. DOI: 10.1007/s10750-020-04273-3(0123456789).

**ВЛИЯНИЕ ЛЮБИТЕЛЬСКОГО РЫБОЛОВСТВА НА СОСТОЯНИЕ ЗАПАСОВ  
ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КРУПНЫХ ОЗЕР  
ОМСКОЙ ОБЛАСТИ (ОЗ. ИК, ОЗ. САЛТАИМ-ТЕНИС)**

**П.С. Балацкий, В.Ф. Зайцев, А.Л. Абрамов, Е.А. Интересова**

*Новосибирский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ЗанСибНИРО»), Новосибирск,  
Россия*

E-mail: zapsibniro@vniro.ru

Ключевые слова: любительское рыболовство, оз. Ик, оз. Салтаим-Тенис, крупные озера Омской области, объем вылова

Одним из видов рыболовства, оказывающего воздействие на водные биологические ресурсы и их запасы, является любительское рыболовство [Барабанов, 2017; Шаталин и др., 2020]. Крупные озера Омской области – важные рыбопромысловые водоемы, при этом они активно посещаются рыбаками-любителями, которые проживают в поселках, расположенных рядом с озерами, а также приезжими из других регионов. Промысловая ихтиофауна озер представлена пресноводным окунем (*Perca fluviatilis*), серебряным карасем (*Carassius gibelio*), судаком (*Sander lucioperca*), лещом (*Abramis brama*), щукой (*Esox lucius*), сазаном (*Cyprinus carpio*), пелядью (*Coregonus peled*) [Зайцев и др., 2023]. Целью данной работы была оценка влияния любительского рыболовства на водные биоресурсы и состояние запасов промысловых видов рыб в крупных озерах Омской области – Ик и Салтаим-Тенис.

Для оценки объемов вылова рыбы рыбаками-любителями применялась методика прямого учета. Наблюдения на озерах проведены в 2022–2023 гг. в районе р.п. Крутинка Крутинского района Омской области в период подледного лова на участке площадью 710 га, в период открытой воды – 2000 га. Количество наблюденных дней, с вычетом непригодных для любительского рыболовства (периоды ледостава и распаления льда, а также дни с неблагоприятными погодными условиями) составило 540. Проведен подсчет рыбаков-любителей, анализ видового состава их уловов и расчет среднего вылова на одного человека.

Установлено, что в период мониторинга озеро посетили 81,5 тыс. человек. В качестве орудий лова по открытой воде рыбаками-любителями используются преимущественно поплавочные удочки, спиннинги. В период рыбалки со льда используются удочки и жерлицы. Соотношение количества рыбаков с лодками и без лодок составляет 2 : 3. При ловле удочками – как в зимний, так и в летний период средняя

продолжительность лова рыбаками-любителями в сутки составляла до 4-х часов, при ловле на спиннинг с лодок – до 3-х часов. Основная цель рыбной ловли – отдых, а пойманная рыба используется для личного потребления. Стоит отметить, что количество рыболовов-любителей и продолжительность их лова зависят от периода года. Так на оз. Салтаим-Тенис, в связи с высокой зарастаемостью берегов и отсутствием хороших подъездов к ним, в зимний период рыболовов-любителей больше, чем в летний период. В целом, наибольшее количество рыболовов-любителей и вылавливаемой ими рыбы приходится на весенний и зимний периоды.

Общий вылов рыбы рыбаками-любителями в 2022–2023 гг. на крупных озерах Омской области, согласно расчетным данным, достиг 414,7 т (таблица 1). При этом средний вылов рыбы на 1 рыбака в день составил 5,12 кг, что не превышает нормы добычи, установленной действующими Правилами рыболовства (норма вылова для большинства видов рыб установлена в размере до 10 кг, при общем суточном вылове для всех видов рыб не более 10 кг) [Приказ Минсельхоза России..., 2019]. Более всего вылавливают окуня – 21,9 %, а также карася – 19,6 %.

**Таблица 1.** Рекомендуемый вылов рыбы и уловы рыбаков-любителей в крупных озерах Омской области в 2022–2023 гг.

Вид ВБР	Окунь	Карась	Судак	Лещ	Пелядь	Сазан	Щука	Всего
Оз. Ик								
Рекомендуемый вылов, т	508,0	305,0	108,0	22,0	41,0	46,0	16,0	1046,0
Улов рыбаков-любителей, т	90,0	34,3	3,1	1,1	–	–	–	128,5
Оз. Салтаим-Тенис								
Рекомендуемый вылов, т	317,0	767,0	180,0	277,0	62,0	125,0	90,0	1818,0
Улов рыбаков-любителей, т	91,0	175,3	18,6	–	–	–	1,3	286,2
Всего								
Рекомендуемый вылов, т	825,0	1072,0	288,0	299,0	103,0	171,0	106,0	2864,0
Улов рыбаков-любителей, т	181,0	209,6	21,7	1,1	–	–	1,3	414,7

Сопоставление полученных данных о вылове рыбы рыбаками-любителями с рекомендованными объемами добычи на крупных озерах Омской области показало, что любителями вылавливается около 22 % от величины рекомендованного вылова окуня и 19 % – карася. Согласно данным официальной рыбопромысловой статистики, объемы добычи этих видов на крупных озерах Омской области регулярно не достигают прогнозных значений РВ [Зайцев и др., 2023]. Таким образом, любительское рыболовство

не оказывает негативного влияния на состояние запасов рыбы в крупных озерах Омской области.

#### Список литературы

- Барабанов В.В. 2017. Оценка влияния любительского рыболовства на водные биологические ресурсы и разработка мер по его регулированию в условиях Волго–Каспийского бассейна (Астраханская область): Автореф. дис. канд. биол. наук. Новосибирск: НГАУ. 24 с.
- Зайцев В.Ф., Абрамов А.Л., Ростовцев А.А., Балацкий П.С., Цапенков А.В., Интересова Е.А. 2023. Видовой состав и динамика промысла рыбы в Омской области // Рыбоводство и рыбное хозяйство. Т. 17. № 4. С. 222–231. DOI: 10.33920/se1-09-2304-01.
- Шаталин В.А., Абрамов А.Л., Селезнева М.В., Зайцев В.Ф., Сукнев Д.Л., Визер А.М., Балацкий П.С., Цапенков А.В., Кабиев Т.А., Шиповалов Л.А., Дорогин М.А., Поздняк И.В. 2020. Оценка величины и влияния любительского рыболовства и незаконного, несообщаемого, нерегулируемого промысла на состояние запасов водных биологических ресурсов на основных промысловых водоемах Новосибирской, Омской, Томской и Кемеровской областей // Вестник рыбохозяйственной науки. Т. 7. № 4. С. 4–12.
- Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации «Об утверждении правил рыболовства для Западно-Сибирского рыбохозяйственного бассейна» № 646 от 30.10.2020 г.



## СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ РЫБНЫХ СООБЩЕСТВ Р. ПРЕГОЛИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

**П.Н. Барановский**

*Калининградский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «КГТУ»),*

*Калининград, Россия*

E-mail: baranovskiy@klgtu.ru

Ключевые слова: рыбные сообщества, видовая структура, индекс биомассы, индекс Шеннона, р. Преголя, внутренние водоёмы

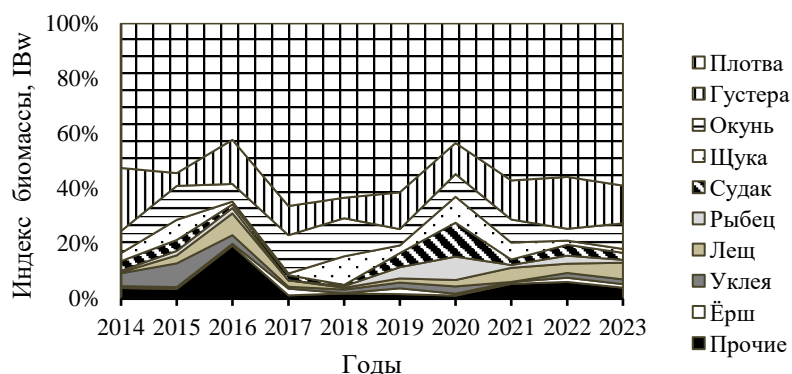
Река Преголя является средней равнинной рекой, расположенной целиком в пределах Калининградской области. Река имеет важное значение для воспроизводства промысловых видов рыб, в том числе и обитающих в Калининградском заливе, где ведётся промысел. Промышленное рыболовство в реке отсутствует, однако запасы рыб активно эксплуатируются любительским рыболовством. Большинство запасов внутренних водоёмов относятся к третьему уровню информационного обеспечения оценки ОДУ (приказ Росрыболовства от 06.02.2015 г. № 104), предусматривающего, в условиях дефицита информации, использование эмпирических, трендовых, индикаторных и других приближённых методов. Для информационной поддержки в оценке рекомендуемого объёма вылова предлагается проведение анализа структуры сообществ и переход к многовидовой оценке запасов [Шибяев, 2023].

В основу данной работы легли материалы контрольных уловов на р. Преголе Калининградской области, проводимых ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» с 2014 по 2023 гг. Обловы проводились порядками ставных сетей. Для более полного охвата размерного разнообразия обитающих в р. Преголе рыб в порядке использовались сети с шагом ячеи 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 27; 30; 35; 40; 45; 50 мм. Обловы и обработка уловов проводилась в соответствии с методикой проведения сетных съёмок применяемой ФГБОУ ВО «КГТУ» на малых водоёмах Калининградской области [Шибяев, Соколов, 2014; Shibaev et al., 2022]. В течении года видовая структура рыбных сообществ и пространственное распределение отдельных видов рыб в речных экосистемах изменяются в широких пределах. С целью нивелирования таких колебаний сетные съёмки проводились ежеквартально. Для оценки количественных показателей использовались осреднённые величины уловов на единицу промыслового усилия для сети с каждым шагом ячеи. В качестве индекса биомассы (IBw) каждого вида выступал

суммарный улов всего набора разноячейных сетей, входящих в сетной порядок [Шибает, 2023].

Видовой состав рыбного населения в контрольных сетных уловах включает в себя 24 вида рыб. Основными компонентами рыбных сообществ р. Преголи являлись 9 видов рыб, составляющих более 90 % ихтиомассы. К этим видам относятся: плотва, густера, окунь, щука, судак, рыбац (сырть), лещ, уклея и ёрш (рисунок 1). Около половины биомассы сообщества формируется плотвой (в среднем  $58 \pm 4,8$  %). Относительная биомасса отдельных видов хоть и обладает в целом меньшей изменчивостью по сравнению с абсолютными значениями  $I_{Bw}$ , тем не менее достигает значительных колебаний в межгодовом аспекте. Относительный коэффициент вариации для отдельных видов превышает 53 %, для рыбаца, судака и щуки – 130 %.

Ряд авторов для оценки динамики структуры сообществ вполне обоснованно предлагают использовать индекс Шеннона [Терещенко, Вербицкий, 1997; Шибает, 2023].



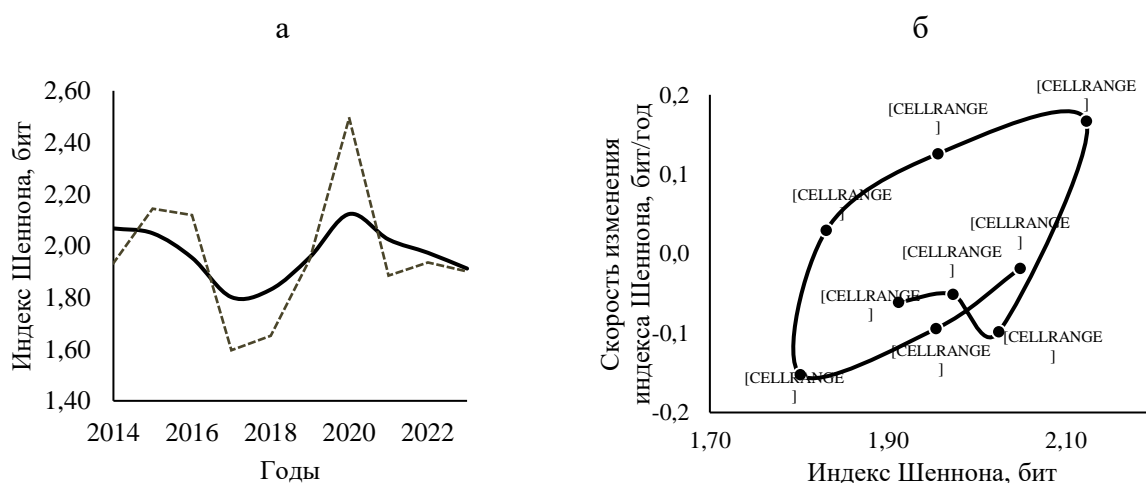
**Рисунок 1.** Динамика видовой структуры биомасс рыбного сообщества р. Преголи

В данной работе индекс Шеннона рассчитан на основе индексов биомассы, так как биомасса более полно отражает функциональные связи между видами в общем балансе биохимической энергии сообщества [Розенберг, 2010]. Индекс Шеннона весьма чувствителен не только к степени выровненности видовой структуры сообщества, но и к числу видов. В связи с тем, что число фиксируемых видов в уловах из года в год является величиной непостоянной, было принято решение ограничиться лишь девятью видами с наибольшим вкладом в общую биомассу сообщества. В этом случае на индекс Шеннона оказывает влияние только относительная биомасса видов.

Анализ динамики индекса Шеннона показал наличие периодических колебаний в значениях показателя видового разнообразия (рисунок 2а). Общая изменчивость за рассматриваемый период оценивается как средняя (относительный показатель вариации – 13 %). Причём явного тренда в сторону увеличения или снижения видового разнообразия не прослеживается.

Видовая структура сообщества неустойчива во времени и из года в год претерпевает изменения, что затрудняет возможность предсказания поведения в долгосрочной перспективе. Однако в последние десятилетия В.Г. Терещенко [2002] разрабатывает иной методологический подход в анализе динамики биологического разнообразия сообществ, направленный на выявление устойчивых и неустойчивых зон функционирования сообществ на базе построения их фазовых портретов.

Фазовая траектория индекса Шеннона за период наблюдения показывает цикличность колебаний относительно условного устойчивого состояния функционирования рыбного сообщества р. Преголи (рисунок 2б). Устойчивым является состояние, при котором скорость изменения видового разнообразия будет равна нулю, что в реальности труднодостижимо. Тем не менее, переход сообщества к устойчивому состоянию будет сопровождаться изменением траектории по типу закручивающейся спирали с фокусом в точке с нулевой скоростью изменений индекса Шеннона. При этом будет уменьшаться и амплитуда колебаний. Дестабилизация сообщества будет, наоборот, сопровождаться изменением траектории по типу раскручивающейся спирали. На фазовом портрете рыбного сообщества р. Преголи виден элемент раскручивающейся спирали. С 2021 г. наблюдается тенденция к снижению биоразнообразия, в данном случае наблюдается процесс перехода сообщества к новому устойчивому состоянию, характеризующемуся более высокой степенью доминирования отдельных видов. Так, например, снижается доля хищных рыб, таких как судак и щука. При этом возрастает роль бентофагов: плотва, густера, лещ, также увеличивается и доля окуня, являющегося одновременно и бентофагом, и факультативным хищником.



**Рисунок 2.** Динамика видового разнообразия (а) и фазовый портрет (б) рыбного сообщества р. Преголи. Условные обозначения: пунктирная линия – кривая динамики индекса Шеннона, сплошная линия – сглаженная кривая динамики индекса Шеннона.

В целом анализ рядов динамики структуры рыбного населения позволяет выявить краткосрочные тенденции изменения в динамике численности или биомассы. Изучение фазовых портретов, как целого сообщества, так и популяций отдельных видов рыб позволит определить устойчивые состояния биологических систем, пределы колебаний индексов численности, биомасс и видового разнообразия. Изучение фазовых траекторий может выступать в роли информационной поддержки для прогнозирования динамики изменения состояния, как отдельных видов, так и рыбных сообществ.

#### Список литературы

- Розенберг Г.С. 2010. Информационный индекс и разнообразие: Больцман, Котельников, Шеннон / Универ...Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. Т. 19. № 2. С. 4-25.
- Терещенко В.Г. 2002. Индексы для оценки биологического разнообразия сообщества и методы анализа его динамики / Динамика разнообразия гидробионтов во внутренних водоемах России. Ярославль: изд-во ЯГТУ. С. 143-153.
- Терещенко В.Г., Вербицкий В.Б. 1997. Метод фазовых портретов для анализа динамики структуры сообществ гидробионтов // Биология внутренних вод. № 1. С. 23-31.
- Шибяев С.В. 2023. Структурный анализ ихтиоценозов как информационная поддержка оценки ОДУ при дефиците информации / Международная научно-практическая конференция «Современные методы оценки и рационального использования водных биологических ресурсов». М.: изд-во ВНИРО. С. 159-162.
- Шибяев С.В., Соколов А.В. 2014. Метод анализа ихтиоценозов малых озер Калининградской области на основе контрольных обловов сетных орудий лова // Труды ВНИРО. Т. 151. С. 158-164.
- Shibaev S., Novozhilov O., Baranovsky P. 2022. Using the Gill Nets Survey for Assessment of Fish Stock and Allowable Catch in the Vistytis Lake, Kaliningrad Oblast, Russia / Sustainable Fisheries and Aquaculture: Challenges and Prospects for the Blue Bioeconomy // Ed. Arkhipov A.G. Cham: Springer. DOI: 10.1007/978-3-031-08284-9\_20.

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ  
ПАРАМЕТРОВ ПОПУЛЯЦИЙ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ  
НА ОСНОВЕ ПЕРВИЧНЫХ ДАННЫХ**

**В.В. Безматерных**

*Пермский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПермНИРО»), Пермь, Россия*

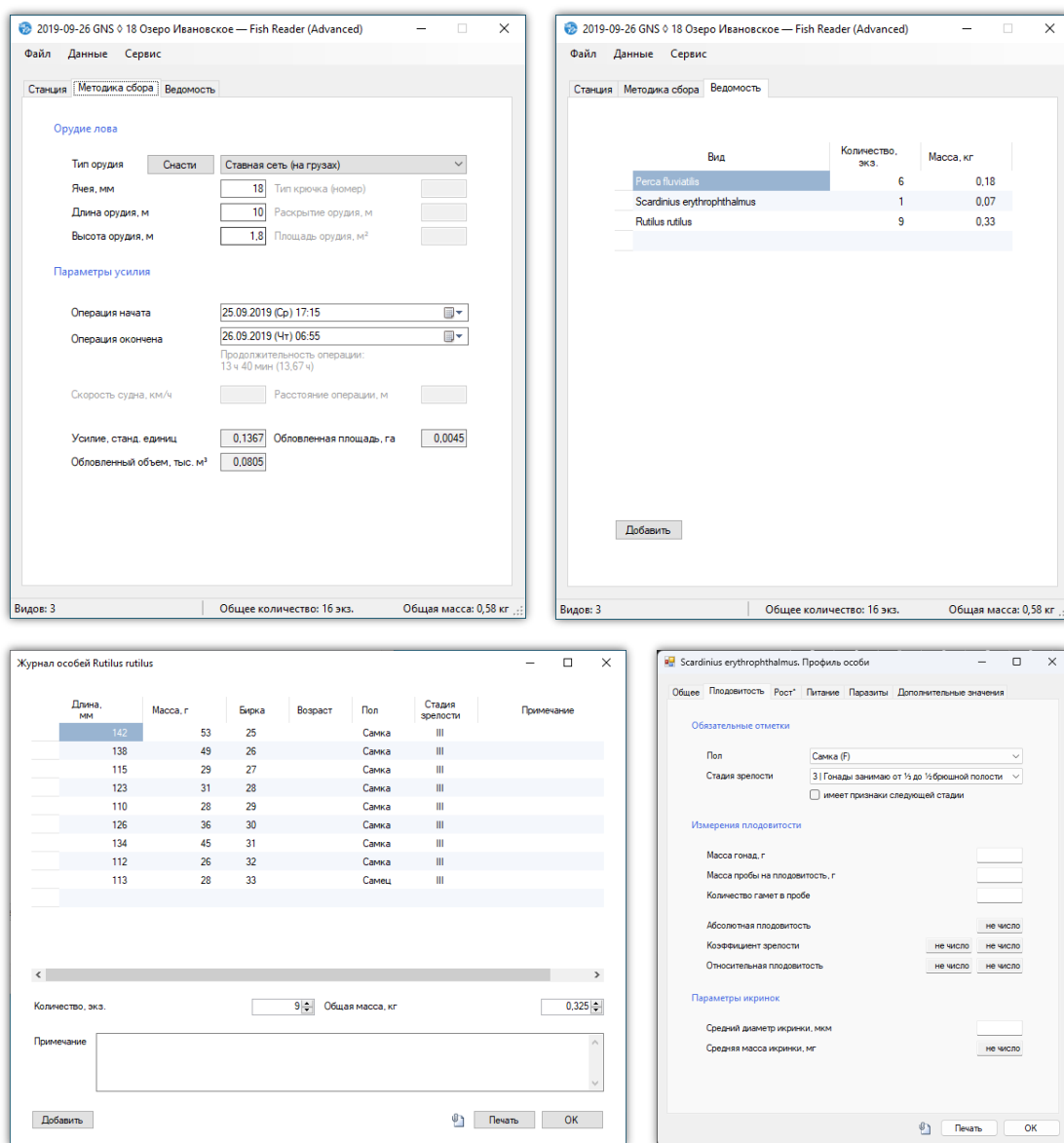
E-mail: bezmaternykh@perm.vniro.ru

Ключевые слова: ЭВМ, биологические параметры популяций, водные биологические ресурсы

Цель настоящей работы состоит в разработке программного обеспечения, позволяющего получать оценки биологических параметров популяций промысловых гидробионтов на основе первичных биологических данных, зафиксированных в ранее разработанном формате [Безматерных и др., 2023а].

Для достижения поставленной цели было создано приложение для ввода первичной биологической информации при проведении ихтиологических исследований – Fish Reader [Свидетельство..., 2014], приложение для подготовки и анализа первичных ихтиологических данных – Fish Explorer [Свидетельство..., 2021] совместно с рядом других приложений для решения аналогичных задач в смежных областях [Безматерных и др., 2023б]. Все разработанное программное обеспечение написано на языке C#, предназначено для использования в операционной системе Windows 7 и более поздних версий.

Первичные биологические данные вместе с другой первичной информацией, в том числе параметрами усилия, примененного при проведении научно-исследовательского лова водных биоресурсов, вносятся через графический интерфейс Fish Reader (рисунок 1). Первичная биологическая информация в этом случае состоит из перечня находок, для каждой из которых указываются общие количественные характеристики (количество и масса выборок вида), а также индивидуальных описаний отдельных особей (полный биологический анализ, при необходимости дополняемый специальными видами исследований – трофологическими, паразитологическими или исследованиями плодовитости), которые могут быть внесены как в режиме журнала особей (табличная форма аналогично табличным процессорам) (рисунок 1, внизу слева), так и в режиме профиля особи (отдельное окно с тематическими вкладками) (рисунок 1, внизу справа).



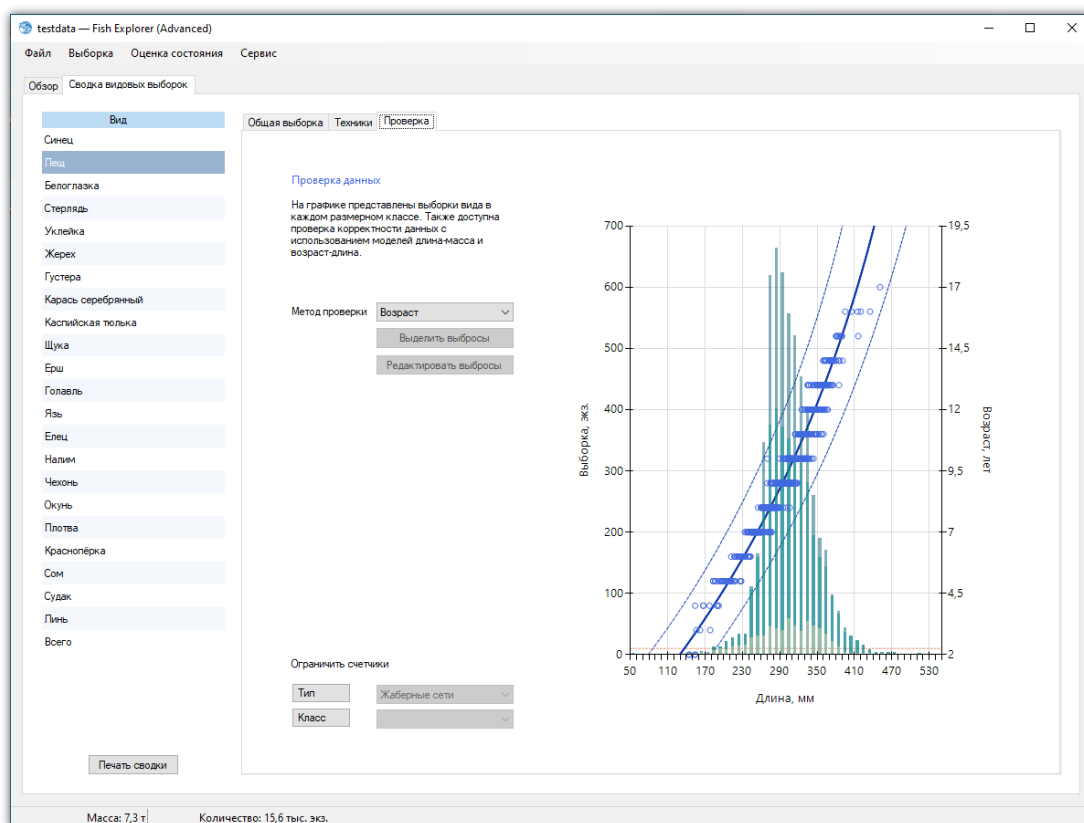
**Рисунок 1.** Внешний вид главного окна (вверху), окна «Журнал особей» (внизу слева) и окна «Профиль особи» (внизу справа) приложения Fish Reader

Хранение таких данных организуется в отдельных файлах с расширением .fcd (от английского fishing card) по принципу «один файл – один улов» (то есть такая единица данных, характеризующаяся уникальностью сведений о месте вылова, дате и времени вылова, примененном орудии, его характеристиках и усилии). В таком режиме пользователь не нуждается в предварительной подготовке рабочего места и не ограничен выбором месторасположения для размещения таких файлов ни локальным диском, ни локальной сетью, может использовать облачное хранилище или, например, хранилище с системой управления версиями (например, git). Подробнее о технологии записи файлов было изложено в публикации [Безматерных и др., 2023а].

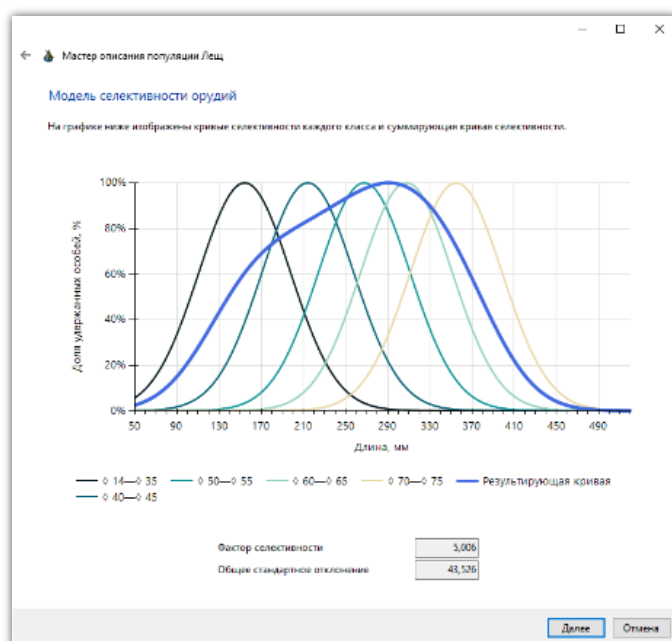
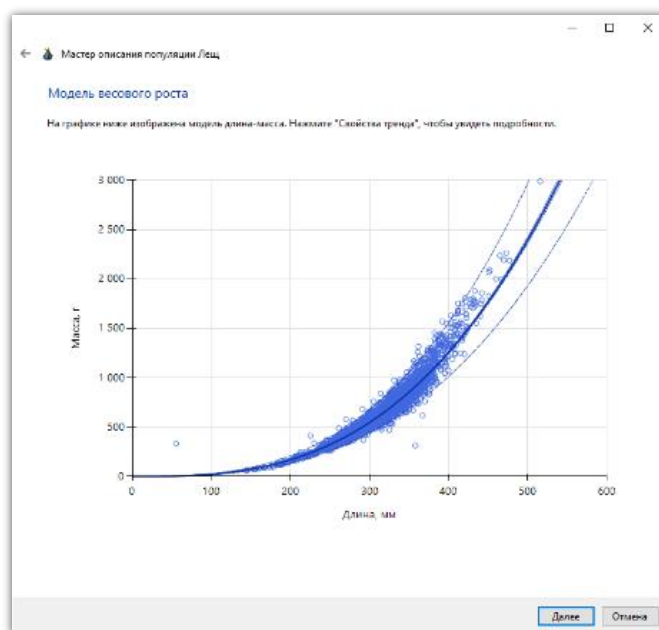
Среди видов анализа, которые реализованы в аналитическом приложении Fish

Explorer на текущий момент: оценка консистентности данных о длине, массе, возрасте особей с помощью регрессионного анализа, модель весового роста, модель линейного роста, размерный состав популяции на основе размерного состава уловов с корректировкой по модели селективности, возрастной состав популяции на основе возрастного состава уловов с корректировкой по модели смертности, половой состав возрастных (или размерных) групп, оценки плотности группировок, а также оценка запаса методом прямого учета.

Файлы, необходимые для проведения необходимых оценок, загружаются в аналитическое приложение. Уже в процессе загрузки в автоматическом режиме проводятся некоторые виды анализа, для проведения которого участие пользователя не требуется – получение оценок обилия видов по уловам, оценка консистентности измерений, построение математических моделей роста по отдельным видам. Остальные виды анализа проводятся по инициативе пользователя в режиме пошагового мастера с оформлением отчета в качестве результата (рисунок 2, внизу).







**Рисунок 2.** Внешний вид графического интерфейса при выполнении отдельных видов анализа в приложении Fish Explorer

Разработанное программное обеспечение позволяет без временных затрат на подготовку первичной биологической информации получать оценки биологических параметров популяций промысловых гидробионтов.

#### Список литературы

Безматерных В.В., Поздеев И.В., Огородов С.П., Целищева Е.М., 2023а. Цифровой формат для систематизации первичных ихтиологических и гидробиологических данных / Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса: материалы XI международной научно-практической конференции молодых учёных

и специалистов, Санкт-Петербург, 25–26 сентября 2023 года. М.: ВНИРО. С. 32-34.

Безматерных В.В., Поздеев И.В., Огородов С.П., Целищева Е.М., 2023б.

Специализированное программное обеспечение сопровождения экологических исследований гидробионтов. Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы / Сб. материалов VIII Всероссийской конференции по водной экотоксикологии, посвященной 85-летию со дня рождения Бориса Александровича Флёрова, Борок, 17–20 октября 2023 года. Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. С. 218-223.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015611815  
Российская Федерация. Fish Reader: № 2014663677: заявл. 18.12.2014: опубл. 06.02.2015 / В. В. Безматерных.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021618173  
Российская Федерация. Fish Explorer: № 2021617448: заявл. 18.05.2021: опубл. 24.05.2021 / В.В. Безматерных.

**ОТРАБОТКА ПОДХОДОВ К ПОЛУЧЕНИЮ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА  
РАКООБРАЗНЫХ НА ПРИМЕРЕ ДЛИННОПАЛОГО РАКА *PONTASTACUS*  
*LEPTODACTYLUS* ИЗ РЕКИ ДОН**

**В.Н. Белоусов, М.В. Суханова, В.К. Кузнецов, М.А. Савченко, Т.Д. Шрамко,  
А.С. Телоницкая, А.М. Стригунов**

*Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону,  
Россия*

E-mail: sudak2004@yandex.ru

Ключевые слова: речные раки, товарное раководство, выращивание раков, река Дон

Ограниченный ассортимент выращиваемых объектов аквакультуры существенно сдерживает темпы реализации полученной продукции [Белоусов, Кожурин, 2021]. Это препятствует полноценному экономическому функционированию рыбоводных хозяйств. Как результат, например, в Ростовской области прекратили свою деятельность такие крупные хозяйства как ООО «Новочеркасский рыбокомбинат», ООО АПРК «Сармат», ЗАО «Казачка», совокупная проектная мощность которых составляет 10,9 тыс. тонн рыбной продукции в год.

В связи с этим становится актуальным вопрос разработки и внедрения технологий выращивания новых объектов аквакультуры, рынок которых не насыщен. Анализ рынка рыбопродукции России показывает, что в структуре импорта второе место занимают ракообразные [Бетин и др., 2023]. Среди ракообразных одними из наиболее востребованных объектов являются речные раки. В отличие от большинства моллюсков и даже креветок этот вид имеет давнюю историю потребления в России. Первые упоминания об использовании раков как деликатесной продукции относится к XV-XVI векам, а к XIX столетию потребление речных раков стало в России популярным [Александрова, 2010, 2013].

В последние годы официальные уловы речных раков по материалам Росрыболовства составляют 70-80 тонн в год. В то же время, по оценкам ряда экспертов только официальный рынок речных раков в России составляет не менее 3 тыс. тонн в год. А если учитывать уровень не декларируемых продаж на рынках и несанкционированных мест реализации, то реальный объём российского рынка речных раков можно принять равным 6-7 тысячам тонн в год.

Это подтверждается данными по импорту раков в Россию. К нам их поставляли из Турции, Казахстана, Армении, Белоруссии. По данным Госслужбы безопасности пищевых

продуктов Минсельхоза Армении, только из этой страны в 2013 году в Россию поставлено 3,98 тыс. тонн. Однако в настоящее время импорт речных раков в Россию резко сократился из-за подрыва запасов этих видов в водоёмах стран экспортёров [Гукасян и др., 2018].

Разработка технологической схемы по выращиванию длиннопалого рака необходима не только для увеличения объемов товарной продукции рака, но и для восстановления естественных популяций ракообразных. История разработки технологии искусственного выращивания раков насчитывает более полувека [Бродский, 1972; Лиферов, 1977; Нефёдов, Наумов, 1978; Бондаренко и др., 2018] и даже получен ряд полезных моделей и изобретений на эту тему [Черкашина, Сыроватка, 1987; Александрова, Борисов, Чистова, 2002; Кулеш, Алехнович, 2006]. Однако ни один метод или способ выращивания так и не был внедрён в производство и достоверно не показал возможность получения продукции речных раков в промышленных или близких к промышленным масштабам. Поэтому, несмотря на длительную историю исследований, вопрос получения эффективной методики искусственного выращивания речных раков остаётся открытым и актуальным.

В связи с этим Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») в 2024 году приступил к проекту по отработке элементов технологии выращивания товарной продукции длиннопалого рака *Pontastacus leptodactylus* из нижнего течения реки Дон.

Общая схема эксперимента выглядела так: заготовка самок длиннопалого рака с оплодотворенной икрой в акватории реки Дон (район впадения реки Маныч, Ростовская область) в апреле; получение личинки в аквариальных условиях; содержание самок после схода молоди в контролируемых условиях; подращивание личинок в условиях УЗВ.

Для проведения эксперимента самок с икрой заготовили в нижнем течении реки Дон в районе впадения реки Маныч (Ростовская область). Всего было заготовлено 24 особи. Заготовленные самки выдерживались в отдельных аквариумах с объёмом воды около 10 л на одну особь при уровне воды 10-15 см и активной аэрацией. Температура в аквариумах изначально была установлена +18 °С и последующим увеличением в течении 4 суток до +22 °С. В ходе выдерживания самкам давали сухой комбикорм (Tetramin granules). До момента схода личинок самки не проявляли пищевой активности и предпочитали находиться в укрытии.

После схода личинок самки отсаживались в отдельную ёмкость с температурой +22-23 °С для совместного содержания, к рациону добавили естественные корма (личинок хирономид, мороженный гаммарус и черноморские креветки, роголистник *Ceratophyllum*). Размер ёмкости 2 × 0,75 м, глубина 25 см с укрытиями в виде глиняных цилиндров

диаметром 8-12 см. Несмотря на достаточно разреженную посадку и регулярное кормление самки проявляли агрессивный каннибализм. В общей сложности за период с апреля по октябрь из 24 самок осталось 8 экземпляров. Из 16 особей отхода 5 погибли по различным причинам и 11 были съедены. При этом отмечена одна особенность – до момента линьки самки не проявляли агрессии по отношению друг к другу, но как только наступал момент смены покровов, то одна из линяющих особей подвергалась атаке со стороны раков, имеющих твёрдый покров, при этом нападение было коллективным. По каким признакам выбиралась жертва среди линяющих особей пока установить не удалось. За период наблюдения средний размер и навеска оставшихся самок составила 10,2 см и 45,3 г, увеличившись соответственно на 4,4 и 13,3 % по сравнению с началом эксперимента.

Всего от заготовленных самок было получено 2086 личинок, которые в период роения содержались в ёмкостях – нерестовиках (где содержалась самка) с плотностью от 67 до 83 экз./дм<sup>2</sup>. По истечении 7 суток 500 экз. были переведены в бассейн размером 2 × 0,75 м с плотностью посадки 330 экз./м<sup>2</sup>.

Кормление молоди раков осуществлялось на первом этапе (7 суток) водорослями *Chlorella* и декапсулированными яйцами артемии, затем (от 8 до 30 суток содержания) измельчёнными личинками хирономид. По истечении 30 суток в рацион были введены замороженные дафнии, гаммарус и черноморские креветки, а в качестве растительной добавки роголистник *Ceratophyllum*.

В качестве укрытий использовались пластиковые конструкции с квадратными отверстиями размером 1×1 см и глубиной 5-7 см.

У молоди, также как и у самок, наблюдались случаи каннибализма, которые совпадали с периодом линьки. Пока особи имели твёрдый хитиновый покров, агрессия не наблюдалась. Однако, линяющая особь, оказавшаяся вне укрытия, активно атакровалась молодью с отвердевшими покровами. При этом надо отметить одну особенность – перед началом линьки рачок ложится на спину и находится в таком положении достаточно продолжительное время (разные особи по-разному 3–15 минут). Именно в этот момент они становились наиболее уязвимы и подвергались коллективной атаке. Возможно, имевшиеся укрытия для молоди раков были недостаточно просторны для процесса линьки.

За период эксперимента с мая по октябрь выживаемость молоди раков составила 28,2 %, причиной гибели 68,4 % особей являлся каннибализм, 3,4 % погибли по иным различным причинам. За период наблюдения (180 суток) молодь в среднем достигла в длину 4,2 см при массе 3,3 г.

Выводы: длиннопалый рак нижнего течения реки Дон в условиях бассейнового содержания имеет высокую степень каннибализма; у взрослых самок и молоди длиннопалого рака в условиях бассейнового содержания каннибализм отмечается по отношению к особям, проходящим стадию линьки; в период стабильного хитинового покрова у взрослых самок и молоди длиннопалого рака активной агрессии к особям своего вида не отмечается; для снижения рисков каннибализма молоди раков в период линьки требуются укрытия с диаметром более 1 см; во избежание активного каннибализма и повышения процента выхода подрощенной молоди раков предлагается провести эксперимент по их подращиванию в отдельных ячейках до момента перевода в выростные или нагульные водоёмы.

Коллектив авторов благодарит начальника отдела аквакультуры беспозвоночных ФГБНУ «ВНИРО» Кряхову Наталью Владимировну за помощь в подготовке материалов к публикации.

#### Список литературы

- Александрова Е.Н. 2010. Состояние запасов речных раков родов *Astacus* и *Pontastacus* и работ по их воспроизводству в России. Сборник научных трудов «Научные основы сельскохозяйственного рыбоводства: состояние и перспективы развития». М.: изд-во Всероссийский научно-исследовательский институт ирригационного рыбоводства Россельхозакадемии: С. 131-143.
- Александрова Е.Н. 2013. Российские речные раки как объекты пищевого потребления // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. № 5. С. 59-63.
- Александрова Е.Н., Борисов Р.Р., Чистова Л.С. 2002. Патент на полезную модель № 25823 РФ. 27.10.2002. Устройство для культивирования личинок речных раков.
- Белоусов В.Н., Кожурин Е.А. 2021. Перспективные направления развития марикультуры в Азово-Черноморском рыбохозяйственном бассейне / Тезисы докладов Международной научной конференции, посвящённой 150-летию Севастопольской биологической станции Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий». Севастополь: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН». С. 34-35.
- Бетин О.И., Мухамедова Т.О., Павлова А.О. 2023. Состояние и тенденции развития экспорта рыбы и рыбных продуктов в Российской Федерации // Вопросы рыболовства Т. 24. № 3. С. 213-220. DOI 10.36038/0234-2774-2023-24-3-213-220.

- Бондаренко Н.В., Горбенко Е.В., Павлюк А.А., Полувянов П.Н., Степанова А.Н. 2018. Опыт доместикации длиннопалого кубанского рака *Pontastacus cubanicus* в условиях аквариального комплекса ФГБНУ «АЗНИИРХ» // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 1. № 3-4. С. 97-101. DOI 10.47921/2619-1024\_2018\_1\_3-4\_97.
- Бродский С.Я. 1972. Рекомендации по биотехнике заводского разведения стойких личинок речного рака методом УКРНИИРХ. Киев. 37 с.
- Гукасян Э.Х., Мелконян Г.Ф., Степанян Л.Г., Бадалян Н.С. 2019. Особенности развития популяции длиннопалого рака (*Pontastacus leptodactylus* Eschscholtz, 1823) в озере Севан в период 1996-2018 гг. // Трансформация экосистем. Т. 2. № 3(5). С. 85-93. DOI: 10.23859/estr-190513.
- Кулеш В.Ф., Алехнович А.В. 2006. Патент BLR 11302. МПК (2006) А 01К 61/00. Способ получения посадочного материала длиннопалого рака *Astacus leptodactylus* Esch. № заявки а 20060649.
- Лиферов В.И. 1977. Получение жизнестойких личинок речного рака заводским способом // Рыбное хозяйство. № 12. С. 25-27.
- Нефёдов В.Н, Наумова Г.В. 1978. Опыт получения жизнестойкой молоди длиннопалого рака и выращивания её в прудах // Рыбное хозяйство. № 5. С. 28-32.
- Черкашина Н.Я., Сыроватка И.В., 1987. Патент на изобретение 000224\_000128\_0001329716\_19870815\_A1\_SU, Способ искусственного разведения речных раков.



**ДИНАМИКА ЕСТЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА ЧИРА РЕКИ ОБИ****В.Д. Богданов***Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

E-mail: bogdanov@ipae.uran.ru

Ключевые слова: Обь, нерестовые притоки, чир, воспроизводство, генерация, покатные личинки, динамика численности

Цель работы – на основе многолетних данных по воспроизводству чира в уральских нерестовых притоках Нижней Оби дать оценку демографической ситуации в популяции чира.

Методические аспекты учета численности покатных личинок сиговых рыб приведены ранее [Богданов, 1987]. Всего собрано более 6 тыс. проб. Видовую принадлежность личинок устанавливали по описаниям и определителю В.Д. Богданова [1998].

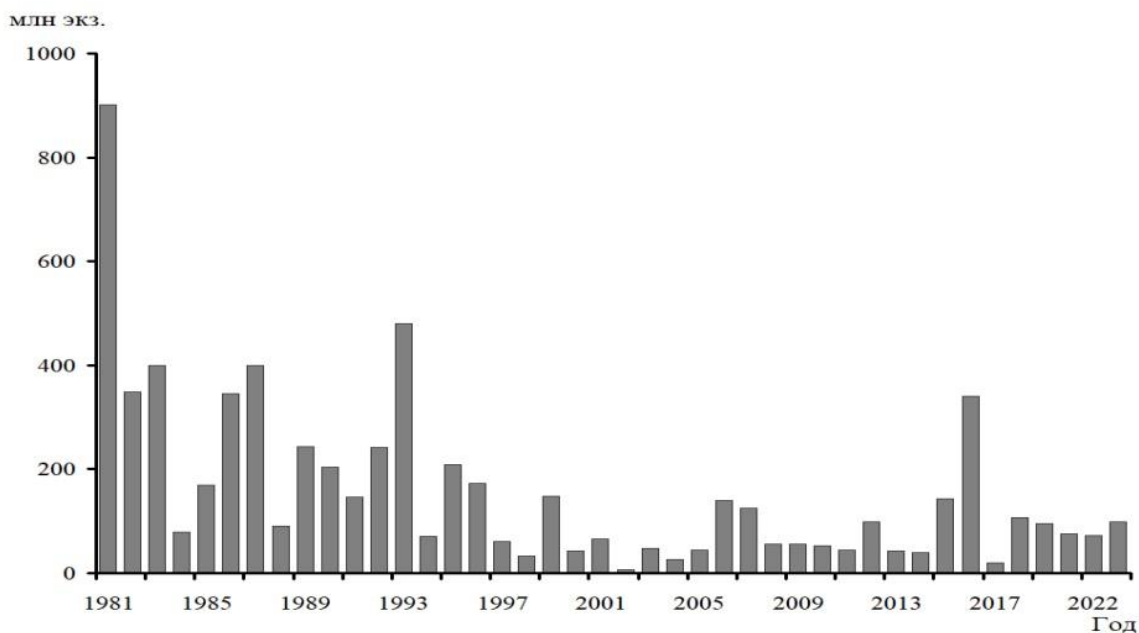
Репродуктивный ареал чира находится в предгорной части уральских притоков Нижней Оби. Их значение для обеспечения размножения, инкубации икры и частично зимовки чира определяет необходимость проведения постоянного мониторинга состояния воспроизводства, важным элементом которого являются сведения о численности генераций.

Чир обского стада зимует в Обской губе. С наступлением лета большая его часть мигрирует в дельту и устьевую часть Оби. Нагул в пойме Оби приурочен к протокам и сорамам выше 66° с.ш. На нерест чир заходит в основном в уральские реки Сось, Войкар, Сыня, Северная Сосьва, в гораздо меньшей степени используются для размножения реки Харбей и Лонготьюган. На нерестилищах, где зажоры (скопление шуги с включением мелкобитого льда в русле реки, вызывающее стеснение водного сечения и связанный с этим подъем уровня воды) занимают большую часть площади нерестилищ, выживание икры чира очень высокое (до 95 %). Чир размножается в заторах шуги, что спасает икру от перемерзания и хищников. Доказана возможность развития икры чира, вмороженной в лед. Выживает икра, которая развивается в слое льда с температурой около 0 °С. Таким образом, условия для естественного воспроизводства чира в уральских притоках, как правило, очень хорошие, что связано с обильными зажорными явлениями.

В последние шесть лет (2018-2023 гг.) в нерестовых стадах чира отсутствуют особи возраста более 8+ лет, что свидетельствует об очень сильном влиянии промысла.

После ската из нерестовых рек личинки чира распределяются в основном по левобережной части поймы Оби от устья р. Северной Сосьвы до Обской губы [Богданов, 1988]. В Оби выше р. Северной Сосьвы молодь чира не встречается. После обсыхания соров сеголетки чира скапливаются в устьевой зоне Оби. Массовая миграция молоди вниз по течению Оби в районе г. Салехарда отмечается в первые две декады августа. Происходит смешение молоди чира, рожденной в разных нерестовых притоках (рр. Северная Сосьва, Сыня, Войкар, Сось). К окончанию вегетационного периода сеголетки чира в среднем имеют массу тела около 30 г.

Численность генераций чира крайне изменчива (рисунок 1). Так, минимальная по численности генерация отличается от максимальной в 150 раз. При этом в период с 1981 по 1999 гг. средняя численность генераций чира составляла 250 млн, а с 2000 по 2023 гг. – 80 млн. Самая многочисленная генерация численностью 902 млн личинок за 43 года появлялась только один раз, а генерации по 400 млн личинок – четыре раза. Рекордно низкая по численности генерация появилась в 2002 г. (5,9 млн экз.).



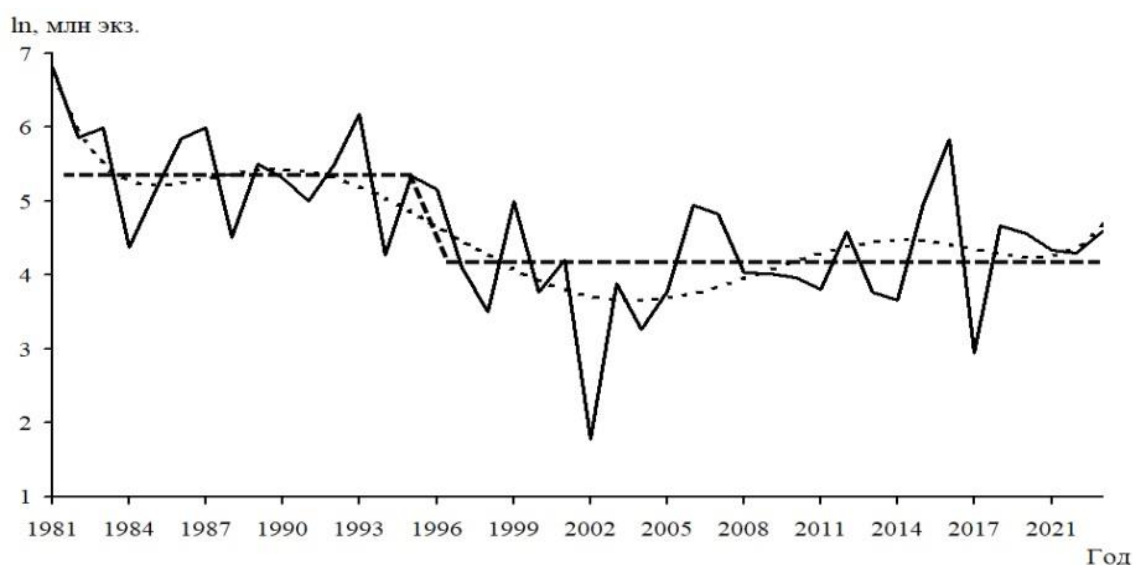
**Рисунок 1.** Динамика генераций чира Нижней Оби, млн экз.

За период с 1981 г. по 2005 г. ежегодное пополнение обского чира сократилось более чем в 30 раз. Затем начался период медленного восстановления численности. Однако за последние 17 лет появились только три генерации повышенной численности – приближающиеся к средней генерации 2006 и 2015 годов рождения и многочисленная 2016 года рождения. Последние две вступили в воспроизводство в 2021–2023 годах, что способствовало небольшому увеличению численности нерестовых стад чира. При

сохранении этих генераций они могут еще два года влиять на численность производителей чира.

