

**МАТЕРИАЛЫ**  
**Всероссийской молодежной**  
**гидробиологической конференции**  
**«ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ**  
**СОВРЕМЕННОЙ ГИДРОБИОЛОГИИ»**



**Борок, 2016**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН  
Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН

**Материалы  
Всероссийской молодежной гидробиологической конференции**

**«ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ  
СОВРЕМЕННОЙ ГИДРОБИОЛОГИИ»**

**Борок, 2016**

УДК 574.5  
ББК 28.082  
П 27

Материалы Всероссийской молодежной гидробиологической конференции «Перспективы и проблемы современной гидробиологии», пос. Борок, Ярославская область, 10-13 ноября 2016 г. / ИБВВ им. И.Д. Папанина РАН; под ред. И.С. Турбанова, Я.С. Климовой, С.Ю. Синельникова. – Ярославль: Филигрань, 2016. – 256 с.

**ISBN 978-5-906682-64-2**

В сборнике представлено содержание лекций и докладов участников всероссийской молодежной гидробиологической конференции «Перспективы и проблемы современной гидробиологии» (ИБВВ им. И.Д. Папанина РАН, пос. Борок, Ярославская область, 10-13 ноября 2016 года). Отражён широкий круг вопросов по гидрологическим и гидрохимическим характеристикам водных экосистем, их структуре и функционированию (круговорот веществ, потоки энергии, продуктивность экосистем), влиянию биологических инвазий, биоразнообразию, экологии, физиологии и биохимии гидробионтов, экологическому мониторингу и охране водных объектов (оценка качества вод, водная токсикология, биомониторинг).

Представленные материалы будут полезны для экологов, гидробиологов, ботаников и зоологов, специалистов в области охраны природы и рационального использования природных ресурсов, для преподавателей и студентов биологических и экологических специальностей вузов, учителей и школьников.

**Редакционная коллегия:**

И.С. Турбанов (ИБВВ РАН), Я.С. Климова (ИБВВ РАН), С.Ю. Синельников (ИБВВ РАН)

**Рецензенты:**

д.б.н. В.Т. Комов (ИБВВ РАН), д.б.н. А.В. Крылов (ИБВВ РАН), д.б.н. Г.М. Чуйко (ИБВВ РАН), к.б.н. А.А. Прокин (ИБВВ РАН), к.б.н. И.Н. Марин (ИПЭЭ РАН)

**Мероприятие проведено при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ)  
проект № 16-34-10467 мол\_г**

ISBN 978-5-906682-64-2

УДК 574.5  
ББК 28.082

© Авторы, 2016

© Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, 2016

© Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАТЕРИАЛЫ ЛЕКЦИЙ

**Котов А.А.**

Биологическое разнообразие пресноводных беспозвоночных Северной Евразии и его формирование на примере ветвистоусых ракообразных (Cladocera, Crustacea) 11

**Слынько Ю.В.**

Проблемы эволюционной экологии гидробионтов 17

**Чуйко Г.М.**

Биомаркеры в системе оценки токсического воздействия на гидробионтов и экологическом мониторинге водных экосистем 26

### МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ

#### 1. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ 33

**Бутенко М.Н.**

Динамика биогенных элементов оз. Арахлей в период 1988-2015 годов 33

**Косенко Ю.В.**

Особенности пространственно-временной изменчивости характеристик гидрохимического режима Азовского моря в 2015 году 35

**Кутузов А.В.**

Определение экотонной системы побережий водохранилищ по многолетним рядам данных космической спектральной съёмки 37

**Мирошниченко Е.С.**

Сезонная изменчивость гидрохимических параметров прибрежной зоны южного и среднего колен Кольского залива Баренцева моря 39

**Панфилий С.А., Панфилий А.М.**

Гидролого-гидрохимическое состояние оз. Цаган-Нур, Республика Калмыкия 41

**Солоха И.Н.**

Оценка сезонной динамики фосфатов в Азовском море в период 2010-2015 годов 43

#### 2. СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ (КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ, ПОТОКИ ЭНЕРГИИ, ПРОДУКТИВНОСТЬ ЭКОСИСТЕМ) 45

**Бажора А.И.**

Функциональные характеристики макрозообентоса городских водоемов Санкт-Петербурга 45

**Ковалёва И.В.**

Изменение максимальной скорости фотосинтеза в Черном море 46

**Литвинюк Д.А.**

Доля жизнеспособного мезозoopланктона шельфовой зоны Крыма (Crustacea: Copepoda) в зимний период 2016 года 48

**Мухин И.А., Лопичева О.Г.**

Структура микроперифитонных сообществ разноориентированных поверхностей каменистой литорали 50

**Стройнов Я.В., Филиппов Д.А.**

Бактерио- и вириопланктон внутриболотных водных объектов верхового болота 52

<b>Тихонов А.В.</b> Изменения состава и структуры банка семян на примере Волжского плёса Рыбинского водохранилища и его притоков	54
<b>Buseva Zh., Farahani G.Sh.</b> Spatial spring distribution of zooplankton in Lake Obsterno, Belarus	56
<b>3. БИОРАЗНООБРАЗИЕ МОРСКИХ И ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ (ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ, ЭКОЛОГИЯ, ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ИНВАЗИЙ)</b>	60
<b>Баймуканова Ж.М.</b> Зообентос водоемов Баянаульского государственного национального природного парка	60
<b>Беляков Е.А.</b> Проблемы таксономии и перспективы исследования представителей рода <i>Sparganium</i> L. (Turphaceae)	61
<b>Болотов С.Э., Мухортова О.В.</b> Хаотическая динамика сообществ зоопланктона экотонных малых притоков Рыбинского водохранилища: реакция на аномальные климатические условия и риски биологических инвазий	64
<b>Бузинова А.С., Володченко А.Н.</b> Материалы к познанию фауны стрекоз (Insecta, Odonata) бассейна реки Хопер в Саратовской области	66
<b>Веснина Л.В., Теряева И.Ю.</b> Современное состояние биоты Бурлинской системы озер, Алтайский край	68
<b>Вишняков В.С.</b> Новые роды цимбеллоидных диатомовых водорослей (Bacillariophyceae), морфологические критерии их выделения и последствия «генеромании» для альгофлористики	70
<b>Габдуллина Р.И., Каргапольцева И.А.</b> Макрозообентос реки Малиновка, г. Ижевск, Удмуртская Республика	72
<b>Гаврилко Д.Е., Шурганова Г.В.</b> Пространственное размещение сообществ зоопланктона малого водотока (на примере Шуваловского канала, г. Нижний Новгород)	74
<b>Гречухина Л.Г.</b> Исследование фитопланктона в нижнем бьефе Чебоксарской ГЭС в 2014-2016 годах	76
<b>Дарсия Н.А.</b> Питание бычков-вселенцев в Чебоксарском водохранилище	78
<b>Димова М.Д., Гурков А.Н., Мадьярова Е.В., Кондратьева Е.С., Адельшин Р.В., Тимофеев М.А.</b> Генетическое разнообразие микроспоридий, обнаруженных в гемолимфе байкальских эндемичных амфипод <i>Eulimnogammarus verrucosus</i>	80
<b>Золотарёва Т.В., Жихарев В.С., Ильин М.Ю., Шурганова Г.В.</b> Показатели количественного развития вида-вселенца <i>Kellicottia bostoniensis</i> и аборигенного вида <i>Kellicottia longispina</i> в пелагиали двух разнотипных карстовых озер в Нижегородской области	81
<b>Ковалёв Е.А., Фроленко Л.Н., Живоглядова Л.А.</b> Зообентос района Предпроливье Азовского моря	83

<b>Ковалева М.А., Надольный А.А.</b> Новые данные о состоянии поселения <i>Donacilla cornea</i> (Mollusca: Bivalvia: Mesodesmatidae) у побережья Крыма	85
<b>Колозин В.А.</b> Оценка видового разнообразия зоопланктона Ириклинского водохранилища в весенний период 2015-2016 годов	87
<b>Копий В.Г., Бондаренко Л.В.</b> Макрозообентос зоны псевдолиторали природного заповедника «Мыс Мартьян»	89
<b>Кострыкина Т.А.</b> Таксономическое разнообразие макрозообентоса Южного Каспия в восточной части разреза о. Куринский Камень – о. Огурчинский в летний период 2015 года в сравнении с аналогичным периодом 2013-2014 годов	91
<b>Кострыкина Т.А., Даирова Д.С.</b> Распределение структурных характеристик макрозообентоса Южного Каспия в восточной части разреза (о. Куринский Камень – о. Огурчинский) в летний период 2013-2015 годов	92
<b>Курина Е.М.</b> Чужеродные виды амфипод (Crustacea, Amphipoda) Куйбышевского и Саратовского водохранилищ	93
<b>Кутузова О.Р., Павлов Д.Д., Столбунов И.А.</b> Характеристика колониального поселения двух видов цапель ( <i>Ardea cinerea</i> L. и <i>Ardea alba</i> L.) и некоторые аспекты их средообразующей деятельности в прибрежье Рыбинского водохранилища	95
<b>Лопичева О.Г., Мухин И.А.</b> Эпифитон макрофитов литорали Ладожского озера	96
<b>Мадьярова Е.В., Бедулина Д.С., Емшанова В.А., Аксенов-Грибанов Д.В., Бадурев Б.К., Тимофеев М.А.</b> Сравнительный анализ базовых показателей энергетического обмена и БТШ 70 у глубоководных и литоральных видов байкальских эндемичных амфипод	98
<b>Макарёнкова Н.Н.</b> Структура фитопланктона устьевого участка реки Вожега (Вологодская область)	100
<b>Макаров М.В.</b> Сезонная динамика состава, численности и биомассы Mollusca на твёрдых искусственных субстратах у берегов Севастополя (Чёрное море) в контактной зоне «суша-море»	102
<b>Марин И.Н.</b> Эстуарные крабы Японского и Охотского морей: редкие виды и новые находки	104
<b>Мартыненко Н.А., Гусев Е.С.</b> Флора десмидиевых водорослей Пермского края на основе изучения коллекционных штаммов	107
<b>Мельникова А.В.</b> Таксономическое разнообразие донных беспозвоночных мелководных участков верховой Куйбышевского водохранилища (в районе г. Казани)	109
<b>Михайлова А.В.</b> Морские экосистемы Российского побережья	111

<b>Морозова Д.А.</b> Паразиты сома <i>Silurus glanis</i> (Linnaeus, 1758) Моложского плеса Рыбинского водохранилища	113
<b>Надцонава Т.С.</b> Водные макробеспозвоночные сообществ рясковых Павловского водохранилища и водоёмов поймы реки Очёр (Пермский край)	114
<b>Неретина А.Н., Чугунов В.К.</b> Исследование морфологии географически удаленных популяций <i>Ceriodaphnia cornuta</i> (Crustacea: Cladocera)	116
<b>Нечаев Д.Ю.</b> Фаунистическое разнообразие планктонных беспозвоночных Волго-Ахтубинской поймы	117
<b>Островский А.М.</b> Эколого-фаунистическое изучение имагинальных фаз развития ручейников (Insecta, Trichoptera) юго-востока Беларуси	120
<b>Подунай Ю.А., Шоренко К.И., Андреева С.А., Романова Д.Ю.</b> Морфометрическая характеристика дальневосточной популяции <i>Ulnaria ulna</i> (Bacillariophyta)	121
<b>Потемина А.В., Черняковская Т.Ф.</b> Сукцессия грибов на листьях <i>Phragmites australis</i> , разлагающихся в условиях водоема	123
<b>Предвижкин М.А., Логинов В.В., Морева О.А.</b> Морфометрические характеристики густеры Чебоксарского водохранилища и некоторых водоемов Восточной Европы	125
<b>Прищепина Р.Е., Карпова Е.П.</b> Современное состояние ихтиофауны системы реки Западный Маныч	127
<b>Протасов Е.С., Аксенов-Грибанов Д.В., Войцеховская И.В., Тимофеев М.А.</b> Обнаружение бактерий, продуцирующих антибиотики, в тканях глубоководных эндемичных амфипод озера Байкал	129
<b>Сажнев А.С.</b> Семейство Heteroceridae MacLeay, 1825 (Insecta: Coleoptera) фауны России: степень изученности и дальнейшие перспективы исследования группы	131
<b>Сажнев А.С., Переходова А.А.</b> Структура сообществ жесткокрылых насекомых с участием Heteroceridae (Coleoptera) на севере Нижнего Поволжья	132
<b>Саклеева О.О.</b> Структура сообществ микроперифитона на субстратах различной сложности	134
<b>Сахарова Е.Г.</b> Фитопланктон переходных участков Рыбинского водохранилища	136
<b>Сенкевич В.А.</b> Зоопланктонные сообщества малых рек лесостепной зоны	138
<b>Сенкевич В.А.</b> Зоопланктонные сообщества старичных водоемов реки Хопер (ГПЗ «Приволжская лесостепь»)	140
<b>Соломатин Ю.И., Базаров М.И.</b> Плотность рыбного населения пелагиали Иваньковского водохранилища в 2012-2015 годах	141

<b>Тамулёнис А.Ю.</b> Состояние популяции речных раков в некоторых водоёмах Ленинградской области	143
<b>Тележникова Т.А., Северов Ю.А.</b> Современное состояние популяции речного окуня ( <i>Perca fluviatilis</i> L.) центральной части Куйбышевского водохранилища	144
<b>Тихоненков Д.В.</b> Современная макросистематика эукариот, новые филогенетические линии и скрытое биоразнообразие одноклеточных гидробионтов	146
<b>Турбанов И.С.</b> Отряд Bathynellacea Chappuis, 1915 (Crustacea: Malacostraca) фауны России и сопредельных государств: степень изученности и перспективы исследования	147
<b>Шоренко К.И., Подунай Ю.А.</b> Морфологическая вариабельность клонов <i>Ardissonaea crystallina</i> (Bacillariophyta)	150
<b>4. ФИЗИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И ПОВЕДЕНИЕ ГИДРОБИОНТОВ</b>	152
<b>Батракова А.А.</b> Изучение влияния геомагнитного поля на пространственную ориентацию плотвы <i>Rutilus rutilus</i> (L.)	152
<b>Борвинская Е.В., Щапова Е.П., Белоусова И.А., Бадуев Б.К., Тимофеев М.А.</b> Подвижность флуоресцентных микрокапсул в тканях рыбы <i>Danio rerio</i>	154
<b>Верещагина К.П., Кондратьева Е.С., Бедулина Д.С., Шатилина Ж.М., Тимофеев М.А.</b> Влияние минерализации среды на выживаемость и некоторые компоненты системы антиоксидантной защиты у амфипод <i>Gammarus lacustris</i> Sars	155
<b>Винярская Г.Б., Боднар О.И.</b> Аккумуляция <i>Chlorella vulgaris</i> селена и биологически активных металлов	157
<b>Войкина А.В., Бугаев Л.А., Бойко Н.Е.</b> Физиолого-биохимические показатели черноморской кефали лобан в аспекте заражения миксоспоридиозом	159
<b>Войкина А.В., Бугаев Л.А., Сергеева С.Г.</b> Результаты исследования функционального состояния производителей судака Азовского моря в 2015 году	162
<b>Гурков А.Н., Щапова Е.П., Белоусова И.А., Шатилина Ж.М., Меглинский И.В., Тимофеев М.А.</b> Стресс-диагностика гидробионтов <i>in vivo</i> с использованием инкапсулированных оптических микросенсоров	164
<b>Желтова О.М., Непомнящих В.А.</b> Исследовательское поведение <i>Danio margaritatus</i>	165
<b>Золотарева Г.В., Кузьмина В.В., Шентицкий В.А.</b> Активность кишечных протеиназ при разных значениях рН <i>in vitro</i> у рыб из Кучурганского и Рыбинского водохранилищ	168
<b>Климова Я.С., Чуйко Г.М.</b> Показатели системы антиоксидантной защиты (АОЗ) у пресноводных двустворчатых моллюсков <i>Dreissena polymorpha</i> и <i>D. bugensis</i> в условиях гипоксии	170
<b>Кулько С.В., Присный А.А.</b> Структурные и функциональные свойства гемоцитов некоторых представителей класса Bivalvia в условиях осмотической нагрузки	172



<b>Лубяга Ю.А., Трифонова М.С., Николаева А.К., Емшанова В.А., Мадьярова Е.В., Аксенов-Грибанов Д.В., Тимофеев М.А.</b>	
Влияние постепенного изменения температуры среды на анаэробные процессы у представителей различных популяций амфипод <i>Gmelinoides fasciatus</i> (Stebb., 1899)	174
<b>Лукашив О.Я., Боднар О.И., Винярская Г.Б., Грубинко В.В.</b>	
Влияние селенита натрия и хлорида хрома (III) на содержание липидов у <i>Chlorella vulgaris</i> Viej. в аквакультуре	175
<b>Мирошниченко Д.А., Флёрова Е.А.</b>	
Особенности накопления показателей обмена веществ <i>Clarias batrachus</i> Южного Вьетнама	177
<b>Мухамедова Р.М., Базелюк Н.Н., Аксенов В.П.</b>	
Динамика физиолого-биохимических показателей сельди-черноспинки ( <i>Alosa kessleri kessleri</i> ) во время нерестового хода	179
<b>Некрутов Н.С.</b>	
Оценка физиолого-биохимических показателей молоди рыб при нагреве и акклимации к повышенной температуре	181
<b>Осипова Е.А., Крылов В.В., Панкова Н.А., Батракова А.А.</b>	
Влияние временного смещения суточной геомагнитной вариации на эмбрионы плотвы <i>Rutilus rutilus</i> L.	183
<b>Панкова Н.А.</b>	
Организация поведения трехиглой колюшки <i>Gasterosteus aculeatus</i> в крестообразном лабиринте	185
<b>Паюта А.А.</b>	
Химический состав мышечной ткани леща <i>Abramis brama</i> (L.) Рыбинского водохранилища	187
<b>Песня Д.С., Романовский А.В., Климова Я.С.</b>	
Исследование влияния краткосрочного повышенной солености воды на биомаркеры окислительного стресса пресноводного двустворчатого моллюска <i>Anodonta cygnea</i>	190
<b>Соколова А.С.</b>	
Уровень окислительных процессов в тканях двустворчатого моллюска <i>Anodonta cygnea</i> (Linne, 1758) разных возрастных групп	191
<b>Соломонова Е.С.</b>	
Оценка жизнеспособности микроводорослей по вариабельности размерного спектра клеток при акклимации к различной температуре	193
<b>Соломонова Е.С., Акимов А.И., Шоман Н.Ю.</b>	
Влияния света и температуры на коэффициент переменной флуоресценции и FDA активность, их сопоставление с ростовыми характеристиками, внутриклеточным содержанием хлорофилла на примере водоросли <i>Phaeodactylum tricornerutum</i>	195
<b>Фролова Т.В.</b>	
Влияние заражения цестодой <i>Proteocephalus cernuae</i> (Gmelin) на активность пищеварительных ферментов ерша <i>Gymnocephalus cernuus</i> (L.)	197
<b>Харчук И.А.</b>	
Выбор способа перевода в состояние ангидробриоза красной микроводоросли <i>Porphyridium purpureum</i>	199
<b>Челядина Н.С., Поспелова Н.В., Попов М.А., Смирнова Л.Л., Харчук И.А., Рябушко В.И.</b>	
Инверсия пола мидии <i>Mytilus galloprovincialis</i> Lam., культивируемой у берегов Крыма (Чёрное море)	201

<b>Широкова Ю.А., Аксенов-Грибанов Д.В., Емианова В.А., Лозовой Д.В., Шатилина Ж.М., Тимофеев М.А.</b>	
Влияние различных типов кормления на неспецифические механизмы стресс-резистенции байкальских эндемичных амфипод при длительной лабораторной акклимации	203
<b>5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И ОХРАНА (ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД, ВОДНАЯ ТОКСИКОЛОГИЯ, БИОМОНИТОРИНГ)</b>	205
<b>Аминов А.И.</b>	
Влияние гербицида Раундап на гликозидазы рыб и объектов их питания	205
<b>Воронцова Е.Л.</b>	
Структура и динамика зоопланктона мелководных озёр Костромской области	207
<b>Гладкова О.В., Ходоровская Н.И.</b>	
Структура и динамика развития альгоценоза Шершневого водохранилища в 2014-2015 годах	209
<b>Голубев В.С., Мурадова Л.В.</b>	
Сезонная динамика численности форменных элементов крови лейкоцитарного ряда серебряного карася, <i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782), в условиях гидроценоза озера Каменик (Костромская область)	211
<b>Григорьева К.А., Мурадова Л.В., Микряков Д.В.</b>	
Сравнительная оценка меристических и некоторых иммунобиохимических показателей карася серебряного ( <i>Carassius gibelio</i> ) озера Каменик Костромской области и карася золотого ( <i>Carassius carassius</i> ) Рыбинского водохранилища	213
<b>Катанский В.Н., Семенова А.С.</b>	
Зоопланктон – индикатор экологического состояния рек Калининградской области	214
<b>Коновалова Н.В.</b>	
Зимний фитопланктон юго-западной части Татарского пролива (о. Сахалин) в условиях крушения нефтеналивного судна	216
<b>Кутузов А.В.</b>	
Метод оперативного спутникового мониторинга скоплений планктонных водорослей	218
<b>Ложкина Р.А., Головкина Е.И.</b>	
Влияние солей редкоземельных элементов на гидробионтов различной систематической принадлежности	220
<b>Малахова К.В., Марамохин Э.В.</b>	
Изучение фитопланктонных сообществ малых рек Черная и Сеха ГПЗ «Кологривский Лес» (Костромская область) с учетом аспектов сезонной и межгодовой динамики	222
<b>Марамохин Э.В., Малахова К.В.</b>	
Некоторые показатели сезонных и межгодовых изменений фитопланктонных сообществ малых рек Понги и Лондушки (ГПЗ «Кологривский Лес», Костромская область)	224
<b>Маркина Ж.В., Попик А.Ю., Сабуцкая М.А.</b>	
Оценка действия меди на фотосинтетический аппарат микроводоросли по содержанию фотосинтетических пигментов и показателям лазерно-индуцированной флуоресценции	226
<b>Мельникова А.В.</b>	
Оценка качества вод озера Изумрудное по показателям зообентоса (г. Казань)	228