Отмечена высокая синхронность динамики численности покатных личинок чира на уральских нерестовых притоках, что свидетельствует об относительной стабильности условий инкубации икры. Лишь в отдельные годы из-за локальных замороз на р. Сыне (1998, 2010, 2018 гг.) синхронность динамики нарушается.

С середины 90-х годов среднеемноголетний уровень численности снизился (рисунок 2), что связано исключительно с высокой промышленной нагрузкой, так как условия среды на нерестовых реках остались неизменными.



**Рисунок 2.** Многолетняя изменчивость логарифма численности генераций чира, плавная пунктирная линия – локальное сглаживание ( $R=0.88$ ,  $t=12.6$ ), длинный штрих – 2 различающихся уровня воспроизводства, 1981–2023 гг.

В последнем десятилетии была попытка коррекции к высоким уровням за счет появления более многочисленных генераций, но в ближайшие пять лет численность популяции неизбежно вернется к минимальным значениям. Следующий пик численности генераций чира возможен в 2030-2032 годах, что будет зависеть от принятия адекватных мер по охране нерестовых стад и экосистем нерестовых притоков.

Установлено, что значение р. Северной Сосьвы в воспроизводстве чира, оцененное по численности покатных личинок, составляло в 80-е годы 43 %, в последующие десятилетия постепенно снижалось до 31 % и составило в 2021-2023 годах 13 %. Значение р. Сыни также за эти годы снижалось с 20 до 4 %. Ведущее значение в воспроизводстве обского чира за период с 1981 по 2009 годы неизменно принадлежало р. Северной Сосьве. Затем основными нерестовыми реками чира стали более северные притоки Войкар и Сось

– в последние три года их вклад в воспроизводство составил 68 %, против 38 % в 80-е годы. Увеличение значения северных притоков могло произойти в связи с изменением температурного режима вод Оби. Средняя температура воды в период хода чира по руслу Оби в августе-октябре за последние 25 лет увеличилась, и чир, как холодолюбивый вид, в большей мере выбирает более северные притоки для нереста. Снижение значения р. Северной Сосьвы возможно связано и с усилением нагрузки специализированного неводного промысла, осуществляемого для заготовок икры с рыбоводными целями в период нерестового хода.

Полученные данные динамики генераций за многолетний период показывают, что чир в бассейне Оби в настоящее время нуждается гораздо больше в охранных мероприятиях, нежели в искусственном воспроизводстве. Основным гарантом сохранения естественного воспроизводства чира служат ненарушенные нерестилища в уральских притоках Нижней Оби, обеспечивающие высокое выживание икры в условиях образования обильных зажоров.

Уровень воспроизводства чира Нижней Оби в основном зависит от состояния экосистем нерестовых притоков и рационального ведения промысла, обеспечивающего естественную структуру нерестовых стад и пропуск необходимого числа производителей на нерестилища.

Автор выражает благодарность сотрудникам ИЭРиЖ УрО РАН, участвующим в сборе материала. Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБУН ИЭРиЖ УрО РАН №АААА-А19-119031890085-3.

#### Список литературы

- Богданов В.Д. 1987. Изучение динамики численности и распределения личинок сиговых рыб реки Северной Сосьвы. Свердловск: УНЦ АН СССР. 60 с.
- Богданов В.Д. 1998. Морфологические особенности развития и определитель личинок сиговых рыб р. Оби. Екатеринбург. 54 с.
- Богданов В.Д. 1988. Пространственное распределение личинок сиговых рыб по акватории Нижней Оби / Биология сиговых рыб. М.: Наука. С. 178-191.

***r-K-ОТБОР И ОТВЕТ ПОПУЛЯЦИИ НА ПРОМЫСЕЛ*****А.И. Болтнев, Н.П. Антонов, Е.А. Болтнев***ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия*

E-mail: aboltnev@vniro.ru

Ключевые слова: *r-K-отбор*, жизненные стратегии, млекопитающие, промысловые рыбы

Как известно, естественный отбор благоприятствует максимально приспособленным организмам, относительный вклад которых в будущее популяции наиболее высок. В условиях изменчивой среды обитания особи вынуждены приспосабливаться и «выбирать»: то ли размножаться, то ли подождать более благоприятного времени и накопить больше энергии для воспроизводства потомства. В процессе эволюции этот «выбор» у биологических объектов закрепляется генетически, что приводит к появлению различных жизненных стратегий у животных, различающихся по наиболее важным характеристикам – размерам, скорости роста и полового созревания, продолжительности жизни и величине репродуктивного вклада в популяцию.

Сравнение жизненных циклов разных видов животных позволили Мак-Артуру и Уилсону [MacArthur, Wilson, 1967] высказать гипотезу о *K*- и *r*-стратегиях, первая из которых характерна организмам в устойчивых популяциях с предельной плотностью, вторая – быстроразмножающимся организмам во флуктуирующих популяциях (таблица 1).

**Таблица 1.** Характеристика крайних вариантов *r*- и *K*-стратегий и их эффективность в стохастической среде

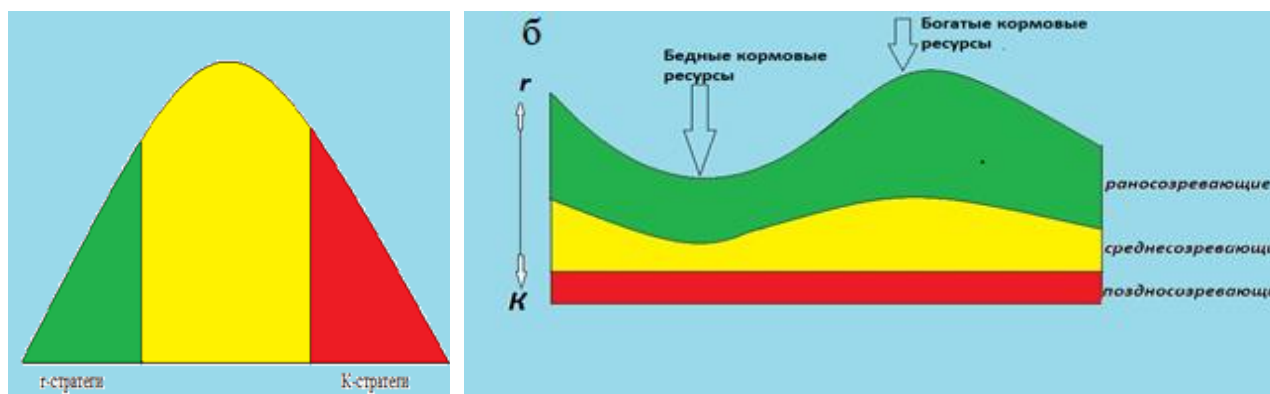
Признак	<i>r</i> -стратегия	<i>K</i> -стратегия
Половое созревание	Раннее	Позднее
вклад в потомков	Высокий	Низкий
Размеры особей	Мелкие	Крупные
Продолжительность жизни	Короткая	Значительная
Популяционная продуктивность	Высокая	Низкая
Эффективность использования кормовых ресурсов	Низкая	Высокая
Эффективность стратегии	Эффективна в условиях хорошей кормовой базы, при низкой плотности популяции, при заселении незаполненных биотопов	Наиболее эффективна в конкурентной среде, при сниженной кормовой базе

Дальнейшее развитие гипотезы *K*- и *r*-отбора выразилось в развитии Стирнсом [Stearns, 1976, 1992] теории стратегий жизненного цикла (*Life History traits/strategies*, или

*LHS*), которая выделяет стратегию «быстрой жизни» и «медленной жизни» с массой промежуточных вариантов между ними. Фактически теория *LHS* является распространением теории *r-K*-отбора с надвидового уровня на внутривидовой уровень [Болтнев, 2017; Болтнев и др., 2023].

Исследования авторов северного морского котика (СМК) позволили детально проследить роль разных факторов в воспроизводстве популяции. Показан высокий уровень материнского инвестирования у молодых и мелких животных по сравнению с более крупными старыми особями, рассмотрена возрастная структура размножающейся популяции, оценен репродуктивный вклад раносозревающих и поздносозревающих особей [Болтнев, 2011, 2017; Болтнев и др., 2022, 2023а, 2023б, 2024].

С учетом выявленных закономерностей популяционная структура вида представляется как набор жизненных стратегий, выработанных под воздействием *r-K*-отбора (рисунок 1а), соотношение которых меняется в стохастической среде (рисунок 1б).



**Рисунок 1.** Популяционная структура вида (а) и ее динамика в стохастической среде (б)

Равновесное в оптимальных условиях распределение *r-K*-стратегов в популяции будет смещаться в сторону увеличения доли *r*-стратегов при хорошем состоянии кормовой базы и в сторону преобладания *K*-стратегов при снижении кормовых ресурсов. Понимание закономерности действия *r-K*-отбора в популяции позволяет сконцентрировать внимание на мониторинге кормовой базы промысловых видов как основного фактора, ответственного за популяционную динамику.

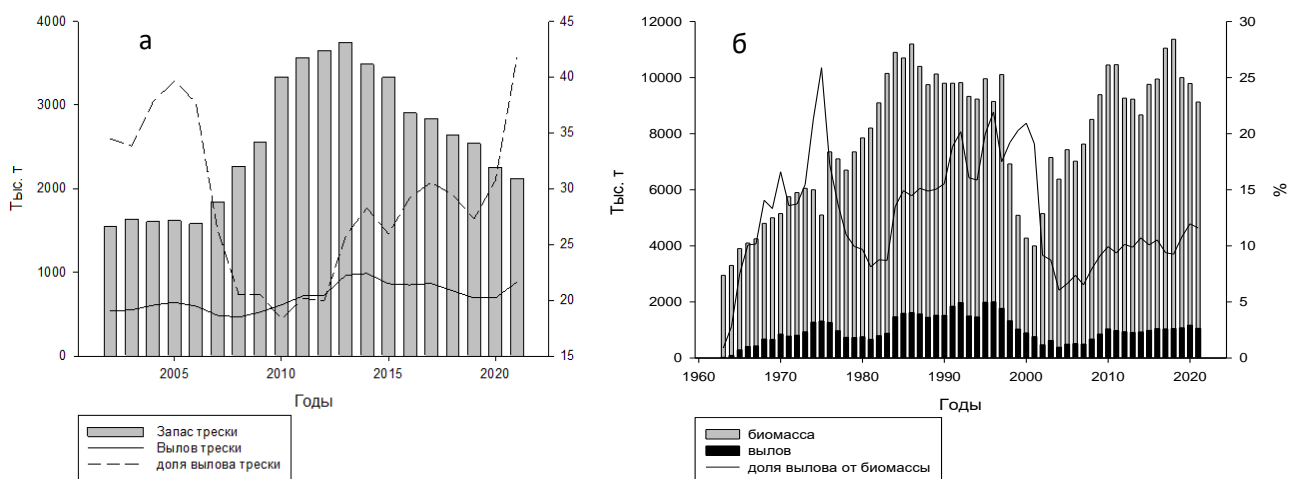
Вторым по значимости внешним фактором является степень промыслового использования популяции. Понятно, что интенсивное рыболовство снижает плотность популяции в ее ареале, тем самым снижая внутривидовую пищевую конкуренцию. Снижение внутривидовой пищевой конкуренции приводит к быстрому восстановлению численности популяции за счет размножения быстросозревающих *r*-стратегов.

Следует отметить, что роль внутривидовой пищевой конкуренции значительно выше, чем пищевой конкуренции с другими видами водных биоресурсов. Это хорошо можно видеть на примере морских млекопитающих, имеющих широкий спектр питания и способных переходить от одного пищевого объекта к другому в зависимости от его обилия. С этой точки зрения роль рыболовства в вопросах снижения запасов морских млекопитающих явно переоценивается при недооценке роли промысла самих морских млекопитающих в динамике их запасов.

*Примеры действия  $r$ - $K$ -отбора в промысловых популяциях*

Каспийский тюлень. На протяжении примерно столетия – с первой половины 19-го века до середины 20-го века – величина популяции достигала в среднем около 100 тыс. голов, иногда значительно превышая эту величину. Численность популяции в первой половине прошлого века оценивалась в 1 млн особей. Понятно, что активный промысел каспийского тюленя базировался в основном на  $r$ -стратегах, численность которых в популяции быстро восстанавливалась. Но уже к концу прошлого века промысел стал снижаться в основном по техническим и экономическим причинам. Подробно история промысла каспийского тюленя описана В.В. Кузнецовым [2017], который показал, что вслед за снижением интенсивности промысла популяция значительно «постарела», снизились показатели воспроизводства, резко выросла смертность. То есть, при снижении промысла в конце 20-го века стала меняться популяционная структура – наблюдалось увеличение доли  $K$ -стратегов в популяции каспийского тюленя и снижение доли  $r$ -стратегов за счет их повышенной смертности. Как итог, общая численность каспийского тюленя стала снижаться на фоне периодических случаев массовой гибели.

Баренцевоморская треска (рисунок 2а). История промысла трески и состояния ее запасов хорошо описана в многочисленных трудах специалистов ВНИРО и его Полярного филиала [Yaragina, 2010]. В литературе можно найти много фактов, подтверждающих роль  $r$ - $K$ -отбора в популяции – и «измельчание» трески после начала интенсивного тралового промысла, и омоложение популяции в результате промысла, и последующий за этим рост запаса. А также попытки международной регуляции запаса трески, которые иногда имеют весьма неожиданные последствия. Так, снижение интенсивности промысла трески в краткосрочной перспективе приводит к росту запаса, но в долгосрочной перспективе к его деградации. Можно видеть, что при промысловой нагрузке на популяцию в размере 35-39 % от общего запаса наблюдался его рост. Однако, при снижении промысловой нагрузки до 18-19 %, наоборот, общий запас трески стал снижаться.



**Рисунок 2.** Общий запас, общий вылов и доля вылова от общего запаса баренцевоморской трески (а), биомасса минтая Охотского моря (с Восточным Сахалином) и доля его вылова к биомассе (б)

Охотоморский минтай. Активное освоение этой популяции началось в конце 1960-х годов (рисунок 2б). Постепенное увеличение вылова привело к росту запаса, который происходил за счет *r*-стратегов, что отразилось в измельчании и омоложении популяции [Шевченко, Датский, 2014]. Можно предполагать, что рост запасов в течение нескольких последующих лет был ответом популяции на вылов минтая на уровне 20-25 % от общей биомассы. Но снижение величины изъятия до 10 % от биомассы повлекло увеличение внутривидовой пищевой конкуренции, что повлияло на снижение запаса.

Конечно, популяции рыб нельзя рассматривать отдельно от экосистемы. Необходимо учитывать и хищничество морских млекопитающих, для которых эти рыбы являются объектом питания. Особенно с учетом того факта, что промысел морских млекопитающих постепенно сокращался и к началу нашего века вовсе угас. Следовательно, давление морских млекопитающих на массовые виды промысловых рыб в настоящее время возросло.

В заключение необходимо подчеркнуть, что *r-K*-отбор может быть использован человеком в качестве инструмента для повышения продуктивности популяций в интересах народного хозяйства.

В соответствии с теорией *r-K*-отбора можно предположить, каким будет ответ популяции на промысел. После начала промысла в популяции будут усиленно размножаться быстрорастущие и быстросозревающие особи (*r*-стратеги), появятся урожайные поколения, которые при продолжении интенсивного промысла также будут быстро созревать и вступать в размножение, и дальше увеличивая численность



популяции. В её структуре произойдёт сдвиг в сторону «омоложения» и «измельчания» в размерах особей.

Очевидно, что для стабилизации популяционной численности на новом уровне нужно увеличивать величину промыслового изъятия до оптимального уровня. То есть коэффициент промыслового изъятия должен увеличиваться вслед за ростом популяции. Это хорошо видно на примере охотоморского минтая: использование предосторожного подхода к эксплуатации запасов на протяжении значительного ряда лет привело к росту доли старшевозрастных групп минтая и изменению соотношения  $r$ - $K$ -стратегов в популяции. В настоящее время происходит переход к более интенсивной модели промысла – концепции MSY.

Примерно можно оценить максимальную величину промысла, которая будет равна пополнению за вычетом естественной смертности особей. Промысел будет наиболее эффективным при изъятии водных биоресурсов на уровне максимальной величины пополнения с преимущественным изъятием мелких молодых особей. Проблема селективности промысла по отношению к  $r$ - и  $K$ -субпопуляциям может быть актуальна не только для морских млекопитающих, но и для других гидробионтов.

Теория  $r$ - $K$ -отбора позволяет пересмотреть «исторические спекуляции» о высокой численности популяций промысловых гидробионтов до начала интенсивного их промыслового использования, поскольку структура популяции, как соотношение  $r$ - $K$ -стратегов, оптимизирована современным состоянием кормовой базы тюленя.

#### Список литературы

- Болтнев А.И. 2011. Северный морской котик командорских островов. М.: ВНИРО. 264 с.
- Болтнев А.И. 2017. Внутривидовой  $r/K$ -отбор у северного морского котика // Труды ВНИРО. Т. 168. С. 4-13.
- Болтнев А.И., Болтнев Е.А., Корнев С.И. 2022. Возраст полового созревания, продолжительность жизненного цикла и репродуктивный вклад у самок морских котиков // Труды ВНИРО. Т. 190. С. 95-104.
- Болтнев А.И., Болтнев Е.А., Корнев С.И. 2023а. Репродуктивный вклад у самок морских котиков в связи с возрастом полового созревания // Труды ВНИРО. Т. 191. С. 53-65.
- Болтнев А.И., Болтнев Е.А., Корнев С.И. 2023б. Изменчивость показателей рождаемости у самок котиков из разных поколений // Труды ВНИРО. Т. 192. С. 17-25.
- Болтнев А.И., Корнев С.И., Болтнев Е.А., Михайлов А.И. 2024. Результаты прослеживания жизненного цикла меченых самок морских котиков на о. Беринга / Актуальные проблемы экологии и природопользования. Сборник трудов XXV Международной

научно-практической конференции: в 2 т. Москва, 26-28 апреля 2024 г. М.: РУДН.  
Т. 1. С. 16-25.

Кузнецов В.В. 2017. Влияние промысла на структуру популяции каспийского тюленя в исторической ретроспективе // Труды ВНИРО. Изд-во ФГБНУ «ВНИРО». Т. 168 Морские млекопитающие. С. 14-25.

Шевченко В.В., Датский А.В. 2014. Биоэкономика использования промысловых ресурсов Северной Пацифики. Опыт российских и американских рыбопромышленников. М.: Изд-во ВНИРО. 212 с.

MacArthur R.H., Wilson E.O. 1967. The Theory of Island Biogeography. Princenton, New Jersey: Princenton Univ. Press. 203 p.

Stearns S.C. 1976. Life-history tactics: a review of the ideas // The Quarterly Review of Biology. V. 51. P. 3-47.

Stearns S.C. 1992. The evolution of life histories. Oxford Univ. Press. 262 p.

Yaragina N.A. 2010. Biological parameters of immature, ripening, and non-reproductive, mature northeast Arctic cod in 1984–2006 // ICES Journal of Marine Science. V. 67. P. 2033-2041.

**К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ РЕСУРСОВ КАСКАДНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ  
ВОДОЕМОВ ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК  
НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛКУАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

**Т.М. Брагина<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону,  
Россия*

<sup>2</sup>*Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтурсынова,  
Костанай, Казахстан*

E-mail: tm\_bragina@mail.ru

Ключевые слова: река Тобол, верхнее течение, Костанайская область, Желкуарское водохранилище, среда обитания, ихтиофауна

Возрастающее истощение водных и биологических ресурсов и их рациональное использование является важнейшим вопросом современности. Изучение различных аспектов состояния трансграничных рек и созданных на них водохранилищ затрагивает ключевые интересы территорий и стран, которые они пересекают. В связи с этим природные и исторические аспекты изменений их показателей являются одними из ключевых тем современных исследований и прогнозирования их развития [Акилина и др., 2022; Брагина, 2024].

Целью данной работы является обобщение оценок современного состояния и возможного прогнозирования паводкового наполнения водоемов и состояния биоресурсов на примере Желкуарского водохранилища (Костанайская область).

Желкуарское водохранилище (географические координаты 52°21'21" с.ш., 61°15'11" в.д.) расположено на реке Желкуар (рисунок 1) – левобережном притоке трансграничной реки Тобол. Река Тобол образуется от слияния рек Берсуат и Сынтасты на территории Российской Федерации, затем протекает по территории Республики Казахстан в Костанайской области, где было создано пять крупных водохранилищ, и выходит вновь на территорию Российской Федерации.



**Рисунок 1.** Местоположение Желкуарского водохранилища, Костанайская область, Казахстан

Желкуарское водохранилище входит в Tobол-Торгайский водный бассейн Республики Казахстан, расположенный на стыке Западно-Сибирской равнины, отрогов Урала и западных окраин Казахского мелкосопочника. Климат района резко континентальный с холодной, малоснежной зимой и жарким сухим летом. Температура воды в реке варьирует от  $+0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовое количество осадков (по данным Житикаринской метеостанции) – 263 мм. Характер питания реки Желкуар зависит в основном от интенсивности таяния снежного покрова и льдов в акватории реки и водоемов, а также осадков, особенностей грунта и грунтовых вод. Средняя продолжительность периода стока в верховье 200 дней. Суммарная водосборная площадь бассейнов рек Берсуат, Сынтасты и Желкуар до створа плотины Желкуарского водохранилища составляет 4317 км<sup>2</sup>. Расстояние от устья реки Желкуар до гидроузла – 12 км. Водохранилище было введено в эксплуатацию в 1964 г. Началом наполнения водохранилища является апрель 1964 г. [Брагина, Назаркенова, 2021]. Полный объем водохранилища – 28,8 млн м<sup>3</sup> при отметке НПУ (нормальный подпорный уровень) 246,0 м с площадью зеркала водохранилища – 7,03 км<sup>2</sup>; полезный объем – 24,8 млн м<sup>3</sup>. Максимальная глубина водохранилища – 14,5 м, средняя глубина – 7,5 м [Тюменев, 2008]. Изучение литературных данных и архивных материалов показало, что в многолетнем разрезе паводковый сток реки Желкуар характеризуется крайней неравномерностью, что в целом характерно для реки Tobол [Дейнека, 2010]. Величина среднегодового стока реки Желкуар составляет 47,3 млн м<sup>3</sup>. В половодье объем стока реки может колебаться от

20 млн м<sup>3</sup> до 540 млн м<sup>3</sup>, то есть объем стока реки может увеличиваться в отдельные годы в 27 раз. Высота подъема уровня вод в водохранилище весной в средний по водности год составляет 2,7-3,2 м, в многоводные годы достигает 5,3 м.

Рядом авторов [Акилина и др., 2022] было разработано долгосрочное прогнозирование весеннего стока рек бассейна Тобола методом наименьших квадратов по данным многолетних гидрометеорологических наблюдений (1968-2021 гг.) и предложены методики расчетов для использования в системе оперативного гидрологического прогнозирования для обоснования мероприятий по использованию водных ресурсов и защите от наводнений в период весеннего половодья.

В то же время, весь сток реки Тобол на территории Костанайской области зарегулирован каскадом водохранилищ, что в наибольшей степени определяет режим реки через уровень эксплуатации водохранилищ. Это касается и водных биоресурсов, в первую очередь ихтиофауны, так как естественное проникновение или зарыбление водоемов неизбежно приводит к ее изменениям за счет акклиматизационных и рыбоводных работ и проникновения и расселения чужеродных видов. Биоресурсное значение Желкуарского водохранилища определяется рыбохозяйственной деятельностью. В видовом составе ихтиофауны в Желкуарском водохранилище лидируют представители семейства карповых. Среди промысловых видов преобладают караси *Carassius auratus* (Linnaeus, 1758) и *Carassius carassius* (Linnaeus, 1758), язь *Leucis cusidus* (Linnaeus, 1758), линь *Tinca tinca* (Linnaeus, 1758), лещ *Abramis brama* (Linnaeus, 1758). Среди хищных рыб наиболее распространены окунь *Perca fluviatilis* (Linnaeus, 1758) и щука *Esox lucius* (Linnaeus, 1758). Поддержание рыбопродуктивности водохранилища обеспечивается через зарыбление ценными промысловыми видами рыб и другими воспроизводственными мероприятиями.

#### Список литературы

- Акилина В.А., Борщ С.В., Симонов Ю.А., Христофоров А.В., Юмина Н.М. 2022. Долгосрочное прогнозирование характеристик весеннего стока рек бассейна Тобола // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. № 4 (386). С. 64-78. DOI: 10.37162/2618-9631-2022-4-64-78.
- Брагина Т.М. 2024. Исторические аспекты изменений видового разнообразия ихтиофауны Тобол-Тургайского водного бассейна в пределах Костанайской области (Казахстан) / IV Международная научно-практическая конференция «Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование». Симферополь: ИТ «АРИАЛ». С. 172-178.

- Брагина Т.М., Назаркенова А.К. 2021. Биоресурсное и водохозяйственное значение Желкуарского водохранилища // КМПИ Жаршысы (Вестник КГПИ). № 4 (64). С. 34-42. EDN UXCXJQ.
- Брагина Т.М., Брагин Е.А., Ильяшенко М.А., Попов В.А., Рулёва М.М. 2017. К инвентаризации фауны рыб (Vertebrata, Pisces) Костанайской области // КМПИ Жаршысы (Вестник КГПИ). № 2 (45). С. 14-21. EDN: ВНКRNЛ.
- Дейнека В.К. 2010. Река Тобол в Казахстане. Костанай: Костанайский печатный двор, 332 с.
- Куржыкаев Ж., Баринаова Г.К., Асылбекова А.С. 2020. Состояние гидрологического и гидрохимического режима реки Тобол // Chronos. № 10(49). С. 8-12. EDN CHDVHT.
- Тюменев С.Д. 2008. Водные ресурсы и водообеспеченность территории Казахстана. Алматы: КазНТУ, 267 с.

## ГОДОВАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ОБЩИХ ЛИПИДОВ В ТЕЛЕ АЗОВСКОЙ ХАМСЫ *ENGRAULIS ENCRASICOLUS MAEOTICUS* В 2023 ГОДУ

Л.А. Бугаев<sup>1</sup>, А.В. Войкина<sup>1,2</sup>, О.В. Кириченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону,  
Россия

<sup>2</sup>Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

E-mail: bugaevla@azniirkh.vniro.ru

Ключевые слова: *Engraulis encrasicolus*, хамса, Азовское море, липиды, нагул

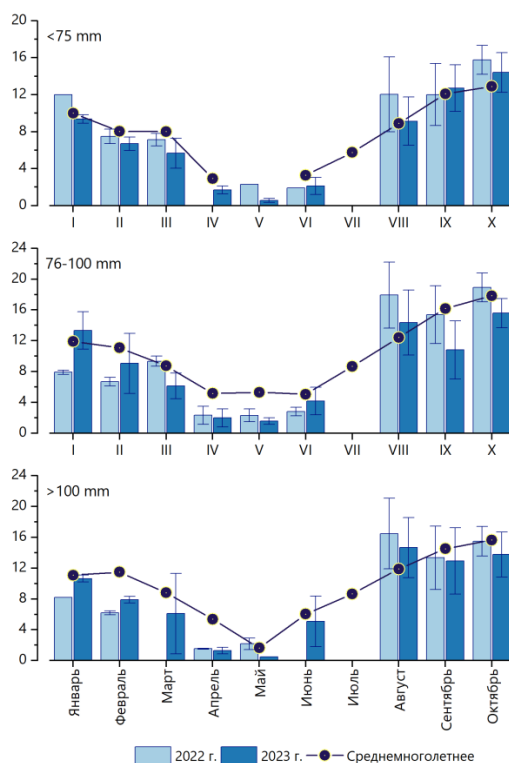
Азовская хамса *Engraulis encrasicolus maeoticus* (Pusanov, 1926) играет одну из важнейших ролей в трофической структуре экосистемы Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна, а также является ведущим объектом промышленного рыболовства. Численность популяции хамсы в Азово-Черноморском рыбохозяйственном бассейне определяется целым рядом факторов, в том числе промысловым изъятием, температурами воды в период нагула и зимовки, биомассой гребневика мнемнопсиса как пищевого конкурента и как хищника, поедающего икру и молодь [Никольский и др., 2016].

Важность данного вида рыб для российского промысла заставляет искать критерии прогнозирования динамики популяции на краткосрочную перспективу. Одним из таких косвенных критериев является оценка содержания общих липидов в теле рыб, как показателя успешности нагула перед зимовкой [Войкина и др., 2019; Юнева и др., 2019; Котенева и др., 2022], эффективности нереста, склонности к скосячиванию, времени миграции между Азовским и Черным морями и т.д. [Tocher, 2003]. Согласно данным ряда исследователей [Тараненко, 1964; Шульман, 1972], полученным в 1950–1960 гг., для азовской хамсы выявлена положительная корреляция между содержанием жира у рыб родительского стада осенью и урожаем молоди на следующий год. Содержание липидов в теле азовской хамсы имеет сезонные особенности, которые следует учитывать при описании данного показателя в оценке состояния отдельных рыб и популяции в целом [Войкина и др., 2023; Voykina et al, 2023]. Многолетние исследования жирности хамсы показывают, что среднегодовое содержание общих липидов в теле рыб существенно зависит от двух факторов: биомассы мнемнопсиса в летний период и запасов хамсы, определяющих внутривидовую конкуренцию за пищевые ресурсы [Никольский и др., 2016].

Целью исследования являлось изучение динамики накопления липидов в теле хамсы в течение 2023 г. Материалом для исследования послужили разновозрастные особи хамсы, отловленные в территориальных водах Российской Федерации вдоль Кавказского побережья Черного моря в ходе мониторинга промысла и в Азовском море в ходе учетно-траловых съемок. Количественное определение липидов проводили согласно утвержденным методикам [ГОСТ 7636-85].

Анализируя сезонную динамику уровня накопления липидов в теле хамсы всех возрастных групп можно отметить, что наблюдалось характерное снижение количества липидов от зимнего к весеннему периоду и затем было отмечено постепенное увеличение содержания липидов в летне-осенний период (рисунок). Для младшевозрастных особей хамсы (<75 мм) среднее содержание липидов в теле с января по май уменьшалось с 9,4 % до 0,6 %, для рыб репродуктивного возраста (76-100 мм) – с 13,3 % до 1,6 %, для рыб размерной группы > 100 мм – с 10,6 % до 0,5 %.

К июню количество липидов в теле младшевозрастных особей хамсы увеличилось на 70 % и, в среднем, составляло 2,1 %. У старшевозрастных рыб среднее содержание липидов в теле к июню увеличилось на 60-90 % и составляло 2,6 % для рыб размером от 76 до 100 мм и 5,1 % для рыб больше 100 мм. В августе среднее содержание липидов в теле младшевозрастных особей хамсы составляло 9,1 %, а к концу нагульного периода увеличилось до 14,4 %.



**Рисунок.** Динамика содержания общих липидов (на сырое вещество) в теле хамсы разных размерных групп в течение 2023 г., %



У особей репродуктивного возраста среднее содержание липидов в августе составляло 14,3 %, в сентябре для рыб данной возрастной группы было отмечено снижение количество липидов в теле до 10,8 %, а к октябрю данный показатель увеличился до 15,6 %. Для рыб размером больше 100 мм с августа по октябрь также наблюдались колебания уровня липидов в теле: среднее содержание липидов в августе составляло 14,7 %, в сентябре – 12,9 %, в октябре – 13,8 %.

Таким образом, физиологическое состояние хамсы в течение 2023 г. можно оценить как удовлетворительное. В целом полученные значения содержания липидов в теле рыб были ниже показателей 2022 г., но находились на уровне среднемультилетних показателей. Исключения составляли февраль, преднерестовый период (апрель-май) и сентябрь для рыб размером от 76 до 100 мм, количество содержания липидов в данные месяцы были ниже среднемультилетних значений, но в пределах референсных значений количества липидов в исследуемый период. Можно предположить, что накопленный уровень липидов в конце нагульного периода будет достаточным для совершения зимовальных миграций в Черное море и прохождению зимовального периода.

#### Список литературы

- Войкина А.В., Бугаев Л.А., Негода С.А., Кириченко О.В., Юрченко К.А. 2023. Физиолого-биохимическое состояние хамсы *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) в Азово-Черноморском бассейне в период 2020-2022 гг. / Сб. Науч. Тр. АзНИИРХ. Ростов-на-Дону. Т. 4. С. 28-35.
- Войкина А.В., Бугаев Л.А., Цыбульская М.А., Ружинская Л.П., Сергеева С.Г. 2019. Физиологическое состояние хамсы (*Engraulis encrasicolus* L) Азово-Черноморского бассейна в 2018 году // Экология. Экономика. Информатика. Серия Геоинформационные технологии и космический мониторинг. № 4. С. 198-201.
- Котенева Д.А., Войкина А.В., Бугаев Л.А., Лисовская В.В. 2022. Особенности накопления липидов в теле европейского анчоуса в течение 2021 года / Матер. Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и техники». Ростов-на-Дону: ДГТУ. С. 137-139.
- Никольский В.Н., Юнева Т.В., Щепкина А.М. 2016. Многолетняя динамика содержания липидов у мелких пелагических рыб как отражение изменчивости условий их нагула / Сб. матер. Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: «Морские биологические исследования: достижения и перспективы»: в 3 томах. Т. 2. С. 112-115.

- Тараненко Н.Ф. 1964. Уровень жировых запасов в теле азовской хамсы как показатель воспроизводительных свойств стада и сроков миграции // Труды АзЧерНИРО. № 22. С. 137-147.
- Шульман Г.Е. 1972 Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб. М.: Пищевая промышленность. 368 с.
- Юнева Т.В., Никольский В.Н., Забелинский С.А., Щепкина А.М., Булли Л.И., Шульман Г.Е. 2019. Межгодовая изменчивость содержания липидов и жирных кислот у азовской хамсы *Engraulis encrasicolus maeoticus* (*Engraulidae*) в период современного осолонения Азовского моря // Вопросы ихтиологии. Т. 59. № 1. С. 94-102. DOI: 10.1134/S0042875219010181.
- ГОСТ 7636-85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа.
- Tocher D.R. 2003. Metabolism and Functions of Lipids and Fatty Acids in Teleost Fish // Rev. Fish. Sci. V. 11. № 2. С.107–184. DOI:10.1080/713610925.
- Voykina A., Bugaev L., Tsybul'skaya M., Nebesikhina N., Kirichenko O., Zykina V. 2023. Seasonal dynamics of the total lipid content in the body of the anchovy *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) in 2017-2020 / E3S Web Conf. (Т. 371), С. 01054. DOI:10.1051/e3sconf/202337101054.

**К ПРОБЛЕМЕ ОЦЕНКИ ВОЗРАСТНОГО СОСТАВА УЛОВОВ ГРЕБЕНЧАТОЙ  
КРЕВЕТКИ *PANDALUS HYP SINOTUS* BRANDT, 1851**

**А.И. Буяновский<sup>1</sup>, Д.Н. Юрьев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия

<sup>2</sup>Хабаровский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ХабаровскНИРО»), Хабаровск, Россия

E-mail: buyanovskiy@vniro.ru

Ключевые слова: гребенчатая креветка, возрастной состав, жизненный цикл

Установление возрастного состава – одно из ключевых направлений популяционных исследований. Как правило, оно включает следующие этапы: определение индивидуального возраста по регистрирующим структурам, построение размерно-возрастного ключа, установление возрастного состава улова по данным массовых промеров. У десятиногих ракообразных нет регистрирующих структур, позволяющих определять возраст на больших выборках. Возрастной состав обычно оценивают по распределению частот размерных классов, расщепляя размерный ряд на «смесь нормальных распределений». В качестве аксиомы принимается, что одному распределению соответствует один возрастной класс [Иванов, 1978]. К настоящему времени эти методы оформлены в виде компьютерных программ, встроенных в общепризнанные пакеты FISAT, PAST, а также – в программную оболочку R: MixTools, TropFishR и др. Большинство методов основано на таком подборе средних размеров и их стандартных отклонений у заранее заданного числа возрастных классов, чтобы расхождение между расчетными и эмпирическими частотами размерного ряда было минимальным. Число задаваемых классов определяется на основе знания биологии объекта исследования.

Основная сложность, возникающая при использовании данной группы методов, связана с отсутствием ограничений, как по значениям среднего, так и по величине стандартного отклонения. Это нередко приводит к появлению или дополнительных возрастных классов, размеры которых плохо соответствуют ожидаемым [Буяновский, Войдаков, 2011], или к появлению неотчетливых классов с неестественно широкими размерными границами [Буяновский, 2021].

В отношении осваиваемой промыслом гребенчатой креветки ранее активно применяли методы, основанные на принципах «вероятностной бумаги» [Букин, Юрьев, 2006]. Но эти методы страдают от неоднозначности получаемых результатов, известной как «проблема конкурирующих решений» [Михеев, 2011].

Следующая группа проблем связана с особенностями жизненного цикла данного вида – протандрического гермафродита. Рост происходит во время линек. Самцы линяют 2 раза в году: в летний (июнь-июль) и осенне-зимний (ноябрь-декабрь) периоды. Наиболее заметный рост, в результате которого меняются средние размеры возрастных классов, происходит в осенне-зимний период [Юрьев, Жуковская, 2021]. Во время летней линьки большинство крупных самцов, меняя пол, превращаются в интерсексов; заметный рост мелких самцов не выявлен. После окончательной смены пола и оплодотворения (март), самка приступает к вынашиванию икры на плеоподах, которое длится около 15 месяцев. Во время вынашивания самки не линяют, и поэтому к весне следующего года в одной размерной группе может оказаться 2 возрастных класса с одинаковыми характеристиками нормального распределения размерных классов (размерно-возрастных групп). Более того, вследствие растянутой смены пола – на 5-м или 6-м году жизни [Юрьев, 2024] – в отдельные сезоны число возрастных классов самок в одном нормальном распределении может увеличиться до 4. Это противоречит вышеуказанной аксиоме, но не отменяет задачу разделения размерно-возрастной группы на возрастные классы.

Вместе с тем, есть и ряд благоприятных предпосылок для преодоления вышеуказанных трудностей. Есть данные о темпах роста и продолжительности жизни [Букин, Юрьев, 2006]. Внедрена методика, позволяющая различать икру в начале и конце инкубационного периода. Известны основные факторы, влияющие на смертность креветки. Все это должно облегчить разработку алгоритма установления возрастного состава гребенчатой креветки с учетом обозначенной выше неопределенности,

В работе использованы материалы учетных траловых съемок в Татарском проливе в 2010-2022 гг. Для установления размерных границ возрастных классов были привлечены данные ловушечного промысла в 1997-2002 гг. Биологический анализ выполнен по стандартным методикам [Иванов, 2004], в качестве базового параметра взята длина карапакса (ДК), измеренная штангенциркулем с точностью до 0,1 мм.

С учетом жизненного цикла календарный год был разделен на весенний (февраль-июнь) и осенний (август-декабрь) периоды. Для обозначения возраста весной использовали цифры; осенью – цифры со знаком «+».

Возрастной состав оценивали отдельно для самцов, интерсексов, самок двумя методами. Первый метод, NORMSEP (алгоритм SIMPLEX) встроен в ПО FISAT II – [Gayanilo et al., 2005]. Перед вводом частоты размерного ряда сглаживали 16-членной скользящей средней. Число возрастных классов и стартовые значения средних размеров задавали по данным более ранних исследований [Букин, Юрьев, 2006].

При втором методе средние размеры задавались фиксированными [Буяновский и др., 2023], но допускалось их изменение в ограниченном диапазоне. Для его успешного приложения необходимо было решить ряд последовательных задач.

1. Подтвердить отсутствие зависимости ширины размерных границ возрастного класса от объема выборки. Анализ 25 выборок, состоящих из интерсексов, собранных в 1997-2002 гг., и представленных (в отличие от 2010-2022 гг.) единственным возрастным классом, показал, что при выборках 49-1804 экз. зависимость отсутствовала. Было принято допущение, что, во-первых, такая же закономерность свойственна любому возрастному классу, и, во-вторых, с возрастом диапазон размерных границ расширяется вследствие нормального распределения величины прироста и отсутствия причин для размерно-селективной смертности.

2. Установить размах варьирования размеров в отдельных возрастных классах. Использовали выборки, где отдельные возрастные классы (преимущественно младшие) выделялись наиболее отчетливо. Для самцов возраста 2+ и 3+ размах составил 7 и 8 мм, возраста 4+ – 6+ и интерсексов – 9 мм; для 4 возрастных классов самок – 9, 10, 11, 12 мм.

3. Установить пространственно-временной размах варьирования средней ДК для каждого возрастного класса. После установления самих средних значений методом NORMSEP они были ранжированы по возрастанию. Границы каждого класса были выявлены по «скачкам» соседних значений, которые хорошо проявлялись у самцов и интерсексов и хуже – у самок. Диапазоны варьировали от 2 до 17 мм и не зависели от возраста и/или пола. Все средние значения, попавшие в выделенные диапазоны, были повторно усреднены, и, таким образом, были получены стартовые значения, используемые в алгоритме, описываемом ниже: самцы – 16,2; 22,2; 27,7; 32,2; 36,0 мм; интерсексы – 34,0; 38,1 мм; самки – 36,6; 40,7; 44,4; 46,7 мм.

После решения указанных задач было выполнено (ПО MS-Excel) расщепление размерного ряда на смесь нормальных распределений, состоящее из следующих этапов.

а. Генерация нормально распределенных расчетных частот размерных классов для каждого возрастного класса с заданным средним (п. 3), случайно выбранным стандартным отклонением, стартовой численностью. Стартовую численность задавали пропорционально соотношению частот средних значений каждого возрастного класса.

б. Для каждого возрастного класса подбирали такое стандартное отклонение, чтобы за пределами диапазонов, указанных в п. 2 и группирующихся вокруг среднего, осталось не более 5 % численности класса; при численности свыше 100 экз. – не более 5 экз.

в. После подбора стандартных отклонений для всех возрастных классов расчетные частоты для каждого размерного класса суммировали и сопоставляли с эмпирическими частотами. Сумма квадратов остатков рассматривалась как целевая функция.

г. Изменяя стартовую численность возрастных классов, находили минимум целевой функции.

д. Зафиксировав измененные значения численности и изменяя средние размеры в рамках заданных диапазонов (п. 3), вновь находили минимум целевой функции.

е. Зафиксировав измененные средние значения, повторяли процедуру п. а-б.

Диагностику выполняли через оценку объясненной дисперсии. Для всех самцов и интерсексов она была выше 90 %, для самок она варьировала от 77 до 95 %. Значения менее 90 % зарегистрированы для выборок объемом менее 400 экз. Итоговые размеры, усредненные по результатам анализа всех выборок, были близки к стартовым (п. 3.).

Примененный алгоритм позволил установить возрастной состав самцов и интерсексов. Для самок, инкубационный период которых длится 15 месяцев, разделение размерно-возрастной группы на возрастные классы возможно только на основе дополнительной информации. Осенью они разделяются на более младших самок с гонадами и более старших самок с наружной икрой. Весной их можно разделить по состоянию икры – на младших самок с новой икрой и старших самок с созревшими эмбрионами («глазками»). Для каждой указанной категории оценка возрастного состава выполняется отдельно.

Для окончательного выделения возрастных классов, связанного со сменой пола в разном возрасте, был выполнен ретроспективный анализ, основанный на допущении, что соотношение между младшими классами, установленное в определенный год, сохраняется и в дальнейшем.

#### Список литературы

- Букин С.Д., Юрьев Д.Н. 2006. Динамика состояния запаса и перспективы промысла гребенчатой креветки в Татарском проливе // Известия ТИНРО. Т. 144. С. 112-121.
- Буяновский А.И. 2021. Динамика возрастного состава самок камчатского краба в Баренцевом море / Камчатский краб в Баренцевом море. Изд. 3-е, переработанное и дополненное. М.: Изд-во ВНИРО. С. 262–282.
- Буяновский А.И., Стесько А.В., Горянина С.В., Сидоров Л.К. 2023. Динамика возрастного состава самцов камчатского краба в Баренцевом море // Труды ВНИРО. Т. 191. С. 5-24. DOI: 10.36038/2307-3497-2023-191-5-24.

- Иванов Б.Г. 1978. О возможности разделения одного возрастного класса у ракообразных на две размерные группы на примере *Pandalus borealis* (Crustacea, Decapoda) // Зоологический журнал. Т. 57. № 5. С. 673–681.
- Иванов Б.Г. 2004. Методическое пособие по промыслово-биологическим исследованиям морских креветок (съемки запасов и полевые анализы). М.: изд-во ВНИРО. 110 с.
- Михеев А.А. 2011. Возрастная детерминация размерного состава улова на основе разделения смеси вероятностных распределений // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. № 22. С. 79-92.
- Юрьев Д.Н. 2024. Об особенностях жизненного цикла гребенчатой креветки *Pandalus hypsinotus* (Decapoda, Pandalidae) в Татарском проливе // Известия ТИНРО. Т. 201. С. 547-560. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-134-145.
- Юрьев Д.Н., Жуковская Г.В. 2021. Сезонные изменения биологического состояния и репродуктивный цикл гребенчатой креветки *Pandalus hypsinotus* (Caridea, Pandalidae) в Татарском проливе // Известия ТИНРО. Т. 201. С. 547-560. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-547-560.

## ГОДОВАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ОБЩИХ ЛИПИДОВ В ТЕЛЕ ТЮЛЬКИ *CLUPEONELLA CULTRIVENTRIS* (NORDMANN, 1840) В 2023 ГОДУ

А.В. Войкина<sup>1,2</sup>, Л.А. Бугаев<sup>1</sup>, О.В. Кириченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону,  
Россия

<sup>2</sup>Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

E-mail: voykinaav@azniirkh.vniro.ru

Ключевые слова: *Clupeonella cultriventris*, тюлька, Азовское море, липиды, нагул

Черноморско-азовская тюлька *Clupeonella cultriventris* является представителем семейства мелкосельдевых рыб Clupeidae, обитающей в бассейнах Каспийского, Черного и Азовских морей [Пятинский и др., 2022]. В Азовском море тюлька является важным промысловым объектом, в отдельные годы добыча ее достигала 100–120 тыс. т [Войкина и др., 2022].

Ежегодный заход мнемнопсиса в Азовское море влияет на численность зоопланктона, который в значительной степени выедается гребневиком. В результате биомасса зоопланктона со второй половины лета и до осени часто снижается до очень малых величин, что приводит к значительному ухудшению условий нагула для пелагических рыб [Афанасьев и др., 2020]. Такие условия питания могут отрицательно сказываться на таких физиологических показателях тюльки как жирность. Уровень накопления липидов в теле тюльки в течение жизненного цикла позволяет дать оценку степени благополучия рыб, об уровне их жизнеспособности и репродуктивном потенциале, которые в дальнейшем отражаются на численности и структуре популяции азовской тюльки.

Целью исследования являлось изучение динамики накопления липидов в теле тюльки в течение 2023 г. Материалом для исследования послужили разноразмерные особи азовской тюльки, выловленные во время учетно-траловых съемок и в ходе мониторинга промысла в Азовском море. После отлова рыб разделяли на размерные группы, соответствующие вкладу в репродукцию популяции. Количественное определение липидов проводили согласно утвержденным методикам [ГОСТ 7636-85].

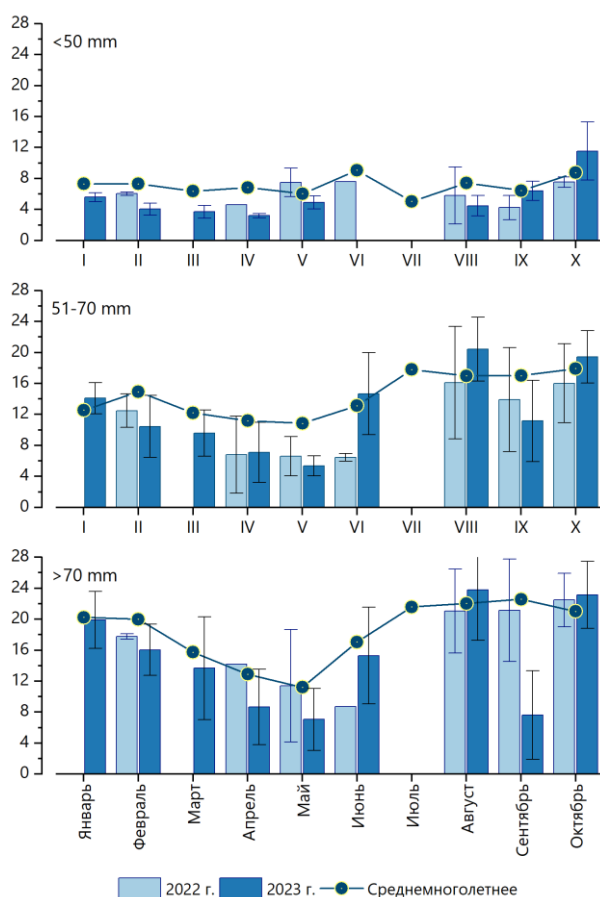
С января по сентябрь для младшевозрастных особей тюльки были отмечены незначительные колебания уровня накопления липидов в теле. В январе среднее содержание липидов в теле рыб размером < 50 мм составляло 5,6 %, к апрелю количество липидов в теле данной возрастной категории рыб уменьшилось до 3,2 % и затем, к



сентябрю, постепенно увеличилось до 6,4 % (рисунок 1). К концу нагульного периода (октябрь) среднее значение содержания липидов в теле тюльки увеличилось в 2 раза и составляло 11,5 %.

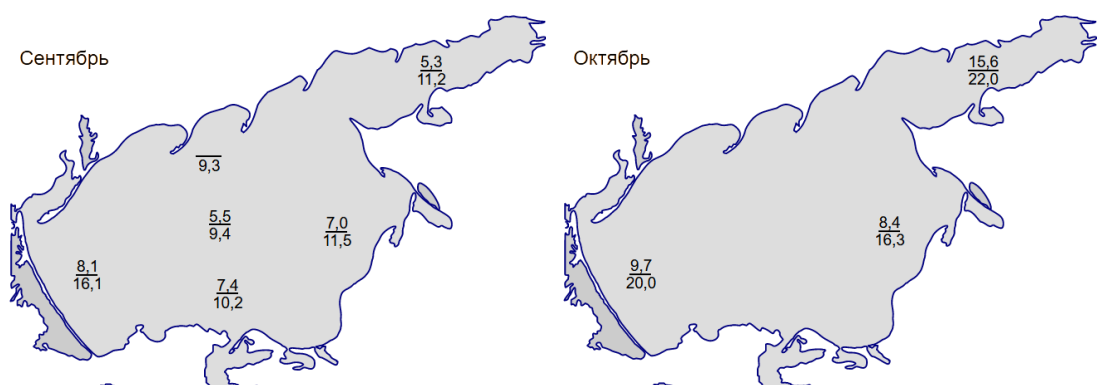
Для основной части популяции тюльки репродуктивного возраста (рыбы от 51 до 70 мм) содержание липидов в теле в течение года имело характерные сезонные колебания: минимальное количество липидов в теле рыб было отмечено в мае; в летние месяцы отмечалось увеличение содержания липидов в теле тюльки, которое достигало максимальных значений к осеннему периоду. В январе среднее содержание липидов в теле рыб данной возрастной группы составляло 14,1 %, в последующие два месяца наблюдалось снижение количества липидов, в среднем на 4 %. В преднерестовый период содержание липидов в теле производителей тюльки составляло 5,4 %. В летний период уровень накопления липидов в теле тюльки повысился в 3-4 раза; значения содержания липидов в июне и августе составляли 14,7 % и 20,4 % соответственно. В сентябре у рыб было отмечено уменьшение содержания липидов в теле на 50 %, а к октябрю уровень накопления липидов вернулся к значениям августа и, в среднем, составлял 19,4 %.