<b>Мухина Д.О., Чуйко Г.М., Ковалева М.И., Прохорова И.М.</b> Оценка генотоксичности донных отложений Рыбинского водохранилища методом «Allium test»	230
<b>Оганесова Е.В., Гершкович Д.М., Воробьева О.В.</b> Сравнительная токсикочувствительность культур беспозвоночных и рыб в зависимости от срока адаптации к лабораторным условиям	232
<b>Прокочук Е.И.</b> Поглощение фосфора высшими водными растениями из водной среды в эксперименте	234
<b>Русановская О.О., Пислегина Е.В.</b> Современные данные по динамике байкальского зоопланктона глубоководной зоны	236
<b>Саламатова В.Н.</b> Биоиндикация загрязнения Чемошурского и Молдаванского прудов города Ижевска по организмам макрозообентоса	237
<b>Семенова А.С., Катанский В.Н.</b> Использование различных показателей зоопланктона при мониторинге экологического состояния Куршского и Вислинского заливов	239
<b>Тарлева А.Ф.</b> Влияние антропогенных факторов различной химической природы на активность протеаз, функционирующих в кишечнике рыб	241
<b>Федорова Е.А.</b> Сравнительная оценка потенциальной опасности азоловых пестицидов для ветвистоусых ракообразных	243
<b>Хазанова К.П., Ростанец Д.В., Акулова А.Ю.</b> Изменение содержания минеральных форм азота и фосфора как показатель уровня техногенной нагрузки на р. Москва	245
<b>Шевченко А.М.</b> Оценка экологического состояния оз. Новая Старица (Республика Башкортостан) по организмам зоофитоса	247
<b>Шевченко Н.С.</b> Реакция планктонных ветвистоусых ( <i>Ceriodaphnia dubia</i> Richard, <i>Daphnia magna</i> Straus) на продукты жизнедеятельности бобра ( <i>Castor fiber</i> ): экспериментальные исследования	249
<b>Щапова Е.П., Гурков А.Н., Белоусова И.А., Борвинская Е.В., Бадуев Б.К., Тимофеев М.А.</b> Оценка стресс-реакции личинок эндемичного вида ручейников <i>Baicalina thamastoides</i> на инъекции инкапсулированного флуоресцентного сенсора SNARF-1	251
<b>Яшнева Е.А., Сиротина М.В.</b> Индикация экологического состояния озера Каменик и реки Узакса (Костромская область) по показателям зоопланктона	253

## МАТЕРИАЛЫ ЛЕКЦИЙ

УДК 574.9;595.324

**А.А. Котов**

ФГБУН «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН», г. Москва  
e-mail: alexey-a-kotov@yandex.ru

### **Биологическое разнообразие пресноводных беспозвоночных Северной Евразии и его формирование на примере ветвистоусых ракообразных (Cladocera, Crustacea)**

**Резюме.** Филогеография – направление, объединяющее «генные генеалогии (филогенетические деревья) и пространственные паттерны» (Абрамсон, 2007) – является привлекательным и «публикабельным» направлением современных генетически исследований. Лишь в самое последнее время стали возможны биогеографические и филогеографические заключения, касающиеся Северной Евразии в целом. В данном докладе будет сделана попытка обобщения полученной информации на примере некоторых родов, в изучении которых получен наибольший прогресс: *Daphnia*, *Moina*, *Bosmina*, *Eurycerus*, *Cydorus*, *Polyphemus*. При этом будут представлены как результаты, уже получившие освещение в современных публикациях (Bekker et al., 2012, 2016), так и находящиеся на стадии их подготовки к опубликованию.

Лишь в конце XX века политики осознали «непреодолимую ценность биологического разнообразия, а также экологическое, генетическое, социальное, экономическое, научное, воспитательное, культурное, рекреационное и эстетическое значение биологического разнообразия и его компонентов» (Конвенция о Биоразнообразии, Преамбула). Ныне не вызывает сомнений тот факт, что изучение, сохранение и рациональное использование биологического разнообразия – важнейшее направление в природоохранной политике. Причем, однозначно, его компоненты не могут быть разделены на «полезные» и «вредные», «важные» и «неважные».

Для нужд изучения и сохранения биологического разнообразия особый интерес представляют континентальные водоемы, экосистемы которых наиболее уязвимы для неблагоприятного воздействия хозяйственной деятельности человека, климатических изменений и других неблагоприятных факторов. Мероприятия по сохранению и изучению биоразнообразия континентальных водоемов (<https://www.cbd.int/gti/pow.shtml> Planned Activity 11: Inland waters biological diversity) рассматриваются в числе приоритетов в рамках Конвенции по Биоразнообразию.

Изучение структуры и истории формирования пресноводного биоразнообразия – ключ к его рациональному использованию. Однако, пресноводные организмы весьма многочисленны и разнообразны, и охватить исследованиями все группы животных, растений и микроорганизмов равномерно и всесторонне вряд ли возможно. Поэтому понимание общих закономерностей современного биоразнообразия и истории его формирования должно базироваться на изучении некоторых модельных групп.

Для пресноводных водоемов в качестве такой модельной группы часто используются ветвистоусые ракообразные (Cladocera) – одни из наиболее массовых микроскопических животных планктона, бентоса и нейстона внутренних водоемов всех типов. Следует отметить, что под биоразнообразием понимают разнообразие на трёх уровнях организации: генетическое разнообразие, видовое разнообразие и экосистемное разнообразие. Ветвистоусые ракообразные являются модельными объектами исследований на всех трех уровнях (Forró et al., 2008; Lampert, 2011). Ни один учебник зоологии или экологии не обходится без упоминания ветвистоусых ракообразных. Однако, мнение об их «хорошей изученности» является иллюзией (Коровичинский, 1996; Котов, 2013). Перед большинством гидробиологов стоит задача определения их видовой принадлежности в собранных образцах (а также при получении лабораторных культур), поскольку они часто доминируют по количеству и разнообразию в континентальных водоемах самых разных типов и пользуются большой популярностью как модельные объекты. К сожалению,

правильное определение видов для многих групп в настоящее время весьма затруднено или даже невозможно, что связано с общей недостаточной исследованностью систематики группы и неадекватности изученности локальных фаун. Подъем общего уровня систематики ряда групп и инвентаризация биоразнообразия во многих регионах является крайне актуальной задачей гидробиологии, поскольку явные проблемы с определением компрометируют ценность многих работ по ветвистоусым ракообразным другой направленности (экологических, токсикологических, фенологических и др.).

Лишь в конце XX века были отвергнуты представления о «космополитическом» распространении большинства видов кладоцер (Frey, 1982, 1987). В настоящее время даже констатация локальности распространения отдельных видов (континентального и регионального эндемизма) представляет собой особую задачу, решенную только в пределах некоторых родов вследствие незначительности числа специалистов, работающих в области изучения Cladocera.

Биогеография сухопутных животных – весьма развитое направление. Однако картина распространения многих пресноводных животных радикально отличаются от таковой модельных объектов, на которых создавалась современная «наземная» биогеография (покрытосеменные растения, многие группы млекопитающих, птицы, бабочки). В частности, это объясняется гораздо большим геологическим возрастом пресноводных животных, в том числе и ветвистоусых ракообразных (Frey, 1987; Fryer, 1995; Kotov, Taylor, 2011; Котов, 2013), по сравнению с модельными таксонами «сухопутной» биогеографии.

Во второй половине XX века начался период массового применения биохимических методов в различных областях науки. Первые попытки применения таковых для изучения популяционной генетики ветвистоусых ракообразных (Hebert, 1974, 1987) обнадежили исследователей. Однако специалисты-генетики нередко переоценивали свои возможности и наряду с некоторыми положительными моментами внесли немало путаницы, пренебрегая точным параллельным изучением морфологии организмов и игнорируя приемы и правила таксономических исследований. Семидесятые-восьмидесятые годы XX века были временем глубокого, и вполне понятного, разочарования «традиционных» систематиков в генетических методах. Однако, с 90-х годов прошлого века генетиками была проведена большая «работа над ошибками» в области получения массивов данных и их анализа. Новым этапом в генетических исследованиях Cladocera стали работы по определению последовательности нуклеотидов в митохондриальных (16S, COI, ND1, ND2, ND5) и ядерных (5,8S, 18S, 28S, ITS-1, ITS-2) генах (Colbourne et al. 1997, 1998; Taylor et al., 2002; Sacherová, Hebert, 2003; Ishida et al., 2006). В лице молекулярной генетики систематика получила хороший независимый метод проверки группировки таксонов.

П. Эбером с коллегами (Hebert et al., 2003) для определения живых организмов, предложено внедрение универсального генетического «штрихкодирования» («ДНК баркодинга») таксонов. Для такового у животных используется последовательность короткого фрагмента цепи митохондриальной ДНК, кодирующей субъединицу I фермента цитохром с-оксидазы (Cox). Последовательность данного фрагмента является видоспецифичной и может быть использована, по идее авторов, как «штрихкод» организма, по аналогии с штрихкодами различных товаров в магазине. Подобная методика имеет ряд очевидных преимуществ: она относительно недорога, не требует долгой подготовки исследователя в области освоения морфологического анализа (а большая часть биологов не занимается морфологией и испытывает серьезные затруднения с определениями видов) и молекулярно-генетических методов (которые, например, для экологов не являются основными), и позволяет с высокой степенью надежности отнести организм к той или иной ранее выявленной генетическими методами группе путем сопоставления с эталоном в базе данных. «Штрихкодирование» уже позволило показать, что многие таксоны ветвистоусых ракообразных на самом деле являются группами близких видов, и что под одинаковыми названиями на разных континентах часто скрываются разные виды, требующие более аккуратного изучения, в том числе, описания в качестве новых для науки (Elías-Gutiérrez et al., 2008; Jeffery et al., 2011; Sharma, Kotov, 2012). Следует отметить, что генетическое «ширихкодирование» – это лишь возможный дополнительный метод систематики, но никак не систематика сама по себе. К сожалению, это очевидное положение не всегда понято специалистами-генетикам без базового зоологического

образования. Координирование усилий по «штрихкодированию» с систематикой той или иной группы представляет собой очень сложную задачу. При этом усилия по проведению массового штрихкодирования оказались удачной предпосылкой для успешности филогеографических исследований, которые в области изучения *Cladocera* часто базируются на последовательностях гена COI.

Филогеография – направление, объединяющее «генные генеалогии (филогенетические деревья) и пространственные паттерны» (Абрамсон, 2007) – является привлекательным и «публикабельным» направлением современных генетически исследований. Опять-таки, в то время как закономерности формирования фауны наземных животных (обзоры: Hewitt, 2001, 2004; Холодова, 2009) и рыб (обзор: Makrrov, Volotov, 2006) относительно хорошо изучены, знания по филогеографии большинства групп планктонных животных отрывочны и не систематизированы, а число опубликованных работ по данной проблеме не так велико, как по макроскопическим животным. Первые филогеографические работы по ветвистоусым ракообразным были опубликованы Полем Эбером с различными соавторами (Taylor et al., 1998; Černý, Hebert, 1999; Weider et al., 1999). Отличительными особенностями работ по кладоцерам, выполненных в первом десятилетии нового тысячелетия, являлось то, что: (1) они были сконцентрированы практически исключительно на единственном роде *Daphnia*; (2) практически всегда затрагивали только Северную Америку и Западную Европу с особым вниманием северным частям этих континентов; (3) практически всегда они были сконцентрированы на выявлении последствий последнего оледенения с классическим для филогеографии набором конкретных задач (поиск рефугиумов в период последнего оледенения, отслеживание путей расселения таксона, и т.д.) (Cox, Hebert, 2001; De Gelas, De Meester, 2005; Thielsh et al., 2009). Другие регионы мира исследованы слабо, хотя опубликовано несколько удачных работ по дафниям Южной Америки, в основном касающихся регионов с нетропическим климатом, поскольку в тропиках дафнии малочисленны (Adamowicz et al., 2004; Mergeay et al., 2008).

В самое последнее время предприняты попытки глобальных работ по роду *Daphnia*. В первую очередь, следует назвать работу Сары Адамович с коллегами (Adamowicz et al., 2009), выявивших аллопатрические и симпатрические паттерны видообразования у дафний разных групп и продемонстрировавших случаи межконтинентального переноса в пределах рода. Публикация Терезы Криз с коллегами (Crease et al., 2012) по филогеографии группы видов *D. pulex*, подтвердила мнение о существовании нескольких криптических видов, но показала, что один из них («панарктическая» *D. pulex*) распространен космополитически вследствие недавней экспансии в южное полушарие из Голарктики (причем нельзя исключить сценария многочисленных антропогенных заносов). Также показано, что у генетических методов есть шанс дать информацию о относительно более ранних (пре-голоценовых) событиях в истории таксона, например, Шу Лей с коллегами (Xu L. et al., 2010) связали появление отдельной популяции *Leptodora kindtii* в Северном Китае с образованием «Джунгарских ворот» а среднем плейстоцене.

Что касается Азиатской Палеарктики, то филогеография ветвистоусых ракообразных ранее изучалась там зарубежными коллегами зачастую базирясь на пробах, исходящих из коллекции автора и его ближайших коллег (Ishida, Taylor, 2007a-b; Xu S. et al., 2011; Millette et al., 2011). При этом какие-либо выводы были сугубо предварительными вследствие крайне слабого охвата пробами обширнейшего региона – Восточной Сибири. В то же время, ряд проб с Дальнего Востока России был изучен, что привело к выявлению эндемичных гаплотипов исследованного таксона. Отдельные филогеографические выводы сделаны в систематических статьях, выполненных при участии автора (Kotov et al., 2009; Bekker et al., 2012).

Лишь после проведения многолетней серии экспедиций в различные регионы Сибири и Дальнего Востока РФ, а также получения многочисленных проб от наших коллег, которым мы за это крайне признательны, стали возможны биогеографические и филогеографические заключения, касающиеся Северной Евразии в целом.

Хотя данная лекция читается от имени единственного автора, она представляет собой, в том числе, изложение результатов работы небольшого коллектива, прямо происходящего из школы одного из наиболее выдающихся специалистов по ветвистоусым ракообразным с абсолютным

международным признанием – профессора Николая Николаевича Смирнова (ИПЭЭ РАН), которому мы горячо признательны. В 2014-2016 годах данные исследования проводились при поддержке Российского Научного Фонда, благодаря которой нами была организована собственная молекулярно-генетическая лаборатория. Целью данного проекта является описание (что само по себе важно!) и сравнительный анализ таксономических, биогеографических и филогеографических паттернов различных таксонов модельной группы пресноводных животных – ветвистоусых ракообразных (Cladocera).

Задачами наших работ являются:

- (1) систематические ревизии серии таксонов различного ранга с различными паттернами распространения с применением морфологических и молекулярно-генетических подходов;
- (2) инвентаризация биоразнообразия Cladocera ряда регионов при помощи как морфологического анализа, так и генетического определения таксонов и гибридов между ними по некоторым "стандартным" генам;
- (3) филогеографический анализ истории расселения ряда таксонов;
- (4) создание схемы зоогеографического районирования Северной Евразии, базирующейся на данных по Cladocera.

В данном докладе будет сделана попытка обобщения полученной информации на примере некоторых родов, в изучении которых получен наибольший прогресс: *Daphnia*, *Moina*, *Bosmina*, *Eurycercus*, *Cydorus*, *Polyphemus*. При этом будут представлены как результаты, уже получившие освещение в современных публикациях (Bekker et al., 2012, 2016), так и находящиеся на стадии их подготовки к опубликованию.

Одним из важнейших результатов этих исследований явилось заключение, что на территории Японии-Приморья-Камчатки (а также Аляски-Юкона) встречаются так называемые «берингийские» таксоны, в то время как ряд родственных им широко распространенных в Палеарктике «западные» виды тут отсутствуют (Котов, 2016). Условные названия данных групп отражают интуитивные взгляды на их историю во время плейстоцена-раннего голоцена (можно предположить, что первые пережили оледенение в «берингийских», а вторые – в различных «западных» рефугиумах), но данные идеи должны быть проверены применительно к каждой конкретной группе видов, и эти работы только начаты. Предварительные данные показывают, что как минимум некоторые «берингийские» таксоны проникают далеко в Восточную Сибирь. Напротив, некоторые «западные» виды проникают в Восточную Палеарктику вплоть до тихоокеанского побережья, однако большая часть подобных таксонов не проникает на восток столь далеко. Предполагаемая граница (или переходная зона) между этими двумя фаунистическими группировками лежит в бассейне Енисея, представляя собой «зону шва» по терминологии Ремингтона (Remington, 1968; Hewitt, 2004). Исследование предполагаемой переходной зоны между «западной» и «берингийской» фаунами на основе оригинальных данных представляет собой отдельную биогеографическую, палеогеографическую, фаунистическую и систематическую задачу для будущего.

Автор доклада признателен оргкомитету конференции за приглашение прочитать лекцию для молодых ученых-гидробиологов. Исследования автора и его коллег, нашедшие отражение в данном сообщении, были поддержаны Российским Научным Фондом (проект № 14-14-00778).

### Список литературы

- Абрамсон Н.И., 2007. Филогеография: итоги, проблемы, перспективы // Вестник ВОГиС. Т. 11. № 2. С. 307–330.
- Котов А.А., 2013. Морфология и филогения Anomopoda (Crustacea: Cladocera). М.: Товарищество научных изданий КМК. 638 с.
- Котов А.А., 2016. Фаунистические комплексы Cladocera (Crustacea, Branchiopoda) Восточной Сибири и Дальнего Востока России // Зоологический журнал. Т. 95. № 7. С. 748–768.

- Холодова М.В., 2009. Сравнительная филогеография: молекулярные методы, экологическое осмысление // Молекулярная Биология. Т. 43. № 5. С. 910–917.
- Adamowicz S.J., Hebert P.D.N., Marinone M.C., 2004. Species diversity and endemism in the *Daphnia* of Argentina: a genetic investigation. *Zoological Journal of the Linnean Society*. V. 140. P. 171–205.
- Adamowicz S.J., Petrusek A., Colbourne J.K., Hebert P.D.N., Witt J.D.S., 2009. The scale of divergence: a phylogenetic appraisal of intercontinental allopatric speciation in a passively dispersed freshwater zooplankton genus // *Molecular Phylogenetics and Evolution*. V. 50. P. 423–436.
- Bekker E.I., Karabanov D.P., Galimov Y.R., Kotov A.A., 2016. DNA barcoding reveals high cryptic diversity in the North Eurasian *Moina* species (Crustacea: Cladocera) // *PLoS ONE*. V. 11. № 8. e0161737. doi:10.1371/journal.pone.0161737
- Bekker E.I., Kotov A.A., Taylor D.J., 2012. A revision of the subgenus *Eurycercus* (*Eurycercus*) Baird, 1843 emend. nov. (Cladocera: Eurycercidae) in the Holarctic with the description of a new species from Alaska // *Zootaxa*. V. 3206. P. 1–40.
- Černý M., Hebert P.D.N., 1993. Genetic diversity and breeding system variation in *Daphnia pulicaria* from North American lakes // *Heredity*. V. 71. P. 497–507.
- Colbourne J.K., Crease T.J., Weider L.J., Hebert P.D.N., Dufresne F., Hobaek A., 1998. Phylogenetics and evolution of a circumarctic species complex (Cladocera: *Daphnia pulex*) // *Biological Journal of the Linnean Society*. V. 65. P. 347–365.
- Colbourne J.K., Hebert P.D.N., Taylor D.J., 1997. Evolutionary origins of phenotypic diversity in *Daphnia* // Givnish T.J., Sytsma K.J. (Eds.). *Molecular Evolution and Adaptive Radiation*. Cambridge: Cambridge University Press. P. 163–189.
- Cox A.J., Hebert P.D.N., 2001. Colonization, extinction, and phylogeographic patterning in a freshwater crustacean // *Molecular Ecology*. V. 10. P. 371–386.
- Crease T.J., Omilian A.R., Costanzo K.S., Taylor D.J., 2012. Transcontinental phylogeography of the *Daphnia pulex* species complex // *PLoS ONE*. V. 7. № 10. e46620. doi:10.1371/journal.pone.0046620
- De Gelas K., De Meester L., 2005. Phylogeography of *Daphnia magna* in Europe // *Molecular Ecology*. V. 14. P. 753–764.
- Dumont H.J., Negrea S.V., 2002. Introduction to the class Branchiopoda. Dumont H.J. (Ed.). *Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world*. V. 19. Leiden: Backhuys Publishers. 398 p.
- Elías-Gutiérrez M., Martínez Jerónimo F., Ivanova N.V., Valdez Moreno M., Hebert P.D.N., 2008. DNA barcodes for Cladocera and Copepoda from Mexico and Guatemala, highlights and new discoveries // *Zootaxa*. V. 1839. P. 1–42.
- Forró L., Korovchinsky N.M., Kotov A.A., Petrusek A., 2008. Global diversity of cladocerans (Cladocera; Crustacea) in freshwater // *Hydrobiologia*. V. 595. P. 177–184.
- Frey D.G., 1982. Questions concerning cosmopolitanism in Cladocera // *Archiv für Hydrobiologie*. V. 93. P. 484–502.
- Frey D.G., 1987. The taxonomy and biogeography of the Cladocera // *Hydrobiologia*. V. 145. P. 5–17.
- Fryer G., 1995. Phylogeny and adaptive radiation within the Anomopoda: a preliminary exploration // *Hydrobiologia*. V. 307. P. 57–68.
- Hebert P.D.N., 1974. Ecological differences among genotypes in a natural population of *Daphnia magna* // *Heredity*. V. 33. P. 327–337.
- Hebert P.D.N., 1987. Genetics of *Daphnia* // *Memorie dell' Istituto Italiano di Idrobiologia*. V. 45. P. 439–460.
- Hebert P.D.N., Cywinska A., Ball S.L., De Waard J.R., 2003. Biological identifications through DNA barcodes // *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*. V. 270. P. 313–321.
- Hewitt G.M., 2001. Speciation, hybrid zones and phylogeography – or seeing genes in space and time // *Molecular Ecology*. V. 10. P. 537–549.