Сезонная динамика накопления липидов для рыб размерной группы > 70 мм была аналогичной как и для основной части популяции тюльки репродуктивного возраста, но значения содержания липидов для большинства месяцев вылова были выше. С января по май наблюдалось снижение количества липидов в теле старшевозрастных особей тюльки с 19,9 % до 7,1 %. К концу летнего периода среднее содержание липидов увеличилось в 3 раза и составляло 23,8 %. В сентябре уровень накопления липидов в теле рыб данной размерной группы опустился до отметки 7,6 %, а в октябре вернулся к значениям августа и составлял 23,2 %.



**Рисунок 1.** Динамика содержания общих липидов (на сырое вещество) в теле тюльки разных размерных групп в течение 2023 г, %

Рассматривая данные по уровню содержания липидов в теле тюлке в конце нагульного периода (сентябрь-октябрь) в зависимости от района вылова рыбы, можно отметить, что наиболее благоприятными районами нагула младшевозрастных особей тюльки оказались западный, южный и восточный районы Азовского моря, а для основной части популяции тюльки репродуктивного возраста только западная часть моря (рисунок 2). Среднее содержание липидов в теле рыб размером < 50 мм, выловленных в благоприятных районах нагула, варьировало от 7,0 до 8,1 %, а из остальных районов моря, в среднем, составляло 5,4 %. Количество липидов в теле рыб размером от 51 до 70 мм, выловленных в западном районе Азовского моря составляло 16,1 %, а для других районов вылова варьировало от 9,4 до 11,5 %. В октябре высокое содержание липидов в теле младшевозрастных особей тюльки было отмечено для рыб, выловленных в Таганрогском заливе, которое составляло 15,6 %. Для старшевозрастной группы рыб размером от 50 до 71 мм низкое значение количества липидов (16,3 %) было отмечено для тюльки, выловленной в восточном районе Азовского моря, а в других районах вылова среднее содержание липидов в теле рыб составляло 20-22 %.



**Рисунок 2.** Содержание общих липидов в теле тюльки (%), выловленной в конце нагульного периода 2023 г. (сентябрь – октябрь) в различных районах Азовского моря (в числителе: значения для рыб размером <50 мм, в знаменателе: значения для рыб размером 51-70 мм)

В целом, можно сделать вывод об удовлетворительном физиологическом состоянии тюльки в течение 2023 г. Все полученные значения содержания липидов в теле рыб находились в пределах референсного коридора для рыб в исследуемый период, и в целом, были на уровне среднееголетних величин, уровень накопления липидов был аналогичен уровню предыдущего года исследования, за исключением двух месяцев: в июне 2023 г. среднее содержание липидов в теле рыб было выше, чем в 2022 г., а в сентябре наоборот.

#### Список литературы

- Афанасьев Д.Ф., Кульба С.Н., Шляхов В.А., Белоусов В.Н. 2020. Корреляционный анализ запасов пелагических рыб и биомассы гребневика *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 в Азовском море // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 3. № 2. С. 17-23.
- Войкина А.В., Бугаев Л.А., Цыбульская М.А., Зыкина В.В., Кириченко О.В. 2022. Сезонные особенности содержания липидов в теле Азовской тюльки (*Clupeonella cultriventris*, Nordmann, 1840) в период 2017-2020 гг. // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана. С. 58-64.
- Пятинский М.М., Надолинский В.П., Жукова С.В., Надолинский Р.В., Бурлачко Д.С., Козоброд И. Д. 2022. Влияние изменения солености Азовского моря на продуктивность запаса и численность личинки тюльки в период 2000–2020 гг. // Вестник Керченского государственного морского технологического университета № 2. С. 54-73.
- ГОСТ 7636-85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕМА СПОРТИВНО-  
ЛЮБИТЕЛЬСКОГО РЫБОЛОВСТВА НА ВОДОЕМАХ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**М.Б. Габбасов<sup>1</sup>, К.Б. Исбеков<sup>2</sup>, А.В. Шуткараев<sup>2</sup>, К.М. Шапен<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*ТОО «Компания системных исследований «Фактор»», Астана, Казахстан*

<sup>2</sup>*ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства РХ», Алматы, Казахстан*

E-mail: mars0@mail.ru

Ключевые слова: спортивно-любительское рыболовство, математическое моделирование, правила рыболовства, орудия лова

Рассматривается задача оценки объема спортивно-любительского рыболовства на водоемах Республики Казахстан. Актуальность задачи продиктована растущим давлением спортивно-любительского рыболовства на общий запас рыбных ресурсов. Она является сложной и недетерминированной задачей, зависящей от многих случайных факторов. Соответственно, для ее решения использованы методы теории вероятностей и математической статистики, в частности байесовской статистики. Объем спортивно-любительского рыболовства зависит от экономики данного региона, от менталитета и привычек населения, нормативно-правовых актов по регулированию рыболовства, от уровня браконьерства населения, от объема промысловых запасов конкретного вида рыбы, от разрешенных орудий лова, от погодных условий и т.д. Математическое моделирование позволяет учитывать влияние приведенных факторов.

*1. Требования к математической модели.*

В соответствии со статьей 34 п. 3 Закона Республики Казахстан «Об охране, воспроизводстве и использовании животного мира», под любительским (спортивным) рыболовством подразумевается «...лов рыбных ресурсов и других водных животных в целях удовлетворения спортивных и эстетических потребностей, проведении спортивных состязаний, а также для личного потребления выловленной продукции, осуществляемой орудиями лова, позволяющий проводить только поштучный лов (непромысловые орудия лова)». Кроме того, данный вид рыболовства регулируется Правилами рыболовства, Ограничениями и запретами на пользование животным миром и перечнем разрешенных к использованию орудий рыболовства. Первая проблема, которая возникает при оценке объема спортивно-любительского лова, заключается в том, что в современных условиях определенная часть любителей-рыболовов используют запрещенные орудия лова. Таким образом, часть объема спортивно-любительского вылова теоретически не относится к

спортивно-любительскому лову, хотя она выловлена любителями. При моделировании спортивно-любительского лова возникает проблема отнесения объема всех выловленных объемов рыб к спортивно-любительскому лову. Соответственно, математическая модель должна учитывать орудия лова, которыми были выловлены соответствующие объемы. Но учитывать большое количество разнообразных орудий лова не имеет большого смысла, так как не добавляет точности расчетам и сильно усложняют математическую модель. Поэтому будем все разрешенные орудия лова делить на три класса: пассивные орудия лова с крючками (первый класс), активные орудия лова с крючками (второй класс) и прочие разрешенные орудия лова (третий класс). Четвертым классом орудий лова будут являться запрещенные орудия лова.

Второй момент, на который необходимо обратить внимание, модель должна оценивать не только количество, но и вес выловленных рыбных ресурсов. Для этого необходимо оценить вес выловленной рыбы, который сильно зависит от вида рыб и от водоема, в котором производится рыбная ловля, ибо вес одного и того же вида рыбы может отличаться от водоема к водоему, в зависимости от достаточности и качества зообентоса и зоопланктона, которыми питаются рыбы. Поэтому модель должна оценивать количество рыб как по каждому водоему отдельно, так и по каждому виду рыб.

Третий момент – временной период, в течение которого необходимо оценить объем вылова. Обязательный период – это календарный год, но интенсивность лова в течение года неравномерна и зависит от вида рыб, выходных и праздничных дней, когда рыболовы-любители массово выезжают на рыбную ловлю, погодные условия, местожительство рыбака (местный или приезжий из других регионов) и др. Поэтому в модели должна быть возможность оценки объема в разные временные периоды.

Любая методика оценки будет опираться на натурные данные, которые имеются в распоряжении исследователя. Идеальным условием было бы для каждого водоема измерять количество рыболовов и количество выловленных рыб одним рыболовом каждый день в течение года. Но такие данные невозможно получить, поэтому модель должна производить оценку объема спортивно-любительского лова при малых данных, даже без всяких данных, на основе качественной информации. Другими словами, модель должна быть обучаемой, когда появляются новые данные, она должна уточнять свою оценку.

И предпоследнее, пятое требование. Модель оценки должна быть применимой на практике, то есть вся математическая сложность должна быть скрыта от пользователей модели. Это означает, что математическая модель должна быть автоматизируемой в виде программного инструмента.

Последнее требование заключается в том, что в модели должны быть заложены механизмы косвенного учета максимального числа случайных факторов, которые могут влиять на оцениваемый параметр. В частности, должна быть возможность учета образа жизни рыб в разные периоды времени (нерестовый период, зимний период и др.). Влияние таких факторов обычно учитываются специальным выбором вида закона распределения рассматриваемой случайной величины.

## 2. Вывод математической модели.

Введем следующие обозначения:

$V_{ij}^k(t)$  – количество рыб  $i$ -го вида, выловленного рыбаками-любителями на  $k$ -ом водоеме в  $t$ -ые сутки, орудиями лова  $j$ -го класса (шт.);

$W_{ij}^k(t)$  – вес рыб  $i$ -го вида, выловленного рыбаками-любителями на  $k$ -ом водоеме в  $t$ -ые сутки, орудиями лова  $j$ -го класса (кг);

$R_j^k(t)$  – среднесуточное количество рыбаков-любителей на  $k$ -ом водоеме в  $t$ -ые сутки, использующих орудия лова  $j$ -го класса (чел.);

$R^k(t)$  – среднесуточное количество рыбаков-любителей на  $k$ -ом водоеме в  $t$ -ые сутки, (чел.);

$S_{ij}^k(t)$  – среднее количество рыб  $i$ -го вида, выловленных одним рыбаком-любителем на  $k$ -ом водоеме в  $t$ -ые сутки, орудиями лова  $j$ -го класса (шт.);

$U_i^k(t)$  – средний вес одной рыбы  $i$ -го вида, на  $k$ -ом водоеме в  $t$ -ые сутки (кг);

$V^k(t_1, t_2)$  – количество рыб, выловленных рыбаками-любителями на  $k$ -ом водоеме в период времени  $[t_1, t_2]$  (шт.);

$W^k(t_1, t_2)$  – вес рыб, выловленных рыбаками-любителями на  $k$ -ом водоеме в период времени  $[t_1, t_2]$  (кг);

$V(t_1, t_2)$  – количество рыб, выловленных рыбаками-любителями в период времени  $[t_1, t_2]$  по всем водоемам Казахстана (шт.);

$W(t_1, t_2)$  – вес рыб, выловленных рыбаками-любителями в период времени  $[t_1, t_2]$  по всем водоемам Казахстана (кг);

Каждая из этих величин является случайной, со своим законом распределения. Тогда математическая модель для определения количества и веса рыб, выловленных на  $k$ -ом водоеме в течение определенного периода времени, имеет следующий вид [1]:

$$V^k(t_1, t_2) = \sum_{t=t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^{i_k} \sum_{j=1}^4 S_{ij}^k(t) R_j^k(t), \quad (1.1)$$

$$W^k(t_1, t_2) = \sum_{t=t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^{i_k} \sum_{j=0}^4 S_{ij}^k(t) R_j^k(t) U_i^k(t), \quad (1.2)$$

$$V(t_1, t_2) = \sum_k V^k(t_1, t_2), \quad (1.3)$$

$$W(t_1, t_2) = \sum_k W^k(t_1, t_2). \quad (1.4)$$

В уравнениях (1.1), (1.2)  $i_k$  – количество видов рыб, обитающих в  $k$ -ом водоеме.

Таким образом, для оценки объема спортивно-любительского лова в конкретном водоеме с номером  $k$  необходимо оценить три группы параметров  $R^k(t)$ ,  $S_{ij}^k(t)$ ,  $U_i^k(t)$ , каждый из которых является случайной величиной, зависящей от множества случайных факторов. Нашей задачей является оценка значений данных параметров. Заметим, что все параметры зависят от индекса  $t$ , который обозначает номер суток во временном интервале  $[t_1, t_2]$ . То есть предполагается, что законы распределения указанных случайных величин разные в разные дни.

### 3. Решение математической модели.

На основе байесовской статистики получено решение следующей упрощенной математической модели:

$$V(t) = T(t)S(t)R(t) + T(t)S_4(t)R_4(t), t = 1, 2, \dots, 8, \quad (1.5)$$

$$W(t) = T(t)S(t)R(t)U(t) + T(t)S_4(t)R_4(t)U(t), t = 1, 2, \dots, 8, \quad (1.6)$$

Для определения  $V(t), W(t)$  из уравнений (1.5), (1.6) необходимо моделировать значения  $R(t)$  и  $S(t)$ , используя байесовский подход. Полученные апостериорные законы распределения  $R(t)$  и  $S(t)$  имеют следующие виды.

Количество рыбаков в течение одних суток на берегу водоема  $R(t)$  является случайной величиной, распределенной по закону Пуассона, и вероятность того, что  $R(t) = r$  определяется по формуле

$$P(R(t) = r) = \frac{\lambda(t)^r e^{-\lambda(t)}}{r!},$$

а  $\lambda(t)$ , в свою очередь, является случайной величиной, распределенной по закону гамма распределения с параметрами  $\Gamma\left(\sum_{i=1}^n r_i(t) + \alpha_0(t), \frac{1}{1+n}\right)$ , где  $r_i(t), i = 1, 2, \dots, n$ , данные наблюдения за количеством рыбаков в соответствующие периоды в зависимости от значения  $t = 1, 2, \dots, 8$ . Математическое ожидание случайной величины  $\lambda(t)$  равно  $\frac{\sum_{i=1}^n r_i + \alpha_0(t)}{1+n}$ , а дисперсия равна  $\frac{\sum_{i=1}^n r_i + \alpha_0(t)}{(1+n)^2}$ . Соответственно, наиболее вероятный закон распределения  $R(t)$  имеет вид

$$P(R(t) = r) = \frac{\left(\frac{\sum_{i=1}^n r_i + \alpha_0(t)}{n+1}\right)^r e^{-\frac{\sum_{i=1}^n r_i + \alpha_0(t)}{n+1}}}{r!},$$

а наиболее вероятное значение  $R(t)$  равно  $\frac{\sum_{i=1}^n r_i + \alpha_0(t)}{n+1}$ .

Количество рыб, пойманных одним рыбаком в течение суток  $S(t)$ , в течение периода времени с номером  $t$ , является дискретной случайной величиной, распределенной по биномиальному закону, и вероятность, того, что  $S(t) = s$  определяется по формуле

$$P(S(t) = s) = C_{S_{max}(t)}^s p(t)^s (1 - p(t))^{S_{max}(t) - s},$$

где  $p(t)$  является случайной величиной, распределенной по закону бета-распределения с параметрами  $beta(\sum_{i=1}^n s_i(t) + 1, nS_{max}(t) - \sum_{i=1}^n s_i(t) + 1)$ , где  $s_i(t), i = 1, 2, \dots, n$ , данные наблюдений в соответствующий период времени  $t$ . Математическое ожидание случайной величины  $p(t)$  равно  $\frac{\sum_{i=1}^n s_i(t) + 1}{nS_{max}(t) + 2}$ , а дисперсия равна  $\frac{(\sum_{i=1}^n s_i(t) + 1)(nS_{max}(t) - \sum_{i=1}^n s_i(t) + 1)}{(nS_{max}(t) + 2)^2 (nS_{max}(t) + 3)}$ .

Соответственно, наиболее вероятный закон распределения имеет вид

$$P(S(t) = s) = C_{S_{max}(t)}^s \left( \frac{\sum_{i=1}^n s_i(t) + 1}{nS_{max}(t) + 2} \right)^s \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n s_i(t) + 1}{nS_{max}(t) + 2} \right)^{S_{max}(t) - s},$$

а наиболее вероятное значение  $S(t)$  равно  $\frac{\sum_{i=1}^n s_i(t) + 1}{nS_{max}(t) + 2} S_{max}(t)$ .

Разработанная математическая модель и ее решение использованы для оценки объема спортивно-любительского рыболовства в водоемах Республики Казахстан.

#### Список литературы

Gabbassov M., Isbekov K., Shutkaraev A., Shapen K. 2022. Modeling the estimate of the volume of recreational fishing based on the Bayesian approach // International scientific journal "Mathematical modeling". Sofia, Bulgaria. P. 92-95.



## ПРОМЫСЛОВО–ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ЕНИСЕЙСКОГО ОСЕТРА

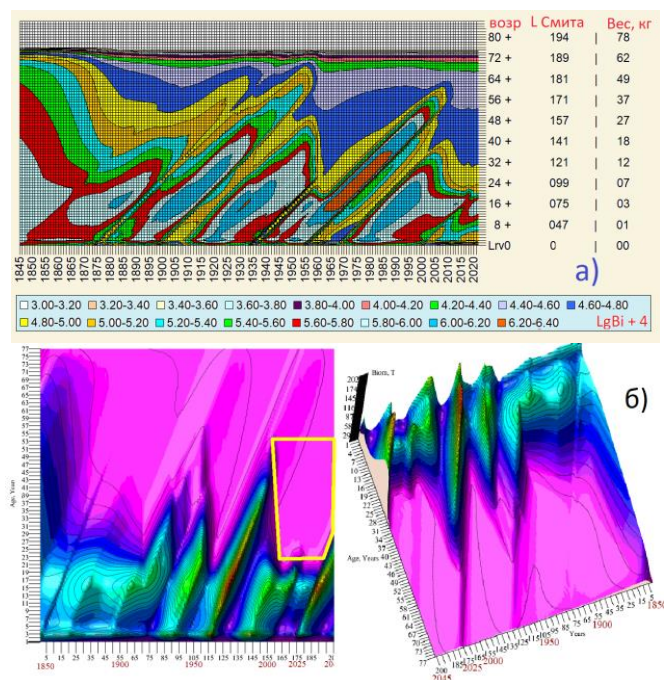
Н.Д. Гайденок, В.А. Заделенов

Красноярский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («НИИЭРВ»), Красноярск, Россия

E-mail: zadelenov@niiv.vniro.ru

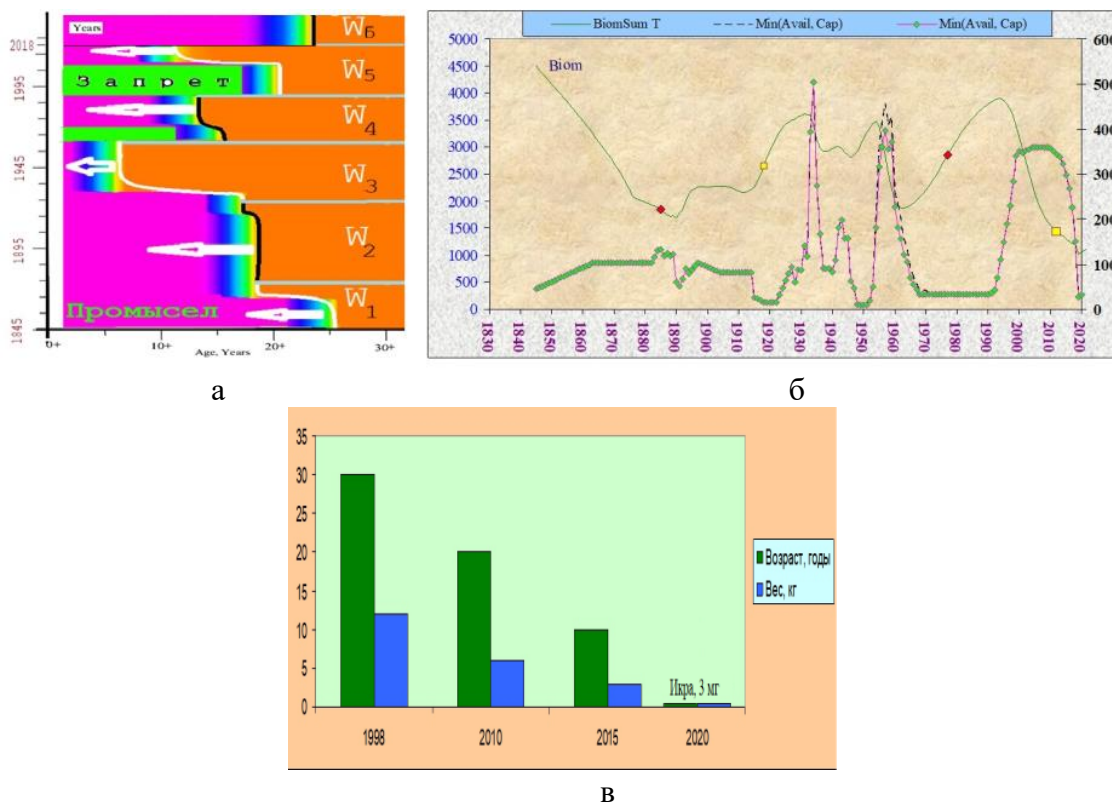
Ключевые слова: возрастная структура популяции, математическое моделирование, бегущие волны селективности промысла, промыслово-экономические циклы, волны Кондратьева

В настоящем исследовании будет рассмотрен прогноз численности енисейского осетра (ЕО) – полупроходного осетра на основе уравнения Ферстнера – Мак-Кендрика с привлечением сведений о промысле с 1845–2020 гг. [Гайденок, Заделенов, 2024] – (рисунок 1). Детальное описание модели и результаты моделирования для периода до 2012 г. приводятся в работе [Гайденок и др., 2016].



**Рисунок 1.** Динамика распределения биомассы ЕО по возрастам (а) и ее трехмерное отображение (б)

На рисунке 2б приведена динамика вылова и общей биомассы ЕО восстановленной по результатам моделирования, возрастная развертка которой в виде динамики возрастного распределения биомассы ЕО представлена на рисунке 1а, выраженная для повышения степени детализации в логарифмическом масштабе. Здесь отчетливо видны волны когорт, в ряде случаев обрезаемые промыслом – 1955–1970 гг., что отражается в последовательности бегущих волн селективности – рисунок 2а.

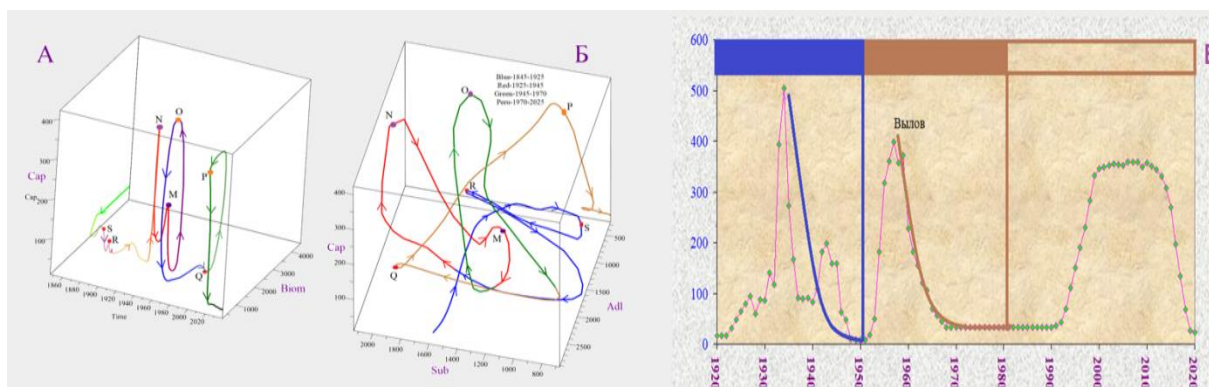


**Рисунок 2.** Динамика селективности промыслов (а), динамика общей биомассы и объема вылова (б), динамика модального веса/возраста потребительского лова (в) ЕО. Белыми стрелками обозначены волны когорт ( $W_j$ )

Из рисунка видно, как радикально омолаживалась возрастная структура на протяжении трех периодов – 1845–1862, 1863–1946 и 1993–2021 гг.

Особенно показательной в плане негативного воздействия на популяцию является волна  $W_3$ , когда выловом изымались особи возраста 2+ - 3+ [Михалев, 1967]. В довоенные годы начали ловить особей «от 1 кг». В годы Великой Отечественной войны из-за нехватки орудий промысла ловили в основном немерного и мелкого осетра, подорвав пополнение. С 1955 г. начали ловить производителей, что отображается провалом на рисунке 1. За событиями второй половины 1950-х гг. последовало два запрета 1970 – 1990 гг. и с 1998 г. по настоящее время. Не многим волне  $W_3$  уступает волна  $W_5$  1993 – 2018 гг. (темп падения возраста/веса показан на рисунке 2в). Но самой опасной с точки зрения состояния популяции является волна  $W_6$  с 2018 г. – здесь полностью повторяется ситуация периода 1930–1965 гг. (рисунке 1а.б).

Динамика популяция ЕО в современный период показана на рисунке 3. Соответствие фаз динамики цикла фазового 3D портрета отмечено одинаковыми символами.



**Рисунок 3.** Фазовый портрет популяционной динамики ЕО (А – в координатах биомасса/уловы) (Б – в координатах пополнение/нерестовый запас); (В - циклы промысловости на ЕО)

При анализе промысла ЕО, не смотря на природоохранные меры, легко заметить следующую особенность после 1920 г. – ряд резких подъемов объемов вылова неполовозрелого ЕО и следующие за ними запреты на несколько десятилетий: 1947 – 1953, 1971 – 1991, 1998 – настоящее время (рисунок 3в). При этом реально, но не полностью действовали и притом частично только первые два запрета, а после 1991 произошел значительный рост любительского и нелегального лова. Последнее свидетельствует об отсутствии системности в регулировании промысла ЕО.

#### Список литературы

- Гайденок Н.Д., Чмаркова Г.М. 2016. Оценка влияния браконьерского и потребительского вылова осетра Енисея методом математического моделирования // Рыбное хозяйство. № 5. С. 41–48.
- Гайденок Н.Д., Заделенов В.А. 2024. Демография таксономия генетика модели енисейского осетра – 20 лет спустя. Часть 1 // Рыбное хозяйство. № 3. С. 37-41.
- Михалев Ю.В. 1967. К биологии и регулированию промысла проходного осетра р. Енисея // Труды Крас. отд. СибНИИРХ. Т. 9. С. 348-361.

## ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЭКОСИСТЕМЕ НИЖНЕГО ДОНА В 2024 Г.

Л.Г. Горгола, Е.А. Туркевич, А.А. Петренко, Ю.В. Косенко

*Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону,  
Россия*

E-mail: lilia.gorgola@yandex.ru

Ключевые слова: тяжелые металлы, донные отложения, гидробионты, река Дон

Река Дон является важнейшим водным объектом в южном регионе, имея огромное социально-экономическое значение. Однако в современный период акватория Нижнего Дона подвергается значительной антропогенной нагрузке, оказывающей негативное влияние на ее экологическое состояние. Сбросы сточных вод с промышленных, сельскохозяйственных и хозяйственно-бытовых объектов являются одной из основных причин загрязнения реки тяжелыми металлами, которые могут нанести серьезный вред водным биоресурсам [Никаноров и др., 2011]. В связи с вышесказанным, целью работы явилась оценка содержания тяжелых металлов в экосистеме Нижнего Дона в 2024 г.

### *Материалы и методы*

Пробы воды и донных отложений были отобраны в весенне-летний и летне-осенний периоды 2024 г. в нижнем течении р. Дон на 6 станциях: устье р. Сал; ст. Манычская; устье р. Аксай; устье р. Темерник; очистные сооружения городской канализации г. Ростова-на-Дону; гирло Мокрая Каланча. Пробы воды отбирались с поверхностного горизонта (глубина 0,5 м) согласно ГОСТ Р 59024-2020, донных отложений – согласно ГОСТ 17.1.5.01-80. Оценивание содержания тяжелых металлов (Pb, As, Cd) в рыбе проводилось в мышцах, печени и гонадах у самцов и самок возрастного периода 1-3 года, относящихся к таким видам как: рыбец, сельдь, окунь. Отбор проб водных биоресурсов проводился согласно ГОСТ 31339-2006.

Содержание тяжелых металлов и мышьяка определялось в воде и гидробионтах на двух приборах: атомно-абсорбционном спектрометре АА 860 (Zn, Cr, Pb, Cd) с беспламенным атомизатором «FLA-100» и атомно-абсорбционном спектрометре МГА 915 МД (Ni, Cu, As) с помощью атомно-абсорбционного метода. Определение тяжелых металлов в донных отложениях проводилось на спектроскане МАКС-GVM рентгенофлуоресцентным методом. Перед началом измерений построены калибровочные графики по всем показателям с использованием стандартных образцов [Практическое руководство..., 2018].

### Пробоподготовка

Пробу воды консервируют концентрированной азотной кислотой, тем самым закрепляя атомы определяемых элементов в пробе. Подготовка проб донных отложений к анализу на содержание тяжелых металлов начинается с отбора и сушки образца. Сушка производится при температуре 105 °С в сушильном шкафу. Затем проба измельчается вручную в ступке и далее при помощи вибромельницы до состояния порошка (размер частиц не более 90 мкм). Дальнейшую подготовку проб донных отложений и гидробионтов (после измельчения, без высушивания) проводят двумя методами: «мокрого» озоления концентрированной азотной кислотой в пробирках с обратным воздушным холодильником и с использованием микроволновой системы типа «Меркурий».

### Атомно-абсорбционная спектрометрия

Атомно-абсорбционная спектрометрия – это распространенный инструментальный метод количественного элементного анализа по атомным спектрам поглощения (абсорбции) для определения содержания металлов в растворах. Пробу воды или гидробионтов вводят в графитовую трубку, где она под воздействием высокотемпературного пламени (смесь воздух-ацетилен или закись азота-ацетилен) превращается в пар. Сильный нагрев пламени возбуждает электроны в атомах анализируемого вещества, переводя их на более высокие энергетические уровни. На следующем этапе происходит поглощение. Одновременно лампа с полым катодом, содержащая тот же металл, что и анализируемый, излучает свет определенной длины волны, которая соответствует разнице энергий между возбужденным и основным состоянием атомов анализируемого вещества. В данном исследовании использовались следующие длины волн: Zn – 213,9 нм; Cr – 357,9 нм; Ni – 232,0 нм; Cu – 324,7 нм; Pb – 283,3 нм; As – 193,7 нм; Cd – 228,8 нм. Когда излучаемый свет проходит через распыленный образец, некоторые фотоны поглощаются возбужденными атомами анализируемого вещества, заставляя их возвращаться в основное состояние. Это поглощение уменьшает интенсивность света на определенной длине волны. На следующем этапе происходит измерение и анализ. Интенсивность света до и после прохождения через образец измеряется детектором.

### Рентгенофлуоресцентная спектроскопия

Содержание Fe, Mn, Zn, Cr, Ni определялось методом рентгенофлуоресцентного анализа согласно методике, разработанной в Азово-Черноморском филиале ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») и утвержденной для мониторинговых природоохранных

исследований на федеральном уровне с использованием рентгеновского аппарата для спектрального анализа «СПЕКТРОСКАН МАКС-GVM» (Россия).

Спектрометр работает на принципе взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Когда интенсивный рентгеновский луч падает на образец, он возбуждается и испускает рентгеновские лучи в спектре длин волн, характерном для типов атомов, присутствующих в исследуемой пробе. Преимущество данного метода состоит в быстроте и доступности анализа.

### *Результаты и обсуждение*

Концентрация цинка в пробах воды варьировала от <2,0 до 10 мкг/л. Наиболее высокое содержание данного токсиканта (без превышения ПДК<sub>р/х</sub>) было отмечено в районе очистных сооружений г. Ростова-на-Дону. В большинстве исследуемых проб концентрация хрома была ниже предела обнаружения по методике измерений (<1 мкг/л). Концентрация никеля в весенне-летний период в пробах воды, отобранных в устье р. Сал, очистных сооружениях г. Ростова-на-Дону и гирле Мокрая Каланча составила 3,0; 2,5 и 2,3 мкг/л, соответственно. В осенне-летний период содержание никеля в воде варьировало от 2,2 до 4,0 мкг/л. За оба сезона наблюдений не обнаружено превышений ПДК<sub>р/х</sub> по данному токсиканту. Концентрация свинца в воде на всех точках забора была невысокой и не превышала ПДК<sub>р/х</sub>.

Концентрация меди в р. Дон превысила ПДК<sub>р/х</sub> в 2 раза в районе устья р. Темерник и почти в 3 раза в районе очистных сооружений. Согласно литературным данным, установлены превышения ПДК<sub>р/х</sub> меди в воде в устье р. Темерник еще в 2000 г. [Кленкин и др., 2007]. В исследованиях других авторов [Предеина и др., 2022] в нижнем течении Дона наблюдались превышения ПДК<sub>р/х</sub> по меди с наиболее высокой концентрацией в районе очистных сооружений г. Ростова-на-Дону. В работе Г.Г. Матишова и др. отражены результаты по содержанию меди в пробах воды р. Дон в ноябре 2012 г. с превышением ПДК<sub>р/х</sub> на акватории нижнего течения реки [Матишов и др., 2016].

В донных отложениях концентрации никеля и свинца на всех исследуемых станциях были ниже предела определения по методике измерений – <0,8 и <0,1 мг/кг, соответственно. Максимальные значения кадмия и хрома в донных осадках составили 0,29 мг/кг и 88 мг/кг, соответственно. Концентрация мышьяка в донных отложениях варьировала в относительно узком диапазоне 3,0-7,0 мг/кг. В целом, концентрации тяжелых металлов не превышали среднемноголетних уровней для данного типа донных осадков р. Дон.

В тканях гидробионтов только в пробах сельди был обнаружен мышьяк в диапазоне концентраций от 0,17 до 0,49 мг/кг сырой массы с максимальным содержанием

в мышцах. Концентрация кадмия зафиксирована в печени и гонадах в пробах сельди: 0,060 и 0,023 мг/кг сырой массы, соответственно. Свинец был найден во всех типах тканей сельди, диапазон составил от 0,12 до 0,44 мг/кг. У всех исследованных видов рыб содержание кадмия было наибольшим в тканях печени. В печени и гонадах рыба содержание свинца зафиксировано на уровне 0,13 и 0,10 мг/кг сырой массы, соответственно. Установлено, что уровни накопления нормируемых в водных биоресурсах тяжелых металлов не превышали нормативных требований согласно ТР ТС 021/2011 Технического регламента Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (с изменениями на 8 августа 2019 г.).

Таким образом, на акватории р. Дон локальное превышение ПДК<sub>р/х</sub> меди в воде в 2-3 раза не является критическим для жизнедеятельности водных биоресурсов и обусловлено, высоковероятно, как хроническим загрязнением акватории, так и повышенной трофностью водоема [Косенко и др., 2018]. В донных отложениях содержание тяжелых металлов соответствовало среднемноголетнему уровню. Все обследованные виды водных биоресурсов, выловленные на акватории Нижнего Дона, по содержанию в мышцах тяжелых металлов соответствуют нормативным требованиям.

#### Список литературы

- Кленкин А.А., Корпакова И.Г., Павленко Л.Ф., Темердашев З.А. 2007. Экосистема Азовского моря: антропогенное загрязнение. Краснодар: Изд-во АзНИИРХ. 324 с.
- Косенко Ю.В., Баскакова Т.Е., Картамышева Т.Б. 2018. Роль стока реки Дон в формировании продуктивности Таганрогского залива // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 1(3-4). С. 32-39.
- Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Харьковский В.М., Старцев А.В., Булышева Н.И., Семин В.В., Соьер В.Г., Кренёва К.В., Глущенко Г.Ю., Свистунова Л.Д. 2016. Особенности водной экосистемы Нижнего Дона в позднесенний период // Водные ресурсы. Т. 43. № 6. С. 620-632. DOI: 10.7868/S0321059616060043.
- Никаноров А.М., Хоружая Т.А., Миронова Т.В. 2011. Анализ влияния мегаполисов на качество воды поверхностных водных объектов по эколого-токсикологическим показателям // Водные ресурсы. Т. 38. № 5. С. 577-584.
- Практическое руководство по химическому анализу элементов водных экосистем. 2018. Приоритетные токсиканты в воде, донных отложениях, гидробионтах. Под ред. Т.О. Барабашина. Ростов-на-Дону: изд-во «Мини Тайп». 436 с.
- Предеина Л.М., Андреев Ю.А., Котова В.Е. 2022. О результатах комплексных гидрохимических и токсикологических наблюдений в нижнем течении р. Дон //

Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Т. 1. № 7. С. 125–131.



**ОЦЕНКА ЧИСЛЕННОСТИ КОСАТКИ (*ORCINUS ORCA*, LINNAEUS, 1758)  
В ОХОТСКОМ МОРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СУДОВЫХ УЧЁТОВ 2015-2023 гг.**

**П.С. Гущеров, М.Д. Кенин, И.А. Набережных, П.А. Тюпелев**

*Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия*

E-mail: pavel.gushcherov@tinro.vniro.ru

Ключевые слова: косатка, численность, Охотское море

По ряду причин специализированных рейсов по учету китообразных в районах к северу от 57° с.ш. в Охотском море не выполняли с 1990-х гг., поэтому данные для оценки запасов устарели. В соответствии с решениями сессий российско-японской комиссии по рыболовству, в 2015-2023 гг. стартовала совместная российско-японская программа исследований китообразных в Охотском море. Собранные в рейсах материалы частично опубликованы ранее [Гущеров и др., 2022].

Судовые визуальные учёты китообразных проводились по методике Научного комитета Международной китобойной комиссии (IWC – International Whaling Commission) для дальнейшего использования данных в целях модифицированной процедуры управления запасами [IWC, 2005]. В основе оценки запаса китов использованы методы по сбору и анализу данных для оценки численности и распределения китообразных [IWC, 2005; Зорин, 1990; Бородин, 1996; Best, Butterworth, 1980].

Расчёт минимальной численности проводили по формуле:

$$N = \frac{nA}{L2y},$$

где  $n$  – число китов, встреченных в поисковых режимах,  $L$  – фактическая длина трансект,  $y$  – средняя ширина учетной полосы с каждого борта,  $A$  – площадь обследуемой акватории.

Длину трансект ( $L$ ) с наблюдениями по методике МКК определяли по фактическим данным, полученными при проведении судовых исследований. Ширина осмотренной акватории равнялась по 3 морские мили с каждого борта перпендикулярно курсу судна. Площадь акватории выполненных галсов с наблюдениями (осмотренная площадь на трансектах) равна  $L2y$ . Площадь обследованных акваторий за каждый год определялась по крайним координатам точек наблюдений. Площадь Охотского моря, указанная в лоции, составляет 1 583 000 кв. км.

По числу фактически зарегистрированных животных осуществлялся расчет их плотности на 1 кв. км для каждого района в год исследований по формуле:

$$D = \frac{n}{L2y}$$

Также применялся общепринятый поправочный коэффициент на животных ( $\times 2$ ), которые в момент учета могли находиться глубоко под водой [Lowry et al., 2008].

Всего в 2015-2023 гг. в Охотском море проведено 9 специализированных рейсов по учёту китообразных. Подходя к оценке численности косатки, безусловно, нужно учитывать районы её скопления, пройденную дистанцию на трансектах с наблюдением и частоту встречаемости в разные годы. При этом основным показателем величины запаса в районе является количество встреченных особей на км<sup>2</sup>. Поэтому численность косатки, рассчитывали только по данным, полученным при прохождении судна по трансектам в районе работ.

Необходимо отметить, что встречаемость косаток в одном и том же районе отличается по годам, что, вероятно, связано с изменчивостью кормовой базы. Как отображено в приведенной ниже таблице, например, в 2017 году в восточной части Охотского моря учтено 45 косаток, при осмотренной площади на трансектах – 176000,00 км<sup>2</sup> и плотности встреч на 1 кв. км, равной 0,00268; при этом, их расчётная численность составила 4 249 голов. В 2023 году в том же районе встречено 18 косаток, при осмотренной площади на трансектах – 22045,65 км<sup>2</sup> и рассчитанной плотности встреч на 1 кв. км равной 0,00082, где их расчётная численность составила 1 292 голов. Исходя из данного факта, следует учитывать, что приводимая ниже численность косатки в Охотском море не отображает действительное состояние запаса, а является прогнозируемой величиной.

За девять лет российско-японских визуальных судовых учётов по китообразным, непосредственными наблюдениями на трансектах охвачено 13,57 % от общей площади Охотского моря. За указанный период общая осмотренная площадь на трансектах составила 214774,90 км<sup>2</sup>, общее количество встреченных косаток – 166 особей, при плотности 0,00077 особи на 1 км<sup>2</sup>. Исходя из полученных данных, минимальная расчетная численность косаток в Охотском море составила 1 224 особи (таблица 1).

**Таблица 1.** Оценка численности косаток в Охотском море по результатам учетных рейсов в 2015–2023 гг.

Годы	Длины трансект, км (L)	Осмотренная площадь на трансектах, км <sup>2</sup> (L2y)	Встречено косаток, голов	Встреч косаток на 1 км <sup>2</sup>	Пройдено с наблюдениями на трансектах от Охотского моря, %	Численность косаток в Охотском море
2015	1937,74	21532,17	16	0,00074	1,4	1176
2016	1976,08	21958,20	20	0,00091	1,4	1442
2017	1508,82	16766,06	45	0,00268	1,1	4249
2018	2498,90	27767,78	31	0,00112	1,8	1767
2019	2172,93	24145,60	4	0,00017	1,5	262
2020	2180,32	24227,72	22	0,00091	1,5	1437
2021	2406,22	26737,92	4	0,00015	1,7	237
2022	2663,23	29593,81	6	0,00020	1,9	321
2023	1983,95	22045,65	18	0,00082	1,4	1292
2015- 2023	19328,19	214774,90	166	0,00077	13,6	1224

По последним опубликованным литературным данным [Владимиров, 1994, 2000, 2001] численность косатки в Охотском море составляет 2,5-3,0 тысячи. Если применить поправочный коэффициент – ( $\times 2$ ) к нашим данным, то численность косатки в 2023 г. составит 2,4 тысячи особей. Таким образом, можно считать, что состояние запаса косатки Охотского моря стабильно и находится на оптимальном уровне.

#### Список литературы

- Бородин Р.Г. 1996. Киты: Меры регулирования промысла и состояния запасов. М.: Изд-во «ВНИРО», 208 с.
- Владимиров В.Л. 1994. Современное распределение и численность китов в дальневосточных морях // Биология моря. Т. 20. № 1. С. 3-13.
- Владимиров В.Л. 2000. Современное распределение, численность и популяционная структура китов дальневосточных морей / Материалы советского китобойного промысла (1949-1979) Soviet whaling data (1949-1979) / Отв. ред. А.В. Яблоков, В.А. Земский. М.: Центр экол. политики России. С. 104-122.
- Владимиров В.А. 2001. К вопросу о современном состоянии популяций китообразных в Охотском море / Результаты исследований морских млекопитающих Дальнего Востока в 1991-2000 гг.: материалы к XVI совещанию рабочей группы по проекту 02.05-61 «Морские млекопитающие» Российско-американского соглашения о сотрудничестве в области охраны окружающей среды (Санта Круз, США, 23-26 апреля 2001 г.). М.: ВНИРО. С. 43-50.

- Гущеров П.С., Набережных И.А., Тюпелев П.А., Кенин М.Д., Миясита Т. 2022. Встречаемость, поведение и фотоидентификация китообразных в водах Охотского моря в 2015–2021 гг. Млекопитающие в меняющемся мире: актуальные проблемы териологии (XI Съезд Териологического общества при РАН) / Материалы конференции с международным участием, 14-18 марта 2022 г. Москва, ИПЭЭ РАН.: Товарищество научных изданий КМК. С. 91.
- Зорин А.В. 1990. Методические рекомендации по применению линейно-трансектного метода для учета китообразных и сбора полевого материала по их биологии (по материалам научного комитета МКК). М.: изд-во «ВНИРО». 31 с.
- Best P.B., Butterworth D.S. 1980. Report of Southern Hemisphere Minke Whale Assessment Cruise, 1978/79 // Rep. Int. Whal. Commn 30. P. 257-283.
- IWC. 2005. Report of the Scientific Committee. Annex D. Report of the sub-committee on the Revised Management Procedure. Appendix 3. Requirements and Guidelines for Conducting Surveys and Analysing Data within the Revised Management Scheme // J. Cetacean Res. Manage. (Suppl.). V. 7. P. 92-101.
- Lowry L.F., Frost K.J., Zerbini A., DeMaster D., Reeves R.R. 2008. Trend in aerial counts of beluga or white whales (*Delphinapterus leucas*) in Bristol Bay, Alaska, 1993-2005 // Journal of Cetacean Research and Management. V. 10. P. 201-207.

**ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЕВРОПЕЙСКОГО АНЧОУСА  
(*ENGRAULIS ENCRASICOLUS*, 1758), ЗИМУЮЩЕГО В ВОДАХ АБХАЗИИ,  
В ПЕРИОД ИССЛЕДОВАНИЙ 2011-2023 ГГ.**

**Р. С. Дбар<sup>1,2</sup>, П. Д. Гамахария<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт Экологии Академии наук Абхазии (ИЭ АНА), Сухум, Абхазия*

<sup>2</sup>*Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону,  
Россия*

E-mail: pgamakhariya@mail.ru

Ключевые слова: европейский анчоус, внутривидовая структура, размерно-возрастная структура, цикличность изменения запаса, динамика промысла, Абхазия

Европейского анчоуса, или хамсу *Engraulis encrasicolus*, L. 1758 можно отнести к числу наиболее массовых видов рыб в Азово-Черноморском рыбохозяйственном бассейне. Поскольку данный вид обладает большой численностью, он играет исключительно важную роль в экосистеме моря. При этом является промежуточным звеном между зоопланктоном и представителями высшего трофического уровня – крупными хищными рыбами, дельфинами и птицами. Кроме этого, хамса – важный промысловый объект, который подвергается активной эксплуатации всеми причерноморскими странами, устойчиво занимающий первое место по общему объему вылова по данным ряда авторов [Дбар, Гамахария, 2020; Зуев, 2001; Зуев, 2010; Зуев, Мурзин, 2009].

В абхазской акватории Чёрного моря ежегодный улов хамсы меняется в среднем от 10 000 до 60 000 тонн, в котором средняя доля азовской хамсы за весь исследуемый период составила менее 5 % по биомассе.

Регулирование промысла хамсы в абхазской акватории Чёрного моря является определяющим для формирования структуры популяции, численности и биомассы будущих поколений, поскольку именно абхазская акватория является терминальной точкой зимовки. Условие стабильного пополнения запаса – строгое соблюдение правил рыболовства и рассчитанного общего допустимого улова для каждого промыслового сезона.

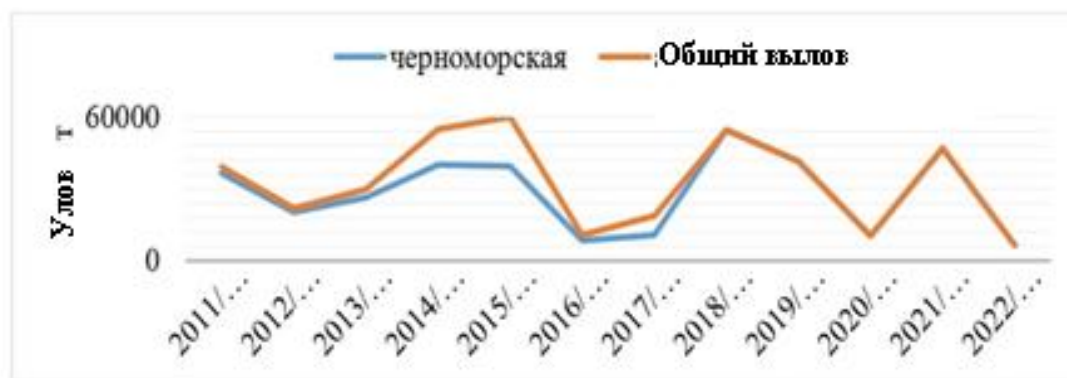
Целью работы был анализ динамики промысла и размерно-возрастной структуры уловов черноморской и азовской хамсы в водах Республики Абхазия, оценка ее современного состояния субпопуляций на основе проводимых исследований.

Материал получен из уловов промысловых судов. Лов производился с помощью кошелькового невода. Были проведены комплексные исследования зимующей в водах Абхазии хамсы за период 2011/2023 промысловые сезоны. Количество проанализированных особей составляет 29 700 особей.

Отбор проб и их камеральную обработку проводили в соответствии с общепринятыми в практике ихтиологических исследований методиками [Правдин, 1966]. Измерения рыб производились с точностью до 0,1 см. Выполнялись промеры стандартной длины F (расстояние от переднего конца рыла до конца позвоночника), определялся возраст рыб.

Во всех расчетах использовали только стандартную длину тела. Вес определяли на электронных весах с точностью до десятых долей грамм. Для определения индивидуального возраста хамсы использовали отолиты, пол определялся по стандартной методике.

По данным Института Экологии (рисунок 1) за рассматриваемый период всего было добыто 395101,8 тыс. тонн хамсы, из которой черноморской 341371,3 тыс. тонн, что составляет 86% от общего улова и 53730,5 азовской хамсы, что составляет 14%. Наиболее высокопродуктивным для азовской хамсы были 2014/2015 и 2015/2016 промысловые сезоны, когда в совокупности по двум промысловым сезонам было добыто 35438,9 тыс. тонн, 2018/2019, 2019/2020 промысловые сезоны в улове не была обнаружена азовская хамса. В остальные годы улов азовской хамсы по отношению к черноморской был незначительным.