- Hewitt G.M., 2004. The structure of biodiversity – insights from molecular phylogeography. *Frontiers in Zoology*. V. 1. 4. doi: 10.1186/1742-9994-1-4
- Ishida S., Kotov A.A., Taylor D.J., 2006. A new divergent lineage of *Daphnia* (Cladocera: Anomopoda) and its morphological and genetical differentiation from *Daphnia curvirostris* Eylmann, 1887 // *Zoological Journal of the Linnean Society*. V. 146. P. 385–405.
- Ishida S., Taylor D.J., 2007a. Quaternary diversification in a sexual Holarctic zooplankter, *Daphnia galeata* // *Molecular Ecology*. V. 16. P. 569–582.
- Ishida S., Taylor D.J., 2007b. Mature habitats associated with genetic divergence despite strong dispersal ability in an arthropod // *BMC Evolutionary Biology*. V.7. 52.
- Jeffery N.W., Elías-Gutiérrez M., Adamowicz S.J., 2011. Species Diversity and Phylogeographical Affinities of the Branchiopoda (Crustacea) of Churchill, Manitoba, Canada // *PLoS ONE*. V. 6. № 5. e18364. doi:10.1371/journal.pone.0018364
- Korovchinsky N.M., 1996. How many species of Cladocera are there? // *Hydrobiologia*. V. 321. P. 191–204.
- Kotov A.A., Ishida S., Taylor D.J., 2009. Revision of the genus *Bosmina* Baird, 1845 (Cladocera: Bosminidae), based on evidence from male morphological characters and molecular phylogenies // *Zoological Journal of the Linnean Society*. V. 156. P. 1–56.
- Kotov A.A., Taylor D.J., 2011. Mesozoic fossils (>145 Mya) suggest the antiquity of the subgenera of *Daphnia* and their coevolution with chaoborid predators // *BMC Evolutionary Biology*. V. 11. 129. doi:10.1186/1471-2148-11-129
- Lampert W., 2011. *Daphnia*: development of a model organism in ecology and evolution // *Excellence in Ecology*. V. 21. P. 1–250.
- Makhrov A.A., Bolotov I.N., 2006. Dispersal routes and species identification of freshwater animals in Northern Europe: A review of molecular evidence // *Russian Journal of Genetics*. V. 42. P. 1101–1115.
- Mergeay J., Aguilera X., Declerck S., Petrusek A., Huyse T., De Meester L., 2008. The genetic legacy of polyploid Bolivian *Daphnia*: the tropical Andes as a source for the North and South American *D. pulicaria* complex // *Molecular Ecology*. V. 17. P. 1789–1800.
- Millette K.L., Xu S., Witt J.D.S., Cristescu M.E., 2011. Pleistocene-driven diversification in freshwater zooplankton: Genetic patterns of refugial isolation and postglacial recolonization in *Leptodora kindtii* (Crustacea, Cladocera) // *Limnology and Oceanography*. V. 56. P. 1725–1736.
- Remington C.L., 1968. Suture-zones of hybrid interaction between recently joined biotas // *Evolutionary Biology*. V. 2. P. 321–428.
- Sacherová V., Hebert P.D.N., 2003. The evolutionary history of the Chydoridae (Crustacea: Cladocera) // *Biological Journal of the Linnean Society*. V. 79. P. 629–643.
- Sharma P., Kotov A.A., 2015. Establishing of *Chydorus sphaericus* (O.F. Muller) s.str. (Crustacea: Cladocera) in Australia: consequences of mass fish stock from Northern Europe? // *Journal of Limnology*. V. 74. P. 225–233.
- Taylor D.J., Finston T.L., Hebert P.D.N., 1998. Biogeography of a widespread freshwater crustacean: Pseudocongruence and cryptic endemism in the North American *Daphnia laevis* complex // *Evolution*. V. 52. P. 1648–1670.
- Thielsch A., Brede N., Petrusek A., De Meester L., Schwenk K., 2009. Contribution of cyclic parthenogenesis and colonization history to population structure in *Daphnia* // *Molecular Ecology*. V. 18. P. 1616–1628.
- Weider L.J., Hobaek A., Colbourne J.K., Crease T.J., Dufresne F., Hebert P.D.N., 1999. Holarctic phylogeography of an asexual species complex I. Mitochondrial DNA variation in arctic *Daphnia* // *Evolution*. V. 53. P. 777–792.
- Xu L., Han B.P., Van Damme K., Vierstraete A., Vanfleteren J.R., Dumont H.J., 2010. Biogeography and evolution of the Holarctic zooplankton genus *Leptodora* (Crustacea: Branchiopoda: Haplopoda) // *Journal of Biogeography*. V. 38. P. 359–370.

Xu S., Hebert P.D.N., Kotov A.A., Cristescu M.E., 2009. The non-cosmopolitanism paradigm of freshwater zooplankton: insights from the global phylogeography of the predatory cladoceran *Polyphemus pediculus* (Crustacea, Onychopoda) // *Molecular Ecology*. V. 18. P. 5161–5179.

УДК 597.2/.5

**Ю.В. Слынько**

ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН», пос. Борок, Ярославская область  
e-mail: syv@ibiw.yaroslavl.ru

### **Проблемы эволюционной экологии гидробионтов**

**Резюме.** Излагаются основные понятия в области эволюционной экологии. Предмет исследования дисциплины, объекты изучения, методология и методы. Дана оригинальная краткая история пути становления данного направления. По основным позициям предмета предоставлены материалы исследований, которые послужили основой для формирования собственных представлений об эволюционной экологии.

Прийдя в академическую науку в начале 1980-х годов большинство из нас были озадачены не карьерными соображениями и не проблемой извлечения дохода, а в большей степени философскими проблемами. С такими же молодыми коллегами мы вели продолжительные споры о терминологии, дифинициях, принципах классификации, детерминациях и многом другом. Чаще всего хотелось понять, как правильно определить тот специальный род исследований, которому мы были обучены и который избрали для утверждения и проведения своих нарождающихся идей. Так я, к 1983 году, получив в меру основательные знания по генетике и навыки по генетическим экспериментам, позиционировал себя, как специалиста в области популяционной генетики и генетики видообразования. Однако по мере погружения в исследования, видообразование, равно как и популяционная генетика привлекали все меньше, но все больше захватывали проблемы использования генетических подходов в зоогеографии, фаунистике и эволюции. Неизбывное впечатление произвели труды В.И. Вернадского (1988) и Н.В. Тимофеева-Ресовского (Тюрюканов и др., 1996), посвященные идеям фауно- и ценогенезов и активно обсуждаемая на протяжении нескольких десятков лет концепция фаунистических комплексов Г.В. Никольского (1945, 1956). Несмотря на многочисленные критические работы в адрес этих идей и направлений, они предоставили на мой взгляд самое главное – взгляд на неразрывность исторического и современного восприятия разнообразия видов животных и растений, не в качестве дискретных единиц, а как взаимосвязанного пространства сообществ, ассоциаций и экосистем. Оставалось найти этому обозначение, определить методологию и разработать адекватные методические подходы. Направляющими вехами на этом пути стали эпохальные творения Э. Форда «Экологическая генетика» (Ford, 1975) и Р. Левонтина «Генетические основы эволюции» (1978). Приблизительно к началу прорыва в понимание существа решения проблемы на глаза попались выдающаяся посмертная монография академика С.С. Шварца «Экологические закономерности эволюции» (1980) и великолепная переводная книга Э. Пианка «Эволюционная экология» (1981). Все эти шедевры и позволили в конечном итоге сформулировать основные понятия и начать уже целенаправленные работы по изучению процессов в рамках сформулированной дисциплины. Удалось достичь четкого определения: *Эволюционная экология* это раздел эволюционного учения, посвященный исследованию эволюции видовых сообществ, фаун и ценозов. В качестве основных объектов исследования мною были избраны: виды-вселенцы (в целях анализа процессов современного изменения ценозов), экстремобионтные виды (изменения ценозов в палеоисторическом масштабе и их исторические последствия) и отдаленные гибриды (анализ механизмов эволюционной экологии). *Методология* – эволюционная генетика и эпигенетика. *Основные подходы:*

популяционная генетика, филогеография, филогения, молекулярная таксономия, программы онтогенеза. *Методы:* биохимическая, молекулярная генетика, морфологический анализ онтогенеза.

Чем так примечательны именно обитатели водной среды для изучения проблем и вопросов эволюционной экологии? В водной среде абиотические факторы, характер репродукции и виды изоляции приобретают максимальную значимость для эволюции. Гидробионты, особенно внутренних водоемов, в наибольшей степени подвержены изоляции. В большей степени, нежели наземные обитатели, они зависят от химизма и физических свойств среды. Большинство водных обитателей характеризуются обильным и свободным размножением, что в наземной среде присуще только растениям.

На протяжении всего времени существования органического мира на нашей планете он пережил, по самым скромным подсчетам, не менее 6 глобальных геэкологических кризисов, сопровождавшихся массовыми вымираниями видов живых организмов. Важной чертой этого процесса было то, что, несмотря на массовые вымирания, каждый последующий цикл характеризовался существенным увеличением таксономического и экологического разнообразия живых существ. Рассмотрим наиболее близкий к нам по времени и пространству отрезок исторического развития. В плиоцене в результате активных тектонических перестроек и последовавшего затем глобального похолодания, продлившегося вплоть до конца плейстоцена богатая миоценовая фауна рыб пресноводных водоемов Евразии, в том числе Европейского субконтинента оказалась почти полностью уничтоженной. Немногие уцелевшие древние верхнетретичные и бореально-равнинные виды (караси, сазан, горчак, пескари, плотва, щука, ельцовые, щиповки, вьюн, сом, окуневые, осетровые) были отеснены к югу, где сохранялись в немногочисленных приморских рефугиумах. Современная ихтиофауна рек Понто-Каспийского бассейна формируется на протяжении неогена. В начале данного периода происходит геологическое обособление речных бассейнов понто-каспийского стока и образование близких к современным руслам основных рек. В качестве основных факторов, определивших современное таксономическое разнообразие и пространственное распределение видов, можно выделить колебания уровня морей и глобальные климатические изменения. Наступившая в начале неогена фаза глобального потепления вызвала таяние ледников, что в свою очередь обусловило образование крупных приледниковых озер, что способствовало активному расселению по всему бассейну Волги рыб прежде всего северных фаунистических комплексов – бореально-предгорного (ручьевая минога, хариус, голец, подкаменщик, гольяны) и арктического (сиговые, лососевые, снеток, налим). Затем, в результате трансгрессий Каспийского моря на фоне продолжающегося потепления, акваторию Волги стали осваивать сохранившиеся верхнее-третичные и бореально-равнинные реликты и нагорно-азиатские по происхождению виды понто-каспийского пресноводного комплекса (рр. *Abramis*, *Chondrostoma*, густера, красноперка, чехонь, жерех, линь, укляя, быстрянка, верховка) (Лебедев, 1960). В голоцене особенно значительную роль сыграли потепления периодов палеолита и античности и похолодания периодов неолита и средневековья. В 20-м веке отмечено два периода потепления – с 1918 по 1940 года и с 1983 года по настоящее время, с похолоданием в период 1940-1970-х годов (Берг, 1935; Hansen et al., 2010). Эти климатические колебания непосредственным образом определяли фаунистическую динамику рыбного населения в реках Понто-Каспийского бассейна. При потеплении климата холодноводные виды вымирали в южных областях и их ареал сокращался, ареалы же тепловодных форм расширялись и продвигались к северу. Во время похолоданий наблюдалась обратная картина. Особенно хорошо данная тенденция может быть проиллюстрирована объемами промысла таких видов, как сом (южный) и налим (арктический) в бассейне Рыбинского водохранилища в условиях современного глобального потепления.

Особенностью для рассматриваемого бассейна в современный период глобального потепления стало то, что оно стало развиваться на фоне предпринятого в 40-70-х годах прошлого века масштабного зарегулирования основных понто-каспийских рек, превративших их в цепочки озеровидных водоемов, связанных межбассейновыми каналами. Фактически, в

Понто-Каспийском континентальном бассейне была воспроизведена постледниковая ситуация конца плейстоцена (Слынько, 2001). Однако современный период охарактеризовался еще одним фактором, обусловившим принципиальное отличие от всех предшествующих циклов. Интенсификация в 20-м веке межконтинентальных транспортных потоков и крупномасштабные программы по акклиматизации чужеродных видов рыб привели к значительным изменениям фаунистического состава Волги и всего региона Понто-Каспия за счет видов из других регионов планеты, откуда естественным образом они никак не могли попасть. В целом, лимнизация пресноводных речных систем, повышение уровней теплоемкости и минерализации в условиях глобального потепления обусловили сокращения численности популяций и ареалов холодолюбивых видов и создание благоприятных условий не только для роста численности и расширения ареалов аборигенных тепловодных видов в бассейне, но и для успешной натурализации и экспансии дельтово-эстуарных солоноватоводных видов и искусственно интродуцированных.

Надежным индикатором формирования неогеновой биоты Евразии служит ихтиофауна Монголии и прежде всего Западной Монголии. Это обусловлено интенсивностью горообразовательных процессов (очевидней всего протекавших в Западной Монголии) на рубеже плиоцена и плейстоцена, в связи с чем изменения ихтиофауны были выражены наиболее контрастно, что в свою очередь приводило к изменению зоогеографического статуса региона. Интенсивное изучение палеоистории палеогеновых и неогеновых рыб Палеарктики (Штылько, 1934; Никольский, 1956; Лебедев, 1959; Яковлев, 1961; 1964; Сычевская, Девяткин, 1962; Сычевская, Лебедев, 1971; Сычевская, 1983; 1986; 1989; Голубцов, Малков, 2007) позволило авторам утверждать, что уже в палеогене в Южной Сибири и всей Внутренней Азии (включая Забайкалье и Монголию) сформировалась ихтиофауна неогенового облика, составленная из представителей сино-индийских и нагорноазиатских элементов, которая просуществовала до конца плиоцена. Плиоцен-плейстоценовые преобразования шли как по пути вымирания большей части элементов синбореальной, впоследствии бореальной фауны, вплоть до полного исчезновения, так и по пути вселения арктических и бореально-предгорных элементов (Сычевская, 1983; 1989). Все элементы западномонгольской ихтиофауны почитаются сравнительно молодыми: 1.5-2 млн. лет назад, а сама ихтиофауна характеризуется как пограничная. Вместе с тем, при кажущейся решенности данных проблем, по всем основным пунктам остаются не находящие ответов вопросы. Все или почти все элементы современной западномонгольской ихтиофауны связаны по происхождению с неогеновой Евросибирской зоогеографической подобластью, хотя некоторые сомнения возникают в отношении усатых гольцов и губачей. Другие элементы различаются по времени появления в регионе, разделяясь на относительно более поздних вселенцев из прилегающих областей (хариусы) и формы автохтонного происхождения (алтайские османы). А некоторые из объяснений вообще выглядят парадоксально – горные потоки представляются в качестве рефугиумов для отдельных элементов неогеновой фауны, а хариусы и усатые гольцы проникают из северных областей Сибири, алтайские османы – древний автохтонный элемент, переживший эпоху орогенеза за счет своей высокой эврибионтности, но, несмотря на свои впечатляющие адаптивные способности, так и не освоивший равнинные водоемы Южной Сибири. Отдельным вопросом стоит и время дивергенции представителей всех трех современных групп рыб Западной Монголии, что позволило бы во многом прояснить наблюдаемые несогласования и противоречия.

Мы полагали, что разрешение парадоксов возможно с привлечением сравнительно-генетических методов, для прояснения таксономического статуса, филогенетических отношений и филогеографии представителей трех ключевых групп рыб Западной Монголии. Для проведения молекулярно-генетического анализа был изучен полиморфизм нуклеотидной последовательности участка митохондриальной ДНК, включающего ген цитохрома *b* (*Cyt\_b*), у представителей рода *Oreoleuciscus* (алтайские османы) (Слынько, Боровикова, 2012), *Thymallus* (хариусы) (Слынько и др., 2015) и *Orthrias* (усатые гольцы) из водоемов Монголии.

На основании оценок величин генетической дивергенции и времени расхождения выявленных генетико-географических групп обосновывается существование трех аллопатрических видов алтайских османов в пределах рода *Oreoleuciscus*. Исходя из полученных оценок дивергенции нуклеотидных последовательностей алтайского османа и гольяна Лаговского, вида наиболее близкого *Oreoleuciscus* sp., примерное время дифференциации их – 17-18 млн. лет назад. Заметим, что Имото с соавт. (Imoto et al., 2009) относили время разделения алтайского османа и гольяна Лаговского несколько дальше – на 35.5 млн. лет назад (рубеж олигоцена и миоцена). Гаплотипы алтайских османов Долины Озер, с одной стороны, и Западной Монголии и Ледовитоморского бассейна, с другой, по-видимому, дивергировали друг от друга около 5.5 млн. лет назад (начало плиоцена), а популяции двух последних районов утратили связь друг с другом около 3 млн. лет назад (середина плиоцена). Таким образом, становление, расселение и дивергенция алтайских османов полностью приурочены к начальному периоду неогена. Действительно, согласно работе Е.К. Сычевской (1989), ряд палеонтологических находок глоточных зубов и частей челюстного аппарата ископаемых представителей рода *Oreoleuciscus*, найденных в свите Хяргас(Хиргис)-Нур (Западная Монголия), датируется нижним-средним плиоценом.

Детальный анализ характера и качества нуклеотидных замен в используемом филогенетическом маркере подчеркивает надежность видовой дифференциации использованных в анализе видов хариусов. При этом 4 вида – амурский, сибирский, байкальский и монгольский характеризуются несомненной общностью происхождения от единого предка. Европейский же хариус является удаленным дериватом байкальского хариуса. Представленные данные по генеалогическим отношениям хариусов согласуются с представлениями о том, что байкальский хариус наиболее древний вид в группе центрально-азиатских хариусов (Froufe et al., 2005; Книжин, 2009). Пространственное расположение медианных векторов свидетельствует о большем родстве байкальского хариуса с монгольским хариусом, чем с сибирским (Crête-Lafrenière et al., 2012; Шедько и др., 2013). Также европейский и амурский виды хариусов оказались более родственными байкальскому, чем сибирскому. Несмотря на то, что отделение от общего предка трех видов – монгольского, сибирского и байкальского произошло почти одновременно, около 4 млн. лет назад в плиоцене, вероятно, дальнейшая реструктуризация гаплотипов происходила у рассмотренных видов разными путями. Несомненная близость гаплотипов байкальского хариуса к группе гипотетических предковых (mv) для всей группы евросибирских хариусов гаплотипов позволяет предполагать, что данный вид наиболее родственен вероятному предку, обитавшему по всему Центрально-Азиатскому региону, включая бассейн Долины Озер.

У усатых гольцов отчетливо формируются два кластера, один составляют виды из бассейна Орхона и бассейна Амура (оз. Буйр Нур), а второй, с многочисленными подкластерами, виды из других регионов Монголии, Сибири, Европы, Тибета и Индии. Наиболее оформлен подкластер Большого Алтая и Долины Озер. Расчет времени дивергенции осуществляли с использованием оценки времени дивергенции нуклеотидных последовательностей, калиброванную для гена цитохрома *b* мтДНК рыб рода *Cobitis* – 0.68% нуклеотидных замен за 1 млн. лет (Doadrio, Perdices, 2005). Отделение *Triplophysa* от остальных Cobitidae происходит порядка 19 млн. лет назад, а отделение от губачей усатых гольцов – порядка 17 млн. лет назад. Отделение кластера Буйрнур – верховья Орхона от губачей соотносится с 13 млн. лет назад. Отделение остальных групп усатых гольцов, которых можно обозначить как *Nemachilius barbatula* (= *Barbatula barbatula*, *Orthrias barbatula*) sensu lato начинается порядка 11-10 млн. лет назад.

Полученная по всем трем группам рыб западной Монголии информация по времени и месте дивергенции предковой группы свидетельствует, что все современные виды происходят от предков амфибореальной фауны, и являются автохтонными элементами региона. Происхождение всех трех групп соотносится с неогеном. Ранее всех обособляются губачи (начало миоцена), затем усатые гольцы и *Oreoleuciscus* (середина миоцена) и самая молодая группа – хариусы (середина плиоцена). Все группы рыб Западной Монголии берут начало от

представителей китайского равнинного комплекса и ни в коей мере не являются результатом смешения ледовитоморской и китайской фаун. А вот видообразование в пределах каждой группы более-менее связано с упомянутыми тектоническими и климатическими трансформациями региона на рубеже плиоцена и плейстоцена. Все три группы представлены политипическими видами.

На примере видов рыб рода *Oreoleuciscus*, обитающих в экстремальных условиях Центральной Азии было проведено исследование их эколого-генетических особенностей. Известно, что предковые формы рода на рубеже плейстоцена и плиоцена подверглись катастрофическому воздействию – активная фаза орогенеза, сопровождавшаяся извержением Хангайского супервулкана и глобальным похолоданием (Сычевская, 1989). В результате этих событий *Oreoleuciscus* оказались практически единственными из представителей богатой миоценовой фауны, переживших эту катастрофу. В настоящее время диапазон условий обитания видов данного рода выходит далеко за пределы оптимальных для подавляющего большинства рыб семейства Cyprinidae по большинству основных абиотических факторов. Генетико-биохимическое и молекулярно-генетическое изучение *Oreoleuciscus* позволило выявить несколько принципиальных особенностей группы. Были обнаружены специализированные преобразования изоферментов и локусов, их кодирующих по лактатдегидрогеназе и глюкозо-6-фосфатдегидрогеназе, вероятно повышающих степень их устойчивости к экстремальным воздействиям. На основании анализа изменчивости локуса *cut b* мтДНК было показано, что для группы характерны исключительно высокие темпы накопления нуклеотидных замен, обеспечивших невероятно высокие скорости дивергенции группы и видообразования, в сравнении с другими таксонами семейства. Нами было выдвинуто предположение, что именно необычайно высокая скорость нуклеотидных преобразований обеспечивает формирование способности осуществлять жизнедеятельность в экстремальных условиях и предоставляет этим видам возможность успешного преодоления и выживания в условиях глобальных геоклиматических катастроф. В результате этих наблюдений нами было сформулировано понятие экстремобионтных видов, как организмов, способных жить, размножаться и эволюционировать в экстремальных условиях обитания. В рамках традиционных экологических представлений основные понятия предстают следующим образом: I. Виды, живущие и размножающиеся в оптимальных (нормальных) условиях планеты – эврибионты (с широкими диапазонами условий существования) и стенобионты (узкие условия существования); II – Экстремофильные виды, чей жизненный цикл, или его большая часть протекает за пределами оптимальных условий планеты (все археи, некоторые бактерии, ледяной москит, ледяная рыба, рыбы семейства Нототениевые); III – Экстремобионтные виды включают в себя, как представителей высокоспециализированных стенобионтных видов (тех из них, которые уже традиционно определяются, как экстремофилы (Кальвин, 1971; Cavicchioli, 2002), так и тех эврибионтных видов, чей диапазон обитания значительно превышает интервалы жизненных оптимумов той таксономической группы к которой они принадлежат. В отличие от экстремофилов экстремобионты способны существовать и в нормальных условиях. К такого рода видам принадлежат отнюдь не только вирусы и прокариоты, в частности археи и бактерии, но и эукариоты (грибы, растения и животные), в том числе позвоночные. Подавляющее большинство (почти без исключений) экстремобионтных видов относится к категории реликтов и эндемиков. Как правило, в геологическом прошлом Земли эти виды смогли выжить в глобальных геоклиматических катастрофах и приспособиться к совершенно критическим условиям существования. На примере экстремофильных видов было установлено, что ключевой их особенностью являются принципиально скорректированные способы упаковки ДНК и организации транскрипции (Forterre et al., 1995) в целях повышения степени их защиты от неблагоприятных условий, а также наличие особых геномных участков, обеспечивающих специализированную биохимическую продукцию (Coquelle et al., 2007).

В результате всех этих изысканий мы пришли к выводу, что особенности адаптивных стратегий экстремобионтов заключаются в формировании специализированных механизмов,

обеспечивающих приспособленность, как к экстремальным, так и к нормальным условиям существования. В результате достигается высокая экологическая пластичность, быстрое видообразование, способность к образованию внутривидовых дискретных морфо-экологических форм, способность быстрого перехода от инадаптивной эволюции к эвадаптивной, возможность успешного преодоления и выживания в условиях глобальных геоклиматических катастроф. В свою очередь этот вывод позволил разработать оригинальную комплексную схему цикличности эволюции, основанную на взаимодополнении генетических и эпигенетических механизмов.

Поскольку любой адаптивный успех в расширении ареала является эволюционным событием, мы предприняли попытку оценить успехи расселяющихся видов с эволюционной точки зрения. В этом смысле наиболее актуальными оказались подходы, развиваемые в рамках эпигенетической теории эволюции (ЭТЭ) (Шмальгаузен, 1982; Waddington, 1966; Шишкин, 2006; Расницын, 1987; 2005). Согласно этой концепции, непосредственным предметом эволюции являются не гены, а целостные системы развития, флуктуации которых стабилизируются в качестве необратимых изменений. На уровне особей материалом отбора служат носители разнонаправленных формообразовательных реакций (морфозов), реализуемых системой при уклонении условий от нормальных. Отбор на осуществление предпочтительной аберрации, реализуемой неидентичными носителями, превращает ее в наследуемое изменение, постепенно замещающее прежнюю норму. Устойчивость (наследуемость) нормы зиждется здесь на регулятивных взаимодействиях внутри системы, создаваемых отбором и канализирующими определенную траекторию развития. Проще говоря, наиболее успешных вселенцев должен роднить такое качество, как способность к морфо-экологическому формообразованию. Более того, эта способность будет реализовываться независимо от наличия и степени генетического разнообразия, преадаптированности или климатической зональности происхождения. Проверка справедливости этих построений доказывается на примерах различных видов рыб успешно экспансирующих в пресноводных экосистемах Понто-Каспийского бассейна. Разработаны дополнения к основным положениям теории биологических инвазий, позволяющие преодолеть ограничения, накладываемые «генетическим парадоксом»: обнаружен механизм, обеспечивающий экологическую успешность биологических инвазий при значительной потере генетического разнообразия. На основании анализа 5 экологически очень успешных видов-вселенцев (байкальский бокоплав, флоридский краб, солнечный окунь, амурский чебачок, черноморско-каспийская тюлька) эксплозивно экспансирующих в пресноводных экосистемах Европейской части РФ и сопредельных территорий обнаружено и обосновано, что успешность адаптации видов в процессе их вселения и натурализации на новые территории в случаях значимого снижения генетического разнообразия обеспечивается эпигенетическим механизмом. Потеря генетической изменчивости компенсируется возникновением и реализацией дискретных онтогенетических программ. Это в свою очередь определяет не только адаптивный, но и эволюционный успех.

Одним из ключевых механизмов обеспечивающих переход от инадаптации к эвадаптации является явление естественной отдаленной гибридизации, хотя продолжительное время большинство исследований отдаленной гибридизации были направлены на обнаружение эффектов интрогрессии генов, эколого-генетических последствий инкорпораций, а также поиск универсальных маркеров для идентификации гибридов (Mayr, 1965; Vrijenhoek, 1979; Грант, 1984; Verspoor, Hammar, 1991; Камптон, 1991; Wyatt et al., 2006; Hayden, 2010). Вместе с тем, более существенной проблемой в понимании эволюционной и экологической значимости межвидовой гибридизации является проблема эффективной коадаптации геномов скрещивающихся видов. Сочетание у отдаленных гибридов разнородных геномов может сообщать эволюции последнего дополнительную направленность, что позволяет рассматривать гибридов в качестве живой модели для изучения проблемы согласования работы разных геномов в онтогенезе, особенно в таком его критическом периоде, как раннее развитие (Нейфах, Тимофеева, 1977; Корочкин, 1983). Семейство карповых (Cyprinidae)

наиболее объемному как по числу видов – 2100, так и по числу случаев естественной гибридизации – 162 (Schwartz, 1981; Слынько, 2000). Изучение данной проблемы проводилось на гибридах плотвы (*Rutilus rutilus*) и леща (*Abramis brama*), гибридизация между которыми относится к категории "b" «от случая к случаю» по классификации Э. Майра (Maug, 1965), когда гибриды первого поколения фертильны и способны к скрещиванию с родительскими видами. Численность гибридов в отдельных популяциях может достигать 36-71% (Fahy et al., 1988). Межвидовая гибридизация «от случая к случаю» рассматривается, как особый тип размножения, сочетающий основные признаки полового процесса (синкария, редукционное деление) и апомиксиса (бесполое размножение, полногеномное наследование) (Яковлев и др., 2000). При этом, апомиксис облегчает освоение новых территорий, обеспечивает двукратное преимущество в темпах воспроизводства по сравнению с бисексуальными популяциями, позволяет тиражировать в ряду поколений одни и те же высокоприспособленные генотипы, без снижения гетерозиготности (Vrijenhoek et al., 1977). Предполагается, что успешность гибридизации обеспечивается путем формирования генетической программы системного ответа в ответ на структурные преобразования генома (Левонтин, 1978; Чадов, 1981). Наиболее эффективно коадаптация негомологичных геномов может обеспечиваться премейотической сегрегацией родительских геномов, более того упорядочение и пространственное разобщение гаплоидных геномов после сингамии позволяет преодолеть даже значительные различия в последовательностях ДНК (Беннет, 1986; Яковлев и др., 2000). Функциональное взаимодействие родительских субгеномов, особенно таких, как рибосомный кластер ДНК, играющего ключевую роль в процессах сплайсинга и транскрипции, у гибридов все еще остается недостаточно изученным. Доказано, что следствием этого взаимодействия являются многочисленные эпигенетические явления, такие как изменения в модификации гистонов и ДНК, дифференциальная экспрессия многих генов, активация транспозонов, амплификация или делеция определенных участков генома (Song et al., 1995, Lee, Chen 2001; Adams, Wendel 2004). Итогом наших изысканий в этой области стало не только обнаружение принципиально новой системы размножения позвоночных животных, но и определение эволюционно-экологических последствий естественной отдаленной гибридизации. Вспышки массовой гибридизации, как правило, наблюдаются при резком изменении экологических условий местобитаний. Гибриды первого поколения, обладающие повышенной приспособленностью в нарушенных местообитаниях, способствуют тем самым сохранению конкретных геномов обоих родительских видов. Тиражирование родительских геномов при размножении гибрида создает возможность группового отбора не по отдельным группам сцепления или генным ассоциациям, а по всему гаплоидному геному. В потомстве гибридов восстанавливаются родительские виды с наиболее адаптированными к изменившимся условиям геномами. Резко повышается приспособленность видов, пребывающих в экстремальных условиях. Интрогрессия мтДНК обеспечивает адаптивные преимущества клонов и полуклонов при экстремальных условиях.

### Список литературы

- Беннетт М.Д., 1986. Нуклеотипическая основа пространственной упорядоченности хромосом эукариот и ее значение для эволюции генома и фенотипической изменчивости // В кн.: Эволюция генома. М.: Мир, 1986. С. 234–256.
- Берг Л.С., 1935. Недавние климатические колебания и их влияние на миграцию рыб // Проблемы физической географии. № 2. С. 73–84.
- Вернадский В.И., 1988. Труды по всеобщей истории науки // АН СССР. Комиссия по разработке научного наследия акад. В.И. Вернадского. Институт истории естествознания и техники. Под ред. С.Р. Микулинского. 2-е изд. М.: Наука, 1988. 334 с.
- Голубцов А. С., Малков Н.П., 2007. Очерк ихтиофауны Республики Алтай: систематическое разнообразие, распространение и охрана. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2007. 164 с.
- Грант В., 1984. Видообразование у растений. М.: Мир, 1984. 528 с.



- Кальвин М., 1971. Химическая эволюция. М.: Мир, 1971. 140 с.
- Камптон Д.Э., 1991. Естественная гибридизация и интрогрессия у рыб. (Методы обнаружения и генетическая интерпретация) // В кн.: Популяционная генетика и управление рыбным хозяйством. М.: Агропромиздат, 1991. С. 199–233.
- Книжнин И.Б., 2009. Хариусы (*Thymallus* Cuvier, 1829) Голарктики (Систематика, филогеография, особенности экологии) // Автореферат диссертации на соискание степени доктора биологических наук. М.: ИПЭЭ РАН, 2009. 52 с.
- Корочкин Л.И., 1983. Некоторые молекулярные аспекты регуляции экспрессии генов у рыб и других эукариот // В кн.: Биологические основы рыбоводства: генетика и селекция. Л.: Наука, 1983. С. 34–51.
- Лебедев В.Д., 1959. Неогеновая фауна пресноводных рыб Зайсанской впадины и Западно-Сибирской низменности // Вопросы ихтиологии. Т. 12. С. 28–69.
- Лебедев В.Д., 1960. Пресноводная четвертичная ихтиофауна Европейской части СССР. М. Изд-во МГУ, 1960. 404 с.
- Левонтин Р., 1978. Генетические основы эволюции. М.: Мир, 1978. 352 с.
- Нейфах А.А., Тимофеева М.Я., 1977. Молекулярная биология процессов развития. М.: Наука, 1977. 310 с.
- Никольский Г.В., 1945. Краткий обзор ископаемой четвертичной фауны пресноводных рыб СССР // Известия Всесоюзного географического общества. № 5. С. 288–292.
- Никольский Г.В., 1956. Рыбы бассейна Амура // Итоги Амурской ихтиологической экспедиции 1945-1949. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 552 с.
- Пианка Э., 1981. Эволюционная экология. М.: Мир, 1981. 399 с.
- Расницын А.П., 1987. Темпы эволюции и эволюционная теория (гипотеза адаптивного компромисса) // Эволюция и биоэкологические кризисы. М.: Наука, 1987. С.46–64.
- Расницын А.П., 2005. Избранные труды по эволюционной биологии. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. 347 с.
- Слынько Ю.В., 2000. Система размножения межродовых гибридов плотвы (*Rutilus rutilus* L.), леща (*Abramis brama* L.) и синца (*Abramis ballerus* L.) (Leuciscinae: Cyprinidae) // Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Санкт-Петербург, 2000. 186 с.
- Слынько Ю.В., 2001. Глава 3. Биологические инвазии в бассейне Верхней Волги. 1. Проблемы, природа и последствия биологических инвазий в Волге. // Экологические проблемы Верхней Волги. Ред. А.И. Копылов. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2001. С. 77–79.
- Слынько Ю.В., Боровикова Е.А., 2012. Филогеография алтайских османов (*Oreoleuciscus* sp., Cyprinidae, Pisces) по данным изменчивости нуклеотидных последовательностей гена цитохрома *b* митохондриальной ДНК // Генетика. Т. 48. № 6. С. 726–736.
- Слынько Ю.В., Столбунова В.В., Мэндсайхан Б., 2015. Изменчивость локуса гена *сyt b* мтДНК у хариуса (*Thymalus* sp.: Thymalidae, Pisces), интродуцированного в р. Байдраг Гол бассейна Долины Озер (Монголия) // Генетика. Т. 51. № 6. С. 704–710.
- Сычевская Е.К., 1983. История формирования ихтиофауны Монголии и проблема фаунистических комплексов // Рыбы Монгольской Народной Республики. М.: Наука, 1983. С. 225–249.
- Сычевская Е.К., 1986. Пресноводная палеогеновая ихтиофауна СССР и Монголии. М.: Наука, 1986. 157 с.
- Сычевская Е.К., 1989. Пресноводная ихтиофауна неогена Монголии. М.: Наука, 1989. 144 с.
- Сычевская Е.К., Девяткин Е.В., 1962. Первые находки рыб из неогеновых и нижнечетвертичных отложений Горного Алтая // ДАН СССР. Т. 142. № 1. С. 173–180.
- Сычевская Е.К., Лебедев В.Д., 1971. Пресноводная неогеновая ихтиофауна Котловины Больших Озер // Фауна мезозоя и кайнозоя Западной Монголии. М.: Наука, 1971. С. 49–57.

- Тюрюканов А.Н., Федоров В.М., Тимофеев-Ресовский Н.В., 1996. Биосферные раздумья. М. Изд-во РАЕН, 1996. 368 с.
- Чадов Б.Ф., 1981. Поведение хромосом в митозе и мейозе и хромоцентральная организация ядра у *Drosophila melanogaster* // В кн.: Молекулярные основы генетических процессов. М.: Наука, 1981. С. 463–474.
- Шварц С.С., 1980. Экологические закономерности эволюции. М.: Наука, 1980. 278 с.
- Шедько С.В., Мирошниченко И.Л., Немкова Г.А., 2013. Филогения лососевых рыб (Salmoniformes: Salmonidae) и ее молекулярная датировка: анализ мтДНК данных // Генетика. Т. 49. № 6. С. 718–734.
- Шишкин М.А., 2006. Индивидуальное развитие и уроки эволюционизма // Онтогенез. Т. 37. № 3. С. 179–198.
- Шмальгаузен И.И., 1982. Организм как целое в индивидуальном и историческом развитии. Избранные труды. М.: Наука, 1982. 383 с.
- Штылько Б.А., 1934. Неогеновая фауна пресноводных рыб Западной Сибири // Труды Всесоюзного геолого-разведочного объединения. Т. 359. С. 1–96.
- Яковлев В.Н., 1961. Распространение пресноводных рыб неогена Голарктики и зоогеографическое районирование // Вопросы ихтиологии. Т. 1. Вып. 2. С. 209–220.
- Яковлев В.Н., 1964. История формирования фаунистических комплексов пресноводных рыб // Вопросы ихтиологии. Т. 4. № 1. С. 10–22.
- Яковлев В.Н., Слынько Ю.В., Гречанов И.Г., Крысанов Е.Ю., 2000. Проблема отдаленной гибридизации у рыб // Вопросы ихтиологии. Т. 40, № 3. С. 312–326.
- Adams K.L., Wendel J.F., 2004. Exploring the genomic mysteries of polyploidy in cotton // Biological Journal of the Linnean Society. V. 82. P. 573–581.
- Cavicchioli R., 2002. Extremophiles and the search for extraterrestrial life // Astrobiology. V. 2 (3). P. 281–292.
- Coquelle N., Fioravanti E., Weik M., Vellieux F., Madern D., 2007. Activity, stability and structural studies of lactate dehydrogenases adapted to extreme thermal environments // Journal of Molecular Biology. V. 23. № 374 (2). P. 547–562.
- Crête-Lafrenière A., Weir L.K., Bernatchez L., 2012. Framing the Salmonidae family phylogenetic portrait: A more complete picture from increased taxon sampling // PLoS One. V. 7. Iss. 10. P. 1–19.
- Doadrio I., Perdices A., 2005. Phylogenetic relationships among the Ibero-African cobitids (Cobitis, Cobitidae) based on cytochrome b sequence data // Molecular Phylogenetics and Evolution. V. 37. P. 484–493.
- Fahy E., Martin S., Mulrooney M., 1988. Interaction of roach and bream in a Irish reservoir // Archiv für Hydrobiologie. Suppl. 114. P. 291–309.
- Ford E.B., 1975. Ecological Genetics. London: Chapman and Hall, 1975. 442 pp.
- Forterre P., Confalonieri F., Charbonnier F., Duguet M., 1995. Speculations on the origin of life and thermophily – review of available information on reverse gyrase suggests that hyperthermophilic prokaryotes are not so primitive // Origins of Life and Evolution of the Biosphere. V. 25. P. 235–249.
- Froufe E., Knizhin I., Weiss S., 2005. Phylogenetic analysis of the genus *Thymallus* (grayling) based on mtDNA control region and ATPase 6 genes, with inferences on control region constraints and broad-scale Eurasian phylogeography // Molecular Phylogenetics and Evolution. V. 34. P. 106–115.
- Hansen J.R., Sato R.M., Lo K., 2010. Global surface temperature change // Reviews of Geophysics. V. 48, RG 4004. P. 1–29.
- Hayden B., Pulcini D., Kelly-Quinn M., O'Grady M. et al., 2010. Hybridisation between two cyprinid fishes in a novel habitat: genetics, morphology and life-history traits // Evolutionary Biology. V. 10. P. 169–180.
- Imoto J., Saitoh K., Adachi J., Sasaki T. et al., 2009. Phylogenetic position of the Altaic fish genus *Oreoleuciscus* in Leuciscinae based on mitogenome sequences. // International Symposium

- “Modern achievements in population, evolutionary and ecological genetics (MAPEEG-2009)”.  
[http://www.imb.dvo.ru/misc/barcoding/files/MAPEEG-2009/Imoto\\_et\\_al.\\_MAPEEG-2009.pps](http://www.imb.dvo.ru/misc/barcoding/files/MAPEEG-2009/Imoto_et_al._MAPEEG-2009.pps)
- Lee H.S., Chen Z.J., 2001. Protein-coding genes are epigenetically regulated in Arabidopsis polyploids // *Proceeding of the National Academy of Sciences of the USA*. V. 98. P. 6753–6758.
- Mayr E., 1965. *Animal species and evolution*. London: Oxford University Press, 1965. 620 pp.
- Schwarthz F.J., 1981. *World literature to fish hybrids, with an analysis by family, species and hybrid*. Supplement 1 // NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-750. U.S. Department of Commerce. 507 pp.
- Song Y, Kim S., Kim J., 1995. ROK1, a high-copy-number plasmid suppressor of kem1, encodes a putative ATP-dependent RNA helicase in *Saccharomyces cerevisiae* // *Gene*. V. 166 (1). P. 151–154.
- Verspoor E., Hammar J., 1991. Introgressive hybridization in fishes: the biochemical evidence // *Journal of Fish Biology*. V. 39 (Sup. A). P. 309–334.
- Vrijenhoek R.C., 1979. Factors affecting clonal diversity and coexistence // *American Zoologist*. V. 19. № 3. P. 787–797.
- Vrijenhoek R.C., Angus R.A., Schultz R.J., 1977. Variation and heterozygosity in sexually vs. clonally reproducing populations of *Poeciliopsis* // *Evolution*. V. 31. P. 767–781.
- Waddington C.H., 1966. *Principles of development and differentiation*. New York: Macmillan Company, 1966. 115 pp.
- Wyatt P.M.W., Pitts C.S., Butlin R.K., 2006. A molecular approach to detect hybridization between bream *Abramis brama*, roach *Rutilus rutilus* and rudd *Scardinius erythrophthalmus* // *Journal of Fish Biology*. V. 69. P. 52–71.

УДК 574.21.08

Г.М. Чуйко

ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова РАН», пос. Борок, Ярославская область  
e-mail: gchuiiko@mail.ru

### **Биомаркеры в системе оценки токсического воздействия на гидробионтов и экологическом мониторинге водных экосистем**

**Резюме.** Даются определения понятия биомаркер, рассматривается история его введения в практику и использования в водной экотоксикологии. Приводится классификация биомаркеров, анализируется их место и роль в современной системе оценки функционального состояния гидробионтов и экологическом мониторинге водных экосистем. Сравняются преимущества и недостатки биомаркеров с другими существующими методами анализа окружающей водной среды: физико-химическими, биотестированием и биоиндикацией.