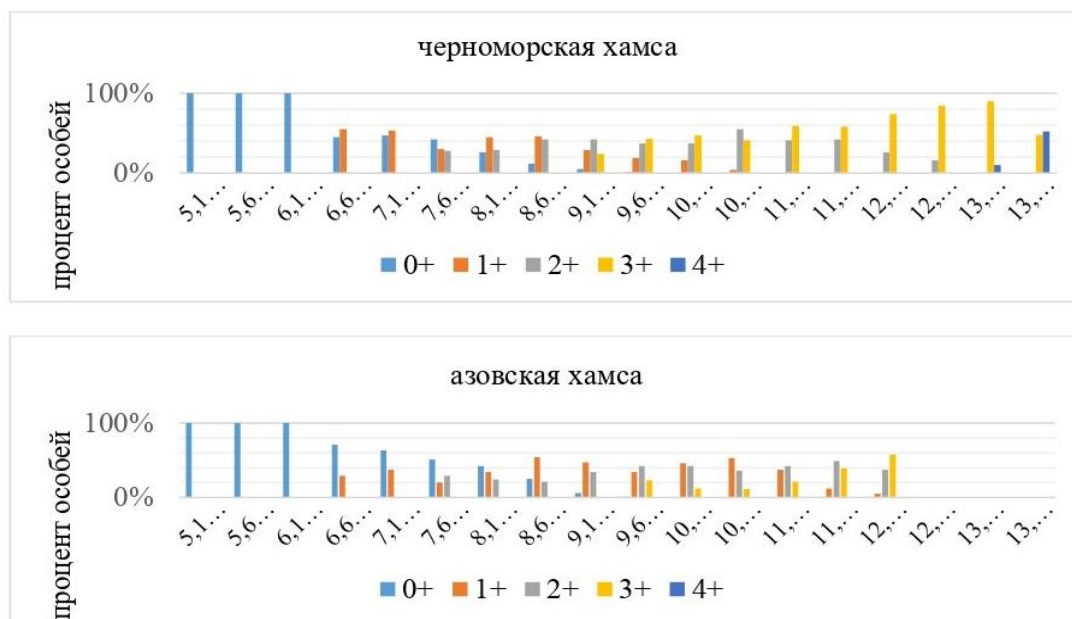


**Рисунок 1.** Уловы азово-черноморской хамсы в водах Абхазии за изучаемый период в тоннах

Уменьшение численности зимующей азовской хамсы в акватории Абхазии связано с общим уменьшением ее численности в Азово-Черноморском рыбохозяйственном бассейне [Стафикопуло, Негода, 2021], а также увеличением среднегодовой температуры в

водах рассматриваемого бассейна [Чесалин, 2001], в связи с чем температура акватории Российской Федерации в зимние месяцы является комфортной для зимовки.

По данным размерно-возрастной структуры (рисунок 2) было выявлено, что у черноморской хамсы, как и у азовской до длины 6,5 см присутствуют только сеголетки, в остальных возрастных группах при увеличении длины тела увеличивается и численность старших возрастных групп. Максимальная длина тела у черноморской хамсы 13,9 см, у азовской – 12,5 см, для черноморской хамсы это рыбы возрастом 4+, для азовской – рыбы возрастом 3+.



**Рисунок 2.** Размерно-возрастная структура азово-черноморской хамсы в рассматриваемый период.

Во все рассматриваемые годы доминировали сеголетки и двухлетки, наименьшая численность характерна для четырехлеток. У черноморской хамсы максимальное количество возрастных групп (4) приходится на длины 9,1-10 см, а у азовской на 9,6-10 см. В то же время, начиная с 11 см размерно-возрастная структура упрощена и представлена двумя возрастами, в то время как в азовской – тремя.

#### Список литературы

Дбар Р.С., Гамахария П.Д. 2020. Многолетняя динамика уловов хамсы *Engraulis encrasicolus* Linnaeus, 1758, зимующей у берегов Абхазии / Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса. Материалы VIII научно-практической конференции молодых ученых с международным участием. С. 41-43.

- Зуев Г.В. 2001. Популяционный подход к изучению некоторых промысловых видов черноморских рыб как основа сохранения и рационального использования их ресурсов / Г.В. Зуев, К.Д. Гуцал, А.Р. Болтачев, М.В. Чесалин, Е.Б. Мельникова // Экология моря. № 57. С. 44–50.
- Зуев Г.В., Гуцал Д.К., Мельникова Е.Б., Бондарев В.А., Мурзин Ю.Л. 2010. Рыбные ресурсы Черного моря (состав, состояние запасов и эксплуатация) // Гидробиологический журнал. Т. 46. № 4. С. 16–27.
- Зуев Г.В., Мурзин Ю.Л. 2009. Применение графического метода вероятностной бумаги для изучения внутривидовой неоднородности азово-черноморской хамсы / Г.В. Зуев, Ю.Л. Мурзин // Современные проблемы теоретической и прикладной ихтиологии: материалы II Международной ихтиологической научно-практической конференции (Севастополь, 16–19 сентября 2009 г.). С. 57–59.
- Еремеев В.Н., Жуков А.Н., Лебедев Н.Е., Сизов А.А. 2007. Пространственная анизотропия межгодовой изменчивости температуры воды Черного моря (по спутниковым данным) // Исследования Земли из Космоса. № 5. С. 3-10.
- Стафикопуло А.М., Негода С.А. 2021. Динамика изменения показателей судового промысла хамсы в Азово-Черноморском бассейне в современный период // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 4. № 1. С. 50-70.
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром. 375 с.
- Чесалин М.В., Зуев Г.В., Царин С.А. 2001. Биологическое состояние хамсы (*Engraulis encrasicolus* L.) на юго-западном шельфе Крыма в зимний период 2000-2001 гг. // Экология моря. № 56. С. 13–17.



## СОСТОЯНИЕ ЗАПАСА БАЙКАЛЬСКОГО ОМУЛЯ В ПЕРИОД МОРАТОРИЯ НА ВЫЛОВ

**Н. Г. Западаева**

*ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия*

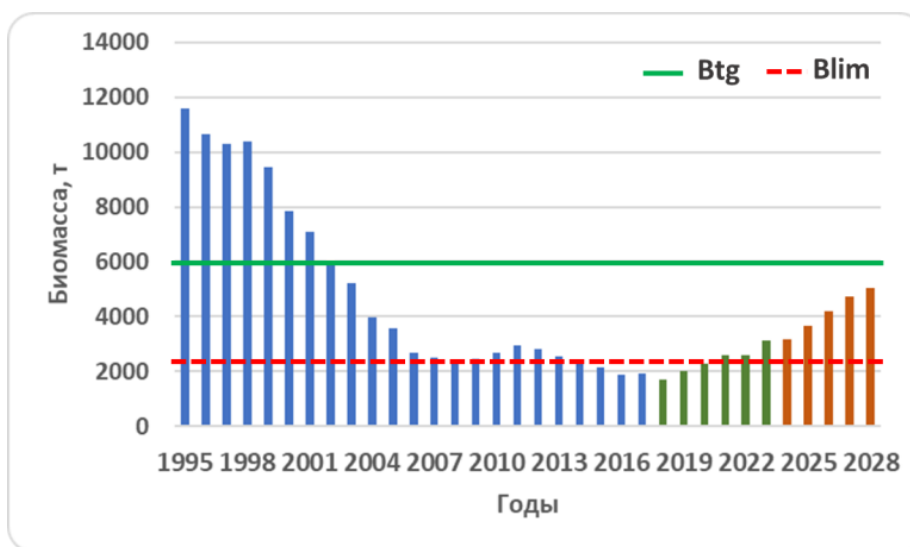
E-mail: ng\_petukhova@mail.ru

Ключевые слова: байкальский омуль, озеро Байкал, оценка запасов, когортные модели

В условиях моратория на вылов особенно важно получение достоверной информации о состоянии запасов водных биоресурсов. За время вылова байкальского омуля наблюдались как вспышки численности, позволяющие рыбакам заготавливать продукцию знаменитыми омулёвыми бочками [Базов, 2020], так и депрессивные состояния запаса, стимулирующие введение запретов на его вылов. Так, с 1 октября 2017 г. по настоящее время сохраняется мораторий на промышленный вылов байкальского омуля в озере и впадающих в него реках.

Главной особенностью оценки запаса байкальского омуля является его внутривидовая структура. В период ведения промысла количественный анализ состояния запаса традиционно выполнялся в соответствии с представлением о наличии трёх морфо-экологических групп (МЭГ) [Соколов, Петерфельд, 2011; Соколов и др., 2018]. Ранее в исследованиях прибрежной и придонно-глубоководной МЭГ в программном комплексе (ПК) «Синтез» [Методические рекомендации..., 2018] были получены оценки их состояний в промысловый период с 1995 по 2017 гг. [Петухова, 2019; Петухова и др., 2020]. В настоящей работе также в ПК «Синтез» был проведён количественный анализ пелагической МЭГ за тот же период. Кроме того, получены оценки состояния запаса байкальского омуля в период моратория на вылов, то есть с 2018 по 2023 гг. Имеющееся информационное обеспечение позволило применить когортную модель, несмотря на отсутствие основного источника информации – промыслового. В качестве данных по уловам использовалась обобщённая по трём МЭГ информация по уловам в целях традиционного рыболовства, искусственного воспроизводства, научных исследований, а также экспертные оценки незаконного, несообщаемого и нерегулируемого (ННН) промысла. Также в расчётах использовались средние по трём МЭГ оценки биологических параметров и естественной смертности. Кроме того, в работе построена зависимость «запас–пополнение» [Ricker, 1958], на основании которой были рассчитаны целевой ( $B_{tg}$ ) и граничный ( $B_{lim}$ ) ориентиры.

Выполненные расчёты показали, что в крайние годы промысла биомасса нерестового запаса байкальского омуля находилась ниже граничного ориентира, то есть в биологически опасной зоне. В первый год запрета на вылов биомасса продолжала снижаться, после чего в 2019 г. началось её медленное восстановление и в 2020 г. она достигла  $V_{lim}$ . Таким образом, с начала действия моратория по настоящее время биомасса нерестового запаса увеличилась почти в 2 раза (с 1700 т в 2018 г. до 3150 т в 2024 г.). Выполненный прогноз показал, что величина запаса в 2024 г. хоть и выше  $V_{lim}$ , но незначительно, и в ближайшие годы не достигнет целевого ориентира  $V_{tg}$  (рисунок 1), на уровне которого находится оптимальное состояние системы запас-промысел.



**Рисунок 1.** Динамика нерестового запаса байкальского омуля и биологические ориентиры (синим цветом обозначен период промысла, зелёным – период моратория, оранжевым – прогноз;  $V_{tg}$  – целевой ориентир,  $V_{lim}$  – граничный ориентир)

Стоит отметить, что выполненные расчеты имеют ряд допущений, и прогноз носит оптимистичный характер. Дальнейшие исследования, в том числе гидроакустические и траловые съёмки, а так же анализ деятельности рыбоводных заводов позволят уточнить реальный сценарий восстановления запаса байкальского омуля.

Автор выражает благодарность специалистам «БайкалНИРО» за предоставленные данные.

#### Список литературы

Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. 2018. 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. М.: Изд-во ВНИРО. 312 с.

- Базов А.В. 2020. Очерки истории байкальских рыбных промыслов. М.: Изд-во ВНИРО. 292 с.
- Петухова Н.Г. 2019. Оценка состояния прибрежной морфо-экологической группы байкальского омуля / Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса: материалы VII научно-практической конференции молодых учёных с международным участием. С. 389-393
- Петухова Н.Г. Бобырев А.Е., Соколов А.В. 2020. Результаты анализа состояния придонно-глубоководной морфо-экологической группы байкальского омуля (*Coregonus migratorius*) // Вопросы рыболовства. Т. 21. № 3. С. 283-294.
- Соколов А.В., Петерфельд В.А. 2011. Методические аспекты рыбохозяйственного мониторинга состояния запасов омуля озера Байкал // Известия КГУ. Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ». № 22. С. 182-189.
- Соколов А.В., Петерфельд В.А., Васильев Д.А. 2018. Оценка современного состояния байкальского омуля с использованием аналитических методов // Вестник рыбохозяйственной науки. Т. 5. № 1 (17). С. 36-45.
- Ricker W.E. 1954. Handbook of computations for biological statistics of fish populations // Bull. Fish. Res. Board Canada. V. 119. 300 p.

## СРАВНЕНИЕ ОЦЕНОК ЗАПАСА БАРЕНЦЕВОМОРСКОЙ ТРЕСКИ С ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ТРАЛОВОГО ПРОМЫСЛА

**Ю.А. Ковалев**

*Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИИРО»), Мурманск, Россия*

E-mail: kovalev@pinro.vniro.ru

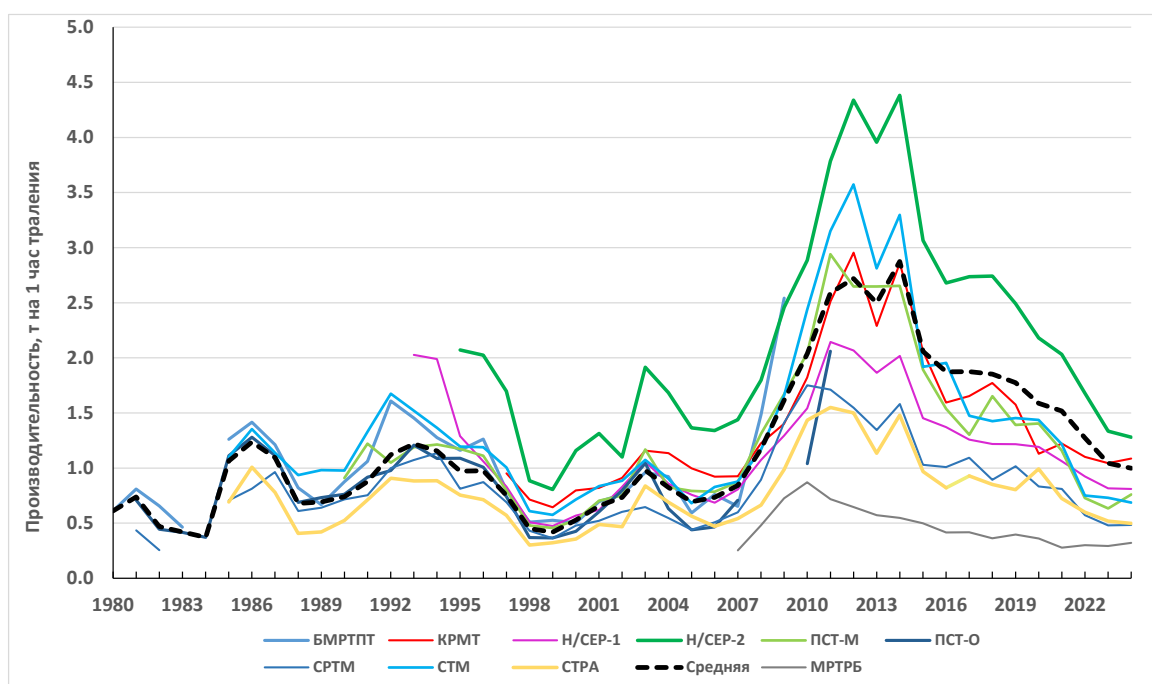
**Ключевые слова:** Северо-восточная арктическая треска, оценка запасов, производительность тралового промысла, стандартизация улова на усилие

Оценка запасов важнейшего для Северного рыбохозяйственного бассейна объекта промысла – северо-восточной арктической (СВА) трески (*Gadus morhua*) в последние годы демонстрирует неуклонное их снижение [Howell et al., 2024]. Это происходит несмотря на строгое следование в течение последних нескольких лет Правилу Регулирования Промысла, согласованному Совместной Российско-Норвежской Комиссией по Рыболовству (СРНК), осуществляющей управление данным видом. При подготовке к проведению 54-й сессии СРНК в 2024 г. в адрес ФГБНУ «ВНИРО» были выражены претензии к качеству оценки запаса. По утверждениям рыбопромышленников, поддержанным представителями Росрыболовства, промысел трески в 2024 г. идет успешно, что, по их мнению, свидетельствует об ошибочной оценке запасов и их существенной недооценке. Целью работы являлось проведение сравнительного анализа производительности российского тралового промысла с оценками промыслового запаса трески, выполненными JRN-AFWG в 2024 г.

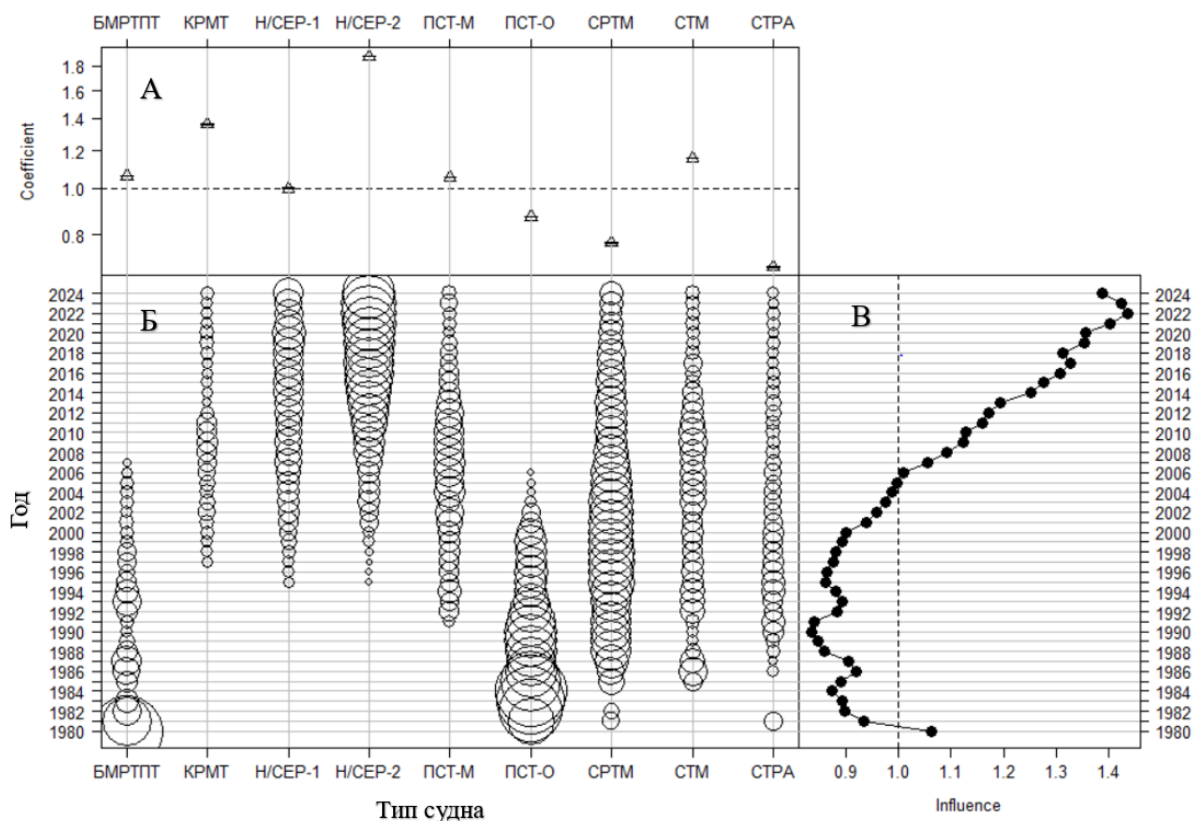
Производительность промысла СВА трески оценивалась по информации о промысловой деятельности российских судов, поступающей через отраслевую систему мониторинга водных биоресурсов от ФГБУ «Центр системы мониторинга рыболовства и связи» (за период 1980-2024 гг., за 2024 г. данные представлены по 17.09.24). При подготовке материала удалены данные для судов с редко используемыми орудиями лова (суммарный вылов которых за весь исследуемый период составил менее 2500 т), что также исключило операции научно-исследовательских судов. Из 35 типов судов были удалены те, суммарный вылов которых за весь период составил менее 100 тыс. т. В результате осталось 10 основных типов судов, а из 3,276 млн записей осталось 3,023. Далее, для повышения репрезентативности выборки были выбраны промысловые операции, в которых треска составляла не менее 50 % улова. Пооперационная информация фильтровалась от ошибочных данных (удалены записи с производительностью, отклоняющейся от среднего более чем на  $\pm 3\sigma$  нормального

распределения). В результате этой фильтрации в базе осталось 2,391 млн записей, наибольшее количество удаленных данных составили уловы с долей трески менее 50 %. На основании «очищенных» данных рассчитана средняя производительность для основных типов судов и их общая средняя (рисунок 1).

Производительность промысла для разных типов судов существенно отличалась, но ее динамика была весьма сходной, за исключением самых малых, низкопроизводительных судов типа МРТРБ, исключенных вследствие этого отличия, а также ввиду малого объема их вылова, из дальнейшего анализа. С учетом существенных изменений в структуре флота и значительных отличий в производительности судов разного тапа (рисунок 2), динамика средней производительности не является репрезентативной, а данные ни одного из выбранных типов судов не охватывают весь период. Также за исследуемый период заметно изменялось распределение вылова трески по сезонам и районам моря, что существенно влияло на производительность. Вследствие этого, для получения репрезентативного ряда производительности промысла трески был применен метод GLM, с учетом в качестве факторов: типа судна, локального района промысла и месяца.

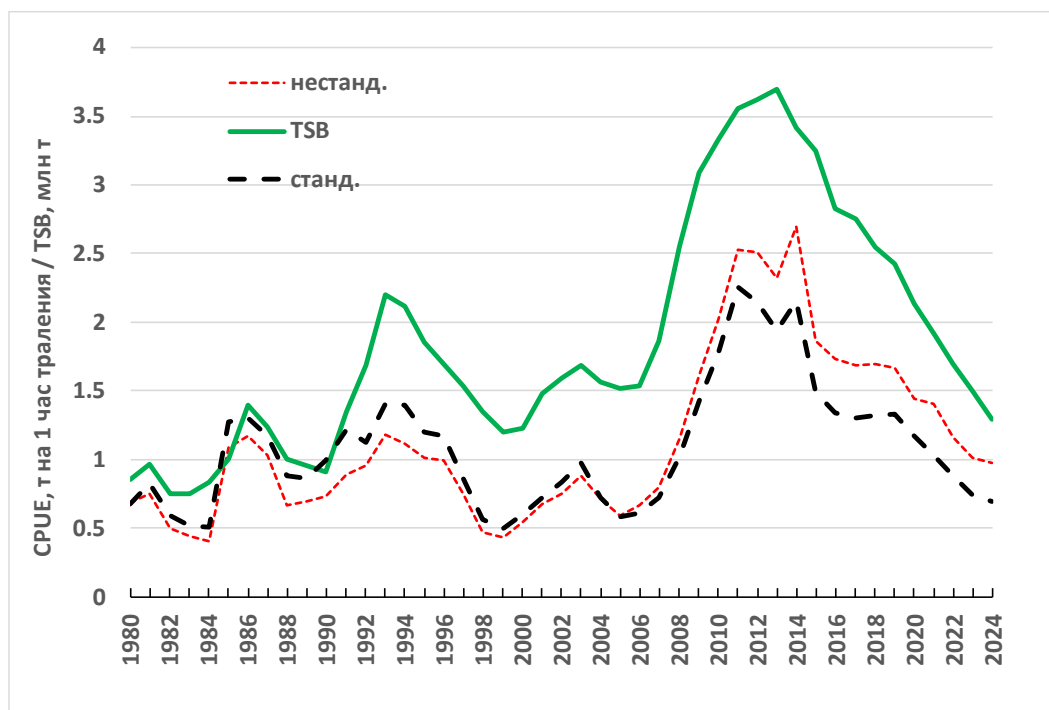


**Рисунок 1.** Производительность тралового промысла СВА трески по десяти основным типам судов за период 1980-2024 г. (2024 г. представлен данными по 17.09.2024 г.).



**Рисунок 2.** Среднемноголетняя относительная производительность судов разного типа на российском траловом промысле СВА трески в 1980-2024 гг. (по 17.09.2024 г.) (А; данные приведены к средней для всех типов судов), относительное количество затраченных усилий (Б; сумма диаметров кружков для каждого года установлена равной единому значению) и эффект влияния фактора типа судна при стандартизации CPUE в модели GLM (В).

Стандартизованная производительность тралового промысла СВА трески в целом неожиданно хорошо согласуется с оценками промысловой биомассы запаса, полученной JRN-AFWG (рисунок 3).



**Рисунок 3.** Средняя по основным типам судов и стандартизованная методом GLM производительность тралового промысла СВА трески за период 1980-2024 гг. (2024 г. представлен данными по 17.09.24) в сравнении с промысловой биомассой ее запаса (TSB)

Можно сделать заключение, что величина промыслового запаса является основным фактором, влияющим на производительность тралового промысла трески. Разумеется, имеются отклонения в отдельные годы, так как не все влияющие факторы возможно учесть. Например, заметны резкие отличия в 2013, 2016-2018 гг. В 2013 г., вопреки научным рекомендациям, был установлен рекордный ОДУ трески в 1 млн т, реализовать который полностью промышленность не смогла, так как производственные мощности были перегружены (в частности, имеется предел возможности суточной переработки улова), что и привело к локальному падению производительности промысла, относительно состояния запаса. Сходная ситуация наблюдалась и в 2016-2017 гг., когда принятый СРНК ОДУ заметно превышал научно рекомендованные величины. Вероятнее всего тут прослеживается влияние организационно-административных и технических причин. Систематическое смещение общего уровня производительности промысла относительно динамики запаса, наступившее после начала 1990-х годов, вероятнее всего объясняется изменениями в правилах рыболовства: введением запрета на разноглубинные тралы, увеличением размера ячеи, а впоследствии условием обязательного использования в трале сортирующей решетки, отсеивающей мелкую рыбу и увеличением минимального промыслового размера трески. В комплексе все это привело к падению производительности относительно предшествующего периода.

Проведенный анализ показал хорошую согласованность, в особенности в последние несколько лет рассматриваемого периода, производительности тралового промысла трески и оценок промысловой биомассы запаса выполненной JRN-AFWG в 2024 г. Признаков недооценки запаса по работе промыслового флота не выявлено.

#### Список литературы

Howell D., Aune M., Bogstad B., Chetyrkin A., Fall J., Filin A., Godiksen J.A., Hallfredsson E.H., Johannensen E., Kovalev Y., Mikhailov A., Russkikh A., Stesko A., Vasilyev D., Vihtakari M., Vollen T., Windsland K., Yaragina N. 2024. Report of the Joint Russian-Norwegian Arctic Fisheries Working Group (JRN-AFWG). IMR-PINRO. [Electronic resource]. URL: <https://www.hi.no/en/hi/nettrapporter/imr-pinro-2024-7>.



## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИИ СИГА ОЗЕРА НАРОЧЬ СОГЛАСНО ДАННЫХ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ВЫЛОВА

**В.Г. Костоусов, О.Д. Апсолихова, Т.И. Попиначенко, В.И. Лишко**

*РУП «Институт рыбного хозяйства», Минск, Республика Беларусь*

E-mail: vkoustousov@tut.by

Ключевые слова: несанкционированный вылов, вылов сига, озеро Нарочь, масса, возраст

К настоящему времени оз. Нарочь является единственным водоемом Республики Беларусь, в составе рыбного населения которого отмечен сиг. Это крупнейший естественный водоем страны. Площадь его водосбора составляет 279 км<sup>2</sup>, максимальная глубина – 24,8 м. Озеро находится на территории Нарочанского Национального парка, входит в Нарочанскую группу озер. По морфометрическим показателям, гидрохимическому режиму и трофическому статусу озеро пригодно для жизни и размножения сиговых рыб, что послужило основой для проведения ряда мероприятий по акклиматизации некоторых их видов в данном водоеме, в том числе и сига.

Так, с 1948 по 1966 гг. в оз. Нарочь было осуществлено 11 посадок личинок и 9 посадок сеголетков сига, благодаря чему в водоеме сформировались устойчивые самовоспроизводящиеся популяции озерного сига, характеризующиеся динамикой, свойственной большинству акклиматизантов. За длительной фазой формирования популяции (1960-1980 гг.) последовала стадия максимальной численности вселенца (вторая половина 80-х и до середины 90-х годов). Популяция сига к этому времени достигла максимальных значений (биомасса – 11,2 кг/га, численность без учета сеголетков – около 200 экз./га).

Вспышка численности наложила на период начала процессов деэвтрофикации в экосистеме озера. Последняя повлекла за собой снижение общей биологической продуктивности водоема и, как следствие, его рыбопродуктивности примерно на 34 % [Костоусов, 2000]. Для сига это нашло отражение в ухудшении условий нагула молоди (снижение биомассы кормового зоопланктона при относительной стабильности биомассы зообентоса) и условий воспроизводства (заращение части нерестилищ погруженными макрофитами вследствие увеличения прозрачности воды). Численность популяции сига на конец 1990-х – начало 2000-х годов составляла уже до 70 экз./га, биомасса – 3,9 кг/га.

Изменения в экосистеме водоема нарушили сложившийся ход воспроизводства и нагула сига, что проявляется в состоянии его популяции – уловы стали падать, а после 2006 г. практически сошли на нет [Костоусов, 2013]. Отсутствие сига в промысловых

уловах последних лет и прекращение рыбного промысла на озере, как хозяйственной деятельности в целом, создает проблемы с мониторингом популяции, делая единственным источником информации несанкционированный (браконьерский) вылов.

Целью работы явилась оценка современного состояния популяции сига озера Нарочь согласно данным, полученным в результате исследования материала от несанкционированного вылова рыб.

В 2023 г. в РУП «Институт рыбного хозяйства» для проведения дополнительных исследований была доставлена рыба, изъятая правоохранительными органами на оз. Нарочь при пресечении незаконного рыболовства, в том числе 30 половозрелых особей сига. Предположительно рыба была изъята из естественной среды обитания с помощью удерживающих орудий рыболовства – ставных сетей. В лабораторных условиях рыба была исследована по общепринятым в ихтиологии методикам. В результатах исследований приведена промысловая длина тела – от конца рыла до конца чешуйного покрова.

Сиг был представлен возрастными группами от 4 до 6 лет (таблица 1) при длине тела от 31 до 42 см и массе от 571 до 1326 г.

**Таблица 1.** Биологические показатели сига оз. Нарочь

Возраст	Длина, см		Масса, г		Пол		Количество, экз.
	средняя	колебания	средняя	колебания	♀, экз	♂, экз	
3+	34,4	31-38	769,5	571-979	11	7	18
4+	38,5	37-40	1053,0	877-1326	3	8	11
5+	42,0	-	1150,0	-	1	-	1
Итого:					15	15	30

В годы ведения промысла (с начала 1980-х гг. и до конца 1990-х гг.) популяция сига оз. Нарочь была представлена девятью возрастными группами, от 0+ до 8+ с преобладанием особей, не достигших половой зрелости (0+ – 3+) до 64 %. Оставшаяся часть приходилась на рыб в возрасте 4+ – 8+, среди которых доминировали впервые созревающие особи 4+ – 5+ (30 %), а повторно нерестящиеся в возрасте 6+ – 8+ составляли менее 6 %. Согласно исследованиям 2023 г., основную массу (96,7 %) популяции сига оз. Нарочь составили две возрастные группы – 4 и 5 лет. Преобладание в исследованной выборке рыб данных возрастных групп напрямую зависит от характеристик применяемых орудий лова.

Самки и самцы сига по линейно-весовым показателям соответствовали показателям таковых у нерестового стада сига оз. Нарочь в разные годы исследований (таблица 2).

**Таблица 2.** Линейно-весовые размеры самок и самцов сига оз. Нарочь

Возраст		самки			самцы			
		1995 г.	1999 г.	2023 г.	1995 г.	1998 г.	1999 г.	2023 г.
3+	длина, см	35,6	36,1	34,4	38,08	38,4	–	34,4
	масса, г	574,9	520,0	770,6	724,3	550,0	–	759,0
4+	длина, см	41,2	44,4	40,0	41,3	42,5	43,3	38,2
	масса, г	958,0	1060,0	1166,0	952,9	1195,0	814,0	1045,0

По пищевому спектру сиг характеризуется смешанным типом питания со значительным предпочтением бентосной пищи, а также хищничества. В зависимости от преимущественного наличия в водоеме планктонной пищи сиг может переходить на потребление зоопланктона, при этом снижая темп роста.

По данным А.В. Лещенко [2004] сиг оз. Нарочь занял нишу бентофага – рако-моллюскоед, с преимущественным потреблением фитофильных форм. Основным кормовым биотопом для него в озере стали харовые водоросли, распространившиеся в зоне сублиторали и профундали до глубин 7-7,5 м. Наибольшее значение в рационе взрослых рыб имели ракообразные (*Asellus aquaticus* – в среднем 63 % массы пищевого кома при встречаемости 67 %), а также мелкие брюхоногие и свободносидящие двустворчатые моллюски (*Bithynia tentaculata*, *Valvata piscinalis*, *Pisidium annicum* – 12 % по массе при встречаемости 47 %). Из прочих определенное кормовое значение имели фито-псаммофильные личинки хирономид (рр. *Procladius* и *Tanitarsus*) и ручейников (р. *Stenophylax*).

Результаты исследований 2023 г. показали, что основу питания сига в возрасте 3+ и 4+ оз. Нарочь составляют организмы зообентоса (таблица 3). Излюбленным пищевым объектом рыб являлся брюхоногий моллюск *B. tentaculata*, размеры которого варьировали от 5 до 10 мм, его доля составляла около 85 % встречаемости. Несколько реже встречался двустворчатый моллюск *Sphaerium revicola*. Кишечник одного сига возраста 3+ был заполнен исключительно личинками стрекоз и вилхвосткой. Проявления хищничества согласно содержимому кишечника не отмечено.

Индексы наполнения пищеварительных трактов у сигов возраста 3+ и 4+ варьировали от 0,20 до 132,9 ‰, в среднем составляя 57,5 ‰.

**Таблица 3.** Содержимое пищеварительных трактов и индекс наполнения желудков сига оз. Нарочь

Возраст	Компоненты питания, %			Индекс наполнения, ‰
	Насекомые	Моллюски	Детрит	
3+	100	–	–	0,20
	–	100	–	4,5
4+	–	100	–	57,4
	–	95	5	85,7
	–	95	5	132,9
	–	100	–	64,3

Таким образом, результаты исследования рыбы, выловленной путем ННН-промысла на оз. Нарочь подтверждают наличие нерестового стада в популяции сига водоема, представленного половозрелыми особями обоих полов от 4 до 6 лет. Смешанный тип питания сига претерпел некоторые изменения – рацион взрослых рыб представлен исключительно бентосными организмами, преимущественно моллюсками. Наибольшее значение из них, как пищевые объекты, имеют два вида – брюхоногий моллюск *Bithynia tentaculata* и двустворчатый моллюск *Sphaerium revicola*.

#### Список литературы

- Костоусов В.Г., Копылова Т.В., Полякова Г.И., Оношко И.И. 2003. Состояние ихтиофауны оз. Нарочь в условиях изменяющегося антропогенного воздействия / Материалы международной научно-практич. конф. «Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды». Минск: изд-во БГУ. С. 121-125.
- Костоусов В.Г. 2013. Итоги акклиматизации и использования популяции сига в озере Нарочь / Материалы Восьмого международного научно-производственного совещания «Биология, биотехника разведения и состояние запасов сиговых рыб». Тюмень: изд-во Госрыбцентр. С. 114-119.
- Лещенко А.В. 2004. Особенности питания сига озера Нарочь // Вопросы рыбного хозяйства Белоруссии. Вып. 20. С. 40-44.

## ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ

**М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко, Е.В. Сыроваткин, И.А. Убарчук,**

**В.И. Шевцов, Д.М. Панфилов**

*Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия*

E-mail: vladimir.polyanichko@tinro.ru

Ключевые слова: гидроакустические исследования, мониторинг, биоресурсы, распределение, запас

Для рационального использования водных биологических ресурсов требуется актуальная информация об их состоянии, на основе которой для рыбной промышленности формируется величина допустимого объема вылова. Для этих целей в настоящее время широко используется гидроакустический эхоинтеграционный метод, преимуществами которого является высокая скорость обзора среды и непрерывность регистрации данных, а также исследование одновременно всей толщи воды [Кузнецов, 2013]. В работе представлены возможности и результаты использования данного метода для оценки распределения и запасов рыб в Дальневосточных морях России при проведении судовых объектных съёмок и комплексных экспедиций ТИНРО.

### Методика исследований

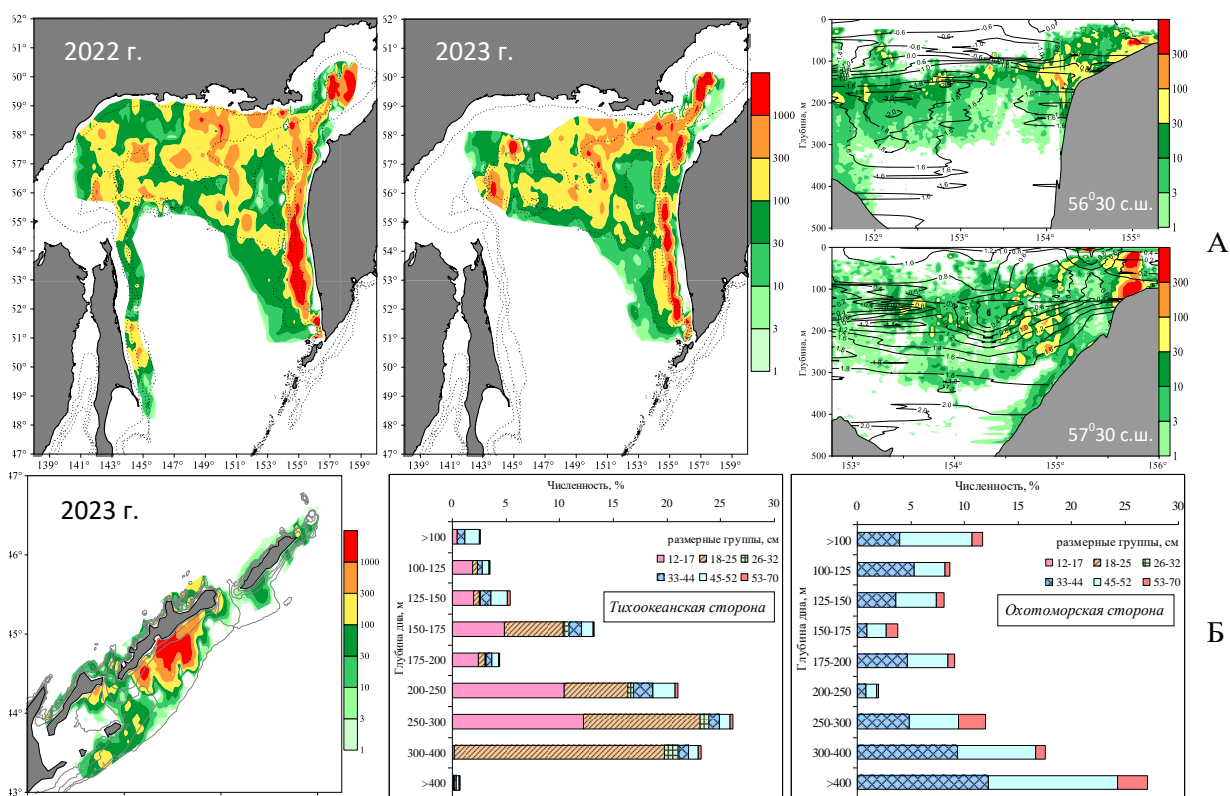
В экспедициях на морских судах проекта «Атлантик-833» используются стационарные цифровые научные эхолоты с антеннами 38 и 120 кГц. Сбор и накопление акустических данных производится круглосуточно в файлах известного формата Simrad RAW или NAC [McQuinn et al., 2005]. Акустические измерения сопровождаются регистрацией в интегрированной базе данных контрольных тралений, биологических, навигационных и других данных [Кузнецов, 2013]. Для визуализации и многовидовой обработки акустических данных используется специализированное программное обеспечение, разработанное в ТИНРО [Кузнецов и др., 2021].

### Результаты исследований

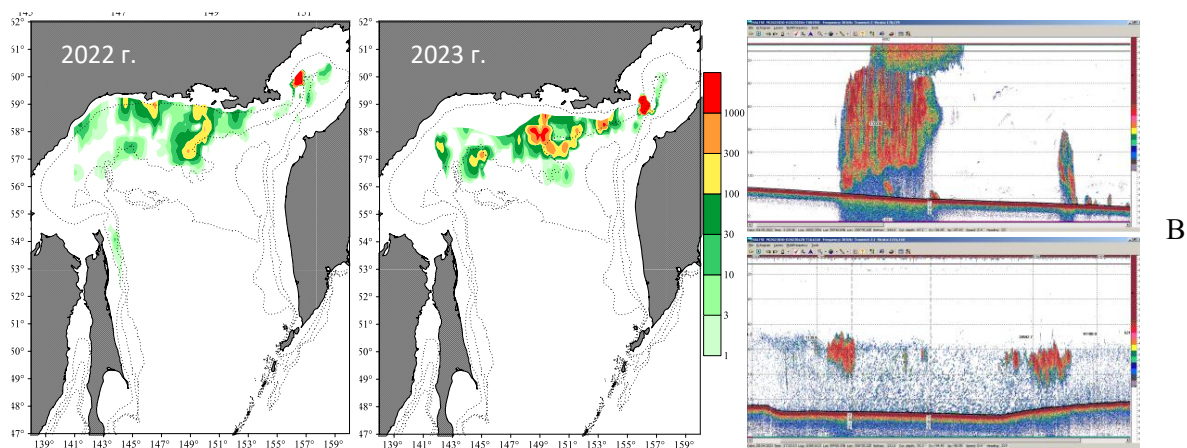
Регулярные ежегодные гидроакустические исследования минтая, сельди, мойвы проводятся в составе комплексных экосистемных съёмок в северо-западной части Тихого океана (СЗТО): в водах южных Курильских островов (ЮКР) и в Охотском море (ОМ). Благодаря дистанционности зондирования водной толщи гидроакустические исследования позволяют ежегодно оценивать с высоким разрешением границы распространения, центры концентрации и структуру скоплений гидробионтов, то есть

получать «акустический снимок» обследуемой акватории (рисунок 1). Метод позволяет измерять не только горизонтальное, но также вертикальное и батиметрическое распределение гидробионтов. В том числе, демонстрирует их связи с гидрологическими условиями (рисунок 1).

Учитывая, что в последние годы возобновлен активный промысел сардины и скумбрии в СЗТО, регулярный мониторинг распределения и поведения этих быстрых пелагических рыб становится особенно актуальным, а использование для этих целей прецизионной гидроакустической аппаратуры – наиболее перспективным. Акустическими исследованиями установлены особенности пространственной дифференциации этих видов рыб и лососей и вертикального распределения сардины и скумбрии в верхней эпипелагиали СЗТО в летне-осенний период. В последние годы по результатам акустических измерений суммарные оценки обилия сардины в СЗТО растут, а скумбрии снижаются.



**Рисунок 1.** Результаты гидроакустических исследований в СЗТО в 2022-2023 гг.:  
 А – горизонтальное (тыс. экз./миля<sup>2</sup>) и вертикальное (в единицах  $S_A$ , м<sup>2</sup>/миля<sup>2</sup>)  
 распределение минтая в ОМ; Б – горизонтальное (тыс. экз./миля<sup>2</sup>) и батиметрическое  
 распределение минтая в водах ЮКР, и характерные акустические изображения сельди  
 в северной части ОМ



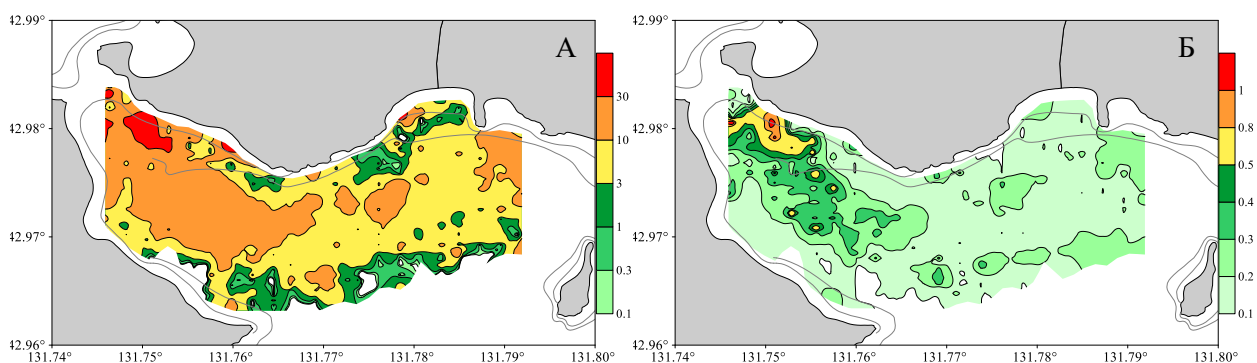
**Рисунок 1** (продолжение). Результаты гидроакустических исследований в СЗТО в 2022-2023 гг.: В – распределение (тыс. экз./миля<sup>2</sup>) и характерные акустические изображения сельди в северной части ОМ

Акустические исследования поведения и распределения тихоокеанских лососей дают дополнительные возможности пространственной дифференциации и выявления тонкой структуры горизонтального и вертикального распределения этих рыб в периоды анадромных и катадромных миграций. По данным акустических измерений, от 10 до 20 % лососей в процессе съемок находятся на глубинах свыше 30 м и не учитываются тралами. С помощью дистанционного акустического зондирования рассчитываются характеристики суточных вертикальных миграций лососей и уточняются оценки их обилия за пределами зоны облова трала.

Гидроакустические технологии активно используются для мониторинга распределения и обилия сайки в Чукотском море и в море Лаптевых. Отмечаются значительные межгодовые колебания обилия сайки, что является характерным для этого короткоциклового вида. В 2018-2020 гг. показатели обилия сайки в Чукотском море последовательно снижались, достигнув в 2020 г. минимальных значений. При этом стало особенно заметным влияние на ее распределение вод берингоморского течения.

Применение высокоточных измерительных систем в сочетании с современными компьютерными технологиями обработки получаемых данных позволило значительно повысить достоверность акустического мониторинга биоресурсов Дальневосточных морей, а также существенно расширить список объектов, оцениваемых эхоинтеграционным методом. В частности, красной водоросли анфельции тобучинской, являющейся ценным сырьем для получения агара. По результатам эхоинтеграционных измерений строятся планшеты распределения плотности и высоты слоя анфельции и вычисляется биомасса водорослей в различных районах залива Петра Великого (рисунок

2). Использование метода позволяет существенно сократить число водолазных станции и время съемки макрофитов.



**Рисунок 2.** Распределение поля анфелиции в проливе Старка залива Петра Великого в величинах плотности (тонн/га) – А и высоты слоя водорослей (м) – Б по данным гидроакустических измерений, октябрь 2023 г.

### Выводы

Гидроакустические данные, полученные в ходе проведения комплексных исследований, создают информационную платформу для постановки и решения широкого класса задач тематической обработки акустических и сопутствующих измерений, включая оценки межгодовой динамики пространственного распределения и обилия основных промысловых объектов Дальневосточных морей, их связи с океанологическими и гидробиологическими условиями, исследования характеристик акустического рассеяния рыб *in situ*, пространственной стратификации гидробионтов, исследование особенностей поведения и суточных вертикальных миграций рыбных скоплений, влияющих на результаты оценок запаса.

### Список литературы

- Кузнецов М.Ю. 2013. Гидроакустические методы и средства оценки запасов рыб и их промысла. Часть 1. Гидроакустические средства и технологии их использования при проведении биоресурсных исследований ТИНРО-центра // Изв. ТИНРО. Т. 172. С. 20-51.
- Кузнецов М.Ю., Убарчук И.А., Поляничко В.И., Сыроваткин Е.В. 2021. Программный комплекс для визуализации, многовидовой обработки и хранения данных гидроакустических ресурсных съёмок // Труды ВНИРО. Т. 183. С. 174-190. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-183-174-190.
- McQuinn I.H., Reid D., Berger L., Diner N., Heatley D., Higginbottom I., Andersen L.N., Langeland O., Lapierre J.P. 2005. Description of the ICES HAC Standard Data Exchange Format, Version 1.60 // ICES Cooperative Research Report. V. 278. 86 p.



## ИНДЕКС БИОМАССЫ ТРЕСКИ В ЗАПАДНО-БЕРИНГОВОМОРСКОЙ ЗОНЕ С УЧЁТОМ ПРИДОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ С 1977 ПО 2024 гг.

**В.В. Кулик, А.Б. Савин, И.В. Мальцев, Р.Г. Безруков, И.А. Корнейчук**

*Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия*

E-mail: vladimir.kulik@tinro.vniro.ru

Ключевые слова: тихоокеанская треска, Берингово море, биомасса, sdmTMB, JABBA

Уловы тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus* в северо-западной части Берингова моря уже резко падали после максимума XX века в 1971 г. с 91,6 тыс. т до минимума около 0,758 тыс. т в 1978 г. [Савин, 2023]. Сейчас её уловы после максимума XXI века в 2020 г. (101,9 тыс. т) тоже быстро снижаются, судя по судовым суточным донесениям (ССД), вместе с освоением общего допустимого улова (ОДУ) в Западно-Берингоморской (ЗБ) зоне (таблица 1).

**Таблица 1.** Вылов, ОДУ и освоение ОДУ трески в ЗБ зоне

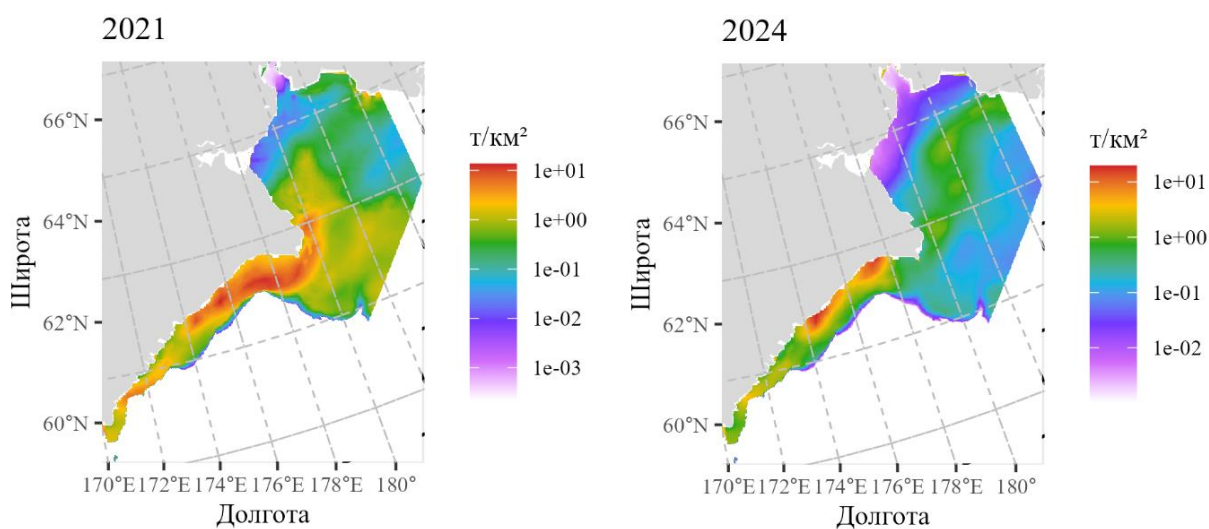
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024*
Вылов, тыс. т	23,4	25,0	35,5	64,9	88,2	101,9	90,0	61,5	39,0	28,2
ОДУ, тыс. т	25,3	27,4	36,2	66,3	86,0	105,0	105,0	90,0	84,5	57,0
Освоение, %	92,5	91,2	98,1	97,9	102,6	97,0	85,7	68,3	46,1	49,4
Примечание: * - по ССД на 3 октября 2024 г.										