Влияние человека на окружающую среду – неизбежный результат его жизнедеятельности, как одного из элементов биосферы. Научно-технический прогресс, продолжающийся рост численности населения на планете и его постоянно возрастающие потребности требуют освоения новых территорий, введение в эксплуатацию все новых и новых минерально-энергетических сырьевых и пищевых ресурсов, создания и активного использования новых химических соединений, материалов и технологий, наращивания промышленного и сельскохозяйственного производства. Все это ведёт за собой масштабное поступление в природную среду и вовлечение в глобальную циркуляцию веществ антропогенного происхождения, отсутствующих в естественных условиях или встречающихся в природе в биодоступно-безопасных количествах. Конечным звеном их аккумуляции в окружающей среде служат водные объекты, что вызывает загрязнение и снижение качества поверхностных вод, ухудшение условий обитания гидробионтов, уменьшение адаптивных

возможностей и выживаемости отдельных организмов, исчезновение популяций, деградацию сообществ и целых экосистем.

Для минимизации негативных последствий антропогенного воздействия на водные организмы и экосистемы, его диагностики и прогнозирования экологических рисков необходима система комплексной оценки экологического состояния водных объектов, включающих анализ абиотических факторов и эффекты их действия на биоту на разных уровнях биологической организации. До недавнего времени такая система включала три компонента: инструментально-аналитический (физико-химический) – качественная и количественная оценка факторов воздействия методами физико-химического анализа; биотестирование – оценка токсичности воды и донных отложений по ответным реакциям (выживаемость, размножение, рост, двигательная активность и т.п.) тест-организмов разных экологических уровней (микроорганизмы, простейшие, одноклеточные водоросли, беспозвоночные, икра, мальки и взрослые рыбы) из лабораторных культур; и биоиндикация – обнаружение и определение экологического значения антропогенных нагрузок на водный объект на основе определения качественных (видовой состав) и количественных (численность, биомасса, видовое разнообразие) характеристик различных биоценозов гидробионтов (Никаноров, Иваник, 2014).

В последнее время в системе экологической оценки в качестве еще одного компонента все большее практическое применение получают биомаркеры (Лукьянова, 2001; Немова, Высоцкая, 2004; Моисеенко, 2009). Главное преимущество биомаркеров перед физико-химическими методами анализа – способность выявить биологические последствия действия отдельного взятого фактора или их совокупности, а относительно других биологических методов (биотестирования и биоиндикации) – высокая чувствительность и оперативность ответа, т.е. возможность зарегистрировать происходящие в биологической системе изменения на ранних этапах действия факторов и при их низкой интенсивности. В отношении ксенобиотиков (соединений, имеющих чужеродное для организма происхождение) – это выявление их действия на организм при хронических экспозициях в сублетальных дозах, когда еще другими методами это воздействие зарегистрировать не представляется возможным.

Идея разработки и использования биомаркеров сформировалась в 50-70 годах XX столетия по мере осознания того, что регистрация токсичности только по показателю смертности является недостаточной для правильной оценки влияния антропогенного загрязнения и других неблагоприятных факторов окружающей среды на водные организмы и экосистемы. Кроме того, стало очевидным, что определение качества водной среды только посредством физико-химического анализа содержания и состава загрязняющих веществ не может дать ответ на главный вопрос о её пригодности для нормального существования гидробионтов и безопасного использования человеком.

Для понимания механизмов действия и выявления влияния токсических веществ и других неблагоприятных факторов на гидробионтов начали использоваться различные физиологические, биохимические, гистологические и морфологические параметры организма. В результате было установлено, что значения многих из этих параметров изменяются при действии широкого ряда токсических веществ физических факторов, позволяя обнаружить развитие токсического стресса на самых ранних стадиях, когда другими методами определить это еще невозможно. Сами показатели и методы для их определения первоначально были заимствованы, главным образом, из клинической медицины, экологической физиологии и биохимии, ихтиопатологии и ветеринарии и были направлены на то, чтобы оценить функциональное состояние организма. Работы в этом направлении были начаты одновременно во многих развитых странах, включая и бывший СССР. У нас в стране необходимость развития этого направления водной экотоксикологии была сформулирована Н.С. Строгановым (МГУ) в конце 60-х годов прошлого века. На первой Всесоюзной научной конференции по вопросам водной токсикологии им были обозначены следующие перспективные задачи: 1) изучение связи токсических веществ с их химической природой (строением) и определение мест (процессов) поражения в организме, с целью прогнозирования на основе этих

закономерностей биологических эффектов токсикантов, попадающих в водоем; 2) выявление изменений (пределы колебаний) в организмах нормальных и патологических, установление критериев нормы и патологии; 3) разработка диагностики отравления по морфологическим (патологоанатомическим, гистологическим) и биохимическим, химическим показателям (Строганов, 1968).

Формулирование и начало использования термина биомаркер и связанных с ним основных понятий в гидроэкотоксикологии относится к середине 80-х. Одними из первых официально ввели его в практику Национальные научные советы Канады (NRCC, 1985) и США (NRC, 1987), выпустившие соответствующие нормативные документы (Committee on Biological Markers..., 1987). В России в водной экотоксикологии этот термин активно используется с 90-х годов. Первоначально среди отечественных исследователей вместо него применялись такие понятия, как «эколого-физиологические реакции», «физиолого-биохимические показатели», «морфофункциональные параметры», «индексы стресса» и др. В развитых странах за рубежом именно с использованием биомаркеров проводится существенная доля оценки промышленных загрязнений или оценка степени токсичности тех или иных веществ. Большую роль биомаркеры играют и при проведении экологического мониторинга. У нас в стране биомаркеры пока не получили такого широкого практического применения в гидроэкотоксикологии и используются, в основном, в научно-исследовательских целях.

Существуют разные определения термина биомаркер, но все они в той или иной степени отражают ответную реакцию организма на действие того или иного внешнего или внутреннего фактора. Общебиологическое понятие биомаркер обозначает измеряемый параметр или событие (процесс, явление), происходящее в биологической системе или биологическом образце на суборганизменном и организменном уровне биологической организации (молекула, клетка, ткань, физиологическая система, организм) (Чуйко, 2014).

Некоторые исследователи понимают термин биомаркер в более широком смысле, используют его для обозначения изменений на всех биологических уровнях организации: суборганизменном, организменном, популяционном, уровне сообществ и экосистем. Но абсолютное большинство ученых-экотоксикологов придерживается первоначального, более узкого понимания термина. Для показателей событий, явлений и процессов, происходящих под действием загрязняющих веществ в биологических системах более высокого уровня (популяция, сообщество, экосистема), чаще применяется термин биоиндикатор, а применение биоиндикаторов с этой целью называется биоиндикацией. Биомаркеры используются в условиях *in vivo*, *in vitro* и *in situ* как в лабораторных экспериментах, так и в полевых исследованиях. А их использование по аналогии с биоиндикацией называется биомаркированием.

В водной экотоксикологии биомаркеры – это морфофункциональные показатели экспозиции гидробионтов к стрессорам окружающей среды, выражаемые на организменном и суборганизменном уровнях биологической организации, таких как молекулярно-генетический, биохимический, физиологический и гистологический (Adams, 2002). Они применяются для оценки состояния здоровья или риска проявления патологии (структурно-функциональные нарушения, связанные с болезнью) у гидробионтов, либо для оценки воздействия на организм химических загрязняющих веществ или ксенобиотиков. Затем результаты, полученные на уровне организма, интерпретируются как отражение более общего состояния организма (выживаемость, рост, размножение) или состояния популяции, сообщества, экосистемы.

Эффекты на разных уровнях биологической организации, вызываемых действием загрязняющих веществ, взаимосвязаны (Sheehan, 1984; Maltby, 1994). Поступление загрязняющих веществ в воду, а затем в организм приводит к изменениям поведения (реакция избегания, взаимодействие хищник-жертва, репродуктивное, пищевое поведение и т.д.) и биохимическим ответам (изменения активности ферментов, активация и подавление метаболических путей, мутации ДНК и т.д.). Последние вызывают изменения в физиологических системах (дыхание, кровообращение, выделение, питание и пищеварение,

рост, водно-солевой баланс и т.д.) и морфологические нарушения (опухоли, деформации, изменения структуры клеток и тканей и т.д.). Все вместе – поведенческие, биохимические и морфофизиологические ответы, приводят к внешним проявлениям – изменениям размерно-массовых показателей, нарушениям развития, снижению репродуктивного успеха, гибели и др. Комплекс негативных изменений на организменном уровне вызывает эффекты на популяционном уровне (снижение численности, изменение возрастной структуры, изменение генофонда, изменение пространственного распределения, исчезновение популяции и т.д.), что ведет к нарушению структуры и динамики сообществ и экосистем (изменение видового состава и разнообразия, смены доминантных видов, изменение сукцессионных моделей и т.д.), а в конечном итоге к функциональным нарушениям в них (снижение скорости разложения органического вещества, нарушения биогенных циклов, уменьшение первичной продуктивности, изменения в пищевых связях и др.).

В настоящее время в качестве биомаркеров применяют следующие параметры организма гидробионтов: 1) изменения на уровне ДНК; 2) функциональные белки, включая ферменты; 3) метаболиты; 4) неспецифические иммунологические, гистопатологические и физиологические ответы. Их можно условно разделить на два типа: биомаркеры воздействия и биомаркеры эффекта. Однако четкого разграничения между ними не существует, т.к. одни и те же биомаркеры могут быть одновременно отнесены к разным типам.

Биомаркером воздействия может выступать экзогенное соединение (или его метаболит) внутри организма (биологической системы), продукт взаимодействия между соединением (или метаболитом) и эндогенным компонентом, либо другое событие, связанное с воздействием химического или физического экзогенного фактора. Биомаркеры воздействия являются специфическими и позволяют выявить факт воздействия конкретного фактора на организм или его присутствия в окружающей среде. Примером биомаркера этого типа может быть содержание метаболитов полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в желчи, полихлорированных бифенилов (ПХБ) и металлотионеинов в тканях, активность АХЭ (ацетилхолинэстеразы) в мозге или крови, индукция ферментов биотрансформации ксенобиотиков в печени рыб и др. Оценка биомаркеров воздействия должна проводиться с учетом временных особенностей экспозиции и применительно к различным составным частям (компартаментам) организма. Наибольшую прогностическую ценность имеют те биомаркеры воздействия, для которых установлена функциональная или потенциальная корреляция с нарушениями здоровья организма или гидробионтов.

Биомаркером эффекта может выступать эндогенный компонент или параметр функциональной способности, либо другой показатель состояния равновесия организма или системы органов, на которые оказано воздействие, признаваемый как морфофункциональное нарушение или заболевание. Примером биомаркера этого типа могут служить показатели состояния окислительного стресса (СОС), белки теплового шока (БТШ) или по-другому стресс-белки, активность АХЭ в мозге, содержание глюкозы в крови, индукция ферментов биотрансформации ксенобиотиков в печени и др. Биомаркеры эффекта, как правило, являются индикаторами отклонений от нормального состояния организма. Обычно они указывают на изменения функции клеток, тканей, отдельных органов и организма в целом. Эти биомаркеры могут быть специфическими и неспецифическими. Специфические биомаркеры указывают на биологический эффект конкретного типа воздействия. Примером такого биомаркера служит активность АХЭ в мозге рыб. В результате ее снижения под действием фосфорорганических соединений (ФОС) и карбаматов, нарушается проведение нервного импульса в холинергических синапсах, и развиваются симптомокомплексы отравления организма нейропаралитического типа. Неспецифические биомаркеры не указывают на конкретную причину эффекта, но отражают общий, комплексный характер комбинированного воздействия. К такому типу биомаркеров относятся набор показателей, указывающий на развитие в клетке СОС: продукты перекисного окисления липидов (ПОЛ): (малоновый диальдегид, диеновые конъюгаты); содержание карбонильных групп в белках, изменение активности ферментов (каталаза (КАТ), супероксиддисмутаза (СОД), пероксидаза, глутатион-S-трансфераза (GST) и

др., и содержания низкомолекулярных компонентов (восстановленный и окисленный глутатион, каротиноиды, витамин С (аскорбат), витамин Е (токоферол) и другие антиоксиданты) системы антиоксидантной защиты (АОЗ) в различных тканях организма. Однако не каждый показатель, отражающий морфофункциональные изменения или отклонения от нормы в организме гидробионтов может претендовать на роль биомаркера. При выборе показателей, потенциальных кандидатов в биомаркеры, необходимо руководствоваться следующими важными критериями: химическая и биологическая специфичность, ясность интерпретации данных, латентный период, устойчивость и обратимость ответа, биологическая изменчивость (вариабельность), взаимосвязь с эффектами более высокого уровня биологической организации, применимость в лабораторных и/или полевых условиях, ограничения практического применения (простота, надежность, точность).

Главное ограничение для широкого практического использования биомаркеров в настоящее время – сложность интерпретации полученных результатов с точки зрения оценки биологических последствий выявленных изменений для индивидуума, популяции, сообщества, поскольку прямая связь между процессами на разных уровнях биологической организации не всегда очевидна.

При антропогенном воздействии на окружающую среду попадание токсического вещества или иным путем в организм вызывает в нем следующую последовательность изменений и их возможных последствий (Hinton and, Lauren, 1990). В первую очередь токсикант связывается с молекулярным лигандом (молекулой-лигандом). Это приводит к биохимическим дисфункциям (ингибирование ферментов, нарушение метаболических путей и т.д.), которые вызывают морфофизиологические нарушения (объемно-регуляторная недостаточность, морфофункциональная дезинтеграция, дистрофия и т.д.). С этого этапа могут наблюдаться два сценария развития ситуации в организме. Первый, наиболее негативный, проявляется в нарастающей гибели клеток, некрозах и отмирании тканей и в конечном итоге гибели всего организма. Второй – это биохимическая адаптация (индукция ферментов, изменение или восстановление метаболических путей и др.), приводящая к морфофизиологическим адаптациям (объемно-регуляторное восстановление, пролиферация, гипертрофия и гиперплазия и т.д.), регенерация клеток, адаптация целого организма к новым условиям.

Важным моментом для практического использования биомаркеров является четкое понимание для каждого из них и для каждого вида гидробионтов следующих диапазонов их изменчивости под действием внешних и внутренних факторов: 1) гомеостатический или норма реакции – характерный для каждого вида в относительно стабильных внешних условиях; 2) адаптивный – в пределах которого организм может приспособиться к изменяющейся внешней среде, включая и антропогенное воздействие, без патологических нарушений и способностью в полном объеме выполнять все основные биологические функции (выживаемость, рост, размножение); 3) токсический – характеризующийся патологическими морфофункциональными нарушениями, которые влекут за собой болезнь организма и ограниченную возможность поддерживать его нормальную жизнедеятельность, в экстремальных случаях заканчивающихся его гибелью.

Сравнение диапазонов биохимических и морфофункциональных ответов с ответами целого организма гидробионтов при действии разных по интенсивности факторов внешней среды может быть представлено следующим образом (Versteeg et al., 1988).

При низкой интенсивности воздействия фактора в гомеостатическом и адаптивных диапазонах организм функционирует нормально. При этом биохимические и морфофункциональные параметры организма варьируют в пределах нормы реакции или его адаптивных возможностей. При более сильных воздействиях внешнего фактора, соответствующих токсическому диапазону, когда превышены адаптивные возможности организма на биохимическом и морфофункциональном уровнях, в нем развиваются патологические изменения. Еще более сильные воздействия приводят к гибели организма.

В настоящее время для многих физиологических, биохимических и морфологических показателей состояния организма показано, что они могут изменяться под действием на организм различных внешних и внутренних физических, химических и биологических факторов. Однако для того, чтобы показатель состояния организма мог быть использован как биомаркер, важно не только показать, что он меняется под действием какого-либо фактора, но и установить пределы варьирования его значений в диапазоне нормы реакции, адаптивном и патологическом диапазонах. Только в этом случае его можно использовать с диагностической целью.

Использование биомаркеров в гидроэкотоксикологии сильно ограничивается недостатком базовых данных по биохимии и физиологии гидробионтов в «нормальных» физиологических диапазонах (норма реакции). Поэтому, развитие таких знаний для конкретного биомаркера является существенным для внедрения в практику. Особое значение имеют и экологические факторы, такие как физико-химический состав водной среды (минеральный состав, рН, содержание растворенного кислорода, содержание органических и биогенных элементов и т.д.), сезонная цикличность биологических и абиотических процессов и климатогеографические особенности мест обитания гидробионтов. В конечном итоге изменчивость измеряемого показателя (биомаркера) должна быть понятна и находится внутри допустимых пределов.

В отличие от млекопитающих и птиц, которые по отношению к основным экологическим факторам являются регуляторами в том смысле, что состояние внутренней среды их организма поддерживается на постоянном уровне независимо от изменения состояния внешней среды, гидробионты в своей массе относятся к конформерам, т.е. состояние их внутренней среды следует за изменениями внешней среды. Эти различия не позволяют механически использовать данные, полученные на млекопитающих и человеке, и требуют отдельного и тщательного изучения адаптивных реакций и токсических эффектов и установления их границ их диапазонов у гидробионтов. Решение проблемы четкого разделения адаптивных ответов и токсических эффектов у водных организмов позволит проводить правильный выбор биомаркеров для выполнения гидроэкотоксикологических исследований.

Таким образом, биомаркеры в настоящее время являются важным инструментом в гидроэкотоксикологии, который используется при изучении антропогенного влияния на водные организмы и экосистемы, помогает понять механизмы этого влияния и оценить его последствия. Разработка новых биомаркеров и совершенствование уже имеющихся является одной из важных задач ученых-экологов. Подобно другим инструментам биомаркеры имеют свои преимущества и недостатки, которые должны быть учтены при их выборе, применении и интерпретации полученной с их помощью информации. Необходимы дополнительные развернутые исследования нормы реакции базовых уровней всех показателей, используемых в настоящее время и претендующих на использование в качестве биомаркеров у широкого ряда видов гидробионтов.

### **Список литературы**

- Лукьянова О.Н.*, 2001. Молекулярные биомаркеры. Владивосток: изд-во ДВГАЭУ, 2001. 196 с.
- Моисеенко Т.И.*, 2009. Водная экотоксикология: Теоретические и прикладные аспекты. М: Наука, 2009. 400 с.
- Немова Н.Н., Высоцкая Р.У.*, 2004. Биохимическая индикация состояния рыб. М: Наука, 2004. 316 с.
- Никаноров А.М., Иваник В.М.*, 2014. Словарь-справочник по гидрохимии и качеству вод суши. Ростов-на-Дону: ООО «Центр Печатных Технологий АртАртель», 2014. 548 с.
- Строганов Н.С.*, 1968. Загрязнение вод и задачи водной токсикологии // Тезисы докладов на всесоюзной научной конференции по вопросам водной токсикологии, 30 января – 2 февраля 1968 г., МГУ, Москва. М: Наука, 1968. С. 7–9.



Чуйко Г.М., 2014а. Биомаркеры в гидроэкотоксикологии: принципы, методы и методология, практика использования. Гл XV. // В кн. Экологический мониторинг. Часть VIII. Современные проблемы мониторинга пресноводных экосистем: Учебное пособие / Под ред. проф. Д.Б. Гелашвили, проф. Г.В. Шургановой. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного университета, 2014. С. 310–326.

Чуйко Г.М., 2014б. Биомаркеры в гидроэкотоксикологии: принципы, методы и методология, практика использования. В кн. Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы: материалы V Всероссийской конференции по водной экотоксикологии, посвященной памяти Б.А. Флерова, с приглашением специалистов из стран ближнего зарубежья; Современные методы исследования состояния поверхностных вод в условиях антропогенной нагрузки: материалы школы-семинара для молодых ученых, аспирантов и студентов. (Борок, 28 октября – 1 ноября 2014 г.). В двух томах. Том 2. Ярославль: Филигрань, 2014. С. 186–201.

Adams S.M., 2002. Biological indicators of aquatic ecosystem stress. Bethesda, Maryland: Am. Fish. Soc., 2002. 644 pp.

Committee on Biological Markers of the National Research Council. Biological Markers in Environmental Health // Environmental Health Perspectives. 1987. V. 74, P. 3–9.

Hinton D.E., Lauren D.J., 1990. Integrative histopathological approaches to detecting effects of environmental stressors on fishes // In: Adams S.M. (Ed). Biological indicators of stress in fish. American Fisheries Society Symposium 8. Bethesda, MD: AFS, 1990. P. 51–66.

Multby L., 1994. Stress, shredders and streams: using *Gammarus* energetics to assess water quality. In D.W. Sutcliffe (ed.) Water quality and stress indicators in marine and freshwater systems: linking levels of organization.

Sheehan P.J., 1984. Effects on individuals and populations. In P.J. Sheehan, D.R. Miller, G.C. Butler, Ph. Bourdeau (eds.) Effects of pollutants at the ecosystems level. Chichester (UK): John Wiley & Sons Ltd, 1984. P. 23–99.

Versteeg D.J., Graney R.L., Giesy J.P., 1988. Field utilization of clinical measures for the assessment xenobiotic stress in aquatic organisms // In: W.J. Adams, Chapman G.A., W.G. Landis (eds). Aquatic toxicology and hazard assessment. ASTMSTP 971. Philadelphia: American Society for Testing Materials, 1988. P. 289–306.

## МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ

### **Секция 1. Гидрологические и гидрохимические характеристики водных экосистем**

УДК 574.22

**М.Н. Бутенко**

*ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН», г. Чита, Забайкальский край  
e-mail: 44mary44@mail.ru*

#### **Динамика биогенных элементов оз. Арахлей в период 1988-2015 годов**

**Резюме.** В работе представлены результаты исследований динамики биогенных элементов (нитратов, нитритов, аммонийных ионов, фосфатов и общего фосфора) оз. Арахлей в летние месяцы с 1988 год по 2015 год на основе многолетних архивных данных. Выявлена зависимость концентрации фосфатов и общего фосфора от многоводных и маловодных лет. Показано, что количество биогенных элементов в центре и прибрежной зоне озера отличается незначительно.

Озеро Арахлей находится на юге Витимского плоскогорья (Забайкальский край), расположено вдоль тектонической впадины между Яблоновым и Осиновым хребтами. Является самым крупным водоёмом из озёр Ивано-Арахлейской гряды (Итигилова и др., 2013). Озеро имеет рыбохозяйственное, рекреационное значение и постоянно подвергается антропогенной нагрузке.

Биогенные элементы – элементы, необходимые для жизнедеятельности организмов. Их избыток или недостаток может стать причиной нарушения нормального функционирования экосистем. Такие биогенные элементы как азот и фосфор, участвуя в разных гео- и биохимических циклах, являются лимитирующими факторами для большинства водных экосистем. Азот в воде можно обнаружить в форме нитратных, нитритных и аммонийных ионов, фосфор – в виде минеральных и органических форм. Хозяйственная деятельность нарушает естественный круговорот веществ, изменяет потоки биогенных элементов, что зачастую ведёт к эвтрофированию водоёмов (Итигилова и др., 2013).

Количество биогенных элементов в воде определяет не только биологическую продуктивность водоёмов, служит одним из показателей степени загрязнения, в некоторых случаях токсического.

*Целью* данной работы является сравнение межгодовой динамики концентраций нитратов, нитритов, аммонийных ионов, фосфатов и общего фосфора в центре и прибрежной зоне оз. Арахлей в летний период.

*Материалы и методы.* Для рассмотрения был выбран летний период, так как именно в это время в водных экосистемах происходит интенсивное развитие гидробионтов. Отбор проб проводили в центре – с поверхности и по горизонтам через каждые 2 метра до дна. В прибрежной зоне пробы отбирали с поверхности и из придонного слоя.

Пробы отбирали батометром Паталаса в пластиковые бутылки объемом 1 л, предварительно ополаскивая емкость отбираемой водой на конкретных станциях. Нефиксированные пробы транспортировали в лабораторию. В лабораторных условиях проводили спектрофотометрическое определение азота и фосфора, используя SPEKOL 1300. Для определения нитритов использовали метод с добавлением реактива Грисса, нитратов – методом восстановления до нитритов с реактивом Грисса, аммонийные ионы – с реактивом Несслера, фосфаты – со смешанным реактивом, общий фосфор – методом сжигания с персульфатом калия (Семёнов, 1977). При невозможности срочной доставки проб в лабораторию, определение азота и фосфора проводили в полевых условиях с помощью спектрофотометра DR-2800.

*Результаты исследований и их обсуждение.* В процессе многолетних наблюдений за гидрохимическим режимом оз. Арахлей были выявлены следующие особенности.

Содержание нитратов в воде озера с 1988 по 2015 год колеблется в пределах от 0 до 0.033 мг/л в прибрежье и от 0.001 до 0.036 мг/л в центре, то есть практически совпадают.

Максимальная концентрация нитритов в центре в 1989 году составляла 0.035 мг/л, затем постепенно понижалась к 1997 году до 0.001 мг/л и снова повышалась к 2010 году до 0.015 мг/л. В последние годы наблюдается постепенное понижение концентрации нитритов. Концентрации нитритов в воде прибрежной зоны практически совпадают с центром озера, но всё же несколько меньше.

Вероятно, такое колебание нитритов и нитратов объясняется тем, что период 1986-1998 годов был многоводным, а с 1999 года по настоящее время продолжается маловодный период (Итигилова и др., 2013).

Определённых закономерностей в межгодовой динамике концентрации ионов аммония не наблюдается. Однако, отмечается равномерное повышение и понижение его уровня по годам на станциях отбора. Наибольшие отличия между центром и прибрежьем отмечены в 1997 году, когда было зафиксировано максимальное его значение в прибрежье – 0.046 мг/л, тогда как в центре озера эта величина была больше в 2.2 раза. Это можно объяснить активным развитием в этот период гидробионтов.

В динамике концентрации фосфатов и общего фосфора прослеживается закономерное понижение и повышение в зависимости от периода водности. Так, до 1998 года наблюдается пониженное содержание фосфатов в воде озера Арахлей как в центре, так и в прибрежной зоне. Это объясняется большим количеством осадков в рассматриваемый период. Минимальное значение (0.007 мг/л) зарегистрировано в 1989 году в центре и 0.01 мг/л – в прибрежье. Повышение концентрации фосфатов отмечалось до 2011 года. Максимальное значение было отмечено в 2008 году в прибрежной зоне (0.083 мг/л). В центре этот показатель был вдвое меньше.

В динамике содержания общего фосфора в центре озера прослеживаются незначительные межгодовые колебания от 0.002 мг/л в 1997 году до 0.085-0.089 в 2009-2011 годах. В прибрежной зоне отмечается резкое межгодовое изменение показателей от 0.005 мг/л в 2013 году и 0.132 в 1988 году.

Таким образом, в динамике нитратов, нитритов и ионов аммония не прослеживается чёткой закономерности в изменении их концентраций по годам. Это может быть обусловлено влиянием различных факторов окружающей среды, которые необходимо рассматривать более подробно и учитывать при дальнейших исследованиях. В динамике фосфатов и общего фосфора можно отметить зависимость их концентрации от маловодных и многоводных лет. В многоводный период их концентрации уменьшались, в маловодный – увеличивались.

Количество нитритов, нитратов и аммонийных ионов, как правило, выше в центре озера, чем в прибрежной зоне. Для фосфатов и общего фосфора прослеживается обратное распределение.

Работа выполнена в рамках проекта VIII.79.1.2 «Динамика природных и природно-антропогенных систем в условиях изменения климата и антропогенной нагрузки (на примере Забайкалья)».

### **Список литературы**

*Итигилова М.Ц., Пронин Н.М., Юргенсон Г.А., Птицын А.Б., Калугин И.А., Дарьин А.В., Решетова С.А., Обязов В.А., Помазкова Н.В., Цыбекмитова Г.Ц., Михеев И.Е., Фалейчик Л.М., Замана Л.В., Субботина В.Н., Корякина Е.А., Куклин А.П., Матафонов П.В., Ташлыкова Н.А., Базарова Б.Б., Соколов А.В., Бобков А.И., Горлачева Е.П., Матюгина Е.Б., Глазырина И.П., Колесникова А.В., Брезгин В.С., Забелина И.А., Кочнева Н.С., Стрижова Т.А., 2013. Ивано-Арахлейские озёра на рубеже веков (состояние и динамика). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 336 с.*

Семенов А.Д., 1977. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 540 с.

УДК 551.464 (262.54)

**Ю.В. Косенко**

*ФГБНУ «Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства», г. Ростов-на-Дону  
e-mail: kosenko-i@yandex.ru*

### **Особенности пространственно-временной изменчивости характеристик гидрохимического режима Азовского моря в 2015 году**

**Резюме.** В работе проведено изучение особенностей пространственно-временной изменчивости характеристик кислородного режима и биогенных элементов в Азовском море в 2015 году в сравнительном аспекте с предыдущими годами исследований. Показано, что рост солености и снижение биомассы фитопланктона в Азовском море привели к снижению содержания кислорода в воде. Однако, усиление ветровой активности в летний период определяло в большинстве районов моря достаточно выраженную гомооксигению, что предотвратило возникновение длительных гипоксических явлений в придонных горизонтах. Вследствие снижения речного стока отмечено истощение запасов минеральных форм азота и кремния, особенно в Таганрогском заливе. На акватории моря отмечался низкий уровень хлорофилла а фитопланктона и, как следствие, низкая скорость продуцирования органического вещества.

Азовское море представляет собой мелководный водоем с относительно большим притоком пресных вод и отдаленной связью с Мировым океаном. По физико-географическим и гидрологическим признакам его разделяют на два района – собственно море, считающееся, по мнению некоторых исследователей, придаточным водоемом Черного моря, и Таганрогский залив, являющийся эстуарием реки Дон (Зенкевич, 1963; Студеникина и др., 1999). В работах лаборатории гидрологии «АзНИИРХ» показано, что в последние годы соленость Азовского моря постепенно увеличивалась, и к 2015 году составляла в среднем 13‰ по всей акватории. Кроме того, по сравнению с благоприятным по солености периодом (2001-2009 года), наблюдали снижение общей биомассы фитопланктона почти в 3 раза. Увеличение солености и снижение биомассы фитопланктона в Азовском море привели к снижению продуцирования и растворимости в воде кислорода, в связи с чем в 2015 году поверхностный слой был недонасыщен кислородом. Однако, в связи с активным ветровым перемешиванием водной толщи и волнением моря до 2-3 баллов в летний период, не было выявлено длительных гипоксических явлений в придонных горизонтах моря и распределение кислорода в придонном слое было достаточно равномерно.

Величина рН соответствовала слабощелочной реакции, что характерно для Азовского моря. Увеличение рН выше 8.5, при котором наблюдали чрезмерно интенсивное цветение водорослей, было выявлено летом в Таганрогском заливе.

Среди абиотических факторов, определяющих биологическую продуктивность моря, важное место принадлежит биогенным элементам – минеральным соединениям азота, фосфора и кремния, которые определяют биологическую продуктивность моря и, соответственно, кормовую базу промысловых рыб. Среднегодовое содержание минерального азота в собственно море составляло 54 мг/м<sup>3</sup>, что соответствовало среднегодовым значениям (2007-2014 года), а в Таганрогском заливе – 46 мг/м<sup>3</sup>, что оказалось ниже среднегодового уровня на 18% (p<0.05). Низкий уровень минерального азота в Таганрогском заливе обусловлен катастрофическим снижением стока р. Дон в 2015 году (13 км<sup>3</sup>). В летний период уровень минерального азота был значительно ниже среднегодовых значений, как в Азовском море, так и в Таганрогском заливе на 36% (p<0.05) и 32% (p<0.05),

соответственно. Данный факт связан с отсутствием в 2015 году гипоксических процессов в придонных горизонтах Азовского моря, вследствие этого не происходило выхода биогенных веществ из донных отложений в водную толщу. Среднегодовое содержание общего азота было снижено в собственно море и Таганрогском заливе относительно среднемноголетних значений. Поскольку в море уровень минерального азота соответствовал среднемноголетнему значению, то снижение общего азота обусловлено, прежде всего, снижением его органической компоненты. В Таганрогском заливе, наоборот, снижение уровня общего азота было обусловлено снижением минеральных форм азота.

Среднегодовое содержание минерального фосфора в 2015 году в Азовском море соответствовало среднемноголетним наблюдениям, а содержание общего фосфора было ниже среднемноголетнего в собственно море и Таганрогском заливе на 18% ( $p < 0.05$ ) и 27% ( $p < 0.05$ ), соответственно. Таким образом, в 2015 году по всей акватории Азовского моря наблюдали снижение скорости продуцирования фосфорсодержащего органического вещества. Рассматривая сезонную динамику изменения уровня минерального фосфора в сравнительном аспекте относительно среднемноголетних значений, следует обратить внимание на сниженное содержание минеральных фосфатов в летний период, вследствие отсутствия длительных гипоксических процессов в придонных горизонтах, и увеличение их уровня в осенний период, обусловленное преобладанием процессов минерализации.

Среднегодовой уровень кремнекислоты в 2015 году в собственно море и Таганрогском заливе был ниже среднемноголетнего на 31% ( $p < 0.05$ ) и 50% ( $p < 0.01$ ), что обусловлено снижением объема речного стока. Процесс потребления кремниевой кислоты в сезоны массовой вегетации диатомовых (весной и осенью) перекрывал процесс ее регенерации, что, в конечном счете, привело к истощению запаса кремния, как в море (150 и 540 мг/м<sup>3</sup>), так и в Таганрогском заливе (300 и 450 мг/м<sup>3</sup>).

Оценка первичной продукции органического вещества кислородным методом позволила сделать вывод о том, что интенсивность синтеза органического вещества фитопланктоном в собственно море в 2015 году была ниже на 50% ( $p < 0.05$ ) относительно периода 2007-2014 годов. Данный факт тесно связан со снижением общей биомассы фитопланктона и уровнем хлорофилла *a* в 2015 году относительно 2007-2014 годов. В Таганрогском заливе уровень первичного продуцирования органического вещества и хлорофилла *a* соответствовал среднемноголетним значениям.

Таким образом, рост солености и снижение биомассы фитопланктона в Азовском море приводили к снижению содержания кислорода в воде. Вследствие снижения объема стока р. Дон отмечено истощение запасов минеральных форм азота и кремния, особенно в Таганрогском заливе. На акватории собственно моря отмечался низкий уровень хлорофилла *a* фитопланктона и, как следствие, низкая скорость продуцирования органического вещества.

### **Список литературы**

*Зенкевич А.А.*, 1963. Биология морей СССР. М.: АН СССР, 1963. 415 с.

*Студеникина Е.И., Алдакимова А.Я., Губина Г.С.*, 1999. Фитопланктон Азовского моря в условиях антропогенных воздействий. Ростов-на-Дону, 1999. 175 с.

### **Определение экотонной системы побережий водохранилищ по многолетним рядам данных космической спектрональной съёмки**

**Резюме.** На основе разновременных снимков территории автоматической векторизацией классифицированного снимка получены границы вода-суша. Созданный таким образом векторный слой показал хорошую согласованность с базовыми слоями и полевыми данными географического позиционирования. Контурное дешифрирование экотонной структуры прибрежной зоны (экотон «вода-суша») крупных равнинных водохранилищ требует использования спутниковых данных достаточно высокого разрешения (Landsat – 15-60 м/пиксель). Для анализа структуры и динамики береговых экотонов продуктивно использование среднемасштабной космосъёмки, которая позволяет получать снимки в режиме «почти реального времени» (MODIS Aqua/Terra) при разрешении до 250-1000 м/пиксель. Динамика ландшафтов хорошо прослеживается на таких снимках после предварительной обработки и соответствует данным полевых исследований.

Определение зоны влияния гидросооружения на животный и растительный мир побережий и затопленных речных долин, примыкающих к основной акватории водохранилища – актуальный и одновременно слабо разработанный вопрос проблемы воздействия водохранилищ на окружающую среду. Затопление значительных территорий (особенно для равнинных водохранилищ), приводящее к изъятию из землепользования значительных площадей наиболее плодородной части суши (сельскохозяйственный аспект проблемы), вытеснению сухопутных животных из прежних мест обитания и перестройке растительных сообществ – это лишь малая часть возникающих перестроек в экосистеме и социальной инфраструктуре (Авакян и др., 1987).

В зоне взаимодействия водохранилища с наземными экосистемами формируются пограничные, экотонные территории, которые функционируют в условиях повышенной динамичности факторов среды. Для экотонных территорий характерна повышенная биопродуктивность, экотоны играют роль буфера, их мембранная функция обеспечивает регулирование процессов обмена веществом и энергией между граничными экосистемами воды и суши, фильтрацию потоков веществ. По этой причине экотоны оказываются наиболее отзывчивыми на любое вмешательство в сложившуюся экосистему и вместе с тем наиболее «ранимыми» территориями, что необходимо учитывать при организации управления и развития прибрежных территорий. Типологизация участков всей мозаики территорий побережья позволяет экстраполировать полученные данные точечных измерений физических параметров на однотипные участки территории, а также является основой для рекомендаций по выбору мест проведения таких измерений.

Основные материалы для построения географической информационной системы (ГИС) экотона «вода-суша», наполнения соответствующей базы данных (БД), опираются на данные спутникового дистанционного зондирования Земли – ДДЗ (космоснимки), картографические данные и контактные методы: материалы полевых экологических исследований на ключевых участках, причём последние имеют решающее значение. Минимальный набор данных для экотонного зонирования побережий: 1) космоснимки (на определённые даты) и за ряд лет; 2) уровни водохранилища; 3) данные топо-экологического профилирования: урез воды, рельеф, фитоценозы по профилю с географической привязкой (Кутузов и др., 2013).

Экстремальные многолетние уровни для Рыбинского водохранилища: март 1955 года – 97.30 м и май 1966 года – 102.22 м (здесь и далее абсолютные значения по балтийской системе БС). Экстремальный подъем уровня Цимлянского водохранилища до 36.01 м отмечался в мае 1994 года, а снижение – в феврале-марте 2015 года (31.65 м). На основании графика изменения

уровня водохранилища определяются основные блоки экотонной системы: флуктуационный, динамический, дистантный и маргинальный. Так, к флуктуационному блоку здесь был отнесён участок суши, располагающийся между высотными отметками 32.6 и 34.2 м, дистантный – 36 м, маргинальный – 39 м (Балюк и др., 2007).

На выбранных ключевых участках, для Рыбинского и Цимлянского водохранилищ, определена переходная зона экотонной системы «вода-суша». По данным разновременных снимков территории, автоматической векторизацией классифицированного снимка, получены границы «вода-суша». Полученный векторный слой показал хорошую согласованность с базовыми слоями и полевыми данными, с географической привязкой (GLONASS / GPS). Важный критерий для отбора и последующей обработки космоснимка – облачность над территорией на выбранный период. Для степной зоны в период вегетации облачность редко оказывается помехой. На снимках низкого разрешения (MODIS) хорошо заметна динамика уреза вод для уровней высокой и низкой воды: значительное изменение площади активной вегетации, по результатам вычисления вегетационных индексов (Evrendilek et al., 2008). В сезон высокой воды в мае мелководья залиты водой, позднее они частично или полностью обсыхают. Снимок в осенний период покажет обсыхание в «почти реальном времени» (near real-time). Преимущество использования снимков MODIS в частоте их повторности и в их доступности.

На основе спутниковых данных более высокого разрешения (Landsat 4-8) определены границы блоков экотонной системы «вода-суша» и проведена обработка снимков (MODIS) для экстремумов уровня стояния вод за вегетационный период, что позволило проследить динамику заливания пойменной территории, то есть обеспечить объективную основу для проведения границ между динамическим и флуктуационным блоками.

При первичной оценке структуры экотона по данным ДЗЗ удовлетворительные результаты даёт анализ спутникового снимка в спектре максимального поглощения воды (5 канал для Landsat) без использования вегетационных индексов. В формировании блоков экотона ведущим фактором является уровенный режим водохранилища. Было показано принципиальное соответствие каждого из блоков экотона частоте и продолжительности заливания побережья, отмечено влияние экстремальных значений уровня водохранилища на рельеф профиля, формирование поясов растительности и уровень стояния грунтовых вод (Кутузов и др., 2013).

### **Список литературы**

- Авакян А.Б., Салтанкин В.В., Шаранов В.А., 1987. Водохранилища. М.: Мысль, 1987. 365 с.*
- Балюк Т.В., Кутузов А.В., Назаренко О.Г., 2007. Экотонная система юго-восточного побережья Цимлянского водохранилища // Водные ресурсы. Т. 34. № 1. С. 104–112.*
- Кутузов А.В., Транквилевский Д.В., Царенко В.А., Жуков В.И., 2013. Возможности использования данных дистанционного зондирования при геоэкологическом исследовании водных антропогенных комплексов и их побережий при обеспечении контроля за природно-очаговыми паразитарными инфекциями // Дезинфекционное дело. №1 С. 37–41.*
- Evrendilek F., Gulbeyaz O., 2008. Deriving Vegetation Dynamics of Natural Terrestrial Ecosystems from MODIS NDVI/EVI // Data over Turkey Sensors. V. 8 (9). P. 5270–5302. doi:10.3390/s8095270.*

### Сезонная изменчивость гидрохимических параметров прибрежной зоны южного и среднего колен Кольского залива Баренцева моря

**Резюме.** В статье представлены результаты исследований пространственно-временной динамики гидролого-гидрохимического режима западного побережья южного и среднего колен Кольского залива Баренцева моря, проведенных в период с октября 2012 года по октябрь 2013 года. Определены температура, соленость и рН воды, концентрации растворенного кислорода и БПК<sub>5</sub>, содержание в воде трех станций аммонийного азота, нитритов, нитратов, фосфатов и насыщение воды кислородом. Выявлены особенности изменчивости показателей в зависимости от сезона года и других факторов.

Рыбохозяйственный водоем высшей категории Кольский залив Баренцева моря, особенно его южная часть, испытывает значительную антропогенную нагрузку от хозяйственной деятельности предприятий и населенных пунктов, расположенных на его берегах, и по результатам гидрохимических наблюдений Мурманского УГМС (Доклад..., 2014) характеризуется высоким уровнем загрязнения.

Для исследования качества прибрежной воды Кольского залива были выбраны три станции, расположенные на западном берегу его южного и среднего колен. Существенное влияние на качество вод станций южного колена (ст. 1 и 2) оказывают стоки рек Кола и Тулома, сброс сточных вод от населенных пунктов, Мурманского морского порта и флота. Станция 3 в среднем колене залива удалена от густонаселенных пунктов, но неподалеку от точки отбора проводятся работы с нефтепродуктами. Гидролого-гидрохимические исследования проводили в период с октября 2012 по октябрь 2013 годов. Отбор проб воды для гидрохимического анализа проводили в емкости объемом 1 л, для определения концентрации растворенного в воде кислорода – в кислородные склянки объемом 125 мл, во время отлива у уреза воды. Исследования включали определение температуры, солености и рН воды, концентрации растворенного кислорода и БПК<sub>5</sub>, содержания в водах аммонийного азота, нитритов, нитратов, фосфатов, а также расчет насыщения воды кислородом. Все анализы проводили по стандартным методикам (РД 52.10.243-92, РД 52.24.420-2006).

Минимальные значения температуры воды на станциях были отмечены в зимний период ( $-2 \div +0.5^\circ\text{C}$ ), максимальные – в летний ( $+10 \div +16.5^\circ\text{C}$ ). В летний и осенний сезоны 2013 года температура воды станций была выше среднемноголетних значений на  $5-7^\circ\text{C}$  (Матишов, 1997). Наименьшая соленость воды была характерна для станции 1 в куте залива ( $2 \pm 1 \div 16 \pm 2\text{‰}$ ), район станции 2 южного колена залива относится к зоне солоноватых вод ( $15 \pm 1 \div 29 \pm 2\text{‰}$ ), а район станции 3 – к зоне распресненных морских вод ( $17 \pm 1 \div 34\text{‰}$ ). Значения рН воды исследуемых станций соответствовали природным показателям рН  $6.5 \div 8.5$  (Приказ ФАР..., 2010) с тенденцией к увеличению по направлению с юга на север.