Научные донные траловые съёмки в ЗБ зоне проводятся не каждый год. Предыдущая была в 2021 г. Тогда оценка траловой биомассы уже шокировала своей низкой величиной в 270,35 тыс. т [Савин, 2023], но в 2024 г. предварительные оценки оказались ещё ниже: минимум в 2 раза. Таким образом, требуется провести анализ неопределённости оценки 2024 г. и влияющие на неё известные особенности среды (придонную температуру).

Исходные материалы в 2024 г. собраны в результате 119 донных тралений (ДТ 27,1/24,4) на шельфе с 26 м глубины до материкового склона с максимальной глубиной 282 м при средней глубине 91 м в ЗБ зоне. Средний вылов трески за операцию (ДТ) найден около 35,8 кг/трал, достигнув максимума в 608 кг/трал, что с учётом коэффициента уловистости (КУ) 0,4 составляет максимум 22,8 т/км<sup>2</sup>, а в среднем 1,228 т/км<sup>2</sup>. При стратификации полигонами Вороного всех станций в ЗБ зоне биомасса трески составила 133 тыс. т, но при более строгой стратификации избранных станций с учётом изобат её биомасса в ЗБ и Чукотской зонах оценена в 111,8 тыс. т. Максимальная биомасса трески в этих зонах была учтена ДТ в 2017 г., составив 1227,3 тыс. т [Савин,

2023]. Тогда максимальная плотность была выше почти на 2 порядка ( $102,9 \text{ т/км}^2$ ), а средняя плотность была выше в 7 раз ( $8,9 \text{ т/км}^2$ ). Такое резкое снижение биомассы не ожидалось при подготовке Материалов ОДУ трески на 2024 г., где был дан прогноз в 267,72 тыс. т общего запаса и 240,37 тыс. т нерестового (SSB) на 2024 г.

Индекс биомассы с учётом данных 2024 г. пересчитан по опубликованной методике для учёта пространственно-временных связей, глубины и придонной температуры [Кулик, Савин, 2024]. Средние оценки биомассы трески в ДТ найдены около 111, 112 и 113 тыс. т для различных конфигураций пространственно-временных связей, а в ансамблевом подходе средние 112 тыс. т находятся в 95 % доверительном интервале (С.И.) от 77,8 до 161,2 тыс. т в 2024 г. Таким образом, значительных отличий в оценках биомассы трески в ДТ в 2024 г. различными методами не выявлено, то есть в независимости от учёта придонной температуры. Итак, средняя биомасса трески в 2024 г. в ДТ находится около 112 тыс. т, хоть в более сложных моделях (рисунок 1), хоть в традиционном расчёте методом площадей по полигонам Вороного. Неопределённость можно выразить через коэффициент вариации, который был ниже 19 % в 2021 и 2024 гг., что можно назвать средней изменчивостью или надёжной оценкой, судя по обзору применения аналогичных методов [Баканев, Стесько, 2024], в идентичном программном пакете — sdmTMB [Anderson et al., 2020].

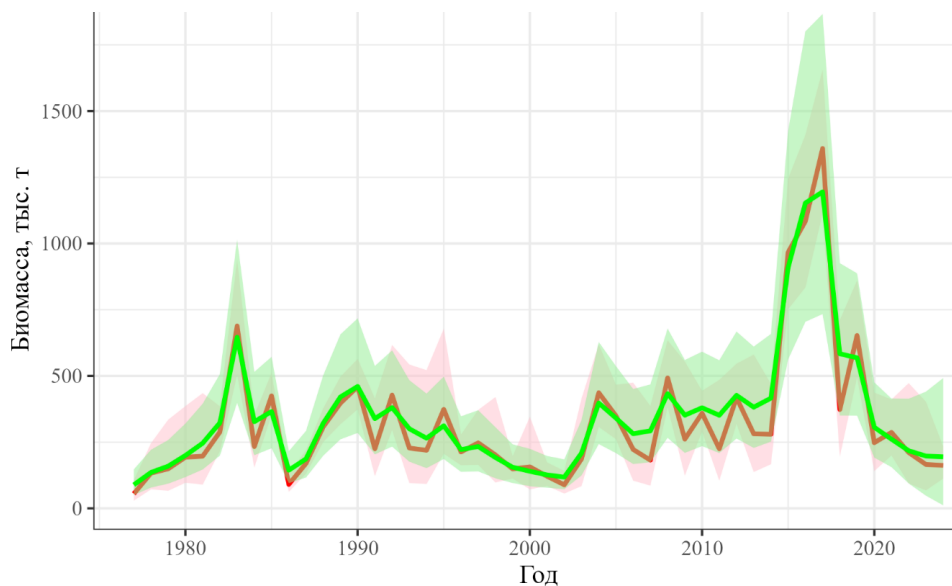


**Рисунок 1.** Плотность ( $\text{т/км}^2$ ) трески в ЗБ зоне в 2021 и 2024 гг., найденная в ансамбле моделей [Кулик, Савин, 2024]

Стоит отметить, что в байесовском подходе в JABBA [Winker et al., 2018] обновлённый индекс биомассы при найденном ранее коэффициенте доступности запаса для съёмки ( $q = 0,69$ ) по данным из съёмки ДТ до 2021 г. и уловам до 2023 г. [Кулик, Савин, 2024] полностью укладывается в спрогнозированную динамику биомассы с 2021

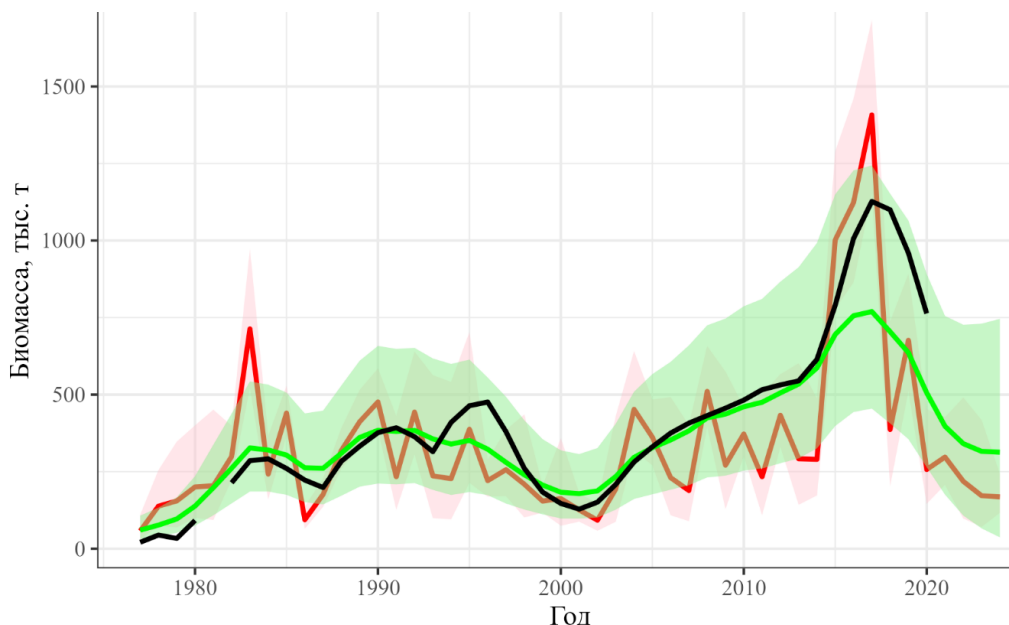
по 2024 г. (рисунок 2), но в абсолютном масштабе медианы находятся около 161-162 тыс.

т.



**Рисунок 2.** Распределение С.И. вокруг медианы биомассы трески (тыс. т), найденной в обновлённых моделях (красная линия) с учетом  $q = 0,69$ , и динамика биомассы (зеленая линия), настроенная по всем индексам из моделей до 2021 г., с прогнозом до 2024 г.

На рисунке 3 представлено распределение С.И. вокруг медианы биомассы трески (тыс. т).



**Рисунок 3.** Распределение С.И. вокруг медианы биомассы трески (тыс. т), найденной в ансамблевой модели sdmTMB (красная линия) с учетом  $q = 0,666$ , динамика биомассы из JABBA, настроенная с учетом SSB (зеленая линия) до 2021 г., с прогнозом до 2024 г. и SSB (черная линия) [по: Савин, 2023] с коррекцией через  $q = 1,18$

Ранее авторы выявили отсутствие ретроспективной устойчивости оценок биомассы и промысловой эксплуатации трески в модели JABBA, настроенной без учета опубликованных оценок SSB [Кулик, Савин, 2024], а в модели JABBA с учетом SSB прогноз медианы распределения биомассы на 2024 г. находился на 100 тыс. т выше, составляя 262 тыс. т, но незначительно из-за широкого С.І.: от 37 до 745 тыс. т (рисунок 3).

#### Список литературы

- Кулик В.В., Савин А.Б. 2024. Векторные авторегрессионные пространственно-временные (VAST) модели распределения биомассы трески *Gadus macrocephalus* (Gadidae) с учетом придонной температуры воды в Западно-Беринговоморской зоне // Известия ТИНРО. Т. 204. № 3. С. 722-744.
- Баканев С.В., Стесько А.В. 2024. Пространственно-временная стандартизация индекса запаса при выполнении исследовательских съёмов (на примере камчатского краба в Баренцевом море) // Вопросы рыболовства. Т. 25. № 3. С. 181-196. DOI: 10.36038/0234-2774-2024-25-3-181-196.
- Савин А.Б. 2023. Запасы и промысел трески (*Gadus macrocephalus*, Gadidae) северо-западной части Берингова моря в 1965–2022 гг. // Известия ТИНРО. Т. 203. № 3. С. 465-489. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-465-489.
- Anderson S.C., Ward E.J., English P.A., Barnett L.A.K. 2020. sdmTMB: an R package for fast, flexible, and user-friendly generalized linear mixed effects models with spatial and spatiotemporal random fields, bioRxiv 2022.03.24.485545. 35 p.
- Winker H., Carvalho F., Kapur M. 2018. JABBA: Just Another Bayesian Biomass Assessment // Fisheries Research. V. 204. P. 275-288. DOI: 10.1016/j.fishres.2018.03.010.

**ОБ АКТУАЛЬНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТА ПАТАГОНСКОГО КЛЫКАЧА  
*DISSOSTICHUS ELEGINOIDES* ИЗ ЯРУСНЫХ УЛОВОВ В ОТКРЫТЫХ ВОДАХ  
ЮГО-ЗАПАДНОЙ АТЛАНТИКИ (ЮЗА, РАЙОН ФАО 41)**

**Н.Н. Кухарев, Н.А. Мисарь, Ю.В. Корзун**

*Отдел «Керченский», Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»*

*(«АзНИИРХ»), Керчь, Россия*

E-mail: kuharevnn@azniirkh.vniro.ru

Ключевые слова: патагонский клыкач, запас, промысел, уловы, возраст, отолит, ядро, годовое кольцо, уравнение роста

Патагонский клыкач – наиболее ценный объект промысла в Антарктике и прилегающих районах. В 2022 г. его общий вылов по данным ФАО [FAO, 2024] составил 22,7 тыс. т, а общая стоимость продукции из него, исходя из оптовых цен [Grilly et al., 2015], находится на уровне 500-600 млн US\$. Ресурс интенсивно эксплуатируется из-за растущего международного спроса. Патагонский клыкач считается деликатесным морепродуктом в США, КНР, Японии и ЕС. Но высокая продолжительность жизни (до 50 лет) и позднее половое созревание патагонского клыкача делают его крайне уязвимым к перелову.

По данным ФАО [FAO, 2024] Юго-Западная Атлантика (ЮЗА, район ФАО - 41) – второй в мире район по величине вылова патагонского клыкача (7,4-8,2 тыс. т) после Антарктической части Индийского океана (АЧИО, район ФАО – 58 - 8,4-9,6 тыс. т). Актуальность работ по определению возраста и размерно-возрастного состава уловов патагонского клыкача в ЮЗА связана с тем, что 2,7-3,5 тыс. т (36-46 %) ежегодного вылова этого вида получают в открытых водах ЮЗА на Патагонском склоне, где промысел не регулируется. При этом в настоящее время количество данных по возрастному составу уловов патагонского клыкача в ЮЗА невелико [Ashford et al., 2002; Laptikhovsky, Brickle, 2005].

Вместе с тем ряд международных документов налагает определенные обязательства на государства, под флагами которых суда ведут промысел в открытых водах. Статья 119 Конвенции ООН по морскому праву предлагает таким государствам выполнять определение величины допустимого улова с целью «поддержания или восстановления популяций вылавливаемых видов на уровнях, при которых может быть обеспечен максимальный устойчивый улов...».

Кроме того, запас патагонского клыкача в ЮЗА распределяется в экономзонах Аргентины, Фолклендских о-вов и за их пределами, на Патагонском склоне. Поэтому запас клыкача в ЮЗА относится к категории трансграничных рыбных запасов. В связи с этим промысловое использование части запаса, которая распределяется в открытых водах, следует вести с учетом положений документа ООН – «Соглашения о трансграничных рыбных запасах...» (1995 г.). В соответствии с ними, в случае недостатка данных для регулирования предусматривается ведение промысла на основе предосторожного подхода.

По современным представлениям [Canales-Aguirre et al., 2018; Arkhipkin et al., 2022] чилийско-патагонская линия патагонского клыкача является эндемичной. Это предполагает ведение промысла на основе предосторожного подхода, для чего необходимы данные о возрастном составе популяции.

В настоящее время в промысле патагонского клыкача в открытых водах Патагонского склона доминирует южнокорейский флот (до 6-8 судов), и его уловы на усилии (CPUE) с 2013 г. в течение ряда последних лет имеют тенденцию к снижению [Park et al., 2021]. Кроме того, постоянный промысел клыкача в открытых водах ЮЗА ведут суда Испании и Уругвая, эпизодически работают суда Украины, Чили и России. Государства, ведущие наиболее интенсивный его промысел в регионе – Республика Корея в открытых водах, Аргентина и Фолкленды в своих экономзонах, в свете возникающих угроз в отношении сохранения и устойчивости запасов патагонского клыкача в ЮЗА обсуждают вопросы защиты его ресурсов и регулирования промысла [Ashford et al., 2002, Canales-Aguirre et al., 2018, Fishery Management, 2010]. Существует мнение, что для управления рыболовством в Юго-Западной Атлантике необходимо создание региональной организации по регулированию рыболовства, которая обеспечит ведение устойчивого промысла и сохранение ресурсов патагонского клыкача [Argentina, 2021; Park et al., 2021; Laptikhovsky, Brickle, 2005].

Возобновление в 2024 г. российского промысла патагонского клыкача в открытых водах ОЗА (работало одно судно) повысит нагрузку на его запас. В связи с этим весьма актуально получение данных по возрастному составу уловов патагонского клыкача для оценки запаса и возможного вылова. В 2024 г. был определён возраст патагонского клыкача по отолидам, собранным научным наблюдателем на борту ярусолова «Kingstar» в открытых водах Патагонского склона ЮЗА (подрайон ФАО 41.3) в мае-октябре 2018 г. Обработано 307 пар отолидов по методике, в которой общепринятые подходы (метод «the break and burn», «слом и обжиг») [Отчет ..., 2021] сочетаются с адаптированными этапами подготовки возрастных проб с использованием специализированных

электроинструментов – полировально-шлифовальной машинки и технического фена. Эта методика успешно опробована на отолитах антарктического клыкача и была представлена на Рабочей группе АНТКОМ по оценке рыбных запасов (WG-FSA-2023/12) [Мисарь, 2019]. За 1 год принималась пара колец – прозрачное (гиалиновая зона) и непрозрачное (опакующая зона) [Horn et al., 2003]. Применение к отолитам патагонского клыкача метода обработки с индивидуальным прокаливанием каждого отолита улучшило визуализацию возрастных колец, в том числе в районе закладки ядра, подняло точность их считывания на всем протяжении полированной зоны. Это обеспечило повышение корректности данных, необходимых для математического моделирования роста особей и оценки запасов.

Патагонский клыкач в уловах был представлен особями длиной от 43 до 190 см. Определен возраст у рыб в диапазоне от 50 см (4 года, самец) до 180 см (29 лет, самка). Средняя длина рыб в уловах 88,2 см, преобладали по численности особи длиной 65-125 см, возрастом 5-15 лет. Рассчитаны параметры уравнения роста Берталанфи: для самок: ( $L_{\infty}$ ): 214,2 см, относительная скорость роста ( $k$ ) = 0,07, возраст при «нулевой длине» ( $t_0$ ) = 1,02 лет. Для самцов:  $L_{\infty}$  = 182,7 см, относительная скорость роста ( $k$ ) = 0,09, возраст при «нулевой длине» ( $t_0$ ) –1,00 лет.

Для дальнейшего сбора промыслово-статистического и биологического материала целесообразно размещение научных наблюдателей на всех судах, ведущих промысел патагонского клыкача на Патагонском склоне. Научный мониторинг промысла обеспечит приток исходных данных для контроля динамики численности, оценки промыслового запаса и величины допустимого улова.

#### Список литературы

- Мисарь Н.А. 2019. Методические рекомендации по определению возраста рыб Антарктики (*Dissostichus mawsoni* (сем. *Nototheniidae*), *Macrourus caml* (сем. *Macrouridae*) // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 2. № 4. С. 68–72.
- Отчет семинара по оценке возраста патагонского клыкача. 2001. Центр количественных исследований экологии промысла. Университет Олд Доминион, Норфолк, Виргиния, США, 23 – 27 июля 2001 г. Дополнение Н. С. 536-560. [Electronic resource]. URL: <https://meetings.ccamlr.org/system/files/r-sc-xx-a5-appH.pdf> (дата обращения 21.10.2024).
- Argentina Patagonian toothfish - bottom trawl. 2021. Overview [Electronic resource]. URL: <https://fisheryprogress.org/fip-profile/argentina-patagonian-toothfish-bottom-trawl> (дата обращения 22.10.2024).

- Arkhipkin A., Brickle P., Lee B., McKeown N. J. 2022. Taxonomic re-appraisal for toothfish (*Dissostichus*: *Notothenioidea*) across the Antarctic Polar Front using genomic and morphological studies. // *Journal of Fish Biology* V. 100(5). P. 1158–1170. DOI: 10.1111/jfb.15013.
- Ashford J., Arkhipkin A., Jones C., Bobko S. 2002. Agenda Item(s) Age-at-length of Patagonian toothfish from the Falkland/Malvinas Islands // Request Meeting Document Document Number: WG-FSA-02/74 Author(s): WG-FSA-02 - - undefined. [Electronic resource]. URL: <https://meetings.ccamlr.org/en/wg-fsa-02> (дата обращения 20.10.2024).
- Canales-Aguirre C.B., Ferrada-Fuentes S., Galleguillos R., Oyarzun, F.X., Hernandez C.E. 2018. Population genetic structure of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) in the Southeast Pacific and Southwest Atlantic Ocean. *PeerJ*. 16:6:e4173. [Electronic resource]. URL: <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.translate.goog/29362690/> (дата обращения 01.11.2024). DOI: 10.7717/peerj.4173.
- FAO. 2024. FishStat: Global production by production source 1950-2022. In: *FishStatJ*. Licence: CC-BY-4.0 [Electronic resource]. URL: [www.fao.org/fishery/en/statistics/software/fishstatj](http://www.fao.org/fishery/en/statistics/software/fishstatj). (дата обращения 29.03.2024)
- Fishery Management. 2010. The Commission for the Management of Toothfish Fisheries // *Merluza Negra Argentina*. [Electronic resource]. URL: [https://merluzanegraargentina-org.translate.goog/fisheries/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=ru&\\_x\\_tr\\_hl=ru&\\_x\\_tr\\_pto=sc](https://merluzanegraargentina-org.translate.goog/fisheries/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=sc) (дата обращения 6.09.2024).
- Grilly E., Reid K., Lenel S., Jabour J. 2015. The price of fish: A global trade analysis of Patagonian (*Dissostichus eleginoides*) and Antarctic toothfish (*Dissostichus mawsoni*) // *Marine Policy*. V. 60. P. 186-196.
- Horn P.L., Sutton C.P., De Vries A.L. 2003. Evidence to support the annual formation of growth zones in otoliths of Antarctic toothfish (*Dissostichus mawsoni*). *CCAMLR Science*. V.10: P. 125-138.
- Laptikhovsky V., Brickle P. 2005. The Patagonian toothfish fishery in Falkland islands' waters // *Fish. Res.* V. 74. P. 11–23.
- Park Kyum Joon, Seok-Gwan Choi and Doo-Hae An. 2021. Distribution of Fishing Grounds of Korean Bottom Longline and Annual Change of CPUE of the Patagonian Toothfish *Dissostichus eleginoides* in South West Atlantic // *Korea. Korean J. Fish Aquat. Sci.* V. 54(1). P. 129-134.



## О ПРИМЕНЕНИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ: ТЕКУЩИЙ ЭТАП И ПЕРСПЕКТИВЫ

Д.О. Логофет, Г.А. Александров

ФГБУН Институт физики атмосферы имени А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

E-mail: danilal@postman.ru

Ключевые слова: процессно-ориентированные модели, эмпирические модели, нейронные сети, аппроксимация функций, эмуляция моделей

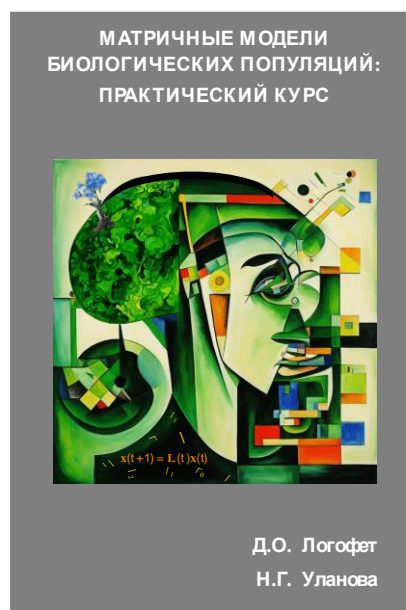
*1. Введение.* Искусственный интеллект (ИИ) обычно понимается как программное обеспечение для моделирования интеллектуальных процессов, таких как *рассуждение, обобщение, решение проблем* и *обучение*. Но на самом деле нет такого единого программного обеспечения, которое могло бы моделировать все интеллектуальные процессы: существует лишь ряд различных методов ИИ, каждый из которых моделирует определенный интеллектуальный процесс. Некоторые из этих методов ИИ используются в экологических исследованиях, а некоторые из них рассматриваются как новые способы моделирования экологических процессов: вместо калибровки заданной модели для соответствия заданному набору данных идёт поиск самой модели, которая соответствует данным.

Возможности, продемонстрированные недавно чат-ботами обработки естественного языка [Reyhani Naghghi et al., 2023] и генераторами изображений ИИ (рисунок 1), создают впечатление, что дальнейшее развитие методов ИИ в конечном итоге сделает ненужными не только навыки, которые все еще необходимы для представления результатов исследований, но и методы, которые в настоящее время применяются для получения новых знаний. В докладе обсуждаются преимущества и ограничения применения нейронных сетей вместо *процессно-ориентированных моделей (ПОМ)* в экологическом моделировании.

а)



б)



**Рисунок 1.** Графический образ – продукт ИИ на обложке учебного пособия: а) оригинальный образ; б) модификация графическими средствами редактора Word

2. *ПОМы или МОДы?* Долгое время ПОМы были «основным средством организации экологических знаний таким образом, чтобы их можно было быстро обработать на компьютере» [Rykiel, 1989]. В сущности, каждая ПОМ – это модель, которая основана на знании внутренней структуры моделируемого объекта (или процесса) и характера взаимодействия между компонентами этой структуры, и обычно состоит из системы дифференциальных уравнений, представляющих моделируемый объект как систему взаимодействующих компонентов (или процессов).

Альтернативой выступали *эмпирические* модели, или *модели, основанные на данных (МОД)*: функциональные связи между экологическими переменными и факторами окружающей среды (и другими экологическими переменными), полученные из наблюдений. МОДы в целом не учитывают тот факт, что реакция экосистемы на изменения факторов окружающей среды зависит от состояния экосистемы, и потому использование эмпирических моделей ограничивается прогнозом реакции экосистемы вблизи ее текущего состояния, то есть прогнозом краткосрочных прямых эффектов возмущений.

Известны, однако, примеры, когда нелинейная эмпирическая модель представляет собой аналитическое решение соответствующей системы дифференциальных уравнений, заявленной в качестве ПОМы [Tsoularis, Wallace, 2002], но реальное применение таких моделей сталкивается с проблемой калибровки их параметров, не поддающихся прямому

измерению. Их подгонка (fitting) традиционно сводилась к задачам оптимизации, весьма трудоемким в вычислительном плане.

3. *Аппроксимация функций с помощью ИИ* – это альтернатива оптимизации, однако использование нейронных сетей в качестве универсальной замены ПОМов ограничивается диапазоном обучающих данных, а случайная генерация таких данных ради расширения диапазона сталкивается с проблемой выбора генерирующей функции: найти архитектуру нейронной сети, способную воспроизвести эту неизвестную функцию с требуемой точностью весьма непросто. И хотя точность аппроксимации улучшается по мере усложнения архитектуры аппроксимирующей сети, диапазон с трудом поддается расширению. Например, суперпозиция логистических функций (то есть персептрон, содержащий два скрытых слоя с одним нейроном в каждом из них):

$$y(x) = w_3 / \left( 1 + \exp \left( - \left( w_2 / \left( 1 + \exp \left( - (w_1 x + b_1) \right) \right) + b_2 \right) \right) \right) + b_3$$

способна аппроксимировать логистическую функцию с высокой точностью, когда обучающие данные генерируются путем применения логистической функции к значениям  $x$  в диапазоне от  $-3.0$  до  $3.0$  с фиксированным шагом [Alexandrov, 2025, Figure 3]. Если, однако, обучающие данные находятся в более узком диапазоне (от  $-3.0$  до  $-1.0$ ), то MLPRegressor [Pedregosa et al., 2011] находит веса  $b_1, b_2, b_3$  и смещения  $w_1, w_2, w_3$ , которые обеспечивают точность лишь в этом диапазоне и теряют ее вне диапазона (*ibidem*).

4. *Эмуляция ПОМов с помощью ИИ*. Разрабатываемые в настоящее время методы решения дифференциальных уравнений с использованием нейронных сетей [Wen et al., 2022] позволяют превращать ПОМы, сформулированные в виде дифференциальных уравнений, в нейронные сети. Так, например, NeuroDiffEq (пакет Python для решения дифференциальных уравнений с помощью нейронных сетей) позволяет создать нейронную сеть [Chen et al., 2020], способную эмулировать решения заданного дифференциального уравнения для заданных значений параметров модели. Такая нейронная сеть находит значения параметров модели, соответствующих данным наблюдений, и так же, как и ПОМ, может быть использована для экстраполяции наблюдаемых тенденций в динамике переменных модели. Однако не все ПОМы формулируются в виде дифференциальных уравнений, и более того, превращение даже тех ПОМов, которые сформулированы в виде аналитических решений дифференциальных уравнений, в нейронную сеть может оказаться затруднительным в некоторых случаях [Alexandrov, 2025].

5. *Обсуждение*. Упомянутые во введении матричные модели динамики популяций с дискретной структурой (рисунок 1) математически представляют собой системы не

дифференциальных, а разностных неавтономных уравнений. С одной стороны, это ПОМы, поскольку они воспроизводят процесс развития организмов согласно графу жизненного цикла, а с другой, это МОДы, коль скоро они способны воспроизводить данные с нулевой погрешностью, то есть с абсолютной точностью. Их популярность в мире огромна и растёт с каждым годом (банки COMADRE и COMPADRE) [COMPADRE, electronic resource]. Практика применения этих моделей выдвигает новые математические задачи в теории неотрицательных матриц [Логофет, Уланова, 2021], а их решения в достаточно общем виде – новые концепции и новые математические результаты [Logofet, 2023]. В этом заключена невозможность полного замещения естественного интеллекта искусственным.

*б. Заключение.* Превращение существующей ПОМы в нейронную сеть делает ее более «операбельной» с точки зрения анализа больших данных [Li et al., 2023]: нейронная сеть, эмулирующая сложную ПОМу, гораздо более эффективна в вычислительном плане, чем эмулируемая модель. Нейронные сети, которые эмулируют ПОМы, заменяют традиционные вычислительные методы, которые используются для калибровки и запуска ПОМов, но не сами модели. Обзор литературы показывает, что использование инструментов ИИ в качестве «средства организации экологических знаний таким образом, чтобы их можно было быстро обработать компьютером» пока довольно ограничено [Alexandrov, 2025]. Поэтому нужна исследовательская программа для содействия превращению существующих ПОМов в нейронные сети с целью использовать возможности, предоставляемые революцией больших данных [Runting et al., 2020]. Иными словами, возникает заманчивая перспектива запустить проект Jørgensen 2.0, чтобы превратить Handbook of Environmental and Ecological Modeling [Jorgensen, 2017] в инструмент искусственного интеллекта для прогностического понимания экологических процессов.

#### Список литературы

- Логофет Д.О., Уланова Н.Г. 2021. От мониторинга популяции к математической модели: Новая парадигма популяционного исследования // Журн. общ. биологии. Т. 82. № 4. С. 243-269. DOI: 10.31857/S0044459621040035.
- Логофет Д.О., Уланова Н.Г. 2024. Матричные модели биологических популяций: практический курс. М.: МАКС Пресс. 147 с.
- Alexandrov G.A. 2025. When does artificial intelligence replace process-based models in ecological modelling? // Ecol. Modell. V. 499. P. 110923. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2024.110923.

- Chen F., Sondak D., Protopapas P., Mattheakis M., Liu S., Agarwal D., Di Giovanni M. 2020. NeuroDiffEq: a Python package for solving differential equations with neural networks // JOSS. V. 5. P. 1931. DOI: 10.21105/joss.01931.
- COMPADRE. 2024. [Electronic resource]. – URL: <https://compadre-db.org/Data/Compadre> (дата обращения: 10.11.2024).
- Jorgensen S.E. 2017. Handbook of Environmental and Ecological Modeling, Boca Raton, FLA: CRC Press. 680 p. DOI: 10.1201/9780203719343.
- Li X., Feng M., Ran Y., Su Y., Liu F., Huang C., Shen H., Xiao Q., Su J., Yuan S., Guo H., 2023. Big Data in Earth system science and progress towards a digital twin // Nat. Rev. Earth. Environ. Vol. 4. P. 319–332. DOI: 10.1038/s43017-023-00409-w.
- Logofet D.O. 2023. Pattern-multiplicative average of nonnegative matrices revisited: Eigenvalue approximation is the best of versatile optimization tools // Mathematics. V. 11. P. 3237. DOI: 10.3390/math11143237.
- Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A., et al., 2011. Scikit-learn: Machine Learning in Python // J. Machine Learning Research. V. 12. P. 2825-2830. [Electronic resource]. URL: <https://www.jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html>. (дата обращения 09.09.2024).
- Reyhani Haghighi S., Pasandideh Saqalaksari M., Johnson S.N. 2023. Artificial intelligence in ecology: a commentary on a Chatbot's perspective // Bull. Ecol. Soc. Am. V. 104. P. e2097. DOI: 10.1002/bes2.2097.
- Runting R.K., Phinn S., Xie Z., Venter O., Watson J.E.M. 2020. Opportunities for big data in conservation and sustainability // Nat. Commun. V. 11. P. 2003. DOI: 10.1038/s41467-020-15870-0.
- Rykiel E.J. 1989. Artificial intelligence and expert systems in ecology and natural resource management // Ecol. Modell. V. 46. P. 3–8. DOI: 10.1016/0304-3800(89)90066-5.
- Tsoularis A., Wallace J. 2002. Analysis of logistic growth models // Math. Biosci. V. 179. P. 21–55. DOI: 10.1016/S0025-5564(02)00096-2.
- Wen Y., Chaolu T., Wang X. 2022. Solving the initial value problem of ordinary differential equations by Lie group based neural network method // PLoS One. V. 17. P. e0265992. DOI: 10.1371/journal.pone.0265992.

**ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЛАНИРОВАНИЯ  
МАРИКУЛЬТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ  
ПРИМОРСКОГО КРАЯ**

**С.А. Ляшенко**

*Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия*

E-mail: svetlana.lyashenko@tinro.vniro.ru

Ключевые слова: тихоокеанская мидия, приморский гребешок, тихоокеанская устрица, культивирование

Динамичное развитие любой отрасли экономики обусловлено, прежде всего, эффективным планированием. В прибрежной зоне Дальневосточных морей России в настоящее время выделено более 300 участков под марикультуру общей площадью более 80 тыс. га. Они в основном расположены в Приморском крае, где большая часть прибрежной акватории закреплена за пользователями рыбоводных участков. Ввиду того, что границы участка самостоятельно определяет будущий пользователь, они не всегда формируются с учетом основных требований подбора участков для марикультуры и экологических характеристик вида.

Общее требование к акваториям, где планируется размещение подвесных установок и расселение на дно, предполагает, что акватория должна быть защищена от волнения и ветров преобладающих направлений и иметь хороший водообмен [Справочник..., 2002]. В весенне-летний период, когда подвесные установки находятся в толще воды, у берегов Приморья преобладают ветры восточного и юго-восточного направлений, и более защищенными от ветрового волнения оказываются районы западной зоны в зал. Петра Великого, до м. Гамова, акватория Амурского залива и северо-восточные районы Уссурийского залива. Наиболее интенсивному воздействию подвергаются островные архипелаги, восточное побережье полуострова Муравьева-Амурского и восточная часть зал. Петра Великого, от о. Аскольд до м. Поворотный. В прибрежной зоне Приморья, расположенной за м. Поворотный, восточные ветры у берегов меняют свое направление на северо-восточные, наблюдается усиление ветра, направленного вдоль берега в два раза по сравнению с ветром в открытом море [Люция..., 1984]. Поэтому участки под подвесные установки здесь следует выбирать более тщательно, они должны быть прикрыты восточным берегом.

Основными объектами культивирования, для которых разработаны технологии, в нашем регионе являются: приморский гребешок *Mizuhopecten yessoensis* (Jay, 1857),

тихоокеанская мидия *Mytilus trossulus* (Gould, 1850), тихоокеанская устрица *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793), дальневосточный трепанг *Apostichopus japonicus* (Selenka, 1867) и ламинария *Saccharina japonica* (Areschoug) C.E.Lane, C.Mayes, Druehl & G.W.Saunders, 2006. При выборе участка для марикультуры необходимо оценить, насколько они отвечают требованиям реализации существующих в регионе технологий. Например, для размещения подвесных конструкций (садков и коллекторов) для культивирования приморского гребешка не подходят районы с глубинами менее 12 м, для мидии – не менее 9 м. Учитывается также глубина промерзания верхнего слоя воды, коллекторы и садки после притапливания на зимний период не должны касаться дна. Плантации ламинарии целесообразно размещать в районах восточной части зал. Петра Великого и за м. Поворотный, где не образуется сплошной ледовый покров, препятствующий прохождению достаточного светового потока. Для пастбищного выращивания (гребешок, трепанг) большое значение имеет характер грунта. Существует методика выращивания трепанга на песчаном грунте, но она требует дополнительных вложений и пока не находит широкого применения [Долганов и др., 2004].

Ключевую роль при подборе участка играют экологические требования вида, такие как температурный и соленостный режим, а также насыщение вод кислородом. Для культивирования приморского гребешка не подходят районы, где вода в слое размещения садков (глубина 4-10 м) или на дне длительное время имеет значения выше 20-22 °С, поскольку это бореальный вид и при высоких температурах происходит угнетение его роста [Силина, 1990]. Соленость должна быть на уровне 30-34 ‰. Кроме того, этот вид очень чувствителен к содержанию кислорода в воде, для хорошего роста гребешка его должно быть не менее 90 % [Справочник.... 20022]. В северной части Амурского и Уссурийского заливов и в кутовых частях полузакрытых бухт существуют участки с вероятностью дефицита кислорода в придонном слое, где его концентрация снижается до уровня 30-40 % насыщения [Чульчиков и др., 2008]. Дефицит кислорода может развиваться и в толще воды и может быть связан с уменьшением толщины фотического слоя в результате выноса большого количества терригенного материала в период обильного речного и берегового стока. В зоне риска вся северная часть Амурского залива, которая находится под влиянием р. Раздольная. Это влечет за собой риск повышения мутности воды и заиления в результате выноса терригенного материала, что наблюдается в период прохождения летних и осенних циклонов, в отдельные годы негативное влияние мутных стоковых вод распространяется на западную часть Амурского залива, где также есть довольно крупные реки [Соколенко и др., 2023]. Повышенная мутность негативно влияет на фильтрационную способность моллюсков, особенно личинок и ранней молодежи.

В районах, расположенных к востоку от м. Поворотный, вследствие более активной динамики вод создаются более благоприятные по температуре и кислороду условия для приморского гребешка.

Тихоокеанская мидия имеет высокий репродуктивный потенциал на всей акватории зал. Петра Великого, она прекрасно себя чувствует как в мелководных районах с высокими летними температурами, так и в более холодноводных. Она заселяет в основном верхние слои, насыщенные кислородом. Практика показала, что молодь мидии также хорошо переносит понижение солености до 13 ‰ в течение недели.

Тихоокеанская устрица является эвригалинным и эвритермным видом, во взрослом состоянии хорошо переносит значительное распреснение и резкие колебания температуры. Температурный режим при выборе участка для ее культивирования будет иметь наибольшее значение, поскольку она, как и трепанг, относится к субтропическо-низкобореальным видам, которые в Приморье образуют скопления в мелководных бухтах и заливах. Наиболее крупные природные скопления устрицы расположены в северной части Амурского залива и зал. Посъета. Однако устрицу выращивают в садках в верхних хорошо прогреваемых слоях воды и географию размещения устричных плантаций можно существенно расширить далеко за пределы ее природных скоплений. Хорошие темпы роста устрица уже показала в островной и в восточной зоне зал. Петра Великого, где она не имеет крупных скоплений [Табельская, Гаврилова, 2021].

При выборе участка марикультуры необходимо обратить особое внимание на уровень загрязнения акватории. Двустворчатые моллюски, являясь фильтраторами, способны накапливать токсичные соединения, такие как соли тяжелых металлов и продукты нефтепереработки, также как и синевица бурых водорослей. В Государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году» большая часть прибрежных районов залива Петра Великого характеризовалась как «умеренно-загрязненные» воды. Исследования содержания токсичных веществ в беспозвоночных и водорослях, выращиваемых на плантациях, а также микробиологических показателей в настоящее время не проводятся в ходе ветеринарного освидетельствования. Между тем, развитие этого направления исследований необходимо для обеспечения контроля качества продукции марикультуры и должно быть законодательно регламентировано, учитывая опыт передовых стран – производителей продукции марикультуры.

Таким образом, достижение рационального использования водных биологических ресурсов прибрежной зоны Приморья возможно при условии тщательного планирования хозяйственной деятельности на основе анализа экологических условий акваторий и



существующих технологий культивирования, разработанных с учетом региональной специфики.

#### Список литературы

- Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году [Electronic resource]. URL: [https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye\\_doklady/gosudarstvennyy\\_doklad\\_o\\_sostoyanii\\_i\\_ob\\_okhrane\\_okruzhayushchey\\_sredy\\_rossiyskoy\\_federatsii\\_v\\_2020/?PAGEN\\_2=2](https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2020/?PAGEN_2=2) (дата обращения 20.09.2024).
- Долганов С.М., Рогачев В.Г., Медведев В.А. 2004. Установка и способ культивирования дальневосточного трепанга *Apostichopus japonicas* (Selenka, 1867) // Изв. ТИНРО. Т. 204. № 2. С. 444-464.
- Лощия северо-западного берега Японского моря (от реки Туманная до мыса Белкина). 1984. № 1401. 116 с.
- Силина А.В. 1990. Выбор районов и сроков выращивания приморского гребешка у берегов Приморья // Биол. моря. № 5. С. 48-52.
- Соколенко Д.А., Матвеев В.И., Сухин И.Ю., Ляшенко С.А. 2024. Аномальная гидрометеорологическая ситуация летом 2023 года и ее влияние на поселения, воспроизводство и культивирование морских гидробионтов в Амурском заливе Японского моря // Материалы II Международной научно-практической конференции: Рыбохозяйственный комплекс России: 300 лет российской академической науке. М.: Изд-во ВНИРО. С. 320-324.
- Справочник по культивированию беспозвоночных в южном Приморье. 2002. Сост. А.В. Кучерявенко, Г.С. Гаврилова, М.Г. Бирюлина // Владивосток: ТИНРО-центр. 83 с.
- Табельская А.С., Гаврилова Г.С. 2021. Рост и выживаемость заводской молоди тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1973) в заливе Петра Великого // Изв. ТИНРО. Т. 201. Вып. 3. С. 712-722.
- Чульчечков Д.Н., Зуенко Ю.И., Рачков В.И. 2008. Формирование зон гипоксии дна Амурского залива // Морские прибрежные экосистемы / Водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки: Тезисы докл. третьей Междунар. н.-пр. конф. Владивосток: ТИНРО-Центр. С. 215.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ  
ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЭКОСИСТЕМАХ  
ПО ГЕНЕТИЧЕСКИМ ДАННЫМ**

**Т.А. Марьяновская, Д.Ю. Щербаков**

*ЛИН СО РАН, Иркутск, Россия*

E-mail: t.maryanovskaya@alumni.nsu.ru

Ключевые слова: эволюция, глубокое обучение, смешанная стратегия размножения, математическая модель

Смешанная стратегия размножения наблюдается у различных организмов, например дафний, некоторых видов рыб, растений, демонстрирующих уникальную способность переключаться между бесполом (партеногенетическим) и половым размножением в зависимости от условий среды. Дафнии являются примером быстрой смены стратегии размножения. В благоприятные периоды они преимущественно размножаются партеногенетически, что обеспечивает быстрое увеличение их численности. Однако при наступлении неблагоприятных условий — изменения температуры, нехватки ресурсов или других стрессовых факторов — они переходят на половое размножение, что способствует увеличению генетического разнообразия и, как следствие, повышению шансов на выживание [Schön et al., 2009]. Более длительные и постоянные изменения в репродуктивных стратегиях могут быть ответом на глобальные изменения окружающей среды.

Изучение смешанных стратегий размножения особенно важно в контексте глобальных изменений, таких как климатические изменения, деградация экосистем и сокращение ресурсов. Изучение адаптивных механизмов, которые позволяют организмам эффективно реагировать на эти изменения, имеет ключевое значение для понимания механизмов устойчивости и выживания биологических видов. Генетическое разнообразие, достигаемое через половое размножение, создает возможности для адаптации к новым условиям, что особенно важно в условиях быстро меняющейся окружающей среды. Кроме того, понимание репродуктивных стратегий может помочь в разработке методов сохранения видов, что является значимой задачей для биологии, экологии и охраны окружающей среды. Генетические последствия влияния глобальных изменений в окружающей среде и являются предметом данного исследования.

Современные подходы для математического описания сложных биологических процессов, такие как искусственные нейронные сети, открывают новые возможности для анализа этих адаптивных механизмов и для прогнозирования реакции организмов в

меняющихся условиях. Технологии машинного обучения позволяют создавать более точные математические модели для описания сложных процессов, при этом снижая требования к вычислительным ресурсам и сокращая время вычислений.

Ранее авторы работы реализовали модель, которая предсказывает соотношение полового и бесполого размножения в популяции, использующей смешанную стратегию и обитающей в постоянных условиях. Используя эту модель, обученную на данных об организмах, которые живут в постоянных условиях, можно детектировать следы резких изменений окружающей среды.

С применением машинного обучения возможно более глубокое и точное понимание экосистемных процессов. Анализ больших объемов данных о репродуктивных стратегиях и изменениях в окружающей среде позволяет выявить закономерности и тренды, которые не всегда очевидны при традиционном исследовании. Это может помочь в разработке высокоточных моделей прогнозирования поведения популяций.

В данном исследовании была использована модель для генерации популяций с переменным соотношением стратегий размножения. Каждой популяции задаётся фиксированное соотношение полового и бесполого размножения, которое сохраняется до тех пор, пока не происходит резкое изменение этого соотношения. Это изменение в реальных условиях происходит в ответ на изменения окружающей среды. После этого новое соотношение сохраняется на протяжении длительного времени, прежде чем вновь изменяется. Такая динамика отражает естественный процесс и позволяет определить круг изменений в экосистемах, которые можно выявить с использованием данного подхода.

#### Список литературы

Schön I., Martens K., van Dijk P. 2009. Lost sex. The evolutionary biology of parthenogenesis. 615 p.

**О ПРОДУКЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЯХ *GAMMARUS LACUSTRIS* В ВОДОЕМАХ  
БАССЕЙНА ОЗЕРА БАЙКАЛ И ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ РАСЧЕТЕ  
РЕКОМЕНДОВАННОГО ВЫЛОВА**

**Д.В. Матафонов**

*Байкальский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («БайкалНИРО»), Улан-Удэ, Россия*

E-mail: dimataf@yandex.ru

Ключевые слова: *Gammarus lacustris*, P/B-коэффициент, бассейн Байкала, оценка запаса

Одним из коэффициентов, используемых при расчете величины рекомендованного вылова бокоплава *Gammarus lacustris* Sars, 1863 в соответствии с Методическими указаниями [Определение общих допустимых..., 2003] является P/B-коэффициент, который характеризует отношение продукции популяции за период времени к среднему значению биомассы за этот же период. При оценке запасов гаммаруса согласно указаниям следует использовать годовой P/B-коэффициент равный 2,0, который учитывает как трофические связи в экосистеме (включая то, что до 10 % биомассы популяции *G. lacustris* может использоваться организмами последующих трофических уровней: различными видами рыб и птиц), так и приостановку ростовых процессов в зимнее время года. Для учета запасов гаммаруса в зимний период времени следует использовать коэффициент, равный 1. Таким образом, предлагается два варианта расчета запаса на основе P/B-коэффициента. Поскольку указания разрабатывались и были изданы немногим более 20 лет назад, на данный момент накопился богатый опыт их использования в практике расчетов запасов гаммаруса, который убеждает в необходимости актуализации данных в части применяемого P/B-коэффициента.

О продукционных показателях *G. lacustris* в водоемах Байкальского рыбохозяйственного бассейна известно следующее. В бассейне Байкала *G. lacustris* является единственным представителем гаммарид, в отношении которого ведётся промысел. Наиболее ранние и полные сведения о биологии и продукционных показателях *G. lacustris* были получены на примере прибайкальских водоёмов в середине 20 века [Бекман, 1954] в связи с интересом к потенциалу его более полного хозяйственного использования, а также в связи с решением фундаментального вопроса о причинах «несмешиваемости» байкальской и общесибирской фаун амфипод. В дальнейшем *G. lacustris* становился объектом специального изучения на водоёмах Ивано-Арахлейской системы и оз. Щучье, расположенного в котловине Еравнино-Харгинских озёр, на

которых были получены сведения о продукционных показателях этого вида в озёрах Забайкалья [Шаповалова, Кузьмич, 1981; Исследование взаимосвязи кормовой..., 1986].

Исследования биологии *G. lacustris* М.Ю. Бекман [1954] проводила в 1947-1949 гг. на четырёх прибайкальских водоёмах с площадью от 0,2 до 0,5 га и глубиной до 3,5 м. На примере оз. Старое (сумма температур 2400 градусо-дней) были получены данные о сезонной динамике количественных и продукционных показателей гаммаруса. Максимум биомассы приходился на май, когда средние значения были на уровне 49,7-53,4 г/м<sup>2</sup>, а минимум – на июнь-июль (11 г/м<sup>2</sup>). Средняя за период биомасса в этом озере составляла около 32 г/м<sup>2</sup>. Рассчитанная величина продукции гаммаруса около 98 г/м<sup>2</sup> в её отношении к средней биомассе позволила определить Р/В-коэффициент, который для популяции гаммаруса оз. Старое оказался равным 3.

На озёрах Иван и Арахлей исследования биологии гаммаруса были выполнены в 1970-1972 гг. [Шаповалова, Кузьмич, 1981]. Озёра имеют площадь около 15 (оз. Иван) и 58 км<sup>2</sup> (оз. Арахлей) и средние глубины – 3,1 и 10,4 м. Промысел гаммаруса на озёрах не ведётся. Продукция, рассчитанная за период с июня 1971 г. по май 1972 г., для оз. Иван составила 11,19, оз. Арахлей – 9,79 г/м<sup>2</sup>, среднегодовая биомасса за этот же период – 4,14 и 2,20 г/м<sup>2</sup>. Годовой Р/В-коэффициент для популяции гаммаруса в оз. Иван составил 2,7, оз. Арахлей – 4,45; за летний период (июнь-август) – 2,07 и 1,55.

В озере Щучье, которое исследовалось в 1981-1982 гг. [Исследование взаимосвязи кормовой..., 1986], гаммариды в озере населяют в основном заросли хары. Величина продукции популяции гаммаруса в озере, вычисленная за период с июня по сентябрь 1981 г., составила 9,74, а в 1982 г. – 8,01 г/м<sup>2</sup>, что при средней биомассе 2,75 и 1,75 г/м<sup>2</sup> даёт величину Р/В-коэффициентов 3,54 и 4,57. По заключению авторов работы полученные коэффициенты оказались близки таковым для озёр Прибайкалья и Забайкалья, о которых было сказано выше.

Как видно из этих данных. Р/В-коэффициенты, полученные для водоемов бассейна оз. Байкал, выше предлагаемого в Методических указаниях. Исходя из этого, возникают вопросы: насколько близкой к действительной является величина продукции *G. lacustris*, рассчитанная на основе коэффициента из указаний? Приводит или нет использование такого коэффициента к недоучету запасов? Какие возможны варианты?