Годовая динамика концентраций растворенного кислорода в период исследований была сходной на всех станциях с максимальными значениями в зимний период (на ст. 1 –  $13.98 \pm 0.9$  мг/л; на ст. 2 –  $14.18 \pm 0.70$  мг/л; на ст. 3 –  $16.08 \pm 1.40$  мг/л), в то время как минимумы были характерны для осени (на ст. 1 –  $7.12 \pm 0.60$  мг/л; на ст. 2 –  $7.12 \pm 1.10$ ; на ст. 3 –  $7.02 \pm 0.70$  мг/л). Концентрация растворенного кислорода в водах станций в течение года была в пределах установленных норм (Приказ ФАР..., 2010), насыщение воды кислородом было в среднем выше 60% (ст. 1 – 65%; ст. 2 – 72%; ст. 3 – 93%), что указывает на хорошую аэрацию прибрежных вод залива. Диапазон значений БПК<sub>5</sub> в водах станций находился в интервале от  $1.1 \pm 0.2$  мг/л до  $6.9 \pm 0.1$  мг/л. За весь период исследований БПК<sub>5</sub> в водах станции 3 не превышало рыбохозяйственных нормативов. Данный показатель превысил ПДК в период ранней весны – начала лета в 1.1-1.2 раза на станции 2 и в 2-3.5 раза на станции 1.



Значения концентраций аммонийного азота колебались в интервале среднегодовых величин от  $317.54 \pm 22.8$  мкг/л на станции 1 до  $24.70 \pm 2.3$  мкг/л на станции 3. В сезонной динамике содержания аммоний-иона в воде станций отмечен рост значений в весенний и летний периоды, и уменьшение ранней весной и зимой, что отражает сезонное развитие фитоценоза залива (Матишов, 1997; Витченко, 2005; Олейник, 2011). Высокое, по сравнению со станцией 3, содержание аммоний-ионов в водах станций 1 и 2 может свидетельствовать об антропогенном загрязнении акватории южного колена залива. Максимальная концентрация нитритов отмечена в весенне-летний период на станциях в южном колене ( $4.70 \pm 0.21$  мкг/л на станции 1 и  $5.23 \pm 0.29$  мкг/л на станции 2, что, по-видимому, также свидетельствует о загрязнении акватории сточными водами. Наибольшие среднегодовые значения нитратов и фосфатов были отмечены на станции 1 ( $61.53 \pm 2.07$  и  $65.21 \pm 1.32$  мкг/л), а наименьшие – на станции 3 ( $25.97 \pm 1.63$  и  $12.12 \pm 0.95$  мкг/л, соответственно). Наибольшие значения фосфатов и нитратов были выявлены в водах станции 1, а наименьшие – в водах более мористой станции 3. В течение года содержание фосфатов в водах всех станций не претерпевало значительных колебаний, так как оно компенсируется поступлением с речным стоком (Матишов, 1997). Для сезонной динамики нитратов для станций 1 и 2 показательны максимумы в летний период. Значения концентраций фосфатов и нитратов и их годовая динамика соответствовали ранее установленным для данной акватории (Матишов, 1997; Овчинникова и др., 2012).

Таким образом, выявленные различия гидролого-гидрохимических параметров вод станций подтверждают разную степень влияния природных и антропогенных факторов на исследованные районы. Воды наиболее опресненной станции 1 характеризуются высоким содержанием биогенных и легкоокисляемых органических веществ, а мористой станции 3 – самыми низкими концентрациями биогенных элементов и наиболее высоким насыщением воды кислородом. По сравнению со станциями 1 и 2 годовой ход концентраций учетных элементов на станции 3 наиболее соответствовал природному уровню. По полученным гидрохимическим данным качество воды западного побережья южного колена (станции 1 и 2) соответствует  $\beta$ -мезосапробной (воды умеренно загрязненные), а среднего колена (станция 3) – олигосапробной ступени загрязненности (воды чистые).

### Список литературы

*Витченко Т.В.*, 2005. Структурно-продукционные характеристики микрофитобентоса литоральной зоны Восточного Мурмана. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. М.: ВНИРО, 2005. 25 с.

Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2013 году, 2014. Нижний Новгород: ИП Кузнецов Никита Владимирович. 152 с.

*Матишов Г.Г. (ред.)*, 1997. Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 256 с.

*Овчинникова С.И., Широкая Т.А., Папкина О.И.*, 2012. Основные тенденции изменения гидрохимических показателей водной экосистемы Кольского залива (2000-2011) // Вестник МГТУ. Т.15. № 3. С. 544–550.

*Олейник А.А.*, 2011. Фитопланктон Кольского залива. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2011. 23 с.

Приказ ФАР от 18 января 2010 года № 20. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно-допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения.

РД 52.10.243-92. Руководство по химическому анализу морских вод.

РД 52.24.420-2006. Биохимическое потребление кислорода в водах. Методика выполнения измерений скляночным методом.

### Гидролого-гидрохимическое состояние оз. Цаган-Нур, Республика Калмыкия

**Резюме.** В статье дана характеристика гидрологического и гидрохимического режима оз. Цаган-Нур в многоводные и маловодные периоды. В настоящее время из-за недостаточного водообеспечения промысловый водоем утратил свое рыбохозяйственное значение.

Цаган-Нур в переводе с калмыцкого означает «Белое озеро». Оно входит в систему озёр Сарпинской низменности и является самым южным и наиболее крупным водоёмом этой группы. Его ложе вытянуто с северо-запада на юго-восток почти на 42-46 км при ширине от 0.9 до 1.5 км, в зависимости от водности года. До 40-50-х годов XX века Сарпинские озёра являлись конечным приёмником паводковых вод небольших рек, стекающих с восточного склона Ергеней, но в последние десятилетия этот сток практически прекратился, т.к. все реки зарегулированы плотинами. Это привело к исчезновению некоторых из них, и ухудшению гидрологического режима остальных водоемов. Не имея постоянных источников водоснабжения, оз. Цаган-Нур было подвержено значительным колебаниям площади, глубин и минерализации. Последнее, особенно сильное, сокращение площади наблюдалось в 1974-1975 годах, а в отдельные годы (1934, 1938) озеро пересыхало (Позняк, 1987). Чтобы стабилизировать уровень водоема, в середине 70-х годов построили плотину, снабжённую донным водоспуском, отчленившую южную мелководную часть озера. В последующие годы ситуация здесь изменилась, в озеро начала поступать волжская вода по ирригационным каналам Сарпинской ООС: Р-1, Р-2, ВР-1. Увеличилось водоснабжение озера, следовательно, улучшилось состояние среды обитания гидробионтов, и повысилась биологическая продуктивность водоёма. С 1990 года на озере регулярно велся промысел закидными неводами и ставными сетями. За последние десять лет объем вылова рыбы составлял 18.2-46.4 т. Промысел базировался на вылове 6 видов рыб: сазан, лещ, карась серебряный, красноперка, окунь и густера. Доминирующим видом являлся карась, составляя 79-86% от общего улова (Петрушкиева, Бугаков, 2014).

Площадь озера изменялась в зависимости от водности года. В многоводные годы его площадь достигала 4.5-4.8 тыс. га при средних глубинах 3.5-4.0 м. В маловодные годы площадь значительно сокращалась до 2800 га за счёт обсыхания мелководной части. При этом глубины снижались до 0.8-1.5 м. Водоем неблагоприятен по водоснабжению из-за аварийного состояния гидротехнического сооружения, разрушение которого произошло в 2002 году. Следует отметить, что к этому времени орошаемые участки на берегу озера были заброшены, и водоем для этих целей потерял свою значимость. Кроме этого значительно уменьшились попуски воды из рисовых систем, которые не компенсировали потери воды через разрушенное гидротехническое сооружение. Большая часть воды, ранее поступающая в озеро, стала использоваться на обводнение сенокосных угодий. Недостаточное поступление воды последние пять лет привело к уменьшению глубин и ухудшению среды обитания, особенно осенью 2015 года. Это негативно сказалось на состоянии промысловой ихтиофауны. Площадь озера сократилась до 415 га. Уровень воды составил от 5 до 50 см, толщина иловых отложений от 10 до 70 см на разных участках озера.

Гидрохимический режим определяется качеством воды источника водоснабжения, периодичностью её поступления, подстилающими грунтами и зарастаемостью высшей водной растительностью. Гидрохимические показатели отличаются межгодовой изменчивостью, определяемой в основном водообеспечением. Вода, поступающая в озеро, слабоминерализована (1.2-1.7 г/л). В годы с благоприятным гидрологическим режимом минерализация воды в озере весной и осенью составляла 2.6-3.9 г/л, а в летний период – 5.0-6.3 г/л. Перманганатная окисляемость – показатель содержания органического вещества

весной не превышала 6.0 мгО/л. Осенью она была выше и составляла 8.8-12.0 мгО/л. Максимальных значений этот показатель достигал в летний период 15.1-23.0 мгО/л. Содержание кислорода в основном было на уровне 10.2 мгО/л. Гидрохимические показатели воды оз. Цаган-Нур находились в пределах норм, допустимых для жизнеобитания гидробионтов (Петрушкиева и др., 2005). Последние пять лет вода оз. Цаган-Нур характеризуется повышенными показателями общей минерализации и перманганатной окисляемости, особенно в 2015 году, когда подача воды была практически прекращена. Объем поступающей воды не компенсировал потери на испарение и фильтрацию. В таких условиях, с повышением температуры воды и воздуха, происходит ускорение процессов окисления органических веществ, которое приводит к ухудшению гидрохимического состояния водоёма, особенно в летний и осенний периоды (Петрушкиева, Канаев, 2008). Основным поставщиком органического вещества являлись преобладающие в фитопланктоне представители сине-зеленых водорослей, обусловившие эвтрофирование озера (Петрушкиева, 2001). С 2011 по 2014 год минерализация воды колебалась от 5.9 до 20.3 г/л на разных участках водоема, в зависимости от удаленности источника водоснабжения. Перманганатная окисляемость в рассматриваемые годы находилась в следующих пределах: весной – 25.3-40.4 мгО/л, летом – 26.4-64.8 мгО/л, осенью – 18.6-68.4 мгО/л. Осенью 2015 года вода оз. Цаган-Нур имела очень высокие показатели общей минерализации и перманганатной окисляемости, в 2-3 раза превышающие нормативные. В этот период в отдаленной от водоподачи части озера перманганатная окисляемость достигла 94.9 мгО/л, а общая минерализация повысилась до 51.3 г/л. В центральной части озера весной минерализация составила 15.0-21.7 г/л, летом – 27.9-30.4 г/л, осенью – 35.2-37.4 г/л. Перманганатная окисляемость имела следующие значения: весной – 47.0-58.1 мгО/л, летом – 66.4-69.2 мгО/л, осенью – 66.4-72.1 мгО/л. При таких гидрохимических показателях среда обитания непригодна для промысловых видов рыб. Следует отметить, что из-за ухудшения качества воды рыба подвергается различным заболеваниям. Так, например, из-за увеличения минерализации выше 14 г/л (в верхней части она достигала даже 23.2 г/л) в 1999-2000 годах рыба покрывалась язвами (краснухоподобная болезнь). В настоящее время из-за ухудшения гидрологического и гидрохимического режима водоем утратил свое рыбохозяйственное значение.

### **Список литературы**

*Петрушкиева Д.С.*, 2001. Фитопланктон озера Цаган-Нур // Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистем южных регионов России и сопредельных территорий: Материалы XIV межреспубликанской научно-практической конференции. Краснодар: Изд-во Кубанского университета, 2001. С. 61–62.

*Петрушкиева Д.С., Водолазкина Г.Н., Гавганова В.Г.*, 2005. Оценка запасов и прогноз вылова промысловых видов рыб в оз. Цаган-Нур и Состинских озёрах Республики Калмыкия на 2006 г. // Рыбохозяйственные исследования на Каспии: Результаты НИР за 2004 год. Астрахань: Изд-во КаспНИРХа, 2005. С. 445–456.

*Петрушкиева Д.С., Канаев Н.Н.*, 2008. Состояние среды обитания рыб во внутренних рыбопромысловых водоёмах Республики Калмыкия // Водные ресурсы и водопользование в бассейнах рек западного Каспия: перспективы использования, решение проблемы дефицита, мониторинг, предотвращение негативного воздействия: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции (Элиста, 21-22 марта 2008 г.). Элиста: Изд-во КалмГУ, 2008. С. 241–247.

*Петрушкиева Д.С., Бугаков А.А.*, 2014. Современное состояние ихтиофауны во внутренних промысловых водоемах Республики Калмыкия // Современное состояние биоресурсов внутренних вод. Т. 2. М.: Изд-во «Полиграф-Плюс», 2014. С. 443–450.

*Позняк В.Г.*, 1987. Животный мир Калмыкии. «Рыбы». Элиста: Калмыцкое книжное издательство, 1987. 110 с.

**Оценка сезонной динамики фосфатов в Азовском море в период 2010-2015 годов**

**Резюме.** В работе проведена оценка сезонной динамики минерального фосфора в Азовском море в период с 2010 по 2015 год. Показано, что уменьшение объема речного стока р. Дон в весенний период приводит к снижению содержания фосфатов, как в Таганрогском заливе, так и в море. Летом процесс потребления фосфатов фитопланктоном затушевывается возрастанием концентрации фосфатов в результате пополнения его запаса при переходе из донных отложений в водную толщу при анаэробных условиях. В осенний период в отдельные годы активная вегетация диатомовых водорослей приводит к снижению содержания фосфатов до 5 мг/м<sup>3</sup>. Однако, в целом осенний период характеризуется увеличением уровня фосфатов относительно летнего периода, вследствие усиления процессов деструкции органического фосфорсодержащего вещества. Установлено, что в условиях сниженного речного стока главным фактором, регулирующим уровень минерального фосфора в Азовском море, являются внутриводоемные процессы, максимально выраженные в летний период.

Минеральный фосфор встречается во всех живых организмах, он регулирует энергетические процессы клеточного обмена. При его отсутствии в водных объектах рост и развитие водной растительности прекращается. Однако, избыток фосфатов приводит к негативным последствиям, вызывая процессы эвтрофирования водного объекта и ухудшения качества воды (Алекин, 1966). Пространственное распределение и сезонная динамика фосфорсодержащих соединений в Таганрогском заливе и в собственно Азовском море формируется под воздействием речного стока, продукционных процессов и процессов седиментации. Потребление минеральных форм фосфора обеспечивается процессами жизнедеятельности фитопланктона. В течение вегетационного периода процесс потребления фосфатов фитопланктоном может снижать его содержание до минимальных значений – менее 5 мг/м<sup>3</sup> (Александрова и др., 2006).

В связи с вышесказанным, целью нашего исследования явилось изучение сезонной динамики минеральных фосфатов за период 2010-2015 годов.

В Таганрогском заливе наиболее отчетливо прослеживается влияние речного стока р. Дон: объем в период 2010-2015 гг. составил 15 км<sup>3</sup>, что оказалось ниже среднееголетнего уровня (с 1952 по 2009 года) на 30%. Весной, когда поступление речных вод максимально, содержание минерального фосфора за исследуемый период было низким как в Таганрогском заливе, так и в собственно море (8.3 мг/м<sup>3</sup> и 8.4 мг/м<sup>3</sup>, соответственно). Низкие концентрации фосфатов свидетельствуют об истощении минерального фосфора и делают его лимитирующим биогенным элементом. Однако в отдельных зонах речного стока наблюдалось повышенное содержание фосфатов от 11 мг/м<sup>3</sup> до 27 мг/м<sup>3</sup> в Таганрогском заливе (2013 и 2015 года) и от 12.6 мг/м<sup>3</sup> до 18.8 мг/м<sup>3</sup> в собственно море (2013 и 2014 года).

В летний период наиболее отчетливо проявляется зависимость содержания фосфатов от восстановительных процессов в воде, при которых наблюдается переход фосфатов из верхнего слоя донных отложений в воду при дефиците кислорода. Согласно данным литературы также показано, что скорость потока фосфатов из придонного слоя в водную толщу в собственно море значительно выше, чем в Таганрогском заливе, что связано с глубиной заморных явлений (Книпович, 1932; Дацко, 1951; Федосов, 1955). В нашем исследовании показано, что при среднем насыщении воды кислородом в придонном слое 68-79% в Таганрогском заливе и 55-70% в собственно море содержание фосфатов возрастало до 24-54 мг/м<sup>3</sup> и 33-61 мг/м<sup>3</sup>, соответственно.

В осенний период при интенсивном фотосинтезе диатомовых водорослей содержание фосфатов регулируется процессом их потребления, благодаря чему в отдельные годы среднее

содержание фосфатов снижается в Таганрогском заливе до 5 мг/м<sup>3</sup> (2011 год) и в собственно море до 5-8 мг/м<sup>3</sup> (2013-2015 года). Однако, в том случае, когда процессы регенерации органического фосфора преобладали над процессами их потребления фитопланктоном, средние концентрации фосфатов возрастали в Таганрогском заливе до 17-20 мг/м<sup>3</sup> (2010 и 2015 года) и в собственно море до 11.5-17 мг/м<sup>3</sup> (2010 и 2012 года).

Обобщая результаты наблюдений за период 2010-2015 годов приходим к выводу, что весной при среднем стоке 15 км<sup>3</sup> содержание фосфатов однородно, как в Таганрогском заливе, так и в собственно море (8.3-8.4 мг/м<sup>3</sup>). Летом процесс потребления фосфатов фитопланктоном, снижающим их содержание, затушевывается возрастанием концентрации фосфатов в результате пополнения его запаса при переходе из донных отложений в водную толщу при анаэробных условиях. В осенний период в отдельные годы активная вегетация диатомовых водорослей приводила к снижению содержания фосфатов до 5 мг/м<sup>3</sup>. Однако, в целом, осенний период характеризовался увеличением уровня фосфатов, относительно летнего периода, вследствие усиления процессов деструкции органического фосфорсодержащего вещества. Таким образом, основным поставщиком минерального фосфора в Азовском море в условиях сниженного речного стока являются внутриводоемные процессы, максимально развивающиеся в летний период.

### **Список литературы**

*Александрова З.В., Баскакова Т.Е., Картамышева Т.Б., 2006. Оценка состояния экосистемы Азовского моря по химическим показателям в 2004-2005 гг // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна: Сборник научных трудов (2004-2005 гг.). Ростов-на-Дону: «Медиа-пресс», 2006. С. 18–30.*

*Алекин О.А., 1966. Основы гидрохимии. Л.: «Госметеиздат», 1966. 247 с.*

*Дацко В.Г., 1951 О причинах заморов рыб в Азовском море // Труды АзчерНИИРО, 1951. Вып. 15. С. 191–199.*

*Книпович Н.М., 1932. Гидрологические исследования в Азовском море // Труды Азово-Черноморской научно-промысловой экспедиции, 1932. Вып. 5. М.: Шестой Октябрь, 1932. 496 с.*

*Федосов М.В., 1955 Причины возникновения дефицита кислорода в Азовском море // Труды ВНИРО. Т. 31. Вып. 1. С. 80–95.*

## Секция 2. Структура и функционирование водных экосистем (круговорот веществ, потоки энергии, продуктивность экосистем)

УДК 574.55/574.36

**А.И. Бажора**

*ФГБУН «Институт озераедения РАН», г. Санкт-Петербург  
e-mail: bazhora\_spb@mail.ru*

### **Функциональные характеристики макрозообентоса городских водоемов Санкт-Петербурга**

**Резюме.** На основе анализа данных, полученных путем исследования макрозообентоса трех озерно-речных систем Санкт-Петербурга в 2013-2014 годах, были выявлены различия в реакции бентосных сообществ на загрязнение водоемов в условиях действия разных природных факторов.

Зообентос часто используется для индикации состояния водных экосистем, что объясняется большей консервативностью его структуры и значимой реакцией только на сильные или длительные воздействия. Способность бентосных беспозвоночных закрепляться и противостоять течению позволяет характеризовать условия среды в конкретных участках рек по составу и структуре сообществ. Общие тенденции изменения условий в реках от истока к устью достаточно четко проявляются как в структуре, так и в функциональных показателях зообентоса. Эта схема нарушается при наличии участков с замедленным течением, или, если рассматривать как единые водные структуры озерно-речные системы. Отклонение величин функциональных характеристик зообентоса от истока к устью в реках и озерно-речных системах могут вызывать также различные антропогенные факторы.

Целью нашей работы было выявление особенностей реакции сообщества зообентоса на функциональном уровне в зависимости от природных и антропогенных факторов.

Сбор материала проводился на трех озерно-речных системах г. Санкт-Петербурга весной, летом и осенью 2013-2014 годов: системе р. Охты, р. Дудергофки и оз. Н. Суздальского. Пробы зообентоса отбирались на фиксированных станциях основных биотопов озер в центральной и литоральной зоне и на полуразрезах водотоков. Использовались стандартные методы сбора и обработки зообентоса, продукционные показатели определялись физиологическим методом (Методические рекомендации..., 1983). Изменение структурных показателей зообентоса в основном уже было рассмотрено в предыдущей работе, где приведено и подробное описание водных объектов (Беляков и др., 2015). Для оценки степени антропогенной нагрузки и природных особенностей рассмотренных озерно-речных систем были использованы гидрохимические данные Н.В. Игнатъевой (Игнатъева, 2014).

Основными факторами, которые действуют на функциональные показатели и трофическую структуру макрозообентоса, являются: гидрологические характеристики (проточность), температурный режим, химический состав воды (минерализация, рН и цветность), характеристики донного грунта, наличие водной растительности, уровень трофности водоема. Дополнительным фактором является антропогенное воздействие на водоемы, которое выражается в повышенном содержании органических веществ (ХПК), высоких концентрациях тяжелых металлов и нефтепродуктов.