В собственной практике имеются примеры, которые указывают на то, что предлагаемый Р/В-коэффициент не во всех ситуациях позволяет дать корректную оценку биомассы. Например, специальными исследованиями с июня по октябрь 2023 г. на бормашовом озере без названия («бормаш» – местное название гаммаруса) у с. Поперечное были получены данные о динамике биомассы гаммаруса, величины которой с

1,2 т на всё озеро в июне увеличились до 5,5 т в октябре, то есть в 4,6 раза (промысел в летний период на озере не ведется). Очевидно, что для такой ситуации Р/В-коэффициент должен быть не 2, а ближе к 5, если в основе расчетов запаса будут данные на начало июня (коэффициент учитывает потери популяции на смертность, которая входит в величину продукции). По предварительным данным использование коэффициента 2 даёт приемлемую оценку биомассы к началу подледного периода, только если данные для расчета относятся к середине летнего периода. В 2024 году выполняются дополнительные исследования на этом озере для проверки полученных в 2024 г. данных и расчета продукционных показателей, результаты которых будут представлены несколько позже.

Другим примером высоких темпов роста популяции *G. lacustris* является скорость освоения этим видом оз. Сайдам (площадь в 2024 г. до 0,7 км), которое до 2020 г. было высохшим на протяжении не менее 5 лет. После наполнения к осени 2020 г. уже в 2024 г. (фактически через три года) озеро вновь привлекает внимание с целью промысла этого вида.

В целом, решение вопроса корректной оценки запаса гаммаруса видится в расширении диапазона значений Р/В-коэффициента за счет рассчитанного по биомассе популяции в начале подъема численности, либо её величинам во все месяцы интенсивного роста.

#### Список литературы

- Определение общих допустимых уловов (ОДУ) амфиподы *Gammarus lacustris*:  
Методические указания. 2003. Тюмень: Госрыбцентр, 18 с.
- Бекман М.Ю. 1954. Биология *Gammarus lacustris* прибайкальских водоемов // Тр. Байкал. Лимнол. станции. Т. 14. С. 263–311.
- Шаповалова И.М., Кузьмич В.Н. 1981. Роль озерного бокоплава в биопродуктивности и питании рыб Ивано Арахлейских озер // Гидробиол. журн. № 5. С. 44–47.
- Исследование взаимосвязи кормовой и базы и рыбопродуктивности на примере озер Забайкалья. 1986. Л.: Наука. 232 с.

## ФИЛЬТР КАЛМАНА ПРИ НАСТРОЙКЕ ПРОДУКЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПО МНОГИМ РЯДАМ ИНДЕКСОВ ЧИСЛЕННОСТИ

А.И. Михайлов<sup>1</sup>, А.Е. Бобырев<sup>1,2</sup>, Д.А. Шереметьев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем экологии и эволюции РАН, Москва, Россия

E-mail: cadastr@vniro.ru

Ключевые слова: оценка параметров, математическая статистика, стохастические дифференциальные уравнения, математическое моделирование, модели популяционной динамики

Наличие нескольких рядов индексов численности различного происхождения данных учетных съемок и промысловой статистики для разных типов орудий лова является типичной ситуацией при оценке состояния запасов промысловых гидробионтов. Для настройки моделей популяционной динамики на несколько индексов численности необходимо сравнить наблюдаемые данные с теоретической модельной оценкой, однако сама модельная оценка должна опираться на данные, приближая их наилучшим образом. Эффективным способом разрешения этого противоречия является применение фильтра Калмана [Kalman, 1960; Стратонович, 1961].

Зададим модель динамики оценки состояния запаса в следующем виде:

$$b_{t+1} = (b_t + g(t, b_t; \theta)) + kR(\varepsilon_t),$$

где  $b_t = \ln(B/B_{MSY})$  переменная состояния, логарифмированная биомасса запаса; функция сноса  $g(t, b_t, \theta)$  соответствует продукционной модели Пелла-Томлинсона [Pella, Tomlinson, 1969] и зависит от времени через улов  $C_t$  и набора параметров  $\theta = (F_{MSY}, MSY, \gamma)$  – промысловой смертности на уровне  $MSY$ , величины  $MSY$  и коэффициента формы

$$g(b_t; \theta) = F_{MSY} \left( \frac{1}{\gamma} (1 + \gamma - \exp(\gamma b_t)) - \frac{C_t}{MSY} \exp(-b_t) \right)$$

$k$  – коэффициент фильтрации, в общем случае зависящий от времени;

$R$  – винзоризированная невязка модели

$$R(\varepsilon) = \begin{cases} \varepsilon_{max}; & \varepsilon > \varepsilon_{max} \\ \varepsilon; & -\varepsilon_{max} < \varepsilon < \varepsilon_{max}; \\ -\varepsilon_{max}; & \varepsilon < -\varepsilon_{max} \end{cases}$$

Невязка модели вычисляется как разность взвешенных ( $0 \leq \omega_j \leq 1$ ) наблюдений и предиктора модели:

$$\varepsilon_t = \left( \sum_j \omega_j \left( \ln U_t^j - \ln q^j - \ln \left( \frac{MSY}{F_{MSY}} \right) \right) \right) - (b_t + g(b_t; \theta))$$

$$\sum_j \omega_j = 1$$

Параметры предиктора подбираются так, чтобы минимизировать целевую функцию винзоризованную  $p$ -норму ряда остатков

$$L(\varepsilon) = \left( \frac{1}{\#\varepsilon - 2cut} \sum_{cut}^{\#\varepsilon - cut} |\varepsilon_i|^p \right)^{1/p},$$

где остатки упорядочены по возрастанию, а их крайние значения симметрично отброшены.

В простейшем случае линейной модели процесса, то есть модели Фокса [Fox, 1970] в контексте производственных моделей, и одного ряда наблюдений можно явно оценить вклад в значение целевой функции коэффициента фильтрации.

Вначале вычислим невязку  $\xi_{t+1}$  как разницу между наблюдением  $y_{t+1}$  и прогнозом по модели  $X_{t+1}(y_t; \theta)$  из предыдущего наблюдения:

$$\xi_{t+1} = y_{t+1} - X_{t+1}(y_t; \theta)$$

Оценка состояния есть компромисс между наблюдением и прогнозом модели

$$\hat{x}_{t+1} = y_{t+1} - (1 - k)\zeta_{t+1}$$

Далее вычислим невязку  $\zeta_{t+1}$  как разницу между наблюдением и прогнозом по модели  $X_{t+1}(\hat{x}_t; \theta)$  из предыдущего состояния:

$$\zeta_{t+1} = y_{t+1} - X_{t+1}(\hat{x}_t; \theta) = X_{t+1}(y_t) - X_{t+1}(\hat{x}_t) + \xi_{t+1} \approx \dot{X}_{t+1}(y_t - \hat{x}_t) + \xi_{t+1} = (1 - k)\dot{X}_{t+1}\zeta_t + \xi_{t+1}$$

Тогда можно вычислить явную зависимость целевой функции от коэффициента фильтрации

$$\sum \zeta_t^2 = \sum \xi_t^2 + (1 - k) \sum \dot{X}_t \xi_t \xi_{t-1} + (1 - k)^2 \sum \dot{X}_t \dot{X}_{t-2} \xi_t \xi_{t-2} + \sum_{\tau=3}^t (1 - k)^\tau \sum_{j=0}^{\tau} \dot{X}_{t-j} \xi_t \xi_{t-\tau}$$

Коэффициенты этого полинома от  $(1 - k)$  определяются знакопеременными автокорреляциями невязки  $\xi$ . При  $k = 1$  оценка параметров совпадет с обычной среднеквадратичной минимизацией, однако по  $k$  существует градиент целевой функции, а значит, среднеквадратичная оценка может быть улучшена.

#### Список литературы

Стратонович Р.Л. 1961. Условные марковские процессы в задачах математической статистики и динамического программирования // Докл. АН СССР. Т. 140. №. 4. С. 769-772.



- Fox W.W. 1970. An exponential yield model for optimizing exploited fish populations // Trans. Am. Fish. Soc. V. 99. P. 80-88.
- Kalman R.E. 1960. A new approach to linear filtering and prediction problems» // Journal of Basic Engineering. V. 82(1). P 35-45.
- Pella J.S., Tomlinson P.K. 1969. A Generalized Stock-production Model // Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. V. 13. P. 421-496.

## ПРИМЕНЕНИЕ АНСЦЕНТНОГО ФИЛЬТРА КАЛМАНА В МОДЕЛИ $\sigma$ КАФКА С МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫМ ШУМОМ ПРОЦЕССА

А.А. Михеев

*Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия*

E-mail: alex\_mikheyev@mail.ru

Ключевые слова: оценка запаса, когортные модели, мультипликативный шум процесса, ансцентный фильтр Калмана, сигма-точки

Современные модели оценки запаса, представимые в пространстве состояний (SSM), содержат, как правило, логнормальный шум [Nielsen, Berg, 2014; Miller et al., 2016; Albertsen et al., 2017; Liljestrands et al., 2023]. Это обусловлено тем, что запас, как величина, имеет естественное ограничение снизу. Введение мультипликативного шума в когортные SSM-модели создает в системе нелинейность, что затрудняет применение фильтра Калмана (ФК), изначально построенного на линейной аддитивной структуре [Kalman, 1960]. Альтернативный путь состоит во введении дополнительной линейной модели для пополнения и отказе от обратного расчета, чего хотелось бы избежать. Модель КАФКА основана на классическом ФК и указанных проблем не имеет, но в ряде случаев дает отрицательные нижние доверительные границы оценок запаса [Михеев, 2016]. В данной связи целесообразно в КАФКА вместо аддитивного шума процесса использовать мультипликативный, не изменив при этом расчетную процедуру. В такой ситуации приходится прибегнуть к более сложным вариантам фильтра, таким как расширенный или сигма-точечный. Следует отметить, что сигма-точечный ФК на два порядка выигрывает у расширенного по точности, расплачиваясь ростом объема вычислений [Särkkä, 2013]. Преимущество достигается за счет замены разложения нелинейностей в распределениях оценок в ряд Тейлора, как в расширенном ФК, аппроксимацией моментов самих распределений набором специальных сигма-точек [Julier, Uhlmann, 1997]. Обозначенный подход назван авторами «ансцентным преобразованием», а соответствующий фильтр «ансцентным ФК». Д-р Ван дер Мерве указал на с. 51 своей работы, что у термина «unscented» нет общепринятой интерпретации, ссылаясь на частное сообщение д-ра Жульера, и он употребляет название «сигма-точечный ФК» [Van der Merwe, 2004]. По этой причине данный термин использован без перевода, а модель с ансцентным ФК из-за применения в ней  $\sigma$ -точек обозначена как  $\sigma$ КАФКА. Названная модель показана на рисунке 1. Она основана на процессе с мультипликативным шумом. Что касается наблюдений, то их ошибки можно описать нормальным распределением, усеченным слева

нулем [Токмачёв, Рязанцев, 2010]. В этом случае аддитивная форма ошибки вполне уместна (рисунок 1).

**Процесс с мультипликативным шумом**

$$N_{t+1} = (sN_t - s^{1-\Delta}C_t + R_{t+1})e^{\epsilon_t} = g_0(N_t)e^{\epsilon_t}, \epsilon_t \sim \text{Norm}(0, \sigma_N^2), t = \overline{1, T}.$$

**Объединенная переменная состояний**

$$\mathbf{x}_t = \begin{Bmatrix} N_t \\ \epsilon_t \end{Bmatrix}, t = \overline{1, T}, \mathbf{x}_t \in \mathbb{R}^{v=2}.$$

**Уравнение процесса:**

$$\mathbf{x}_{t+1} = \mathbf{G}(\mathbf{x}_t) = \begin{Bmatrix} g_0(N_t)e^{\epsilon_t} \\ \epsilon_t \end{Bmatrix}, t = \overline{1, T}. \quad (1)$$

Переменная  $\mathbf{x}_t$  является  $v$ -мерной случайной величиной со средним и ковариацией соответственно:

$$\hat{\mathbf{x}}_t = \begin{Bmatrix} \hat{N}_t \\ 0 \end{Bmatrix}, \quad \mathbf{P}_t = \begin{Bmatrix} P_t & 0 \\ 0 & \sigma_N^2 \end{Bmatrix}.$$

Прогноз переменной состояний связан с оценкой  $\hat{\mathbf{x}}_t$ :

$$\mathbf{x}_{t+1}^+ = \begin{Bmatrix} N_{t+1}^+ \\ 0 \end{Bmatrix} = \mathbf{G}(\hat{\mathbf{x}}_t), t = \overline{1, T}.$$

**Уравнение наблюдений с аддитивной ошибкой**

$$\mathbf{l}_t = \{l_{1,t} \quad l_{2,t} \quad \dots \quad l_{m,t}\}^T = \mathbf{h}\mathbf{x}_t + \boldsymbol{\delta}_t, \quad t = \overline{1, T}, \mathbf{l}_t \in \mathbb{R}^m, \quad (2)$$

$$\mathbf{h} = \begin{Bmatrix} q_1 & q_2 & \dots & q_m \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{Bmatrix}^T;$$

где  $T$  — символ транспонирования;  $\boldsymbol{\delta}_t \sim \text{Norm}(\{\mathbf{0}\}_{m \times 1}, \mathbf{P}_y)$ ,

$$\mathbf{P}_y = \text{diag}\{\sigma_{l_1}^2 \quad \sigma_{l_2}^2 \quad \dots \quad \sigma_{l_m}^2\}.$$

Масштабированный индекс наблюдений:

$$\mathbf{y}_t = \text{diag}\{q_1^{-1}, \dots, q_m^{-1}\}\mathbf{l}_t, \mathbf{y}_t \in \mathbb{R}^m, t = \overline{1, T}.$$

**Рисунок 1.** Описание модели сКАФКА

( $N_t$  — запас в год  $t$ ;  $C_t$  — годовой улов;  $R_t$  — пополнение;  $s \in (0, 1)$  — коэффициент годовой естественной убыли;  $\Delta$  — доля года до начала промысла;  $m$  — число источников наблюдений; все величины, входящие в баланс запаса, представлены в единицах численности)

Исходное уравнение процесса было преобразовано в расширенную систему с объединенным вектором состояний (рисунок 1). Подобная система, комбинирующая оба типа ошибок, с кратким описанием алгоритма ФК в форме «предиктор-корректор» рассматривается в статье [Julier, Uhlmann, 1997]. Версии названного алгоритма для систем с различным типом шумов сведены в работах [Van der Merwe, 2004; Särkkä, 2013] и подвергнуты сравнительному анализу в статье [Wu et al., 2005]. Однако, для систем с комбинированными шумами аналогичный анализ, видимо, отсутствует. Ансцентный ФК для сКАФКА был реализован в виде алгоритма, показанного на рисунке 2.



Используя лемму об обращении матрицы [Tylavsky, Sohie, 1986], алгоритм «предиктор-корректор» для первой компоненты переменной состояния можно представить в скалярном виде (рисунок 3).

<p><b>Начальный предиктор, <math>t = 1</math></b>  <math>N_1^+ = N_1</math> — из когортного анализа,  <math>P_1^+ = s^2 P_0 + \frac{1}{3} \xi(\sigma_N)(N_1^+)^2</math>.</p> <p><b>Обновление наблюдений, <math>t = \overline{1, T}, i = \overline{1, m}</math></b>  <math>w_t = \left(1 + P_t^+ \sum_{i=1}^m \frac{q_i^2}{\sigma_{ii}^2}\right)^{-1}</math>,  <math>K_{it} = w_t P_t^+ \frac{q_i}{\sigma_{ii}^2}</math>,  <math>w'_{it} = q_i K_{it}</math>, <math>\tilde{w}_{it} = \frac{w'_{it}}{\sum_{i=1}^m w'_{it}}</math>,  <math>y_{i,t} = \frac{l_{i,t}}{q_i}</math>, <math>y_{w_t} = \sum_{i=1}^m \tilde{w}_{it} y_{i,t}</math>.</p> <p><b>Корректор, <math>t = \overline{1, T}</math></b>  <math>\tilde{N}_t = w_t \varphi(\sigma_N) N_t^+ + (1 - w_t) y_{w_t}</math>,  <math>P_t = w_t P_t^+</math>.</p> <p><b>Предиктор, <math>t = \overline{1, T}</math></b>  <math>N_{t+1}^+ = s \tilde{N}_t - s^{1-\Delta} C_t + R_{t+1}</math>,  <math>P_{t+1}^+ = s^2 P_t + \frac{1}{3} \xi(\sigma_N)(N_{t+1}^+)^2</math>.</p> <p><b>Вспомогательные функции</b>  <math>\xi(\sigma_N) = 2[1 - \varphi(\sigma_N)]^2 + [e^{\sigma_N \sqrt{3}} - \varphi(\sigma_N)]^2</math>,  <math>\varphi(\sigma_N) = \frac{1}{3} [2 + \text{ch}(\sigma_N \sqrt{3})]</math>.</p>
--

**Рисунок 3.** Алгоритм «предиктор-корректор» для модели  $\sigma$ КАФКА

Одна из важных задач работы состояла в сравнении обеих версий КАФКА. Учитывая, что результаты когортного анализа для них идентичны, здесь они не рассматриваются. Оптимизация в ФК выполнялась по  $2m + 2$  параметрам  $\theta$  на основе данных наблюдений  $\mathbf{I}_t$  с использованием функции потерь (ФП) в виде концентрированного отрицательного логарифмического правдоподобия [Harvey, 1989]:

$$L_c(\theta | \mathbf{I}_t) = \sum_{t=1}^T \text{Ln} |\mathbf{P}_{y_t}^+(\theta)| + \sum_{t=1}^T \delta_t^T(\theta) \left( \mathbf{P}_{y_t}^+(\theta) \right)^{-1} \delta_t(\theta),$$

$$\min_{\theta} L_c(\theta | \mathbf{I}_t) = L_c(\theta^*) = L_{min}, \quad \theta = \{P_0, \sigma_N, \{\sigma_{ii}\}_m, \{q_i\}_m\},$$

где  $|\mathbf{P}_{y_t}^+(\theta)|$  — детерминант матрицы обновления.

Доверительные интервалы оценок строили согласно правилам математической статистики и рекомендациям для SSM-моделей с логнормальным шумом [Harvey, 1989; Cadigan et al., 2024]. Для поиска  $L_{min}$  применили геналгоритм с градиентным обучением [Михеев, 2016].

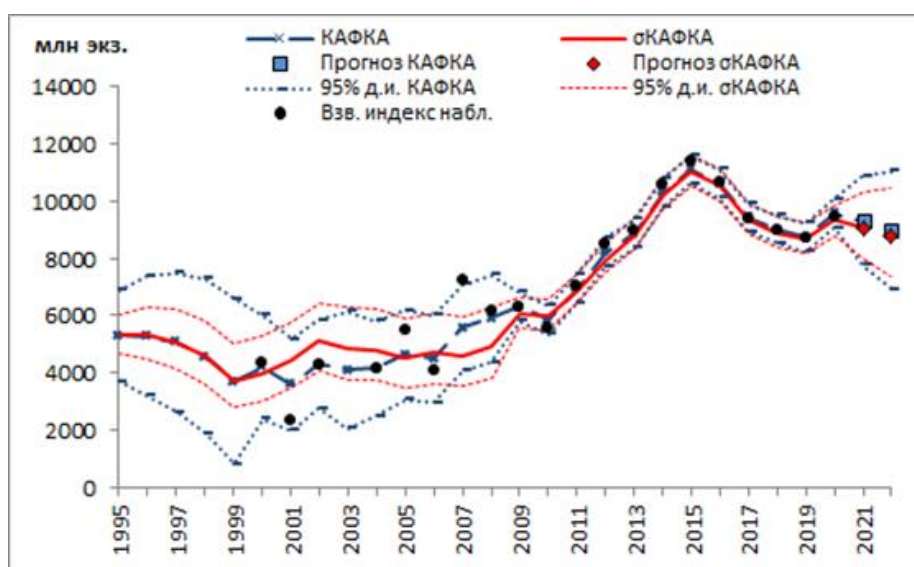
Приложение модели  $\sigma$ КАФКА к оценке запасов в сравнении с моделью КАФКА продемонстрировано на примере охотоморской сельди (СОХ). Были использованы два вида наблюдений: 1) CPUE БМРТ за 2009-2020 гг., млн экз./сс; 2) оценки запаса икры по ихтиопланктонным съемкам (ИПИ) за 2000-2020 гг., кроме 2003, 2016 гг., млрд экз. Параметры обеих моделей при минимуме ФП приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Оптимизированные модельные параметры  $\theta^*$  для сельди СОХ за 1995-2020 гг.

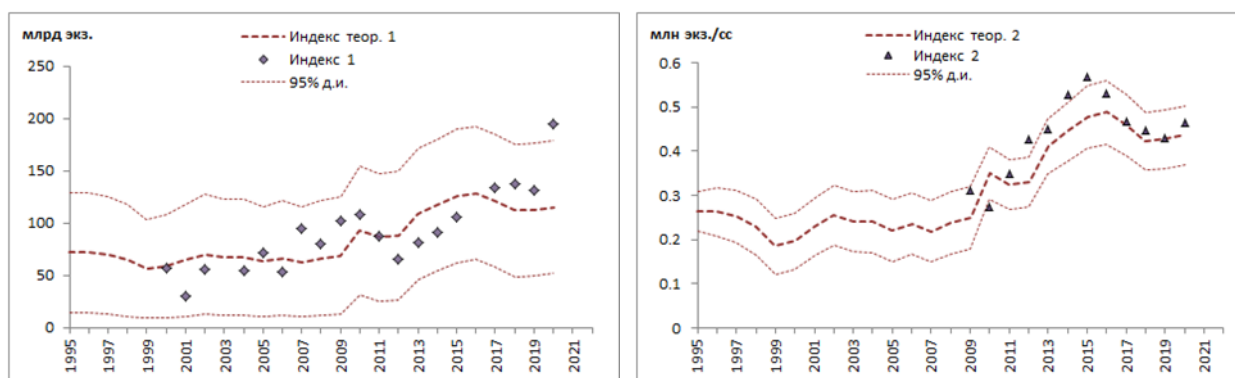
	$s$	$\Delta$	$\Phi_A$	$P_0$	$\sigma_N$	$\sigma_{I1}$	$\sigma_{I2}$	$q_1$	$q_2$	$L_{min}$
$\sigma$ КАФКА	0,923	1	0,63	$5,127 \cdot 10^3$	0,060	31,344	0,016	$1,31 \cdot 10^{-2}$	$4,96 \cdot 10^{-5}$	$36,248$
КАФКА				$2,841 \cdot 10^5$	758,517	17,446	0,011			$40,295$

Примечание: первые три параметра относятся к когортному анализу.

Отфильтрованная динамика запаса по обеим моделям для сравнения представлена на рисунке 4. О близости расчетных  $\sigma$ КАФКА и фактических индексов можно судить по рисунку 5.



**Рисунок 4.** Сравнение модельных рядов запаса сельди СОХ согласно двум версиям КАФКА на фоне взвешенных масштабированных индексов наблюдений



**Рисунок 5.** Теоретические индексы наблюдений сельди СОХ по модели  $\sigma$ КАФКА на фоне фактических значений: слева — данные ихтиопланктонных съемок; справа — данные CPUE (см. текст)

Следует отметить сужение и ожидаемую асимметрию доверительных интервалов оценок у  $\sigma$ КАФКА относительно аддитивной версии (рисунок 4). Вместе с тем обе модели заметно и практически одинаково повысили точность оценок при увеличении количества наблюдений после 2009 г. Сходство оценок в целом обусловлено алгоритмом коррекции (рисунок 3), дающим при  $\sigma_N = 0,06$  (таблица 1)  $\varphi(\sigma_N) = 1,002$ . Что, кстати, точно совпадает с математическим ожиданием  $e^{0,5\sigma_N^2}$  логнормального распределения. Аналогичный результат получен и для  $1/3 \xi(\sigma_N) = 3,87 \cdot 10^{-3}$ , что менее чем в 1,07 крат превышает соответствующую дисперсию  $e^{\sigma_N^2} (e^{\sigma_N^2} - 1)$ . С другой стороны, из поведения функций  $\varphi(\sigma_N)$  и  $\xi(\sigma_N)$  следует, что при росте дисперсии шума процесса  $\sigma_N^2$  статистические характеристики оценок фильтра будут все больше отклоняться от номинальных.

Из сравнения рисунков 4 и 5 можно видеть, что наблюдения с промысла с момента появления стали доминировать над данными ихтиопланктонных съемок во влиянии на коррекцию модельного прогноза. Такое поведение фильтра объяснимо тем, что дисперсия ошибки наблюдений для обеих моделей у промысловых индексов примерно на три порядка меньше аналогичной величины для ИПИ (таблица 1). В свою очередь, соотношение дисперсии шума процесса с ошибками наблюдений определило то, что взвешенные масштабированные индексы наблюдений  $y_{w_t}$  после 2009 г. следовали за CPUE. С другой стороны, в период с 2000 по 2009 гг. динамика  $y_{w_t}$  в  $\sigma$ КАФКА конкурировала с когортной моделью, а в КАФКА больше зависела от ИПИ. Этим объясняется небольшое различие в оценках запаса между моделями в указанный период. Таким образом, напрашивается вывод о том, что модель с мультипликативным шумом в сравнении с моделью с аддитивным шумом в своих оценках меньше зависит от наблюдений при их дефиците.

Известно, что для одномерных процессов целесообразно фиксировать дисперсию шума и выносить этот параметр за пределы процедуры оптимизации [Harvey, 1989]. Можно показать, что данный подход работает и в случае многомерных линейных процессов с аддитивной ошибкой, что было реализовано в КАФКА [Методические рекомендации..., 2018]. Для  $\sigma$ КАФКА параметр  $\sigma_N$  асимптотически стремится к величине  $\sigma'_N = \left[ (T - 1)^{-1} \sum_{t=1}^T (\ln \hat{N}_t - \ln N_t^+)^2 \right]^{1/2}$ , но с небольшим отклонением от минимума ФП, что позволяет использовать  $\sigma'_N$  только как реперное значение в адаптивной настройке фильтра. Для минимума ФП  $\sigma'_N = 0,078$  при  $\sigma_N = 0,060$  (таблица 1).

Модели КАФКА и  $\sigma$ КАФКА идентичны по числу параметров  $\theta$  и по входным данным. Как следствие, вместо критерия  $AIC = 2(2m+2) + L_{min}$  достаточно взять соответствующие значения  $L_{min}$ , которые говорят в пользу  $\sigma$ КАФКА (таблица 1). Формально можно сопоставить  $AIC_{\sigma\text{КАФКА}} = 48,248$  при  $T = 26$  лет с известными моделями SAM с 15-16 параметрами для 4 модельных спецификаций ( $T = 49$  лет) и WHAM с 69 параметрами для лучшей оценки по 7 массивам данных ( $T = 33, 34, \dots, 39$  лет):  $AIC_{\text{SAM}} = 293,63 \div 372,04$  [Nielsen, Berg, 2014];  $AIC_{\text{WHAM}} = -1491,748$  [Miller et al., 2016]. Касательно знака последнего показателя имеются сомнения, так как это значение прямо в статье не указано, и его пришлось рассчитать на основе приведенных данных. Наконец, заметим, что для сравнения по AIC требуется один и тот же массив данных, или, по крайней мере, одного размера. Таким образом, на основе имеющихся AIC нельзя сделать определенный вывод о преимуществе какой-либо из указанных моделей.

Завершающий тезис касается выбора в модели между аддитивной ошибкой и мультипликативной. Как известно, указанный выбор с содержательной точки зрения определяется тем, как ведет себя дисперсия отклонений с ростом моделируемой переменной: если дисперсия растет, предпочтительней выбрать модель с мультипликативной ошибкой, иначе – с аддитивной [Демиденко, 1981]. В частности, обе версии модели КАФКА демонстрируют соответствие с этим фактом. Очевидно, что для решения данной проблемы каждый раз потребуются дополнительные исследования модели применительно к конкретным данным. В этой связи указанным автором рекомендован подход, использующий  $\lambda$ -преобразование Бокса-Кокса (там же).

Автор выражает свою благодарность специалистам ТИНРО за предоставленные данные.

#### Список литературы

- Андреев В.Б. 2013. Численные методы: Учебное пособие. М.: Изд-во ВМК МГУ, МАКС Пресс, 344 с.
- Демиденко Е.З. 1981. Линейная и нелинейная регрессии. М.: Финансы и статистика, 302 с.
- Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. 2018. 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., М.: Изд-во ВНИРО. 312 с.
- Михеев А.А. 2016. Применение фильтра Калмана в когортной модели для корректировки оценок запаса при наличии неучтенного вылова // Вопр. рыболовства, Т. 17. № 1. 568-589.



- Токмачёв М.С., Рязанцев П.П. 2010. Моделирование усеченных распределений // Вестник Новгородского государственного университета. № 55. С. 34-36.
- Albertsen C.M., Nielsen A., Thygesen H.U. 2017. Choosing the observational likelihood in state-space stock assessment models // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* V. 74. P. 779-789.
- Cadigan N.G., Albertsen C.M., Zheng N., Nielsen A. 2024. Are state-space stock assessment model confidence intervals accurate? Case studies with SAM and Barents Sea stocks // *Fish. Res.*, V. 272. 8 p.
- Harvey A. 1989. *Forecasting, structural time series models and the Kalman filter.* N.-Y.: Cambridge Univ. Press. 554 p.
- Julier S.J., Uhlmann J.K. 1997. A new extension of the Kalman filter to nonlinear systems / *Proc. SPIE - Int. Soc. Opt. Eng. (USA).* Orlando: FL. V. 3068. P. 182-193.
- Kalman R.E. 1960. A new approach to linear filtering and prediction problems // *J. Basic Eng.* V. 82. P. 34-45.
- Miller T.J., Hare J.A., Alade L.A. 2016. A state-space approach to incorporating environmental effects on recruitment in an age-structured assessment model with an application to southern New England yellowtail flounder // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* V. 73. P. 1261-1270.
- Liljestränd E.M., Bence J.R., Deroba J.J. 2023. Applying a novel state-space stock assessment framework using a fisheries-dependent index of fishing mortality // *Fish. Res.* V. 264. 78 p. DOI: 10.1016/j.fishres.2023.106707.
- Nielsen A., Berg C.W. 2014. Estimation of time-varying selectivity in stock assessments using state-space models // *Fish. Research*, V. 158. P. 96-101.
- Särkkä S. 2013. *Bayesian filtering and smoothing.* Cambridge University Press. 252 p.
- Tylavsky D.J., Sohie G.R.L. 1986. Generalization of the matrix inversion lemma // *Proc. of the IEEE.* V. 74. № 7. P. 1050-1052.
- Van der Merwe R. 2004. *Sigma-point Kalman filters for probabilistic inference in dynamic state-space models.* PhD Thesis, 397 p.
- Wu Y., Hu D., Wu M., Hu X. 2005. Unscented Kalman filtering for additive noise case: augmented versus nonaugmented // *IEEE Signal Processing Letters.* V. 12. № 5. P. 357-360.

## ГЕНЕТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОСЕТРОВЫХ КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА

**Н.С. Мюге, А.Е. Барминцева**

*ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия*

E-mail: [mugue@vniro.ru](mailto:mugue@vniro.ru)

Ключевые слова: осетровые, аквакультура, митохондриальный гаплотип, искусственное воспроизводство, оценка эффективности

Значительное сокращение запасов осетровых, наблюдаемое в течение последних лет, требует принятия неотложных мер по повышению эффективности работ по восстановлению запасов этих ценных видов рыб. На сегодняшний день мероприятия по искусственному воспроизводству осетровых являются одним из основных, а в некоторых случаях единственным источником восстановления, сохранения и пополнения запасов этих ценных видов в водных объектах рыбохозяйственного значения. С 2015 года и по сегодняшний день ФГБНУ «ВНИРО» участвует в комплексной программе «Осетровые Каспия». Целью данной программы является разработка научно-обоснованной стратегии восстановления природных популяций осетровых видов рыб.

В связи с неравномерностью объемов выпуска молоди осетровых рыб в разные годы и различной долей участия в этом процессе ОРЗ возникает необходимость ежегодной оценки эффективности искусственного воспроизводства, контроля генетического разнообразия получаемого потомства, оценки вклада естественного размножения и заводского воспроизводства в пополнение популяций осетровых рыб, а также определение оптимальной массы молоди осетровых, выпускаемой рыбоводными заводами для увеличения ее выживаемости в естественных условиях. Все эти задачи были решены с помощью молекулярно-генетической идентификации на основе анализа митохондриальной и ядерной ДНК (метод генетического мечения). Метод генетического мечения предполагает предварительное генотипирование всех производителей (и самок и самцов), участвующих в нерестовой кампании, а также молоди, выловленной при мониторинговой съемке из естественной среды. Это дает возможность в дальнейшем определить для любого малька заводского происхождения, выловленного из природы, родительскую пару, и, соответственно, место и год выпуска [Шипулин и др., 2023].

Алгоритм данного метода включает в себя:

1. Определение генотипов самцов и самок, участвующих в нерестовой кампании;
2. Составление схем скрещивания производителей;

3. Определение генотипов молоди, выловленной в реке и в море;
4. Сопоставление генотипов молоди с генотипами производителей;
5. Идентификация происхождения молоди от конкретной пары производителей.

Преимущество данного метода заключается в возможности вовлечения в мониторинг всех производителей осетровых, используемых на осетровых рыбоводных заводах, точной идентификации происхождения заводской молоди, масштабном сравнении выживаемости, роста и миграций молоди стандартной и крупной массы.

За годы работы программы с 2015 года по настоящее время было прогенотипировано 6731 образцов осетровых видов рыб. Из них 3106 самок, 1093 самца, а также 2532 особи молоди, выловленной как в реке Волга, так и в Каспийском море в различных мониторинговых рейсах, проводимых «КаспНИРХ».

Так как митохондриальная ДНК наследуется по материнской линии, то определялся митохондриальный гаплотип самки и молоди по участку последовательности контрольного региона (Д-петли) [Таанман, 1999]. Выделение и последующую очистку ДНК из фиксированных в этаноле фрагментов плавников осетровых рыб проводили на адсорбционных колонках PALL 5051 (AcroPrep™ 96 1 ml filter plate with 1.0 µm Glass Fibermedia, natural housing) в соответствии с протоколом Канадского центра по ДНК-штрихкодированию ([http://www.ccdb.ca/docs/CCDB\\_DNA\\_Extraction.pdf](http://www.ccdb.ca/docs/CCDB_DNA_Extraction.pdf)) [Ivanova et al., 2006]. Анализ полиморфизма митохондриальной ДНК проводился методом ПЦР с использованием праймеров: DL651 (ATCTTAACATCTTCAGTG) и M13AHR3 (TCACACAGGAAACAG-CTATGACATACCATAATGTTTCATCTACC) [Мюге и др., 2008]. Секвенирование контрольного региона митохондриальной ДНК проводилось с одной цепи с универсального праймера M13(-22) - TCACACAGGAAACAGCTATGAC на капиллярном генетическом анализаторе «ABI 3500 Genetic analyzer», с использованием набора реактивов BigDye™ Terminator Kit v.3.1. Анализ и выравнивание последовательностей проводилось с помощью биоинформационного пакета программ SeqMan®. Version 12.0. (DNASTAR, USA). Также для каждой особи был определен митохондриальный гаплотип и полученные данные сравнены с имеющейся коллекцией гаплотипов данного вида, созданной на базе ФГБНУ «ВНИРО».

Микросателлитный анализ проведен по 5 локусам, используемым для стандартной генетической паспортизации осетровых [Мюге, Барминцева, 2020]. Следует учитывать, что русский осетр является тетраплоидом, то есть каждая особь несет от 1 до 4-х аллелей на locus, поэтому информативность 5 микросателлитных локусов достаточно высока для определения происхождения потомства [Барминцева, Мюге, 2013]. На основании анализа электрофореграмм по каждому из локусов были выявлены аллели, характерные для

исследуемых особей. Электрофоретическое разделение продуктов амплификации проводили в системе капиллярного электрофореза “ABI 3500 Genetic analyzer”, определение длин аллелей осуществляли с применением программного обеспечения GeneMarker v.1.2 (Softgenetics, USA).

Для определения происхождения молоди – искусственное или природное – была использована разработанная в отделе молекулярной генетики программа определения родительской пары для исследуемой молоди для тетраплоидных видов рыб Tetraploid Parentage Analyze ver. 02 (TPA v.02) (операционная система MS Windows).

Код программ написан на языке программирования Pascal, отлажен и компилирован в исполняемый файл в среде Delphi 10. Тестирование работоспособности пакета программного обеспечения проводилось как на смоделированных выборках, так и на выборках из реальных кроссов, аквакультурных стад и природных популяций, генотипирование которых проводится в отделе молекулярной генетики ФГБНУ «ВНИРО».

Программа TPA\_v.02 производит последовательно для каждой особи из списка молоди (kids.txt) перебор всех возможных генотипов потомства для всех самцов и самок и при полном совпадении по всем локусам производит приписывание данной особи к потомкам данной пары производителей.

Входные файлы следующие.

Dams.txt – состоит из ID участвующих в нерестовой компании самок, аллельного состава по шести микросателлитным локусам и мт-ДНК гаплотипа.

Sires.txt – файл состоит из ID самцов, участвующих в нерестовой кампании, аллельного состава по шести локусам и мт-ДНК гаплотипа.

Kids.txt - список и генотипы анализируемого потомства.

Число особей, указываемых в файлах родителей и в файле потомков, может быть до 1000, что определяется ограничением объема оперативной памяти, скоростью процессора и, соответственно, временем вычислений. При необходимости размер входного файла может быть увеличен. Программа последовательно для каждой особи из списка потомства вычисляет, может ли данная особь являться непосредственным потомком каждой возможной пары родителей. Результат (вероятность быть потомком конкретной пары) записывается в файл Results.txt. В случае, когда искомая пара родителей найдена, данные записываются в файл PositiveResults.txt, который и является главным информационным файлом.

Подводя итоги 9-летней программы «Осетровые Каспия» можно сказать, что основные научные задачи, поставленные перед данной программой, были решены:

1. Искусственное воспроизводство на Каспии – это основной и эффективный источник пополнения естественной популяции русского осетра. Около 80 % исследованной молодежи были приписаны к определенной родительской паре с определенного ОРЗ (осетрового рыбопроизводного завода).

2. Генетическое мечение – это эффективный инструмент для прослеживаемости происхождения молодежи осетровых как на Каспии, так и в других водных бассейнах России.

3. С помощью метода генетического мечения возможна оценка эффективности работы каждого ОРЗ, точное определение размерно-весовых характеристик с учетом точного знания возраста особи, изучение кормовых и нерестовых миграций.

4. В дальнейшем возможна оценка вклада Российской Федерации в восстановление каспийской популяции осетровых в рамках работ по Всекаспийской осетровой съемке.

5. Искусственное воспроизводство на Каспии смещено в сторону выпуска русского осетра. 98 % всего выпускаемого материала составляет русский осетр. Выпуск севрюги и белуги составляет доли процентов, данные виды в мониторинговых съемках практически не встречаются (единичные случаи за 9 лет мониторинга), что неизбежно приведет к потере этих видов в ближайшем будущем.

6. Определено, что выживаемость особей укрупненной навески (6-8 г) втрое эффективнее, чем стандартной навески, которую планово выпускают осетровые заводы (3 г).

7. Генетическое мечение позволяет определять происхождение как младших возрастных групп, так и старших (на настоящий момент до 9+ возраста), массово представленных в ННН продукции.

8. Созданы рыбоводно-биологические базы данных на производителей осетровых рыб, которые можно использовать для улучшения и корректировки технологий выращивания, получения и подращивания молодежи на ОРЗ.

#### Список литературы

- Барминцева А.Е., Мюге Н.С. 2013. Использование микросателлитных локусов для установления видовой принадлежности осетровых (Acipenseridae) и выявления особей гибридного происхождения // Генетика. Т. 49. № 9. С. 1093. DOI: 10.7868/S0016675813090038.

- Мюге Н.С., Барминцева А.Е., Расторгуев С.М. и др. 2008. Полиморфизм контрольного региона митохондриальной ДНК восьми видов осетровых и разработка системы ДНК-идентификации видов // Генетика. Т. 44. № 7. С. 913-919.
- Мюге Н.С., Барминцева А.Е. 2020. Геномные исследования для сохранения осетровых: анализ наследования полиплоидных локусов и разработка панели маркеров для идентификации гибридов осетровых и продукции из них // Вестник Российского фонда фундаментальных исследований. № 2(106). С. 78-87. DOI: 10.22204/2410-4639-2020-106-02-78-87.
- Шипулин С.В., Власенко С.А., Кириллов Д.Е. и др. 2023. Биологические показатели и прослеживаемость происхождения молоди русского осетра в низовьях реки Волга и северо-западной части Каспийского моря // Труды ВНИРО. Т. 192. С. 5-16. DOI: 10.36038/2307-3497-2023-192-5-16.
- Ivanova N.V., Dewaard J.R., Hebert P.D.N. 2006. An inexpensive, automation friendly protocol for recovering high quality DNA // Molecular Ecology Notes. № 6. P. 998–1002. DOI:10.1111/j.1471-8286.2006.01428.x
- Taanman J.-W. 1999. The mitochondrial genome: structure, transcription, translation and replication. // Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics. № 1410(2). P. 103–123. DOI:10.1016/s0005-2728(98)00161-3.

## **О ПРОБЛЕМЕ ПЛАСТИКОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ: ЭТАПЫ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВНИРО**

**А.П. Педченко**

*ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия*

E-mail: pedchenko@vniro.ru

Ключевые слова: микропластик, нейстонная сеть Манта, желудочно-кишечный тракт рыб, моря российской Арктики, Охотское, Берингово, Азовское, Черное, море, континентальные водоемы

Синтетические полимеры, в том числе пластик, вошли в нашу повседневную жизнь всего 60-70 лет назад – лёгкие и дешёвые материалы с огромным спектром самых нужных свойств. Сегодня мелкие частицы пластика (микропластик, <5 мм) обнаруживаются повсюду. Пространственно-временные масштабы возможных последствий пластикового загрязнения оказываются примерно такими же, как и масштабы глобальных проблем изменения климата, оцениваются в планетарном охвате и на сотни лет.

Загрязнение морской среды пластиком, особенно микропластиком (МП) и синтетическими волокнами признано проблемой планетарного масштаба. По мере ежегодного увеличения объемов мирового производства пластика отмечено увеличение встречаемости его фрагментов разного размера в морских экосистемах, включая пляжи и прибрежные воды, а также в пресноводных водных объектах [Колончин и др., 2023].

Благодаря низкой скорости разложения, микрочастицы пластиков широко распространены в окружающей среде. Зафиксировано, что в водной среде накопление частиц МП идет гораздо быстрее, что обусловлено высокими объемами его поступления.

Материалы научных публикаций позволяют говорить, что вопрос о степени загрязнения МП биотопов экосистем, в первую очередь Арктических морей, требует детального междисциплинарного изучения, несмотря на значительное увеличение внимания к данной проблеме в последние годы. Широкая вариация оценок степени загрязнения вод МП в научных публикациях, вероятно, связана с применением различных не верифицированных методов сбора проб и подходов к их обработке, что обосновало необходимость разработки руководства по мониторингу МП и морского мусора в рамках Программы арктического мониторинга и оценки (АМАР). Не менее остро, только с другими акцентами, проблема проявилась во всех океанах и морях, континентальных водных объектах всех континентов планеты.

Первые исследования МП были начаты специалистами ФГБНУ «ВНИРО» в 2019 г. в ходе научной Трансарктической экспедиции на НИС «Профессор Леванидов» в Арктических морях [Педченко, Блиновская, 2020] и продолжены в 2020 г. в ходе научных работ на самом крупном парусном судне «Седов» в период его Арктического перехода по Северному морскому пути [Педченко, Сомов, 2021].

Проведенные исследования были весьма актуальны, поскольку вопрос о загрязнении пластиком биотопов экосистем морей Арктики малоизучен [РАМЕ, 2019; Bergmann et al., 2022], несмотря на значительное увеличение внимания к данной проблеме в последние годы. Это позволяло развивать предположения о накоплении пластика в Арктическом бассейне и существовании «шестого мусорного пятна» в его границах [Van Sebille et al., 2012; Cozar et al., 2017].

Новые и уникальные данные о загрязнении МП мористой и прибрежной части шельфа всех морей Арктики, полученные в 2019-2020 гг., не выявили ни локальных концентраций пластика в российской части Арктической зоны, ни масштабных его скоплений, аналогичных «мусорным пятнам» в Тихом и Атлантическом океанах [Педченко и др., 2024].

Эти исследования заинтересовали норвежских специалистов, изучающих распределение мусора на акватории совместной российско-норвежской экосистемной съемки Баренцева моря. Переговоры по развитию совместных исследований загрязнения МП вод западной части Арктики, проведенные в 2020 г., стали обоснованием для рассмотрения этого вопроса на 50-й сессии Смешанной Российско-Норвежской комиссии по рыболовству (СРНК) и решения о ежегодном проведении совместных исследований МП в воде в ходе экосистемной съемки Баренцева моря (BESS), начиная с 2021 г., для оценки загрязнения МП Баренцева моря и сопредельных вод. В ходе работ специалисты «ПИНРО» им. Н.М. Книповича и «БИМИ» на 4 судах выполнили сбор 81 пробы МП сетями Манта 335 мкм по единой методике на акватории Баренцева моря и сопредельных с ним вод. Обработка материалов съемки показала, что встречаемость материалов антропогенного загрязнения отмечена на 70 % станций в западной части и 46 % станций в восточной части съемки [ICES, 2022], преимущественно расположенных в потоках теплых атлантических вод, что подтвердило результаты моделирования [Strand et al., 2021] переноса МП тёплыми течениями из Атлантики в Арктический бассейн. В восточной части съемки наибольшие концентрации МП также отмечали в атлантических водах, однако их количество в точках наблюдений не превышало 0,12 ед./м<sup>3</sup> [Педченко и др., 2024]. Аналогичные работы были выполнены в 2022, 2023 и 2024 гг. по единой методике и сетке наблюдений, разработанным для совместной съемки МП в 2021 г.



Новые данные о загрязнении западной части российской Арктики были получены в ходе научных экспедиций в 92 и 95 рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Карском море в сентябре-октябре 2023 г. и июне-июле 2024 гг. В октябре 2023 г. зафиксировано наличие загрязняющих материалов в районе желоба Святой Анны и их встречаемость непосредственно у кромки льда в период ледообразования [Педченко, 2023]. В июне 2024 г. в сложных гидрологических условиях у кромки плавучих льдов впервые были получены данные об антропогенном загрязнении поверхностных вод северо-восточной части Баренцева моря и северной части Карского моря в период активного ледотаяния. По предварительным оценкам концентрация загрязняющих материалов в поверхностных водах на станциях варьировала от 0,02 до максимума (0,62 ед./м<sup>3</sup>), отмеченного в южной части желоба Святой Анны. Полученные данные позволили сделать предположение о поступлении загрязняющих материалов в Карское море с севера через желоб Святой Анны с потоками вод атлантического происхождения в период ледообразования.

В ходе проведенных исследований в границах российской части Арктических морей не обнаружены локальные концентрации пластика, существование которых обосновывали отдельные зарубежные авторы. Расчеты концентраций пластика на поверхности Арктических морей подтвердили вывод [Колончин и др., 2023] о низкой степени их загрязненности неорганическими материалами по сравнению с другими районами Мирового океана, и сделали несостоятельными высказывания зарубежных исследователей [Collard, Ask, 2021] об отсутствии или недоступности для международного научного сообщества сведений о степени загрязнения пластиком российской части Арктики.

Проблема МП перешла на более высокий уровень обсуждения после публикации [Wright et al., 2013] о «биоаккумуляции» микропластиков, в которой показано, что живые организмы загрязнены на порядки больше, чем среда их обитания. В ряде научных публикаций [Чубаренко и др., 2021; Lusher et al., 2017] отмечена встречаемость МП в различных видах гидробионтов (рыбы, беспозвоночные и т.д.), что указывало на его включение в трофические цепи. Присутствие МП в организме рыб и возможное проникновение его в мышечную ткань может влиять на качество рыбной продукции и как следствие, вызвать проблемы в области продовольственной безопасности [Беляев и др., 2024].

Вышеперечисленные аспекты и возможные риски, связанные с увеличением пластикового загрязнения вод Арктики, и возрастающие, в связи с этим, потенциальные угрозы для морских экосистем, морских организмов и здоровья человека обусловили

необходимость перехода от научно-поисковых наблюдений к масштабным исследованиям ФГБНУ «ВНИРО» во всех районах отечественного рыболовства. Цель и задачи этих исследований – сбор новых данных о встречаемости МП в водных экосистемах и промысловых рыбах в основных районах отечественного рыболовства для получения актуальных оценок его влияния на промысловые гидробионты в целях обеспечения пищевой безопасности.

Факты эпизодического обнаружения фрагментов МП и волокон в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) некоторых особей промысловых рыб (*Oncorhynchus gorbuscha*, *Clupea pallasii*, *Blepias bilobus*, *Pleurogrammus azonus*, *Sebastes alutus*) морей северной части Тихого океана [Педченко и др., 2024] обусловили необходимость разработки методических рекомендаций по сбору ЖКТ рыб в ходе экосистемных исследований и ресурсных съемок в окраинных и трансграничных морях.

В 2023-2024 гг. были проведены сборы (более 1700 проб) ЖКТ промысловых рыб в районах отечественного рыболовства в Баренцевом (сельдь, мойва, сайка), Азовском (хамса, тюлька, бычок, сингиль, сельдь), Черном (мерланг, шпрот), Охотском (минтай, горбуша, кета, сельдь), Беринговом (горбуша, кета, минтай) морях, на акватории к востоку от Курильских островов (нерка, горбуша, кета) и континентальных водоемах: озеро Ильмень (синец), озеро Кубенское (лещ, окунь), река Меша (лещ). Первичный анализ небольшой части собранных проб подтвердил наличие МП и синтетических волокон в ЖКТ промысловых рыб в обследованных районах. Количественная оценка их содержания будет дана после полной обработки собранных проб ЖКТ и идентификации выделенных образцов загрязняющих материалов.

Представленные результаты можно назвать промежуточным итогом пятилетнего периода исследований МП учеными ФГБНУ «ВНИРО». С 2019 по 2024 гг. собраны, проанализированы и опубликованы новые данные о реальном уровне антропогенного загрязнения МП морской среды Арктических морей России. Согласно полученным результатам, концентрации МП на поверхности морей российской Арктики были ниже, чем в других морях Мирового океана, и их средние значения не превышали 0,15 ед./м<sup>3</sup>. Оценки загрязнения МП вод Арктических морей, полученные на данный момент, можно условно принять за "начальные" или "нулевые" показатели, что актуально в преддверии активной фазы развития судоходства и эксплуатации Северного морского пути в условиях современных климатических изменений и реализации крупных инфраструктурных проектов в Арктическом регионе. Подтверждены предположения о переносе загрязняющих материалов потоками теплых течений Атлантического и Тихого океанов и их роль в увеличении антропогенной нагрузки на экосистемы Арктических морей.

Получены новые данные о концентрациях загрязняющих материалов в период образования и таяния льда в Баренцевом и Карском морях. Установлено, что на участках таяния льда их концентрации могут значительно превышать средние значения.

Биодоступность МП и синтетических волокон для морских организмов обосновала необходимость проведения исследований их встречаемости в промысловых гидробионтах с целью получения достоверных количественных оценок. С 2023 г. специалистами института проводится масштабный отбор проб воды и ЖКТ рыб в районах отечественного рыболовства и континентальных водоемах на содержание МП для получения актуальных данных его влияния на промысловые гидробионты в целях обеспечения пищевой безопасности. Результаты этих исследований также актуальны для оценки воздействия МП на водные экосистемы, его накопления в организмах промысловых рыб и возможного негативного влияния на их поведение.

#### Список литературы

- Беляев В.А., Седлецкий И.В., Педченко А.П. 2024. Влияние загрязнения морской среды микропластиками на рыбные ресурсы и аспекты продовольственной безопасности. Часть I // Использование и охрана природных ресурсов в России. № 3 (179). С. 35-40.
- Колончин К.В., Педченко А.П., Беляев В.А. 2023. Исследования содержания микропластика в воде и промысловых рыбах: от научного поиска к масштабному мониторингу // Труды ВНИРО. Т. 193. С. 162-173.
- Педченко А.П., Блиновская Я.Ю. 2020. Трансарктическая экспедиция ВНИРО: Результаты исследований микропластика в Арктических морях в 2019 г. // Инновационные научные исследования: теория, методология, практика. Мат. межд. науч.-практ. конф. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». Ч. 1. С. 203-205.
- Педченко А.П., Сомов А.А. 2021. Арктический переход барка «Седов» в августе-октябре 2020 г.: обзор результатов научных наблюдений // Труды ВНИРО. Т. 185. С. 163-171.
- Педченко А.П. 2023. Предварительные результаты наблюдений микропластика в период ледообразования в Карском море // Рыбное хозяйство. № 6. С. 23-27.
- Педченко А.П., Согрина А.В., Ведищева Е.В., Гордеев И.И., Старовойтов А.Н., Бомко С.П., Новокрещенных С.В., Кантаков Г.А., Беляев П.С. 2024. О встречаемости микропластика в желудочно-кишечном тракте рыб Дальневосточных морей // Рыбохозяйственный комплекс России: 300 лет российской академической науке. Материалы II Междун. научно-практической конференции (27-28 марта 2024 г., г. Москва), ФГБНУ «ВНИРО». М.: Изд-во ВНИРО. С. 282-290.

- Педченко А.П., Беляев В.А., Блиновская Я.Ю. 2024. Состав загрязняющих материалов в морских водах арктической зоны России // Московский экономический журнал. Т. 11. С. 584-609. DOI: 10.55186/2413046X\_2024\_9\_11\_453.
- Чубаренко И.П. Есюкова Е.Е., Хатмуллина Л.И., Лобчук О.И., Исаченко И.А., Буканова Т.В. 2021. Микропластик в морской среде. М.: Научный мир. 520 с.
- Bergmann M., Collard F., Fabres J., Gabrielsen W., Provencher J., Rochman C., Seville E., Tekman M. 2022. Plastic pollution in the Arctic // *Nat. Rev. Earth Environ.* № 3. P. 323–337.
- Collard F. Ask A. 2021. Plastic ingestion by Arctic fauna: A review // *The Science of The Total Environment*. V. 786, 147462, 14 p.
- Cozar A., Martí E., Duarte C., García-de-Lomas J., van Seville E., Ballatore T., Eguíluz V.M., González-Gordillo J.I., Pedrotti M.L., Echevarría F., Troublè R., Irigoien X. 2017. The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the Thermohaline Circulation // *Sci Adv.* V. 3(4), e1600582. P. 1-8. DOI: 10.1126/sciadv.1600582.
- ICES. 2022. Working Group on the Integrated Assessments of the Barents Sea (WGIBAR) // *ICES Scientific Reports*. V. 4(50). 235 pp. DOI: 10.17895/ices.pub.20051438.
- Lusher A.L., Hollman P.C.H., Mendoza-Hill J.J. 2017. 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. 140 p.
- PAME. 2019. Desktop Study on Marine Litter including Microplastics in the Arctic.
- Strand K.O., Huserbråten M., Dagestad K.-F., Mauritzen C., Grøsvik B.E., Nogueira L.A., Melsom A., Röhrs J. 2021. Potential sources of marine plastic from survey beaches in the Arctic and Northeast Atlantic // *Science of The Total Environment*. V. 790. 148009. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148009.
- Van Seville E., England M.N., Froyland G. 2012. Origin, dynamics and evolution of ocean garbage patches from observed surface drifters // *Environmental Research Letter*. V. 7. 044040. DOI: 10.1088/1748-9326/7/4/044040.
- Wright S., Thompson R., Galloway T. 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review // *Environmental pollution (Barking, Essex: 1987)*. V. 178. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.02.031. 1.

## МЕТОД ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РАЗГРАНИЧЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ МОДЕЛЕЙ ЭКОДИНАМИКИ С НЕЛИНЕЙНЫМИ РЕЖИМАМИ

А. Ю. Переварюха<sup>1</sup>, И. В. Трофимова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН,  
Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

E-mail: temp\_elf@mail.ru

Ключевые слова: гибридные модели, нелинейные эффекты в воспроизводстве, коллапс запасов, предикативное переопределение, кризисы промысловых популяций, экспертная регуляция, параметрическая идентификация, интерпретация

Актуальность разработки оригинальных ситуативных методов моделирования динамики промысловых популяций обусловлена регулярными ситуациями истощения биоресурсов и кризисами промысла [Бобырев и др., 2013]. Ситуации развиваются вплоть до ряда случаев полного исчезновения локальных популяций отдельных видов. Все больше очевидных поводов утверждать о нарастании общего современного кризиса регулируемого природопользования, но при этом существует значительное число методов оценки запасов и прогнозирования промыслового изъятия. Различные по качественным свойствам методы оценок развиваются [Криксунов, 1995] на основе анализа статистических данных мониторинга и с применением моделей на основе динамических систем. Известные типы математических методов редко согласуются по свойствам решений и мало пересекаются между собой при обосновании практических выводов, так как поведение моделей бывает противоречиво [Михайлов, 2018] по фундаментальным математическим причинам.

В предыдущих работах [Переварюха, 2020] авторы развивали методику моделирования популяционных процессов с построением гибридных структур вычислений для описания нелинейных режимов. Модели позволяют прогнозировать ряд пороговых эффектов и апериодических колебаний в экодинамике промысловых популяций. Сложные модели, с одной стороны, могут учесть [Кузик, 2020] больше факторов физиологии развития особей, но и имеют значительный спектр режимов со сменой поведения траектории. Переходы между некоторыми качественными режимами поведения мало согласуются логикой экологической регуляции. Нужно понимать, что в моделях с разной формой времени нелинейные эффекты весьма различны. Нелинейные

эффекты в моделях обладают универсальностью для некоторого класса математического аппарата, а не для схожих биосистемных процессов. С другой стороны, модели без бифуркаций и пороговых явлений не обладают описательными возможностями для сложных ситуаций и внезапных кризисов при эксплуатации водных биоресурсов. Пороговые явления часто связывают с «коллапсом запасом», когда непосредственно перед ситуацией коллапса обстановка по статистическим данным оценивается как благополучная. Сценарии деградации запасов необходимо классифицировать, но для этого необходимо получить диапазоны инспектируемого поведения, в которых решения модели теоретически соответствовали типу экодинамики.

### *1. Проблемные аспекты интерпретации режимов моделирования*

Важный аспект моделей коллапса в том, что этот режим в модели имеет ряд сопутствующих нелинейных эффектов. Как отмечено в работе [Переварюха, 2013], основанное на некорректном применении методик, как частных решений известной модели ограниченного роста численности Ферхюльста-Пирла-Рида стремление к достижению оптимизации природопользования влечет непредвиденные экспертом последствия. Тактика оптимизации изъятия становится значимой причиной развития кризисов за короткий интервал времени при действии пороговых эффектов в воспроизводстве популяций, хотя получить решение для оптимального состояния для изъятия в логистической модели легко.

Перспективно использование сшивания траекторий и разделение модели процесса эксплуатации биоресурсов на отдельные стадии. При использовании интервального подхода необходимо оценить радиус интервала. Возможны различные подходы, основанные как на точном знании характеристик каждого вида, так и на фундаментальных математических представлениях. Можно опираться на результаты вычислений точек бифуркаций с целью определения значений плодовитости популяции  $\lambda$ , при которых происходит удвоение периода цикла, возникшего после выполнения условия для точки:

$$\left| \frac{df(\lambda, x)}{dx} \right|_{x=x^*} = 1, f(\lambda, x^*) = x^*.$$

Параметрические длины интервалов неравномерны и за конечное приращение бифуркационного параметра период цикла становится бесконечным. Интервал между последовательными усложнениями поведения траектории динамической системы быстро сокращается. Свойства бифуркаций удвоения универсальны для целого семейства итераций функций, удовлетворяющих критериям, никогда не используемым в экологии. Для анализа итерационных моделей используем определение критерия хаотичности как

избыточного эффекта: в интервале  $I$  для каждого числа  $n$  имеется траектория точки с периодом  $n$ :  $p=f^n(p)$  и существует несчетное множество точек непериодических траекторий  $\Phi \subset I$  такое, что  $\forall d, q \in \Phi, d \neq q$  и будет выполняться  $\limsup_{n \rightarrow \infty} |f^n(d) - f^n(q)| > 0$ , и для периодической точки  $p \notin \Phi$  соответственно выполняется  $\limsup_{n \rightarrow \infty} |f^n(d) - f^n(p)| > 0$ .

Поведение динамической системы модели воспроизводства Рикера:  $x_{n+1} = ax_n e^{-bx_n}$  отличается от квадратичного отображения  $x_{n+1} = 4\lambda x_n(1-x_n)$  Фейгенбаума, но с переходом к хаотическому репеллеру и  $\lim_{n \rightarrow \infty} f_\lambda(x_0) = \infty$ . В модели Рикера невозможен граничный кризис хаотического аттрактора, так как для этой функции  $\lim_{x \rightarrow 0} f(x) = 0$ . Для квадратичного отображения  $x_{n+1} = 4\lambda x_n(1-x_n)$  граничный кризис возможен – аттрактор сталкивается с границей своей области притяжения и перестает удовлетворять критерию инвариантности множества  $f(A) = A$ .

## 2. Необходимые свойства для интерпретируемости режимов моделей

Хаотический режим после накопления каскада удвоений не имитирует случайность изменений, он не является тождественным процессом по отношению к белому шуму. Вероятность нахождения траектории в одних частях аттрактора выше, и появляются области сгущения. Интервальный набор параметра  $a$  для итераций с возникновением бифуркаций при  $\inf a = \Lambda_1$  пусть содержит внутри интервала как минимум одно бифуркационное значение  $\Lambda_n$ :  $\text{rad } \mathbf{a} = [\Lambda_2 - \Lambda_1] / 2$ . Подобрать длину интервалов поведения можно в серии численных экспериментов. Задача оптимальной регуляции для эксплуатации биоресурсов с использованием экспертных решений по сезонным квотам изъятия сталкивается с противоречивой оценкой тренда развивающейся ситуации при возникновении пороговых эффектов. Явления не выявляются на основе прежней статистики о стабильной системе. В данном случае регуляция воздействия зависит от оценки состояния объекта и от ожиданий развития ситуации.

Изменение длительного воздействия вызывает качественные трансформации в механизмах регуляции живых систем, что требует вариативности в оценках и в построении прогнозов, которые нужны для анализа эволюции биосистем. Важная причина общих для популярных методов динамического моделирования биосистем сложностей в необходимости интерпретируемого представления нелинейных режимов при описании резких и пороговых изменений процессов. При попытках моделирования в междисциплинарной области противоречия при моделировании биосистем неизбежны.

Список литературы

- Бобырев А.Е. и др. 2013. Долгопериодные эндогенные колебания численности популяций рыб. Математическое моделирование // Биофизика. Т. 58. № 2. С. 334-348.
- Криксунов Е.А. 1995. Теория пополнения и интерпретация динамики популяций рыб // Вопросы ихтиологии. Т. 35. № 3. С. 302-321.
- Кузик В.В. 2020. Формирование вторичного иммунодефицита у бычков, отловленных в северной части Каспийского моря // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. Т. 56. № 7. С. 623-625.
- Переварюха А.Ю. 2013. Моделирование неустойчивого критического равновесия в популяционной динамике // Проблемы механики и управления: Нелинейные динамические системы. № 45. С. 82-91.
- Переварюха А.Ю. 2020. Метод моделирования резких изменений в популяционных процессах // Журнал общей биологии. Т. 81. № 3. С. 174-193.
- Михайлов В.В. 2018. Модель динамики популяции рыб с расчетом темпов роста особей и сценариев гидрологической обстановки // Информационно-управляющие системы. № 4. С. 31-38.



**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПОДХОДА  
В ОЦЕНКЕ ЗАПАСА ЧЕРНОМОРСКОГО ШПРОТА:  
ОПЫТ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

**М.М. Пятинский**

*Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Ростов-на-Дону, Россия*

E-mail: pyatinskiy\_m\_m@azniirkh.ru

Ключевые слова: Черное море, шпрот, динамика численности, промысел

Европейский (черноморский) шпрот – один из наиболее массовых представителей пелагических рыб Черного моря. Является короткоцикловым, стайным, холоднолюбивым, зимненерестующим видом, предельная продолжительность жизни которого достигает 6 лет [Асланова, 1954]. Специализированный промысел шпрота в Черном море ведется с 1971 г. В отдельные годы его общечерноморские уловы превышали 100 тыс. т, а оценки общечерноморского запаса превышали 1 млн т [Шляхов, Чащин, 2004].

Оценка общечерноморского запаса в советские годы выполнялась при помощи прямого учета – траловой и акустической съемкой, на международной арене – методами ВРА. Оценка регионального запаса шпрота после распада СССР, утраты возможности регулирования для всего Черного моря и отсутствия международных соглашений, выполнялась методами прямого учета (кавказский шельф) и, реже, методами математического моделирования (крымский шельф). Начиная с 2020 г., в соответствии с методическими рекомендациями [Методические рекомендации..., 2018] оценка и прогнозирование запаса выполняется для региональной крымско-кавказской единицы запаса шпрота при помощи когортной модели XSA, в результате чего было выполнено диссертационное исследование на тему «Состояние запаса и промысла шпрота (*Sprattus sprattus phalericus* (Risso, 1827)) в северной и северо-восточной частях Черного моря» [Пятинский, 2024].

В ходе диссертационного исследования был представлен краткосрочный прогноз состояния запаса, промысла и рекомендации к регулированию. В связи с этим актуальным является оценка состоятельности представленных рекомендаций и их уточнение в условиях доступности новых статистических данных на конец 2024 г.

Для оценки адекватности прогноза динамики промысла используется рыбохозяйственная статистика территориального управления Росрыболовства и визуализация районов промысла при помощи авторской программы FishingMap [Пятинский, Строкун, 2021].

В соответствии с практическими рекомендациями диссертационного исследования был принят сценарий предосторожной эксплуатации крымско-кавказской единицы запаса шпрота в 2023–2025 гг., в соответствии с которым годовой вылов шпрота не должен превышать 15,0 тыс. т, при этом биомасса нерестового запаса составит от 67 до 69 тыс. т и будет находиться в буферной зоне между  $B_{lim}$  и  $B_{pa}$ .

Фактический вылов шпрота на крымско-кавказском шельфе в 2023 г. составил 14,9 тыс. т, в 2024 – 6,7 тыс. т. Улов на 1 час траления для малотоннажных судов в 2023 г. составил 0,84 т/ч, в 2024 – 0,91 т/ч. Для среднетоннажных судов улов на час траления составил в 2023 г. – 3,1 т/ч, в 2024 г. – 3,4 т/ч. Визуализация уловов на единицу площади тралений ( $т/км^2$ ) представлена на рисунке.



**Рисунок.** Уловы на площадь траления черноморского шпрота на крымско-кавказском шельфе в 2023–2024 гг.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой точности выполненного в диссертационном исследовании прогноза как биомассы запаса, так и вылова. Фактически годовые уловы в 2023 и 2024 гг. не превышали рекомендацию 15,0 тыс. т, при этом в 2024 г. произошло двухкратное снижение величины годового вылова относительно предшествующих лет. Снижение годовых уловов было обусловлено исключительно снижением численности судов на промысле: в 2023 г их численность снизилась до 17 единиц (7 среднетоннажных, 10 малотоннажных), в 2024 г. – до 10 единиц (6 среднетоннажных, 4 малотоннажных) относительно 21 судна в 2022 г. Отмечается и дальнейшее снижение акваторий ведения промысла – в 2023 и 2024 гг. промысел реализовывался преимущественно только на крымском шельфе, что подтверждает ранее отмеченную динамику в диссертационном исследовании.

Рассмотренные особенности организации промысла (снижение численности судов на промысле при устойчивых высоких показателях результативности промысла)

свидетельствуют в пользу экономического регулирования промысла, как и отмечалось ранее [Пятинский, 2024]. По имеющейся информации стоимость судового дизельного топлива в начале 2024 г. стала превышать 100 тыс. руб за 1 т (в 2022 г. его стоимость составляла 84,8 тыс. руб), что, вероятно, указывает на дальнейшее снижение рентабельности промысла, что в конечном счете и приводит к постепенному снижению численности судов на промысле в 2023–2024 гг.

В соответствии с фактическими показателями организации промысла в 2023–2024 гг. в последующий период, 2025–2026 гг., не следует ожидать значительного улучшения параметров запаса шпрота, организации его регионального промысла.

#### Список литературы

- Асланова Н.Е. 1954. Шпрот Чёрного моря // Труды ВНИРО. Т. 28. С. 75–101.
- Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. 2018. 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. М.: Изд-во ВНИРО. 312 с.
- Пятинский М.М., Строкун Ф.Ф. 2021. Картирование промысла – FishingMap // Федеральная служба по интеллектуальной собственности. No RU 2021617018. Дата регистрации: 05.05.2021.
- Пятинский М.М. 2024. Состояние запаса и промысла шпрота (*Sprattus sprattus phalericus* (Risso, 1827)) в северной и северо-восточной частях Чёрного моря. Дисс... канд. биол. наук. АзНиирх. 171 с.
- Шляхов В.А., Чащин А.К. 2004. О состоянии запасов основных промысловых рыб Азовского и Чёрного морей в 2000 году и перспективах их промысла в 2002 году // Труды ЮгНИРО. Т. 45. С. 11–20.

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА LBI (LENGTH-BASED INDICATORS)  
В РЕГУЛИРОВАНИИ ПРОМЫСЛА ЗАПАСА СЕЛЬДИ-ЧЕРНОСПИНКИ  
В ДЕЛЬТЕ Р. ВОЛГА**

**И.А. Сафаралиев, Т.В. Войнова, И.Н. Лепилина**

*Волжско-Каспийский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»), Астрахань,  
Россия*

E-mail: safaraliev.i.a@mail.ru

Ключевые слова: сельдь-черноспинка *Alosa kessleri kessleri*, регулирование промысла, метод LBI, оценка запасов

Каспийская проходная сельдь ранее была представлена двумя подвидами – волжской многотычинковой сельдью *Alosa kessleri volgensis* Berg и сельдью-черноспинкой *Alosa kessleri kessleri* Grimm. После исчезновения волжской многотычинковой сельди в 1970-е гг. остался только второй подвид – сельдь-черноспинка. Наибольшие зафиксированные величины биомассы сельди-черноспинки были отмечены в конце 1990-х гг. (1998 г. – 7,5 тыс. т). Перелов и сложившаяся экологическая ситуация на местах нагула в Каспийском море в конце 1990-х и начале 2000-х гг. привели к коллапсу запаса [Войнова и др., 2022]. В 2001-2005 гг. средняя биомасса нерестового запаса составляла 0,23 тыс. т, соответственно сократились и объемы вылова за этот период лет, которые в среднем составили 0,004 тыс. т. Ограничение промышленного лова 2003-2006 гг. дало возможность сохранить популяцию сельди-черноспинки и способствовало росту ее численности. В последующие годы прослеживалось восстановление запаса сельди до наибольшей величины 2,4 тыс. т в 2021 г. Но необходимо отметить, что на фоне увеличения биомассы запаса ухудшились качественные биологические показатели сельди из неводных уловов. Если в 1995-1998 гг. средняя длина и масса составляли 36,3 см и 0,657 кг, то в 2016-2020 гг. эти показатели сократились до 31,0 см и 0,311 кг соответственно [Войнова и др., 2022]. Увеличился темп созревания сельди. До 2000-х гг. основу облавливаемого нерестового запаса составляли рыбы 4-х и 5-ти лет. С начала 2000-х гг., стала возрастать доля впервые созревающих 3-х летних рыб, и к настоящему времени основа уловов состоит из 3-х–4-х летних рыб, а в отдельные годы 3-х летки превалируют над остальными возрастными классами [Войнова и др., 2022].

С 2022 г. по настоящее время вновь прослеживается тенденция к сокращению нерестового запаса, как по численности, так и по биомассе. Для предотвращения повторения переэксплуатации запаса сельди-черноспинки, которое было отмечено в 1999–

2000 гг., необходимо с применением современных методов проводить анализ уловов для своевременного выявления негативных тенденций, происходящих в запасе. Одним из таких методов является LBI (Length based indicators), который позволяет на основе размерных рядов уловов оценить качественное состояние, характер или степень эксплуатации запаса.

Таким образом, на основе результатов метода LBI была проведена качественная оценка состояния, условий эксплуатации запаса сельди-черноспинки в дельте р. Волга за 2017-2023 гг. и даны рекомендации к эксплуатации её запаса на прогнозный 2025 г.

Описание метода и интерпретация полученных результатов метода LBI представлены в отчёте рабочей группы ICES «Development of quantitative assessment methodologies based on life-history traits, exploitation characteristics and other relevant parameters for data-limited stocks (WKLIFE V)» [ICES, 2015] и в работе И.А. Сафаралиева и др. [2023].

Для качественной оценки нерестового запаса сельди-черноспинки методом LBI использовался размерный ряд из неводных уловов в период промысла за 2017-2023 гг. Анализ уловов показывает, что промыслом облавливаются достаточно широкий размерный ряд рыб от 12 до 45 см. При этом необходимо отметить, что существенное снижение линейных размеров до 12 см зафиксировано в 2022 и 2023 гг. Начиная с 2021 г., прослеживается сокращение значений модальной размерной группы до 29 см в 2021-2022 гг. и до 28 см в 2023 г., в то время как в 2017-2020 гг. в уловах преобладали рыбы 30 см.

Анализ динамики размерных индикаторов и их соответствующих ориентиров свидетельствует об ухудшении качественного состояния запаса сельди-черноспинки (таблица). Индикаторы  $L_c$  и  $L_{25}$ , отражающие сохранение или перелов впервые нерестующих особей, характеризовали постоянный перелов запаса в этих размерных группах относительно ориентира  $L_{mat}$ . Соотношение  $L_c$  и  $L_{25}$  к  $L_{mat}$  на всем протяжении рассматриваемого периода было ниже порогового значения 1,0. Преждевременный вылов впервые нерестующих особей из нерестового запаса не позволяет им дорасти до оптимальных размеров, при которых достигается большая плодовитость и повышенные навески рыб, увеличивающие итоговый вылов. Отсюда, изъятие мелких рыб, в свою очередь, приводит к дефициту крупноразмерных особей. Индикаторы  $L_{95}$  и  $L_{max5}$  не достигают целевого соотношения к ориентиру  $L_{\infty} > 0,8$  в период 2021-2023 гг. Индикатор  $P_{mega}$  в 2017-2023 гг. был также ниже целевого значения 0,3, что свидетельствует об уязвимом состоянии популяции в случае негативных изменений среды обитания. В целом, начиная с 2021 г., по оценке статуса сохранения младше- и старше возрастных рыб запас находится в красной зоне, то есть в неудовлетворительном состоянии.

Значение индикатора  $L_{mean}$  с 2021 г. по 2023 г. ниже ориентира  $L_{opt}$  (таблица). Величина этого соотношения говорит о том, что облавливаемый размерный ряд в эти годы, который теоретически должен обеспечивать высокие уловы, не соответствует оптимальным показателям длины, вследствие снижения линейных размеров особей из нерестового запаса. Статусу оптимального улова с 2021 г. присваивается красный цвет, то есть уловы, получаемые промыслом, неудовлетворительны.

Анализ размерного ряда уловов сельди-черноспинки по методу LBI показал, что биологические показатели вылавливаемых рыб не соответствуют получению долговременных высоких улов с точки зрения концепции MSY (таблица). Соотношение индикатора  $L_{mean}$  к ориентиру  $L_{F=M}$  с 2021 г. не достигает целевого соотношения  $\geq 1$ . Начиная с 2021 по 2023 гг. состоянию запаса присваивается красный цвет.

Таким образом, интегральная оценка качественного состояния запаса сельди-черноспинки по методу LBI свидетельствует о неудовлетворительной размерной структуре популяции и характере эксплуатации, указывающие на планомерное истощение запаса. Все индикаторы к 2023 г. перешли в зону красного цвета, что говорит о критическом состоянии популяции этого вида рыбы.

Динамика оцененной биомассы нерестового запаса сельди-черноспинки с двухгодичным опережающим лагом связана с интегральной оценкой качественного состояния запаса. Наибольшее количество индикаторов, принявших зеленый цвет, было отмечено в 2019 г., что позволило характеризовать этот год как наиболее благоприятный в сравнении с 2017-2023 гг. По ихтиологическим данным 2019 г. оценена и наибольшая прогнозная биомасса запаса на 2021 г. (таблица). В последующие годы с увеличением количества индикаторов, принимающих красный цвет, одновременно сокращаются прогнозные оценки биомассы. В 2023 г. всем анализируемым индикаторам был присвоен красный цвет и соответствующая прогнозная оценка биомассы на 2025 г. оказалась минимальной за весь рассматриваемый период. Таким образом, это дало нам основание в трехзональном правиле регулирования промысла (ПРП) в качестве граничного биологического ориентира ( $B_{lim}$ ) установить значение равное 1,067 тыс. т.

**Таблица.** Значения отношений индикатор/ориентир для сельди-черноспинки *Alosa kessleri kessleri* дельты р. Волга в 2017–2023 гг.

Индикаторы		Пороговые значения отношения индикатор/ориентир	Годы*						
			2017 (2019)	2018 (2020)	2019 (2021)	2020 (2022)	2021 (2023)	2022 (2024)	2023 (2025)
Сохранение старше- и младшевозрастных рыб	$L_{max5\%} / L_{\infty}$	> 0.8	0,78	0,80	0,84	0,86	0,77	0,78	0,76
	$L_{95\%} / L_{\infty}$		0,75	0,78	0,80	0,80	0,73	0,75	0,73
	$P_{mega}$	> 0.3	0,08	0,12	0,23	0,13	0,04	0,07	0,03
	$L_{25\%} / L_{mat}$	> 1	0,98	0,98	1,01	0,98	0,94	0,94	0,90
	$L_c / L_{mat}$		0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,87	0,87
Оптимальный улов	$L_{mean} / L_{opt}$	$\approx 1$	1,00	1,01	1,04	1,02	0,97	0,97	0,96
	$L_{maxy} / L_{opt}$	$\approx 1$	1,03	1,06	1,10	1,03	1,00	1,00	0,96
Концепция MSY	$L_{mean} / L_{F=M}$	$\geq 1$	0,98	0,99	1,01	1,00	0,95	0,98	0,97
Прогнозная оценка биомассы нерестового запаса, тыс. т			1,965	2,168	2,416	2,372	1,933	1,311	1,067

Обмельчание производителей сельди-черноспинки в неводных уловах до проведения такого вида исследования вызывало опасение о неблагоприятных условиях нагула, складывающихся в Среднем и Южном Каспии. Выводы, полученные по результатам применения метода LBI, подтвердили тенденцию ухудшения качественного состояния запаса сельди и в совокупности с ихтиологическими данными, промысловой статистикой дали основание ввести запрет на промышленное и любительское рыболовство сельди-черноспинки на период до 31 декабря 2024 г., который утвержден приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 18 марта 2024 г. № 151. Результаты качественной оценки запаса позволили оценить  $B_{lim}$  равный в 1,067 тыс. т в биологическом обосновании ОДУ на 2025 г. При сокращении запаса до величины  $B_{lim}$  или ниже, согласно формализации ПРП, промысел останавливается, изъятие возможно только для научно-исследовательских целей.

#### Список литературы

Войнова Т.В., Барабанов В.В., Чаплыгин В.А. 2022. О причинах снижения нерестового запаса сельди-черноспинки на Нижней Волге // Вопросы рыболовства. Т. 23. № 2. С. 189–200. DOI: 10.31857/S0042875223050119.

- Сафаралиев И. А., Войнова Т. В., Лепилина И. Н. 2023. Качественная оценка состояния и условий эксплуатации запаса сельди-черноспинки *Alosa kessleri kessleri* (Alosidae) дельты реки Волга на основе метода LBI // Вопросы ихтиологии. Т. 63. № 5. С. 569–581. DOI: 10.31857/S0042875223050119.
- ICES. 2015. Report of the fifth workshop on the development of quantitative assessment methodologies based on life-history traits, exploitation characteristics and other relevant parameters for data-limited stocks (WKLIFE V) // ICES CM 2015/ACOM:56. Copenhagen: ICES Headquarters, 157 p.



**ОЦЕНКА ЗАПАСА И ВЕЛИЧИНЫ РЕКОМЕНДОВАННОГО ВЫЛОВА  
СЕРЕБРЯНОГО КАРАСЯ *CARASSIUS AURATUS GIBELIO*  
КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

**Ю.А. Северов, К.А. Шевчук, Т.А. Дускаева**

*Татарский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТатарстанНИРО»), Казань, Россия*

E-mail: objekt\_sveta@mail.ru

Ключевые слова: серебряный карась, производственная модель, устойчивое рыболовство, рекомендованный вылов

Вспышка численности серебряного карася в Куйбышевском водохранилище впервые отмечена в середине 90-х годов прошлого столетия [Кузнецов, 2004]. Сегодня серебряный карась – один из многочисленных видов Куйбышевского водохранилища, который осваивается промыслом и пользуется интересом у рыболовов-любителей.

Причиной увеличения его численности в Куйбышевском водохранилище можно назвать стойкость этого вида к антропогенному загрязнению, позднее икрометание в поздний весенний период уже при стабильном уровне и высокая плодовитость, а также переход карася из однополной популяции в двуполоую и увеличение подходящих для его обитания биотопов, в виде водно-травяных сообществ, где он находит обильный корм, а также убежище для молоди и ее нагула [Кузнецов, 2004, Михеев, 2006].

Вылов карася промышленными организациями в последнее десятилетие достигал 162,4 т (минимум 136,0 т, максимум 201,9 т). Доля карася в общем промысле сегодня составляет чуть менее 4 % (таблица 1). Карася в водохранилище в настоящее время до 95 % объема вылова добывают ставными сетями.

**Таблица 1.** Показатели промышленного использования серебряного карася в Куйбышевском водохранилище в 2014–2023 гг.

Годы	РВ, т	Вылов, т	Освоение РВ, %	Доля от общего вылова, %
2014	265,0	187,6	70,8	4,47
2015	280,0	136,0	48,6	4,02
2016	280,0	161,5	57,7	3,97
2017	280,0	144,7	51,7	3,85
2018	280,0	136,1	48,6	3,55
2019	284,0	168,1	59,2	4,20
2020	294,0	164,2	56,0	3,88
2021	296,0	154,0	52,0	3,56
2022	296,0	170,1	57,5	3,66
2023	308,0	201,9	65,6	4,34

Годы	РВ, т	Вылов, т	Освоение РВ, %	Доля от общего вылова, %
Среднее за 10 лет	288,7	162,4	56,8	3,95

Уловы карася состоят из особей с размерами тела 12,0–36,0 см. Основную часть уловов составляют рыбы длиной от 20,0 до 30,0 см. В промысловых уловах насчитывается до 11 возрастных групп от 3 до 14 лет. Основную долю занимают особи в возрасте 5–10 лет. Максимальная зарегистрированная масса карася составила 2,09 кг. Основу нерестового стада карася сегодня составляют особи с размерами тела 22,0–30,0 см, массой 325,0–1055,0 г в возрасте 5–8 лет. Соотношение полов в нерестовом стаде в контрольных уловах имеет пропорцию 1,1 : 0,9 с небольшим преобладанием самцов.

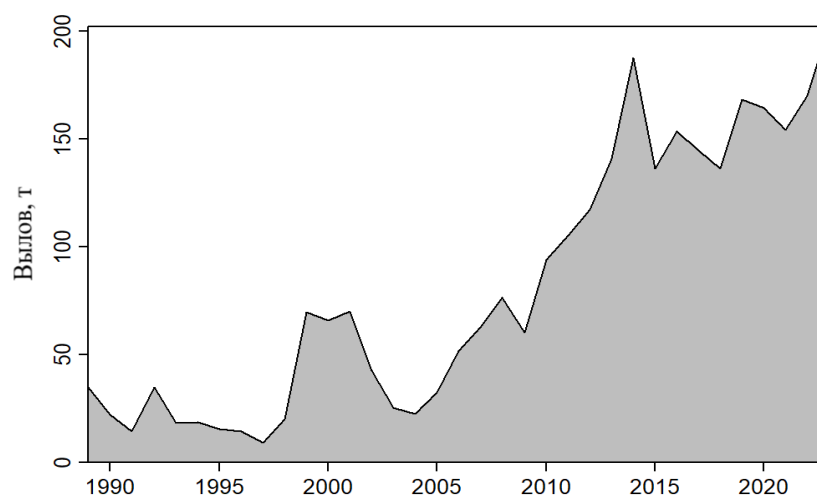
Оценку запаса карася в Куйбышевском водохранилище исторически проводили биостатистическим методом с получением исходных данных из ежегодных учетных уловов. Данный метод согласно Методическим рекомендациям... [2018] можно отнести к III уровню информационной обеспеченности.

С учетом накопления информации на протяжении лет и роста качества информации о данном запасе было принято решение о пересмотре подхода к определению запаса и величины рекомендованного вылова данного вида. Как было отмечено ранее [Северов, 2023], для решения этих вопросов необходима выработка алгоритмов принятия решений по выбору и применению инструментария для объективного и многостороннего оценивания состояния и величины запаса с учетом имеющегося информационного обеспечения.

Анализ материала показал, что для применения когортных моделей информационное обеспечение по карасю недостаточно полное. Следующий уровень информационного обеспечения – «второй», позволяет оценивать запас при помощи группы различных продукционных моделей.

Результаты предварительной оценки показали, что отрицательная природа связи между показателями улова и улова на усилие для данного запаса существует и составляет  $R = -0,48$ , то есть улов на усилие убывает при росте суммарного годового вылова, что дает возможность применения какой-либо продукционной модели. Также можно считать, что данный малоценный в промысловом отношении вид для Куйбышевского водохранилища имеет относительно не искаженную статистику промысла, прежде всего в виду его низкой коммерческой стоимости, вследствие чего сдается на рыбоприемные пункты в полном объеме. Продуктивность данного запаса на протяжении истории его эксплуатации значительно менялась, что при применении продукционных моделей также важно и дает

более надежные результаты, чем оценка запасов с низкой интенсивностью промысла (рисунок 1).



**Рисунок 1.** Вылов серебряного карася промыслом в Куйбышевском водохранилище в 1989–2023 гг.

Исходя из имеющегося информационного материала по карасю, для оценки состояния его запаса была выбрана продукционная модель JABBA (*Just Another Bayesian Biomass Assessment*), которая представляет собой объединяющую и гибкую систему оценки запасов с открытым исходным кодом в байесовском пространстве состояний [Winker et al., 2018]. Значительным преимуществом данной модели перед другими классическими продукционными моделями является возможность использования в ней результатов учетных уловов в виде независимых индикаторов траектории биомассы запаса.

Для серебряного карася в качестве настройки модели использовались результаты учетных сетных уловов в весенние периоды 2014–2023 гг., в период массового подхода рыб к нерестилищам, которые, по мнению авторов, отражают состояние запаса в виде численности выловленных производителей на 1 ставную сеть (таблица 2).

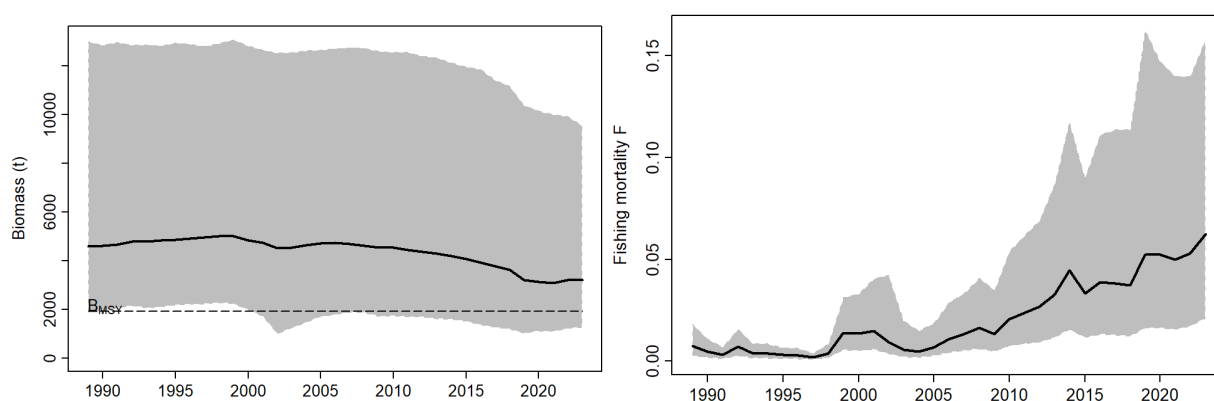
**Таблица 2.** Показатели уловов экз./сеть карася в Куйбышевском водохранилище в 2014–2023 гг.

Год исследований	2014	2015	2018	2019	2020	2021	2022	2023
экз./ сеть (CPUE)	6,8	12,1	7,5	3,0	5,6	3,2	6,1	3,4

Вышеприведенные индексы численности соотносятся с численностью соответствующих поколений молоди карася в уловах мальковой волокуши в годы их появления, что также дает уверенность в качестве их применения в моделировании запаса.

Среднеквадратичная ошибка (Root-Mean-Squared-Error (RMSE)) для количественной оценки случайности остатков модели составила 105,8%. RMSE является оценкой точности модели и наиболее важным критерием при настройке модели, если целью является прогнозирование [Winker et al, 2018]. Отметим, что данная величина хоть и превышает 100 % (в авторской работе RMSE для исследуемых запасов составляет – 20,7-33,4 %), но является наиболее низкой для всех исследуемых авторами запасов.

JABBA рассчитывает ретроспективную динамику запаса и промысловую нагрузку (рисунок 2).



**Рисунок 2.** Динамика биомассы  $B$  и промысловой смертности  $F$  серебряного карася Куйбышевского водохранилища с 1989 по 2023 гг.

Можно отметить, что запас серебряного карася в большей части недоиспользовался и не опускался ниже целевого ориентира управления  $B_{MSY}$ , в результате низкой нагрузки на запас, на уровне  $F = 0,01-0,06$ . Прогнозный расчетный целевой уровень  $F_{MSY} = 0,32$  (0,18-0,54) при  $B_{MSY} = 1939,4$  т. При этом стратегия управления запасом естественно не обязательно выбирается на уровне  $F_{MSY}$ . Возможно обоснование любого, наиболее приемлемого уровня промысловой нагрузки, исходя из состояния запаса и тенденций его дальнейшего использования в т.ч. сохранения уловов на определенном уровне («статус кво»), снижении интенсивности вылова и т.д.

Таким образом, модель JABBA положительно показала себя при оценке запаса серебряного карася Куйбышевского водохранилища, в том числе при прогнозировании и расчете величины рекомендованного вылова. Имеющийся функционал модели наглядно демонстрирует ретроспективу запаса, величины ошибок при прогнозировании и тенденции в динамике запаса в будущем.

#### Список литературы

- Кузнецов В.А. 2004. Изменение структуры популяции и биологических показателей серебряного карася *Carassius auratus gibelio* в Волжском плесе Куйбышевского водохранилища в условиях усиления антропогенной нагрузки на экосистему // Вопр. ихтиологии. Т. 14. № 2. С. 257-264.
- Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. 2018. 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. М.: Изд-во ВНИРО. 312 с.
- Михеев В.А. 2006. Экология серебряного карася *Carassius auratus gibelio* Bloch центральной части Куйбышевского водохранилища. Автореф. дис. канд. биол. наук. Ульяновск: УлГПУ. 23 с.
- Северов Ю.А. 2023. Алгоритмы выбора метода оценки запаса при различном уровне доступной информации применительно к пресноводным видам водных биоресурсов средневожских водохранилищ // Тезисы международной научно-практической конференции «Современные методы оценки и рационального использования водных биологических ресурсов». Москва: изд. ВНИРО. С. 121-123.
- Winker H., Carvalho F., Kapur M. 2018. JABBA: just another Bayesian biomass assessment // Fisheries Research. V. 204. P. 275–288.

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВОГО ЗРЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ФОТОМАТЕРИАЛОВ АВИАУЧЕТОВ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ**

**Л.К. Сидоров**

*ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия*

E-mail: sidorov@vniro.ru

Ключевые слова: морские млекопитающие, БПЛА, цифровое зрение, нейросеть

В последние годы быстрое развитие рынка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) включило в повестку дня вопрос о возможности их применения для авиаучетов морских млекопитающих. Использование БПЛА самолетного типа позволяет покрывать съемкой огромные площади, исключает беспокоящий фактор, дает возможность проводить наблюдения за животными в их естественной среде обитания [Бизиков и др., 2022 а, б; Сидоров и др., 2023]. Большие объемы данных фотоматериалов позволяют снизить погрешности и повысить точность учетов, однако увеличивают время обработки материалов в «ручном режиме» несколькими операторами. С развитием методов машинного обучения и применения нейросетевых технологий для распознавания различных видов образов на изображениях, включая морских млекопитающих, исключается необходимость вручную анализировать большие объемы данных авиасъемки акватории. Задача оператора сводится к верификации обработанных данных. Целью работы было создание алгоритма обработки больших массивов изображений с использованием цифрового зрения.

Для реализации поставленной цели был использован алгоритм обнаружения объектов YOLO (You Only Look Once), который представляет собой одну глубокую сверточную нейронную сеть, разбивающую входное изображение на набор ячеек, образующих сетку, каждая ячейка которой в алгоритме в выходных данных будет иметь связанный вектор, который сообщает: 1) присутствует ли объект в ячейке сетки, 2) класс объекта (то есть метка), 3) предполагаемые геометрические характеристики объекта (местоположения). Выбор YOLO V4 также обусловлен применением функции потерь GIoU (Generalized Intersection over Union) модифицированной версии функции IoU, применяемой для сравнения сходств двух произвольных фигур, в нашем случае ограничивающих прямоугольников объектов. Для быстроты вычислений использовали графический процессор для вывода, который намного быстрее, чем центральный процессор. В данном случае задействовали видеокарту NVIDIA GeForce RTX 4090 GAMING OC 24GB с установленной программно-аппаратной архитектурой параллельных

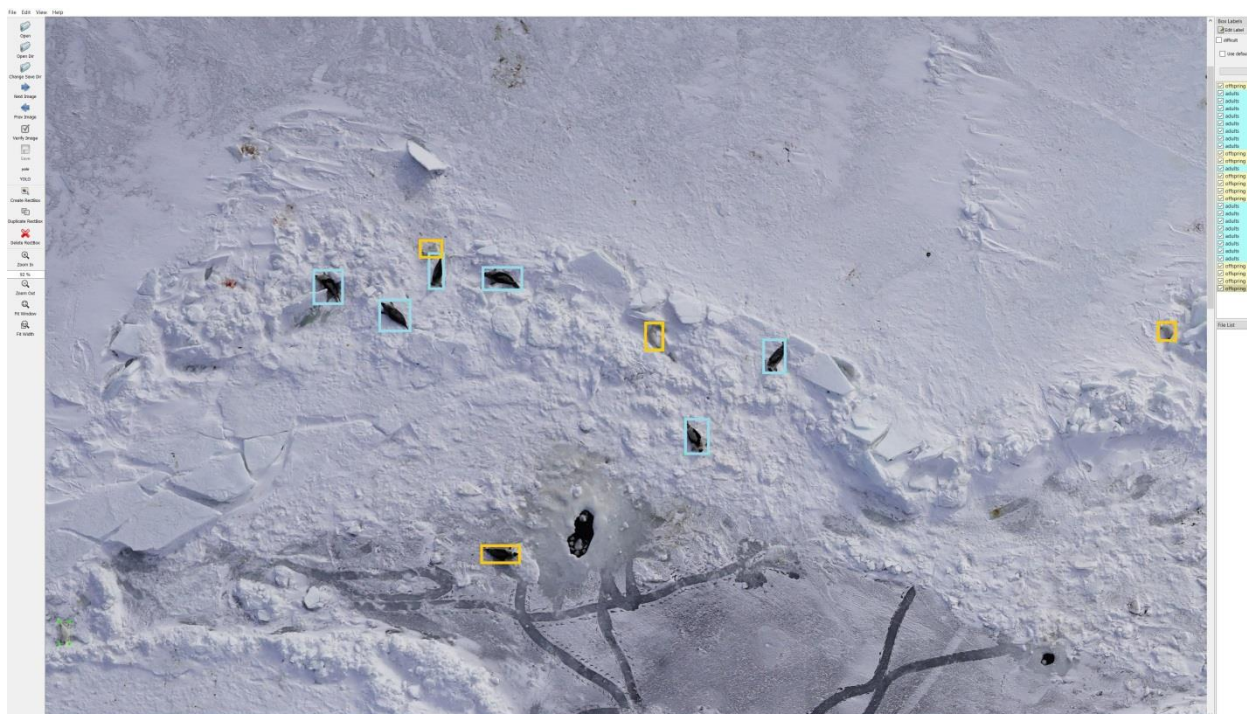
вычислений CUDA 11, которая позволяет существенно увеличить вычислительную производительность, благодаря использованию графических процессоров фирмы Nvidia. В наладке работы цифрового зрения и обучении нейросети применяли библиотеку с открытым исходным кодом Darknet [YOLOv4..., electronic resource]. Программа поиска и распознавания объектов написана на языке программирования Python 3.11.

В рамках процесса обучения нейронных сетей для определения морских млекопитающих на примере гренландского тюленя и белух из общего количества исходных фотоматериалов был отобран массив фотографий видимого диапазона, где были точно определены, классифицированы особи гренландского тюленя (щенки и взрослые) и белух на выборке из 3105 фотографий размером  $896 \times 896$  пикселей. Для разметки и подготовки библиотек (моделей) образов использовалось открытое программное обеспечение LabelImg. Ввиду того, что исходные изображения в видимом диапазоне имеют высокое разрешение –  $9504 \times 6336$  пикселей, а объекты (щенки и взрослые особи), находящиеся на них, в среднем занимают область  $20 \times 30$  пикселей, уменьшение исходного изображения к пороговому разрешению на вход сети привело бы к потере полезной информации – объекты окажутся чересчур маленькими. Поэтому детекция проводилась при помощи алгоритма скользящего окна (sliding window algorithm), размером  $1056 \times 1056$  пикселей. Для поиска объектов применена мультимодальная система, обеспечивающая возможность одновременного параллельного поиска разных видов объектов, в данном случае – щенков и взрослых особей гренландского тюленя, белух.

Специфика авиаучётных работ по морским млекопитающим – это использование инфракрасных (ИК) снимков и изображений в видимом диапазоне (фотографии), синхронизированных по ширине охвата кадром на поверхности, а также по времени и навигационным параметрам авиасъемки. Верификация обнаруженных животных на ИК-снимках проводится на фотографиях. Поэтому дополнительно нейросеть была обучена на поиск «теплых» пятен на ИК-снимках, которые в отличие от фотографий имеют исходное разрешение  $1280 \times 1024$  пикселей, а значит время обработки одного изображения на порядок меньше. Для этих целей был отобран массив ИК-снимков, где точно определены «теплые» пятна – живые особи гренландского тюленя на выборке из 646 фотографий размером  $256 \times 256$  пикселей. Детекция проводилась при помощи алгоритма скользящего окна (sliding window algorithm) размером  $256 \times 256$  пикселей.

Алгоритм обработки данных авиасъемки состоял в следующем. Полученные от одного полетного задания БПЛА изображения в ИК-диапазоне, синхронизированные с фотоснимками в видимом диапазоне и привязанные к сетке географических координат,

обрабатывались в первую очередь, то есть проводилась детекция «теплых» пятен на обученной модели нейросети. По результатам этой обработки формировался список ИК-снимков, на которых при помощи цифрового зрения были обнаружены «теплые» пятна. В соответствии с этим списком создавалась выборка синхронизированных фотографий видимого диапазона, на которых далее при помощи обученной модели нейросети проводился поиск и идентификация щенков и взрослых особей гренландского тюленя, а также белух. Результатом обработки является получение информации о локализации найденного объекта на изображении, его классификация (щенок, взрослая особь, белуха). Разработанная программа с высокой точностью находила и размечала взрослых особей и щенков гренландского тюленя, а оператор в программе labeling верифицировал правильность распознавания (рисунок).



**Рисунок.** Автоматический поиск и разметка взрослых особей и щенков гренландского тюленя

При хорошем качестве фотографии ошибка распознавания животных составляет менее 1%. По каждому обнаруженному животному есть сведения о его расположении на исходных фотоматериалах, которые систематизированы и занесены в электронные таблицы. Разработанный алгоритм обработки данных на основе «цифрового» зрения на основе нейросети позволяет сократить ошибку определения оператора, проводящего обработку первичных данных, в разы снизить время обработки исходных материалов,



использовать результаты обработки авиасъемки для построения карт распределения морских млекопитающих в ГИС-системах и расчета численности исследуемых объектов.

#### Список литературы

- Бизиков В.А., Сабиров М.А., Сидоров Л.К., Лукина Ю.Н. 2022а. Численность и распределение ладожской кольчатой нерпы в аномально тёплую зиму 2020 года: оценка по результатам авиаучёта с использованием БПЛА // Труды ВНИРО. Т. 190. С. 79–94.
- Бизиков В.А., Сидоров Л.К., Петерфельд В.А., Болтнев Е.А. 2022б. Применение беспилотных летательных аппаратов для оценки численности байкальской нерпы // Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование. Керчь, 13–18 сентября 2022 года. Мат. III Межд. науч.-практ. конф. Симферополь: ООО Издательство Типография «Ариал». С. 108-113.
- Сидоров Л.К., Бизиков В.А., Рожнов В.В., Шипулин С.В., Кузнецов В.В., Белокобыльский И.Ф., Мягкий Н.А., Соловьева М.А., Глазов Д.М., Назаренко Е.А. 2023. Распределение и численность каспийского тюленя на льдах в российской части Северного Каспия в феврале - марте 2023 г. // Труды ВНИРО. Т. 193. С. 82–100.
- YOLOv4 / Scaled-YOLOv4 / YOLO - Neural Networks for Object Detection (Windows and Linux version of Darknet [Electronic resource]. URL: <https://github.com/AlexeyAB/darknet> (дата обращения 03.09.2024).

## ОСНОВНЫЕ ПРОМЫСЛОВЫЕ ВИДЫ ИХТИОФАУНЫ ЧОГРАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

**Ю.В. Сирота**

*Отдел «Краснодарский», Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»  
(«АзНИИРХ»), Краснодар, Россия*

E-mail: sirotayv@azniirkh.vniro.ru

Ключевые слова: Чограйское водохранилище, ихтиофауна, промысловые виды

Чограйское водохранилище является искусственным водоемом на юге России, сформированным при помощи гидротехнических сооружений и перераспределения стока Кумо-Манычского каскада. Формирование Чограйского водохранилища было завершено в 1969 г. в долине реки Восточный Маныч на границе Ставропольского края и Калмыкии. Водохранилище питается водами рек Терека и Кумы.

До создания Чограйского водохранилища аборигенная ихтиофауна р. Восточный Маныч была представлена преимущественно следующими наиболее многочисленными видами рыб: красноперка, сазан, судак, серебряный карась, золотой карась [Круглова, 1974].

С момента создания водохранилища и стабилизации уровня воды, показателей минерализации, в водохранилище стал отмечаться постепенный рост разнообразия ихтиоценоза, в первое время представленного рыбами преимущественно карповых пород. Практически с момента становления водохранилища обрело рыбохозяйственный статус – промышленное рыболовство в нем осуществляется с 1975 года. С этого момента вопросы изучения динамики численности промысловой ихтиофауны, прогнозирование ее вылова, является актуальной задачей обеспечения продовольственной безопасности населения республик [Уланова, 2003].

После строительства Чограйского водохранилища произошло обогащение ихтиофауны за счет рыб, проникших по Терско-Кумскому и Кумо-Манычскому каналам. Водоемы системы Западного Маныча также способствовали увеличению видового разнообразия, особенно после начала устойчивой связи между водными системами. Так, первоначальную ихтиофауну водохранилища дополнили такие виды рыб как окунь, сом, северо-кавказская уклейка, терский пескарь, бычок-песочник, малая южная колюшка, рыба-игла, килька, шемая и синец [Никитенко, 2015].

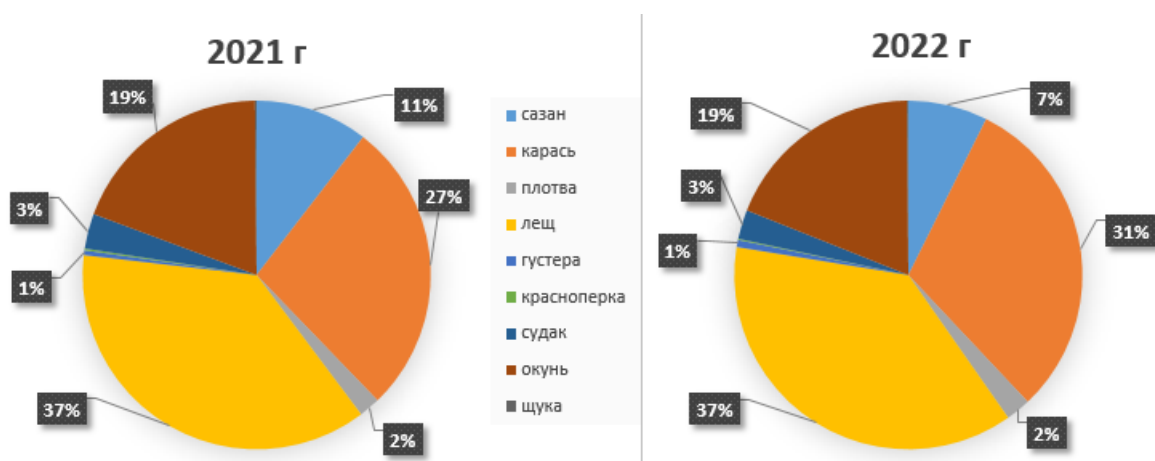
В настоящее время по оценкам различных ученых рыбохозяйственный потенциал водохранилища не используется в полном объеме [Карнаухов и др., 2021]. При этом

объемы промышленного рыболовства характеризуются устойчивой структурой с некоторой тенденцией к снижению. В соответствии с этим исследование состояния ихтиофауны водохранилища и разработка рекомендаций по повышению его рыбохозяйственного потенциала является актуальным.

Акклиматизационные работы на Чограйском водохранилище начались в 1970 г. Ростовской акклиматизационной станцией. В водоем были интродуцированы лещ, белый амур, белый и пестрый толстолобики, большеротый и малоротый буффало, судак [Никитенко, 2015].

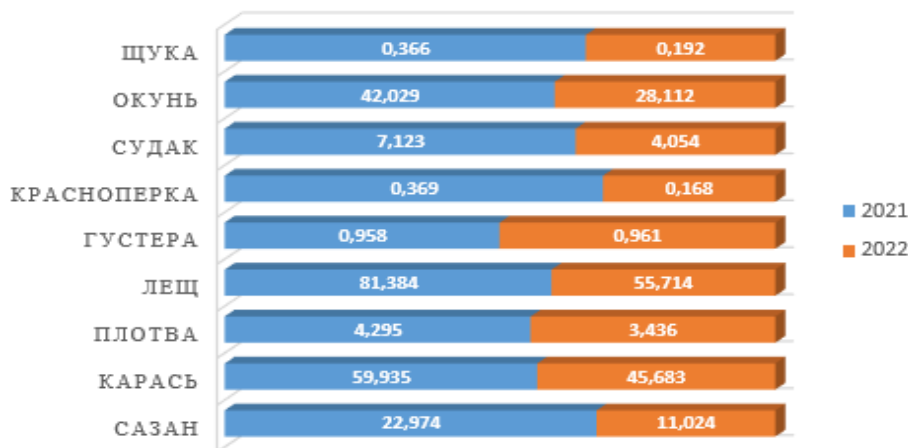
В настоящее время рыбопродуктивность водохранилища находится не на самом высоком уровне из-за сравнительно невысоких темпов естественного воспроизводства ценных в пищевом представлении видов (лещ, судак, сазан и др.), а также снижения параметров искусственного воспроизводства (зарыбления) водоема и увеличения пропорции малоценных видов рыб в промысловых уловах в период 2000–2020 гг. Отдельной проблемой роста рыбопромышленного потенциала водоема является недостаточное развитие инфраструктуры по реализации и переработке рыбы.

В настоящее время в Чограйском водохранилище осуществляется промысел 9-ти единиц запаса: сазан, лещ, плотва, карась, густера, красноперка, судак, окунь пресноводный, щука (рисунок 1). В водохранилище промысел ведут два пользователя рыбопромысловыми участками со стороны Ставропольского края и шесть рыбопромысловых бригад со стороны Республики Калмыкия. Лов осуществляется закидными неводами и ставными сетями с шагом ячеи 40-100 мм.



**Рисунок 1.** Видовая структура промыслового изъятия в Чограйском водохранилище в 2021 и 2022 гг.

В процентном соотношении (рисунок 1) видовая структура промыслового изъятия в 2021 и 2022 гг. была устойчивой и не демонстрировала значительных изменений в сторону одних или других видов. Однако в абсолютном представлении объемы промыслового изъятия в 2022 г. значительно снизились относительно вылова в 2021 г. (рисунок 2).



**Рисунок 2.** Структура вылова промысловых видов рыб в Чограйском водохранилище в 2021 и 2022 гг.

Причины снижения объемов промыслового изъятия в 2022 г. в настоящее время остаются не до конца понятными, однако, наиболее вероятно они произошли в результате колебания уровня наполнения водохранилища и постепенного ухудшения трофного статуса водоема [Мирзоян и др., 2024]. В дальнейшем для сохранения и повышения рыбохозяйственного потенциала водохранилища необходимо предпринимать меры по снижению его трофности и зарыблению водоема видами-мелиораторами.

#### Список литературы

- Карнаухов Г.И., Каширин А.В., Сирота Ю.В., Гиталов Э.И. 2021. Повышение рыбопродуктивности водохранилищ Юга России // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. № 3. С. 8-28. DOI: 10.47404/2619-0605\_2021\_3\_8.
- Круглова В.М., Рейх Е.М., Кузьмичева И.Я., Чердынчева Л.М., Юдина С.В., Болоховец Л.В. 1974. Формирование гидрохимического и биологического режимов Чограйского водохранилища // Труды ВНИРО. Т. 103. С. 51-58.
- Мирзоян А.В., Пятинский М.М., Сирота Ю.В. 2024. Типизация трофности водоемов на основе показателей хлорофилла по данным дистанционного зондирования на

- примере Чограйского водохранилища в период 2021-2023 г. // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 7. № 3. С. 36-49. DOI: 10.47921/2619-1024\_2024\_7\_3\_36.
- Никитенко Е.В., Щербина Г.Х. 2015. Ихтиофауна Чограйского водохранилища // Вестник ИКИАТ. №1 (30). С. 33-37.
- Уланова С.С. 2003. Изменение площади внутренних водоемов Калмыкии // Вестник КИСЭПИ. № 2. С. 86-92.

**ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ВИДОВОЙ СТРУКТУРЫ  
МАКРОБЕНТОСА ЛАГУННЫХ ЭКОСИСТЕМ  
(КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ)**

**А.П. Столяров**

*МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

E-mail: macrobenthos@mail.ru

Ключевые слова: лагунные экосистемы, макробентос, видовое разнообразие и структура

Прибрежные лагунные экосистемы различаются по своему видовому разнообразию и структурным особенностям, в том числе макробентоса, изучению которого посвящено данное исследование (на примере Кандалакшского залива Белого моря). Они могут быть частично или полностью отгорожены от моря, однако в основном соединяются с ним (постоянно или временно) одним или несколькими узкими проливами. Большинство лагун весьма мелководны (2-5 м) и различаются поступлением морской воды с приливно-отливными и ветровыми течениями, пресноводным стоком с суши, скоростью осадконакопления, характером грунта, содержанием в нем органических веществ, рН и Eh среды, колебаниями солености [Kennish et al., 2010; Лабай, 2015; Stolyarov, 2017]. Все это отражается на видовом составе, разнообразии и структуре обитающих здесь сообществ живых организмов [Gravina et al., 2020; Stolyarov, 2023].

Цель работы заключалась в изучении особенностей видового состава, разнообразия и пространственной структуры макробентоса в 4-х мелководных лагунных экосистемах Белого моря.

Исследование сублиторального макробентоса было проведено летом 2021, 2022 гг. в 4-х лагунных экосистемах Белого моря недалеко от ББС МГУ. Пробы брались последовательно от кутовых более опресненных и заиленных местообитаний в сторону мористых менее опресненных и заиленных районов.

Исследованные прибрежные лагунные экосистемы были мелководными (средние глубины 2-4 м на малой воде) и небольшой протяженности (400-600 м). Сублитораль всех лагун была представлена в основном илами или песчанистыми илами (показатели Eh принимали отрицательные значения). Наименее заиленной была лагунная экосистема, находящаяся на выходе из кутовой области губы Кислой, осадки которой были представлены в основном илистыми песками, песчанистыми илами и илами. Более заиленными были осадки остальных исследованных лагун (лагуны губ Ермолинской, Барсучьей, а также лагуны, расположенные возле озера Трехцветное), часто со

значительным содержанием детрита (много полуразложившихся морских трав и водорослей) и запахом сероводорода. Соленость придонной воды во всех лагунах в период взятия проб (июль 2021, 2022 гг.) была относительно высокой 21-25 ‰.

Всего в сублиторали исследованных лагун было обнаружено 39 видов бентосных беспозвоночных животных и 4 вида морских трав и водорослей (*Zostera marina*, *Cladophora sericea*, *Ruppia maritime*, *Salicornia pojarkovae*).

Наиболее высокими общими показателями структуры сообщества (видовое разнообразие, общая плотность и биомасса) характеризовались более открытые к морю лагуны: лагуна Ермолинской губы и лагуна, расположенная на выходе из кутовой области Кислой губы, а более низкими – более отгороженные и удаленные от моря лагуны: лагуна, расположенная рядом с озером Трехцветное, и лагуна губы Барсучья.

Проведенный кластерный анализ макробентосных исследованных лагун выявил высокое сходство макробентоса лагуны возле озера Трехцветное и лагуны губы Барсучья (наиболее отгороженные от моря лагуны с преобладанием солоноватоводных и морских эвригалинных видов: *Macoma balthica*, *Peringia ulvae*, *Tubificoides benedii*, *Scoloplos armiger*, *Littorina littorea*, *Mytilus edulis*). Сообщество макробентоса лагуны, расположенной на выходе из кутовой области губы Кислой, характеризовалось наибольшим своеобразием (преобладали сублиторальные морские менее эвригалинные виды: *Nereimyra punctata*, *Pholoe minuta*, *Terebellides stroemi*, *Caprella linearis*, *Asterias rubens*, *Molgula griffithsii*, *Musculus discors*, *Diastylis scorpioides*, *Atylus carinatus*) и, соответственно, низким сходством с остальными бентосными сообществами исследуемых лагун. Макробентосное сообщество лагуны Ермолинской губы в этом ряду занимало промежуточное положение и имело большее сходство макробентоса с более закрытыми лагунными экосистемами. Это свидетельствует, с одной стороны, о близости видового состава и структуры макробентоса лагунных экосистем с похожим водообменом с внешней акваторией, а с другой стороны – об отличии макробентосного сообщества более открытой лагуны, расположенной на выходе из кутовой области губы Кислой, от остальных.

Степень "нарушенности" структуры бентосных сообществ можно оценить с помощью различных математических методов и индексов, в частности ABC-индекса, который часто используется для тестирования экологического состояния донных сообществ. Этот индекс основан на сравнении кумулятивных кривых численности и биомассы и исходит из того, что число видов и индивидуальная масса организмов увеличиваются с уменьшением стрессовой нагрузки [Warwick, 1986].

Средние показатели ABC-индексов в трех лагунах – в лагуне возле озера Трехцветное (-5,7), лагуне губы Ермолинская (-1,3) и лагуне губы Барсучья (-1,1) были отрицательными с нарушенной структурой сообщества макробентоса и преобладанием мелких видов детритофагов-собирателей. Особенно нарушенной структурой характеризуется сообщество макробентоса лагуны возле озера Трехцветное. В наиболее открытой лагуне, расположенной на выходе из кутовой области губы Кислой, показатели индексов были положительными с преобладанием нормальных сообществ макробентоса с ненарушенной структурой и доминированием более крупных беспозвоночных животных – полихет *Nereimyra punctata*, *Terebellides stroemi*, *Amphareta acutifrons*, моллюсков *Macoma balthica* и *Musculus discors*, ракообразных *Diastylis scorpioides*, *Atylus carinatus*, *Caprella linearis*, морских звезд *Asterias rubens* и асцидий *Molgula griffithsi*. Надо также отметить снижение показателей ABC-индексов в кутových областях рассмотренных лагунных экосистем, где в основном преобладали мелкие виды моллюсков *Peringia ulvae* и олигохет *Tubificoides benedii*.

#### Заключение

Всего в сублиторали исследованных лагун было обнаружено 39 видов бентосных беспозвоночных животных и 4 вида морских трав и водорослей (*Zostera marina*, *Cladophora sericea*, *Ruppia maritime*, *Salicornia pojarkovae*). Проведенный кластерный анализ выявил сходство макробентоса лагунных экосистем с похожим водообменом с внешней акваторией. Соответственно, в более отгороженных от моря лагунах – лагуне рядом с озером Трехцветное и губе Барсучья – доминировали в основном литоральные эвригалинные виды беспозвоночных животных. В самой открытой к морю лагуне, расположенной на выходе из кутовой области губы Кислой, преобладали менее эвригалинные сублиторальные виды макробентоса. Ермолинская губа в этом ряду занимала промежуточное положение между наиболее открытой лагуной Кислой губы и более закрытыми лагунами. Рассмотренные лагунные экосистемы за исключением лагуны, расположенной на выходе из кутовой области губы Кислой характеризуются нарушенной структурой сообщества с преобладанием мелких видов детритофагов-собирателей. Они расположены в районах пониженной гидродинамики и повышенного осадконакопления и значительного влияния углеродной нагрузки и солености. Особенно нарушенной структурой характеризуется сообщество макробентоса лагуны возле озера Трехцветное. В наиболее открытой лагуне, расположенной на выходе из губы Кислой, преобладали сообщества макробентоса с ненарушенной структурой и доминированием более крупных видов зообентоса. Таким образом, большинство рассмотренных авторами лагунных экосистем, за исключением наиболее открытой к морю, характеризуются



нарушенной структурой сообщества макробентоса с преобладанием в основном мелких видов детритофагов-собирателей, что связано с негативным влиянием заиления, углеродной нагрузки и опреснения.

#### Список литературы

- Лабай В.С. 2015. Видовой состав макрозообентоса лагун о. Сахалин // Изв. ТИНРО. Т. 183. С. 125-144.
- Gravina M.F., Cabiddu S., Como S., Floris A., Padedda B.M., Pusceddu A., Magni P. 2020. Disentangling heterogeneity and commonalities in nanotidal Mediterranean lagoons through environmental features and macrozoobenthic assemblages // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* V. 237. № 106688. 24 p.
- Kennish M.J., Paerl H.W. 2010. Coastal lagoons: critical habitats of environmental change / *Coastal Lagoons: Critical Habitats of Environmental Change*. Boca Raton: CRC Press. P. 1-15.
- Stolyarov A.P. 2017. Peculiarities of the structure of and trends in the macrobenthos community of the Ermolinskaya Bay lagoon ecosystem, Kandalaksha Bay, White Sea // *Biol. Bull.* V. 44. № 9. P. 1019-1034.
- Stolyarov A.P. 2023. Characteristics of the Specific, Spatial, and Trophic Structure of Macrobenthos in the Lagoon Ecosystem of Nikol'skaya Bay (Kandalaksha Gulf, White Sea) // *Moscow University Biological Sciences Bulletin*. V. 78. № 1. P. 31-38.
- Warwick R.M. 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities // *Marine Biology*. V. 92. P. 557-562.

## О КОМПЛЕКСЕ ПОПУЛЯЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УЛОВОВ

**В.В. Суханов**

*Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,  
Владивосток, Россия*

E-mail: vsukhan@mail.ru

Ключевые слова: когортная структура, авторегрессия, равновесный улов, кратко-, средне-долгосрочный прогноз, популяционные параметры, доверительный интервал прогноза

В работе кратко описан комплекс моделей, которые допускают запись в замкнутой, аналитической форме. В этом их отличие от алгоритмически задаваемых моделей, которые представлены в виде текстов программ для компьютера. Аналитически заданные модели (формулы «в рамочке») позволяют легко проводить над собой разные манипуляции. Их легко делать именно сейчас, когда есть компьютерные программы, поддерживающие аналитические преобразования выражений. Кроме того, из-за своей компактности и наглядности они уменьшают шансы появления смысловых ошибок.

В основу комплекса моделей положена классификация У.Е. Рикера [1979]. Он разделил популяции на две группы по сезонной растянутости промысла: 1 – промысловый сезон настолько краток, что естественной смертностью в этот период можно пренебречь; 2 – промысел растянут на достаточно длинном отрезке времени в рамках года и здесь естественная смертность действует на популяцию параллельно с промысловой. Нужно строить отдельные варианты моделей, обслуживающие оба этих типа популяций.

Другая характеристика моделей относится к межгодовой растянутости пополнения. Пополнение представляет собой процесс «вливания», добавления особей в эксплуатируемую часть популяции. Эта часть называется запасом (сейчас уточняют «промысловым»). Процесс пополнения нередко сконцентрирован в узком возрастном интервале и происходит практически скачкообразно, почти мгновенно при достижении определённого возраста. В таком вырожденном случае структура моделей существенно упрощается. Присвоим таким популяциям код "а". С другой стороны процесс пополнения в некоторой когорте может растягиваться во времени на несколько лет. Таким популяциям присвоим код "b". Нужны специальные версии моделей, учитывающие эти различия.

Следует отметить, что разделение популяций по степени растянутости пополнения отдалённо напоминает классификацию Рикера, выделявшего популяции с типами "А" и "В" (именно поэтому у нас здесь используются те же самые, но строчные буквы). Но при

этом есть и существенные отличия. В предложенной классификации растянутость пополнения соотносится с временным промежутком в несколько лет. Это приводит к тому, что в модельных уравнениях появляются суммы с возрастным индексом, пробегающим ряд целочисленных значений. В классификации Рикера растянутость пополнения сопоставляется с длительностью промыслового сезона в рамках годового цикла и по смыслу напоминает его же принцип разделения популяций на типы 1 и 2. Для такой классификации нужны совсем иные уравнения, но приводить их здесь не будем. Автору представляется, что введённые здесь типы "a" и "b" затрагивают более важные стороны популяционной экологии, чем рикеровские группы "A" и "B".

И наконец, целесообразно различать популяции по двум типам процесса пополнения. В одном случае и мелкие (молодые), и крупные (взрослые) рыбы перемешаны в однородную популяцию и обитают совместно. Пополнение происходит за счёт того, что подрастающие особи чаще попадают в орудие лова, предназначенное для поимки достаточно крупных рыб данного вида – например, в сеть с определённым размером ячеи. Такой процесс можно назвать пополнением вследствие селективного вылова и присвоить этому типу код "альфа".

В другом случае в течение промыслового периода незрелая и взрослая части популяции не объединяются, а держатся отдельно друг от друга. Нередко такая пространственная разделенность весьма велика. Молодь обычно остаётся неподалёку от мест своего рождения, в то время как взрослые особи после нереста могут уходить в дальние кормовые миграции. Возвратившись назад, перед размножением они образуют компактное, легко облавливаемое нерестовое стадо. В это время повзрослевшая часть молоди (так называемые рекруты) пополняет стадо зрелых рыб. Промыслу подвергается только эта взрослая субпопуляция (промысловый запас). Таким образом, здесь пополнение происходит за счёт полового созревания молодых рыб и их последующего вхождения в это эксплуатируемое стадо зрелых, взрослых особей. После окончания сезона размножения данное скопление вновь рассеивается на отдельных особей, смешивающихся с молодьёю или уходящих в кормовую миграцию. Описанный процесс можно назвать пополнением из-за полового созревания и присвоить этому типу код "бета".

При классификации популяций будем учитывать все три вышеописанных признака, каждый из которых может принимать два альтернативных значения: сезонная протяжённость промысла короткая (1) или растянутая (2); протяжённость пополнения в онтогенезе короткая (a) или растянутая (b); механизм пополнения – селективный вылов ( $\alpha$ ) или половое созревание ( $\beta$ ).

Всевозможные сочетания трёх признаков по двум альтернативным значениям дают  $2^3$ , то есть восемь типов популяций. Однако, как оказалось, уравнения моделей для популяций типов 1a $\alpha$  и 1a $\beta$  полностью совпадают. Поэтому оба они объединены в единый тип с кодом 1a. То же самое можно сказать и про уравнения для популяций типов 2a $\alpha$  и 2a $\beta$ . Для охватывающего их общего типа установлен код 2a. Таким образом, после такого объединения у нас остаётся шесть типов популяций: 1a, 1b $\alpha$ , 1b $\beta$ , 2a, 2b $\alpha$ , 2b $\beta$ .

К ним следует добавить ещё один важный подтип 1bs с уже существующим кодом 1b, который будет сопровождаться добавочной буквой s (первая буква слова salmon). Данный подтип включает в себя специфическую группу рыб с весьма своеобразным онтогенезом. Это тихоокеанские лососи р. *Oncorhynchus*.

Лососи часто играют ключевую роль в энергетических потоках пресноводных и морских экосистем в северной Пасифике, а после недавней их акклиматизации – и в северной Атлантике. Вследствие этого они входят в группу массовых промысловых рыб. Прогноз и оптимальное управление численностью их стад относятся к важнейшим задачам моделирования популяционной динамики. Поэтому пусть даже эклектичным, искусственным способом ad hoc, но их нужно включить в предложенную классификацию.

Тихоокеанские лососи представлены моноциклическими видами рыб, гибнущих после нереста. Такая черта онтогенеза приводит к существенной специфике уравнений их динамики. Второе важное отличие тихоокеанских лососей от многих других животных состоит в том, что это озимые виды: нерест у них происходит летом или осенью, а выход личинок из нерестовых бугров – весной следующего календарного года. По сравнению с яровыми видами эта особенность на один год (округлённо до целых чисел) увеличивает временную задержку между нерестом и рождением поколения. Эту деталь надо учитывать в уравнениях при размещении рождающихся когорт на ось времени.

Форма и особенности модели, предназначенной для прогноза, зависят от протяжённости интервала прогнозирования. Чем в более далёкое будущее направлен прогноз, тем меньше подробностей и деталей он позволяет надёжно увидеть, тем более агрегированной и огрублённой должна быть прогнозирующая модель.

Краткосрочный прогноз (горизонт один год) основывается на детальном данных по текущей численности возрастных когорт. Среднесрочный прогноз (на несколько лет вперёд) базируется на численности отдельных поколений, одновременно наблюдающихся на возрастной оси. Этот прогноз обеспечивают авторегрессионные модели. Долгосрочный прогноз имеет дело с равновесным состоянием популяции, медленно изменяющимся под

влиянием внешних факторов. Детальное описание уравнений, предназначенных для этих трёх типов прогноза, даётся В.В. Сухановым [2001].

Дадим для иллюстрации простую линейную авторегрессионную модель из нашего комплекса:  $C_t = \sum_{j=j_{\min}}^{j_{\max}} p_j C_{t-j}$ . Здесь  $C_t$  есть улов в  $t$ -м году,  $j$  – возраст. Функция  $p_j$  представляет собой полный набор нормированных частот, описывающих стационарную возрастную структуру уловов:  $p_j = C_j / \sum_{k=j_{\min}}^{j_{\max}} C_k$ . Это почти классическое уравнение линейной авторегрессии. Оговорка "почти" указывает на некоторые отличия: в классической авторегрессии индекс  $j_{\min}$  всегда равен единице, а сумма всех  $p_j$  вовсе не обязана быть равной единице. Простота этой модели обычно приводит к невысокому качеству аппроксимации фактических данных.

Отдельную большую тему для обсуждения нужно было бы посвятить методам оценивания параметров, входящих в модельные уравнения. Но она настолько многопланова, что требует отдельной монографии. Основные методы подгонки модельных параметров почти без ошибок представлены в книге Й. Барда [1979].

Важность этапа идентификации модели вызвана тем, что прогнозы должны сопровождаться доверительными интервалами. К сожалению, в большинстве прогнозов они не приводятся. Вместе с тем, многие примеры из литературы свидетельствуют о том, что 95%-е доверительные интервалы (приближённые оценки по упрощённой формуле [Суханов и др., 1990]) накрывают саму прогнозируемую величину. Здесь также существует ряд еще не решенных фундаментальных проблем.

#### Список литературы

- Бард Й. 1979. Нелинейное оценивание параметров. М.: Финансы и статистика. 349 с.
- Рикер У.Е. 1979. Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб. М.: Пищ. пром-ть. 408 с.
- Суханов В.В., Решетников Ю.С., Стерлигов А.В. 1990. Оценивание точности прогноза при имитационном моделировании сложной экологической системы (на примере питомника молоди сиговых рыб) // Вопросы ихтиологии, Т. 30. № 2. С. 277-285.
- Суханов В.В. 2001. Моделирование дискретной динамики уловов // Известия ТИНРО. С. 376-389.

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ОСНОВНЫХ СЦЕНАРИЕВ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ РЫБНЫХ РЕСУРСОВ  
ПОДЗОНЫ ПРИМОРЬЕ**

**Д.Л. Шабельский**

*Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия*

E-mail: dmitrii.shabelski@tinro.vniro.ru

Ключевые слова: эксплуатация морских рыбных ресурсов, устойчивость экономических показателей

Анализ структуры производства основных видов рыбной продукции в Российской Федерации по данным формы Росстата Натура–БМ за 2023 г. показывает следующие соотношения: выпуск продукции простой переработки – мороженой, свежей и охлажденной составляет 90,53 % (4015,8 тыс. т) от общего объема выпускаемой продукции, выпуск готовой к приготoвлению продукции (например, филе) – 8,4 % (338,7 тыс. т), выпуск продукции, готовой к употреблению, – соленая и копченая, сушено-вяленая рыба – 4,6 % (187,4 тыс. т), продукты готовые из рыбы – 1,3 % (94,8 тыс. т). На внутреннем рынке пищевой продукции Российской Федерации основными конкурентами рыбопромысловых и рыбоперерабатывающих предприятий за предпочтения покупателей являются предприятия, производящие и перерабатывающие продукцию животноводства. Рассмотрим основные показатели Российской мясоперерабатывающей продукции. В 2022 г. было произведено 11,192 млн т мяса в убойном весе, что на 3,3 % больше, чем годом ранее. В первом полугодии 2023 г. произведено 5,335 млн т., а это на 2,7 % (138 тыс. т) выше показателя аналогичного периода 2022 г. Увеличение глубины переработки мяса повышает возможность ее рентабельной реализации – за счет роста экспортного потенциала, расширения каналов сбыта и форматов торговли, а также географии продаж.

Для работы с массивом статистических данных, содержащих маркетинговую информацию о производстве рыбной продукции и предложении на рынке, создана информационная база данных (БД) на базе программы Access [Покровский и др., 2020]. БД позволяет: оперативно добавлять большие массивы новой информации к существующей, упорядочивать и просматривать данные различными способами, обмениваться данными с пользователями с помощью отчетов, сообщений электронной почты, внутренней сети или Интернета. БД позволила несколько упростить решение следующих задач:

сегментация ассортимента продукции по трём ценовым категориям: сегмент «дорогой» продукции, «дешевой» и сегмент продукции «средней» категории;

расчеты маркетинговых оценок для продукции различных ценовых сегментов с целью оценки эффективности предполагаемых цепочек добавленной стоимости.

Для оценки ресурсного потенциала подзоны Приморье использованы следующие информационные ресурсы:

1. Величины допустимого вылова (ОДУ/РВ) всех рыбных промысловых объектов в подзоне Приморье.

2. Перечень основных групп рыбной продукции, получаемой из рыбного сырья промысловых ресурсов подзоны Приморье, доли этих групп рыбной продукции, представленные на рынке Российской Федерации, средние величины цен на рыбопродукцию, а также затрат на производство и коэффициенты перехода от сырца к готовой продукции.

Для базового варианта переработки рыбопродукции размерность (количество переменных) ЛП задачи равна 123. Для оценки ресурсного потенциала подзоны Приморье способом прямого расчёта использованы 109 групп рыбной продукции (например: «Консервы рыбные из лососевых», «Копчёная рыба: терпуг», «Филе трески»).

Производственная программа предприятия формируется за счет добычи рыбы и ее оптовой продажи в свежем виде для следующих видов рыб: камбалы дальневосточные, кефали, корюшки, красноперки-угаи дальневосточные, лакедра желтохвостая, дальневосточные лососи, минтай, навага, дальневосточная сардина (иваси), сельдь тихоокеанская, сайра, терпуги, треска, а также прочие (малочисленные) виды рыб.

Поиск оптимальных производственных параметров (оптимальных параметров образа «желаемого» состояния экономических показателей) предприятия промысла и переработки ресурсов пресноводных рыб. В качестве критерия оптимальности использована максимизация стоимостной оценки продукции предприятия как экономическая характеристика, достаточно полно описывающая производственную деятельность моделируемого производства (критерий прибыли, с точки зрения авторов, более целесообразен на следующих этапах исследования – оценке условий финансирования, определения сроков окупаемости нового оборудования и производств инновационных видов продукции).

Постановка задачи имеет следующий вид:

Найти максимальное значение целевой функции  $\sum(a * P * Y) = (A * Y) \rightarrow \max$  для  $i = 1, \dots, N$ ; где:  $a$  – выход продукции из сырца (доля);  $P$  – цена ед. продукции (руб/кг);  $Y$  –

объем сырка данного вида водного биоресурса, направляемого на выпуск данного вида продукции (кг);  $a * P = A$ , руб./кг.

Ограничения:

1.  $\sum(C * Y) \leq S$  для  $j = 1, \dots, m$  где:  $C$  - затраты на вылов по видам ресурсов (руб./кг)  $S$  - общие затраты, руб. + доп. 20 %.

2.  $\sum Y \leq D$  для  $m = 1, \dots, M$  где:  $Y$  – направление сырка данного вида водного биоресурса в переработку по вариантам выпускаемой продукции;  $D$  – допустимый вылов по видам (по лимитированным и нелимитированным объектам промысла).

3.  $D \geq 0$ .

Двойственная задача:

Целевая функция  $\sum(S, D * z) \rightarrow \min$ .

Ограничения:

1.  $(C * z) \geq a * P$ , Строки из прямой задачи становятся столбцами (то есть транспонируются).

2.  $z \geq 0$  для  $J = 1, \dots, M$ . Переменная « $z$ » двойственной задачи является условной оценкой дефицитности или «стоимости» ресурсов данного вида объектов промысла.

Исследование устойчивости сценария оптимальной работы предприятия продолжают работы авторов [Покровский и др., 2022, 2023; Шабельский, 2021], рассматривая в данной работе морские рыбные ресурсы подзоны Приморье. Необходимо отметить, что недоиспользуемые объекты промысла, непривлекательные с рыночной точки зрения при продаже в неразделанном виде, при выпуске фаршевой продукции могли бы стать источником выпуска высококачественной современной продукции. Запасы мелкоразмерных рыб подзоны Приморье очень слабо осваиваются промыслом, хотя в Японии продукция из мелких рыб активно продвигается как полезный и ценный продукт [Chinatsu Kasahara et al., 2024].

При анализе результатов расчетов устойчивости оптимального плана был установлен диапазон допустимых изменений цен продукции, при которых будет сохраняться устойчивость оценки стоимостного ресурсного потенциала объектов прибрежного промысла зоны Приморья. Аналогичные интервалы устойчивости были рассчитаны для основных производственных ограничений по условиям эксплуатации объектов прибрежного промысла.

Комплексное исследование устойчивости экономических показателей основных сценариев эксплуатации недоосваиваемых морских рыбных ресурсов (сценария предприятий простой переработки сырка и сценария деятельности предприятий с формированием добавленной стоимости выпускаемой продукции) позволяет определять



перспективы развития в условиях изменения существующих тенденций конъюнктуры и потребительского спроса. Полученная оценка стоимостного потенциала ресурсов прибрежного промысла зоны Приморья для базового сценарий (простая переработка) составила 15 586 719 тыс. руб., стоимостная оценка ресурсного потенциала для эксплуатации ресурсов прибрежного промысла зоны Приморья с формированием прибавочной стоимости составила 28 571 429 тыс. руб. (то есть эффективность эксплуатации при выпуске продукции с добавленной стоимостью в 1,8 раза выше). Также необходимо отметить, что по предварительным оценкам окупаемость инвестиций в развитие и выход к показателям оптимальной эффективности составляет 4-5 лет.

#### Список литературы

- Покровский Б.И., Шабельский Д.Л., Шаповалов М.Е., Кайко А.М. 2020. Алгоритмы подготовки данных для маркетингового анализа вариантов эффективного развития рыболовства пресноводных водоёмов Российской Федерации // *International agricultural journal*. Т. 63. № 6. С 130-149.
- Покровский Б.И., Шабельский Д.Л., Кайко А.М., Шаповалов М.Е. 2022. Оптимальные оценки повышения глубины переработки рыбного сырья ресурсов пресноводных водоемов в целях развития внутреннего рынка рыбопродукции РФ // *International agricultural journal*. Т. 65. № 5. С. 223-262. DOI:10.55186/25876740\_2022\_6\_5\_14.
- Покровский Б.И., Шабельский Д.Л., Шаповалов М.Е., Кайко А.М. 2023. Исследование условий устойчивой деятельности предприятия при промысле и переработке недоосваиваемых ресурсов пресноводных водоёмов России // *Вопросы рыболовства*. Т. 24. № 2. С. 196-202.
- Шабельский Д.Л. 2021. Анализ эффективности сценариев инвестирования предприятий малого бизнеса при эксплуатации ресурсов рыб пресноводных водоемов // *Материалы IV Нац. науч.-техн. конф. «Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации» [Электронный ресурс]*. Электрон. дан. Владивосток: Дальрыбвтуз. С. 144-153.
- Kasahara C, Tamura T, Wakai K, Tamada Y., Kato Y., Kubo Y., Okada R. et al., 2024. Association between consumption of small fish and all-cause mortality among Japanese // *the Japan Multi-Institutional Collaborative Cohort Study, Public Health Nutrition*. № 27 (1). P. e135. DOI: 10.1017/S1368980024000831.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОРИЕНТИРОВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗАПАСОВ В ДИНАМИЧНОЙ МОРСКОЙ СРЕДЕ

**А.Ф. Шаров**

*Служба рыболовства, Департамент природных ресурсов штата Мериленд, США*

E-mail: alexei.sharov@maryland.gov

Ключевые слова: оценка запасов, биологические ориентиры, изменение климата

Изменение климата коренным образом меняет контекст принятия решений по управлению рыболовством во многих районах Мирового океана, что требует пересмотра концепции управления и планов восстановления. Биологические ориентиры обычно оцениваются с неявным предположением о том, что продуктивность запаса является статичной, что может не отражать будущую продуктивность запаса при постоянных, направленных изменениях факторов окружающей среды, которые влияют на продуктивность рыбных запасов и вызывают изменения в пространственном распределении. Неспособность учесть нестационарность может увеличить риск невыполнения таких задач управления, как достижение оптимального вылова, предотвращение чрезмерного вылова рыбы или восстановление истощенных запасов [Szulwalski, Hollowed 2016; Mazur et al., 2023].

Это поднимает вопрос о том, как учитывать динамическую продуктивность, не нанося при этом вреда запасам в состояниях с низкой производительностью. Переопределение опорных точек является одной из ключевых задач управления, и эта проблема станет более распространенной по мере ускорения изменения климата. Недавние примеры подходов к учету влияния температуры на пополнение [Miller et al., 2018; Bell et al., 2018] позволяют предположить, что восстановление ряда запасов до исторического уровня маловероятно, а интеграция воздействия климата может обеспечить более реалистичные краткосрочные прогнозы размера запасов и оценку биологических ориентиров [Pershing et al., 2015]. Рассматриваются существующие подходы к определению биологических ориентиров и обобщаются рекомендации по их оценке для запасов в динамически меняющейся экосистеме.

### Список литературы

Bell R.J., Wood A., Hare J., Richardson D., Manderson J., Miller T. 2018. Rebuilding in the face of climate change // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 75(9). P. 1405-1414.

- Mazur M.D., Jesse J., Cadrin S.X., Truesdell S.B., Kerr L. 2023. Consequences of ignoring climate impacts on New England groundfish stock assessment and management // Fisheries Research. V. 262. P. 106652.
- Miller T.J., Hare J.A., Alade L.A. 2016. A state-space approach to incorporating environmental effects on recruitment in an age-structured assessment model with an application to southern New England yellowtail flounder // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 73(8). P. 1261-1270.
- Pershing A.J., Alexander M.A., Hernandez C.M., Kerr L.A., Le Bris A., Mills K.E., Nye J.A., Record N.R., Scannell H.A., Scott J.D., Sherwood G.D. 2015. Slow adaptation in the face of rapid warming leads to collapse of the Gulf of Maine cod fishery // Science. V. 350(6262). P. 809-812.
- Szuwalski C.S., Hollowed A.B. 2016. Climate change and non-stationary population processes in fisheries management // ICES Journal of Marine Science. V. 73(5). P. 1297-1305.

**РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ****COMBI 5 БЕТА ВЕРСИЯ****А.Д. Шереметьев<sup>1</sup>, А.И. Михайлов<sup>1</sup>, А.Е. Бобырев<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup>*ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия*<sup>2</sup>*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия*

E-mail: cadastr@vniro.ru

Ключевые слова: оценка параметров, математическая статистика, математическое моделирование, модели популяционной динамики, программное обеспечение

Пакет прикладных программ «Combi» [Методические рекомендации..., 2018] является удобным инструментом оценки состояния запасов промысловых гидробионтов на основе продукционных моделей, активно применяемым специалистами отрасли. Очередная версия ППП «Combi» включает в себя ряд новых функциональных возможностей, перечисленных далее.

Изменение формата входных данных. Из четырех исходных рядов годы, уловы, индексы численности и усилия, последний удален как зависимый, однако добавлена опция произвольного количества рядов индексов численности.

Добавлен блок описательной статистики рядов с оценкой  $MSY$  по статической продукционной модели и вспомогательных параметров. Статическая оценка  $MSY$  возможна при наличии отрицательной корреляции индекса и усилия даже в том случае, если динамическая продукционная модель несостоятельна.

Добавлен блок предварительного анализа данных (рисунок 1), реализующий оценку параметров динамической продукционной модели как линейной регрессии. Эта оценка является точной, если принимается гипотеза о нормальном распределении остатков модели. Оценка параметров для каждого ряда индексов осуществляется независимо, что позволяет сопоставлять их между собой.

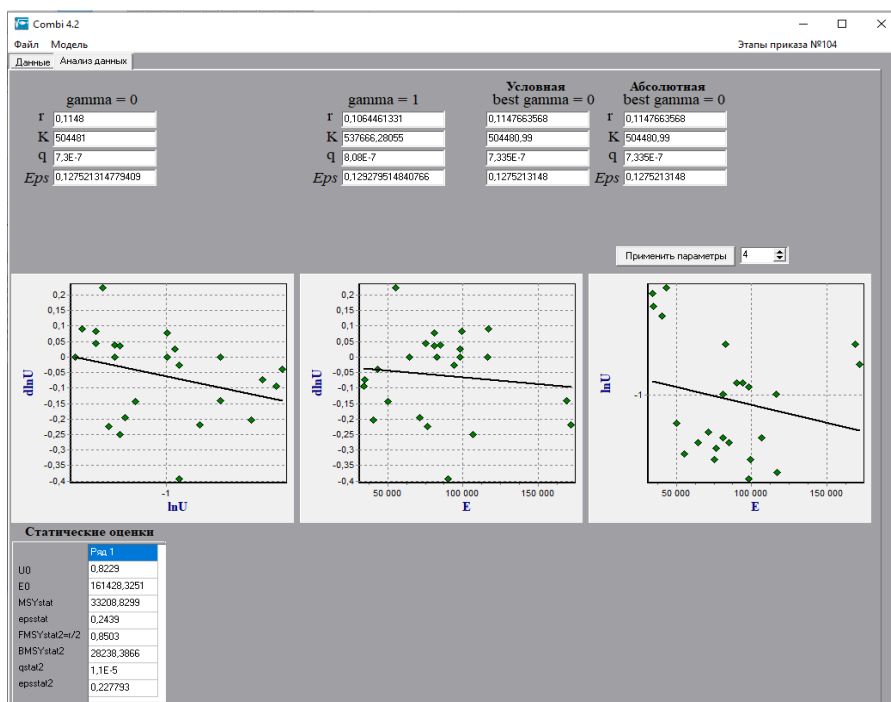


Рисунок 1. Блок предварительного анализа данных

Добавлена опция выбора рядов индексов численности для дальнейшего анализа и несколько простых методов их стандартизации (рисунок 2).

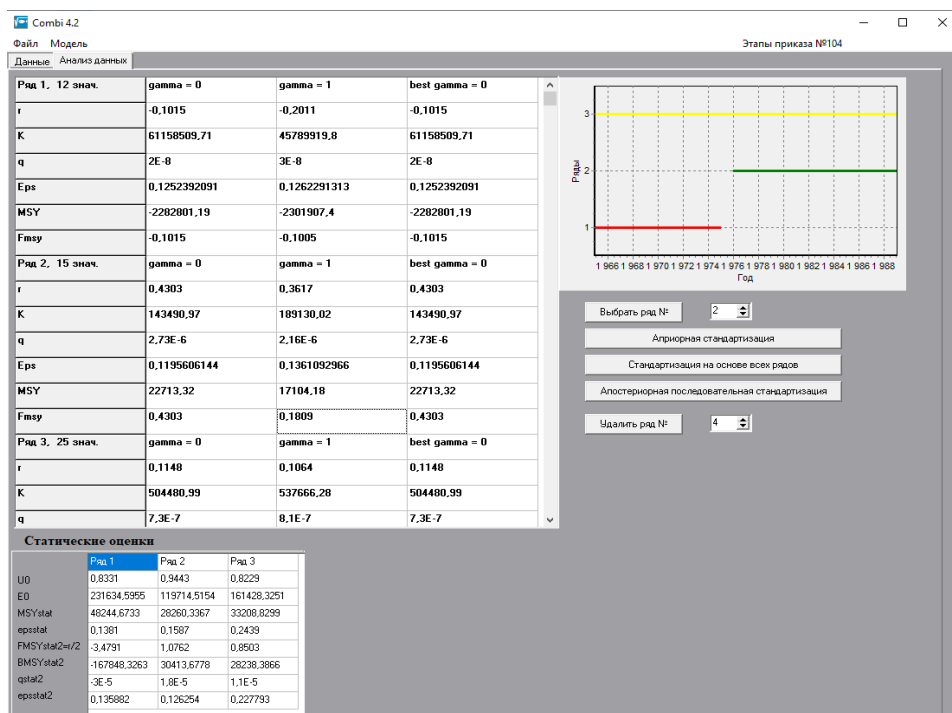


Рисунок 2. Сопоставление и стандартизация рядов индексов численности

В блоке расширенного анализа реализована возможность оценки параметров при наличии пропусков в ряду индекса численности.

Включен ряд диагностических процедур: построение профиля целевой функции и проверки ряда остатков на нормальность распределения (рисунок 3).

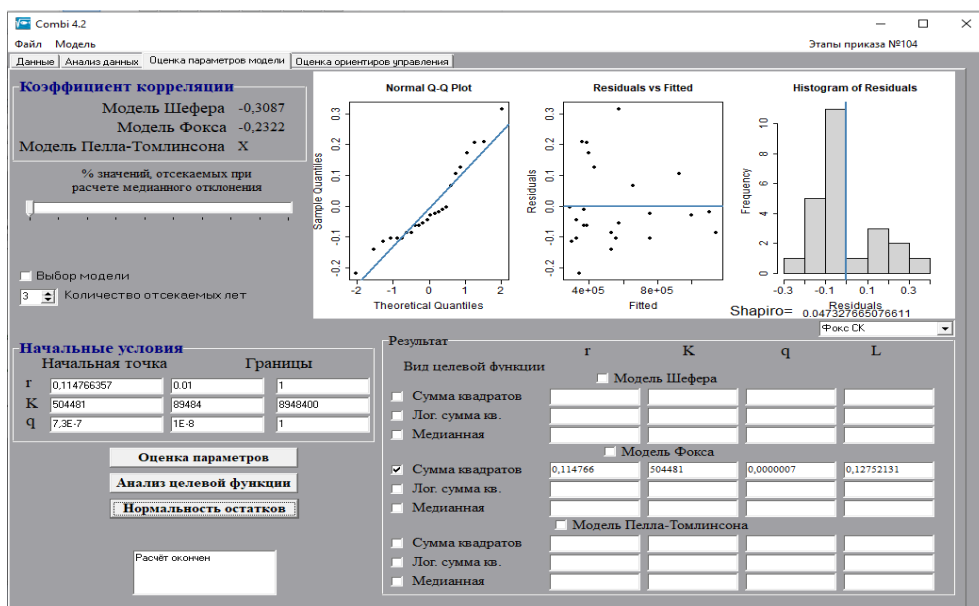


Рисунок 3. Проверка гипотезы о нормальном распределении остатков

Предусмотрена процедура оценки погрешности параметров перевыборочными методами.

Скорректирована процедура оптимизации правила регулирования промысла.

Добавлена процедура фильтрации оценок биомассы на основе настроек модели (рисунок 4).

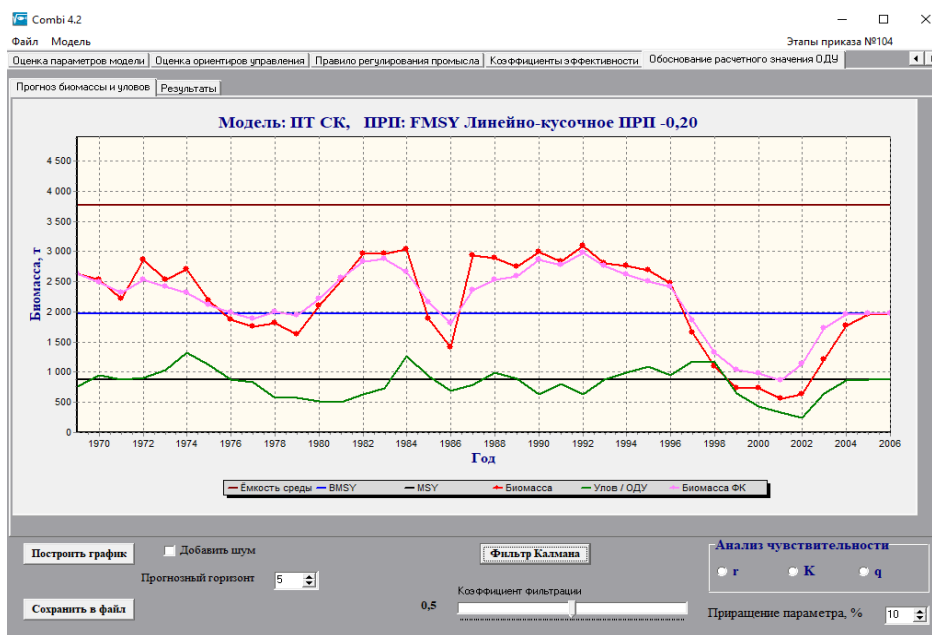


Рисунок 4. Фильтрация оценок биомассы

Новые функциональные возможности позволяют расширить список запасов, соответствующих II уровню информационного обеспечения, и повысить достоверность и обоснованность получаемых оценок состояния запаса и общего допустимого улова.

#### Список литературы

Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. 2018 // 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. / М.: Изд-во ВНИРО. 312 с.

Д.А. Васильев, А.Е. Бобырев, А.И. Михайлов, Н.Г. Западаева, В.Р. Соколовский

### **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**

Материалы II Международной научно-практической конференции

Редактор О.С. Юрова

Подписано в печать 12.02.2025

Формат 70x100/16. Печ. л. 11,5