В связи со всеми обозначенными выше факторами отмечается различие в функционировании зообентоса в озерно-речных системах. В центральных зонах озер всех трех озерно-речных систем наблюдаются пониженные продукционно-деструкционные характеристики, что объясняется осадением и накоплением токсикантов и органических веществ, а также ухудшением газового режима, что негативно влияет на функционирование бентоса. Например, в Охтинской системе до водохранилища суточная продукция летом 2014 года достигает 333 кал/м<sup>2</sup>, в центральной зоне водохранилища она равна всего лишь 43.9 кал/м<sup>2</sup>.

Также замечено существенное снижение деструкционной активности зообентоса от верховья к устью рек, в связи с усилением комплексного загрязнения речных вод от истока к устью. Это указывает на общую тенденцию снижения процессов естественного самоочищения данных водных экосистем в целом.

Максимальные значения общей биомассы зообентоса отмечаются на станциях, расположенных в истоках рек из водоемов (р. Каменки из оз. Н. Суздальского, р. Охты из Охтинского водохранилища), что связано с поступлением большого количества автохтонной органики в реки из водоемов. Так, в истоке р. Каменки общая биомасса бентоса осенью 2013 года достигала 277 г/м<sup>2</sup>, а летом 2014 года – 125 г/м<sup>2</sup>.

Наибольшая часть продукции создавалась сообществом в весеннее-летний период, а осенью интенсивность продуцирования значительно снижалась. Наибольший вклад в суточную продукцию вносили группы детритофагов глотателей (олигохеты) и собирателей детритофагов (в основном личинки хирономид), а в деструкции органических веществ, кроме них, заметную роль играли также перифитонофаги-соскребатели.

Для Охтинской системы отмечена наибольшая деградация зообентоса и, кроме этого в ней, в отличие от двух остальных изученных нами озерно-речных систем, в течение двух лет наблюдений прослеживалась сходная сезонная динамика функциональных показателей зообентоса, что говорит об определяющем и преобладающем, по сравнению с природными факторами, антропогенном влиянии на донное сообщество.

Наиболее важными факторами, влияющими на функциональные показатели сообщества зообентоса, являлись проточность и химический состав воды, а также антропогенное воздействие. Расхождение наблюдаемых функциональных характеристик с ожидаемыми значениями указывает на наличие сильных токсичных загрязнений в среде.

### **Список литературы**

*Беляков В.П., Бажора А.И., Сотников И.В., 2015. Мониторинг экологического состояния водоемов Санкт-Петербурга по показателям зообентоса // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 17. № 6. С. 51–56.*

*Игнатьева Н.В., 2014. Гидрохимическая характеристика трех озерно-речных систем Санкт-Петербурга и Ленинградской области // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана: Материалы лекций II-й Всероссийской школы-конференции. Ярославль, 2014. С. 165–168.*

*Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах: Зообентос и его продукция. Л.: ГосНИОРХ, ЗИН РАН СССР, 1983. 52 с.*

УДК 581.526.325:581.132(262.5)

**И.В. Ковалёва**

*ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь  
e-mail: ila.82@mail.ru*

### **Изменение максимальной скорости фотосинтеза в Черном море**

**Резюме.** По экспедиционным данным, полученным для Черного моря, установлена количественная связь между максимальной скоростью фотосинтеза нормированной на концентрацию хлорофилла и температурой воды в поверхностном слое. Уравнение с высокой достоверностью описывает изменение максимальной скорости фотосинтеза в Черном море в различные сезоны года. Данная зависимость проста и удобна и может использоваться при расчете интегральной продуктивности фитопланктона в эвфотическом слое, как по спутниковым наблюдениям, так как и экспедиционным данным.

Первичная продукция фитопланктона, в зависимости от способа расчета, определяется фотосинтетическими (максимальная скорость фотосинтеза, эффективность фотосинтеза, величина светового насыщения) параметрами, концентрации хлорофилла и условий среды. В данной работе особое внимание уделяется максимальной скорости фотосинтеза фитопланктона, так как ее вклад в изменение величины первичной продукции один из наиболее существенных. В ряде исследований (Behrenfeld, Falkowski, 1997; Rodhe et al., 1958; Vollenweider, 1970) было показано, что параметры фотосинтез-свет не будут эквивалентны в случаях, если данные получены в длительных опытах в условиях переменного солнечного освещения и в короткопериодных экспозициях при постоянном освещении. Величина максимальной скорости фотосинтеза внутри водного столба при переменном и постоянном световом режиме может различаться в несколько раз. Эти различия часто возникают из-за разного действия интенсивности и дозы облучения на скорость фотосинтеза. Динамика фотосинтеза в течение суток или дня интегрируется в единственное значение, которое является оптимумом за весь наблюдаемый период. Поэтому в зависимости от типа модели для расчета интегральной первичной продукции используются разные обозначения для максимальной скорости фотосинтеза – при постоянном освещении  $P^B_m$  и при переменном освещении –  $P^B_{opt}$  (Behrenfeld, Falkowski, 1997).

В наших исследованиях была получена эмпирическая зависимость для величины максимальной часовой скорости фотосинтеза  $P^B_{opt}$  для Черного моря. По результатам экспедиционных исследований, проведенных в 1988-1989 годах (Ведерников, 1989), были рассчитаны средние значения  $P^B_{opt}$  для температур с интервалом один градус от 5 до 26°C. По полученным данным рассчитано общее уравнение, связывающее  $P^B_{opt}$  с температурой ( $T$ ):

$$P^B_{opt} = a \cdot \exp(b \cdot T),$$

где  $a = 1.4 \pm 0.2$ ,  $b = 0.06 \pm 0.01$  – безразмерные коэффициенты,  $r^2 = 0.77$ ,  $p < 0.0001$ ,  $n = 20$ .

Таким образом, представленное уравнение, получено впервые для Черного моря, и позволяет определять максимальную скорость фотосинтеза, имея лишь данные температуры воды, что особенно удобно при использовании данных спутниковых наблюдений.

### Список литературы

Ведерников В.И., 1989. Первичная продукция и хлорофилл в Черном море в летне-осенний период // Структура и продукционные характеристики планктонных сообществ Черного моря. М.: Наука. 1989. С. 65–83.

Behrenfeld M., Falkowski P., 1997. A consumer's guide to phytoplankton primary productivity models // Limnology and Oceanography. V. 42. № 7. P. 1479–1491.

Rodhe W., Vollenweider R.A., Nauwerk A., 1958. The primary production and standing crop of phytoplankton. // Perspectives in Marine Biology. University of California Press, 1958. P. 299–322.

Vollenweider R.A., 1970. Models for calculating integral photosynthesis and some implications regarding structural properties of the community metabolism of aquatic systems. // In prediction and measurement of photosynthetic productivity. Proc. IBP/PP Tech. Meeting Trebon (Czechoslovakia). Centre Arg. Publ. Doc., Wageningen: 1970. P. 455–472.



### Доля жизнеспособного мезозoopланктона шельфовой зоны Крыма (Crustacea: Copepoda) в зимний период 2016 года

**Резюме.** Представлены результаты количественного анализа жизнеспособного мезозoopланктона (Crustacea: Copepoda) шельфовой зоны Крыма в зимний период 2016 года. Впервые в экспедиционных условиях использован новый запатентованный метод окраски и анализа материала, позволяющий повысить достоверность получаемых результатов.

В полной мере оценить функциональное состояние планктонного сообщества, его реакцию на антропогенное воздействие, продукционно-редукционные процессы, протекающие в морских биоценозах, можно при наличии достоверных данных о соотношении живых и мёртвых организмов. Прямой счёт количества живых особей в случайной выборке позволяет получить представление о вкладе жизнеспособной фракции в общую численность мезозoopланктона.

Тем не менее, степень изученности этой проблемы очень низка, а имеющиеся литературные данные немногочисленны. В Чёрном море масштабные наблюдения закономерностей развития и распределения зоо- и некрозoopланктона проводились более 30 лет назад (Коваль, 1984), данные по Азовскому морю отсутствуют вовсе.

В данной работе выполнена оценка доли живых организмов (ДЖО) доминирующих видов зоопланктона в прибрежной зоне Крыма в зимний период методом окрашивания.

*Материалы и методы.* Сбор материала проводили с 28 января по 2 февраля 2016 года в прибрежной зоне Чёрного и Азовского морей в 83 рейсе НИС «Профессор Водяницкий». Пробы зоопланктона отбирали вертикальными ловами сетью Джели с диаметром входного отверстия 37 см, размером ячеи фильтрующего конуса 150 мкм, с глубин от 5 м в Азовском море до 100 м в Чёрном море, до поверхности.

Свежесобранную пробу в объёме 1 л концентрировали до 100-150 мл, окрашивали 1% раствором витального красителя нейтрального красного (НК) в соответствии со стандартным методом (Dressel, 1972), добавляя 1.5-3 мл на каждые 1000 мл пробы. Экспозицию проводили в темноте при температуре 4°C в течение 15-45 мин. Низкая концентрация НК позволяла зоопланктонным организмам сохранять двигательную активность. После окраски пробу концентрировали на 100 мкм фильтрах и замораживали по методике Эллиотта (Elliott, 2009), в жидком азоте для дальнейшей камеральной обработки на берегу. В стационарной лаборатории пробы размораживали, смывая осадок холодным фильтратом морской воды (8 мкм), и обрабатывали в камере Богорова (со стеклянным дном) под инвертированным микроскопом Nikon Eclipse TS-100 F, оборудованным фото- и видеокамерой Ikegami ICD-848P, при увеличении 4×, 10× в режиме тёмного поля. Для усиления интенсивности окраски добавляли 0.1N раствор HCl до pH≥5-3. Обработка пробы включала определение таксономической принадлежности, микрофотографирование каждой отдельной особи и, в зависимости от наличия или отсутствия цвета, отнесение её к группе живых (L) или мёртвых (D). В случае, если окраска была невыраженной и невозможно было отнести исследуемую особь к группе L или D, то её определяли в третью группу спорноокрашенных (Q). Получение массива фотоизображений позволяет, в случае присутствия в пробах большого количества слабоокрашенных организмов (Q) после оцифровки и дискриминантного анализа, получать достоверные результаты (Муханов, Литвинюк, 2010).

В настоящем сообщении представлены данные о доле живых организмов только веслоногих ракообразных, представляющих наиболее многочисленную группу, вклад которой в общую численность зоопланктона может превышать 90%.

*Результаты и обсуждение.* Необходимо отметить, что предыдущие наши работы касались, главным образом, Севастопольской бухты (Литвинюк, и др. 2011; Литвинюк, Муханов, 2012). В настоящем исследовании впервые предпринята попытка определять ДЖО в открытых районах моря в условиях рейса на экспедиционном корабле, окрашивая пробу в бортовой лаборатории непосредственно после отбора.

Температура поверхностного слоя в районе исследований в Чёрном море варьировала от 7.2°C у западного мыса Тарханкут до 9.7°C – на юге (близ г. Ялта), составляя в среднем 8.5°C. В Азовском море температурный диапазон менялся от 0.5 до 1.4°C (в предпроливье), и в среднем температура была значительно ниже – 1.1°C. Слой температурного скачка отсутствовал полностью или был слабо выражен. Солёность в Чёрном море колебалась в пределах 18.04-18.28 psu; и 13.73-13.92 psu – в Азовском.

По нашим предварительным оценкам в среднем доля живых Copepoda в Чёрном море составила 57%, в Азовском – 65%. Максимальные величины в Чёрном море были зарегистрированы у южного берега Крыма в районе г. Алушта (с глубиной места более 800 м) – 86% и г. Ялта – 82%. Минимальные значения ДЖО обнаружили в районе Карадага – 27%, в бухте Ласпи – 29%, в Феодосийском заливе – 33%.

Интересно отметить, что в бухте Ласпи (южный берег Крыма) мы наблюдали пониженное содержание растворённого в воде кислорода (6.89 мл/л) (при относительно высокой средней температуре в слое от 0-60 м – 9.5°C) и повышенное содержание биогенных элементов ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ ) (Родионова Н.Ю, неопубл.), что вероятно свидетельствует о влиянии берегового стока. Результаты, полученные в Азовском море показали, что наравне с бедным видовым составом зоопланктона (главным образом, личинки усоногих ракообразных и коловратки), копеподы были представлены только двумя видами: *Acartia clausi* и *Oithona davisae*. Причём на станции в центре моря *A. clausi* на 74% были представлены живыми особями, тогда как только 8% *O. davisae* имели яркую окраску всей поверхности тела, т.е. были жизнеспособны.

*Выводы.* По предварительным оценкам в зимний период доля живых Copepoda в прибрежной зоне Азово-Черноморского бассейна колебалась в широком диапазоне – от 27 до 86% от общего числа исследованных особей. В Азовском море единственным жизнеспособным видом копепод были *Acartia clausi*. Определение доли живой фракции зоопланктона наравне с получением стандартных данных по численности и биомассе мезопланктонного сообщества должно входить в обязательные мониторинговые исследования экосистемы пелагиали.

Исследование выполнено в рамках госзадания 0828-2014-0016, а также при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-34-01020 мол\_а.

### Список литературы

- Коваль Л.Г., 1984. Зоо- и некрозоопланктон Чёрного моря. Киев: Наукова Думка, 1984. 128 с.
- Литвинюк Д.А., Алтухов Д.А., Муханов В.С., Попова Е.В., 2011. Динамика доли живых Copepoda в планктоне Севастопольской бухты и открытого побережья в 2010-2011 гг. // Морской экологический журнал. Отд. вып. № 2. С. 56–65.
- Литвинюк Д.А., Муханов В.С., 2012. Усовершенствованный метод определения доли живых организмов в морском зоопланктоне после окраски нейтральным красным и диацетатом флуоресцеина // Морской экологический журнал. Вып.11. № 4. С. 45–54.
- Муханов В.С., Литвинюк Д.А., 2010. Пат. 99008 Украина, МПК G 01 N 33/483, G 01 N 1/30. Способ идентификации живых и мертвых организмов мезозоопланктона в морских пробах / Заявитель и патентообладатель Институт биологии южных морей. № а 2010 12023; заяв. 11.10.10.; опубл. 25.04.12, Бюллетень № 8.
- Dressel D.M., Heinle D.R., Grote M.C., 1972. Vital starting to sort dead and live copepods // Chesapeake Science. V. 13. P. 156–159.

*Elliott D.T., Tang K.W., 2009. Simple staining method for differentiating live and dead marine zooplankton in field samples // Limnology and Oceanography: Methods. V. 7. P. 585–594.*

УДК 591.5

**И.А. Мухин, О.Г. Лопичева**

*ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда  
e-mail: ivmukin@mail.ru*

### **Структура микроперифитонных сообществ разноориентированных поверхностей каменистой литорали**

**Резюме.** Изучена экологическая структура микроперифитонных сообществ каменистых субстратов. Показана зависимость структуры сообщества от ориентации поверхности. Соотношение трофических и топических (по отношению к прикреплению) групп организмов, а, следовательно, и разнообразие сообществ зависит от характера обтекания поверхности и интенсивности перемешивания воды в её окрестностях.

Микроперифитон представляет собой разнородную в таксономическом отношении группу организмов, формирующих специфические сообщества на поверхности погруженных в воду предметов, а также водных растений и животных. Своеобразие условий, формирующихся в небольшом по размерам присубстратном слое воды (слое обтекания) позволили выделить явление биологической плёнки (плёнки обрастания) как экологический феномен. Известно, что микроорганизмы, населяющие плёнку обрастания, опосредуют передачу энергии от планктона к бентосу в водных экосистемах (Kathol et al., 2009; Norf et al., 2009; Zhang et al., 2012 и др). В тоже время в состав микроперифитона входят и продуценты, которые также играют значительную роль в функционировании водных экосистем (Weitere et al., 2005; Vöhme et al., 2009).

Исторически перифитон изучается специалистами в различных областях, что находит своё отражение в неустойчивости термина, которым называют совокупность организмов, населяющих погруженные в воду поверхности. Однако в последнее время в зарубежных и отечественных работах всё чаще встречается термин «микроперифитон» которым обозначают группу организмов, выделяемую преимущественно по размерному критерию. К микроперифитону могут быть отнесены как фототрофные, так и гетеротрофные простейшие, а также некоторые многоклеточные, в частности, коловратки. Такой подход позволяет комплексно рассмотреть сообщества организмов, выявить функциональные (энергетические и топические) связи между ними.

Важным фактором формирования перифитонных сообществ, как уже отмечалось ранее, является архитектура субстрата (Мухин, 2013). Особенно выражено действие фактора архитектуры на сообщества каменистой литорали, представленной крупными камнями и скальными монолитами. В условиях однородной текстуры и химизма поверхности, одной водной массы на различных сторонах камня или участках скалы формируются разные по характеру функционирования сообщества. Понимание роли пространственной организации субстрата в функционировании экосистем откроет новые, чрезвычайно эффективные механизмы регуляции важнейших процессов, протекающих в биоплёнке и обеспечивающих самоочищение воды.

Изучение структуры микроперифитонных сообществ разноориентированных поверхностей проводилось в августе 2016 года в каменистой литорали северной части Ладожского озера (о. Ристисаари). Пробы собирались со средней величины камня (размеры около 0.5×0.4×0.5 м), расположенного в прибойной зоне, на расстоянии 1 м от уреза воды; верхняя поверхность камня располагалась на глубине 10 см, пробы с боковых частей отбирали на глубине 30 см. Скальное местообитание представлено участком открытой скалы

(перифитон отбирали с глубины 10-30 см) и поверхностью небольшой выемки, расположенной у уреза воды. Для сравнения аналогичным методом перифитон был собран с поверхности стеблей тростника.

Пробы перифитона отбирали с помощью пробоотборника – шприца, позволяющего максимально локализовать место сбора пробы.

Микроперифитонные сообщества включали разнообразные по таксономическому положению организмы: отмечены цианопрокариоты, бесцветные и окрашенные жгутиконосцы, амёбы, прикреплённые и подвижные инфузории (среди которых как типично бентосные, так и планктонные виды), солнечники, диатомовые, криптофитовые, зелёные водоросли, коловратки, нематоды, ракообразные. Наибольшим разнообразием отличались сообщества боковой поверхности камня и открытой скалы, при этом экологическая структура их также наиболее схожа. Наибольшей встречаемостью характеризовались диатомовые водоросли, большую роль играют коловратки и инфузории, а также планктонные водоросли. Сообщество нижней поверхности камня характеризовалось меньшей численностью организмов. Наибольшей встречаемостью характеризуются планктонные фотосинтезирующие организмы, по-видимому, заносимые и аккумулирующиеся вследствие токов воды. Прикрепленных водорослей практически нет, отмечаются инфузории и коловратки. Крайне бедны сообщества верхней части камня, скального углубления и поверхность тростника. Все они характеризуются практически одинаковой структурой сообщества, однако сообщества тростника отличаются от сообществ неживых субстратов более высокой численностью организмов. Микроперифитон этих субстратов представлен преимущественно жгутиковыми и цианопрокариотами.

Богатство и сложность экологической структуры отдельным микроместообитаний связывали с характером обтекания водой этих поверхностей. Показано, что доля прикрепленных форм зависит от интенсивности перемешивания воды в присубстратном слое. Соотношение гетеро- и автотрофов также может быть связано с перемешиванием воды и приносом органического вещества в сообщество.

### Список литературы

*Мухин И.А.*, 2013. Экологическая структура сообществ перифитонных инфузорий на различных субстратах в естественном и искусственном водотоках // Вода: Химия и экология. № 12. С. 64–70.

*Böhme A., Risse-Buhl U., Küsel K.*, 2009. Protists with different feeding modes change biofilm morphology // FEMS Microbiology Ecology. V. 69. P.158–169.

*Kathol M., Fischer H., Weitere M.*, 2011. Contribution of biofilm-dwelling consumers to the pelagic-benthic coupling in a large river // Freshwater Biology. V. 56. P. 1160–1172.

*Norf H., Arndt H., Weitere M.*, 2009. Responses of biofilm-dwelling ciliate communities to planktonic and benthic resource enrichment // FEMS Microbiology Ecology. V. 57. P. 687–700.

*Weitere M., Bergfeld T., Rice S.A., Matz C., Kjelleberg S.*, 2005. Grazing resistance of *Pseudomonas aeruginosa* biofilms depends on type of protective mechanism, developmental stage and protozoan feeding mode // Environmental Microbiology. V. 7. P. 1593–1601.

*Zhang W., Xu H., Jiang Y., Zhu M., Al-Rasheid K.A.S.*, 2012. Influence of enumeration time periods on analyzing colonization features and taxonomic relatedness of periphytic ciliate communities using an artificial substratum for marine bioassessment // Environmental Science and Pollution Research. V. 19. P. 3619–3627.

**Бактерио- и вириопланктон внутриболотных водных объектов верхового болота**

**Резюме.** На примере Шиченгского верхового болота изучено обилие вирио- и бактериопланктона и роль вирусов в смертности гетеротрофных бактерий в трёх разнотипных болотных водных объектах (топь, мочажина, ручей). Численность бактерий (до  $93 \times 10^6$  кл/мл) и вирусов до ( $152 \times 10^6$  частиц/мл) достигали очень высоких значений. Между ними наблюдались существенные различия, как в средних значениях изученных параметров, так и в их сезонной динамике. Отношение количеств вирио- и бактериопланктона (медианные значения составляли от 1.3 в мочажине до 5.6 в ручье) оказалось в нижних пределах значений, представленных в литературе. Вирусы не оказывали существенного прямого влияния на бактериопланктон, лизируя не более 7.8% бактериальной продукции.

Пробы отбирали ежемесячно в двух повторностях в топях и мочажинах, в ручье – в четырёх. В полевых условиях пробы воды фиксировали формалином до конечной концентрации в пробе 2% и до начала камеральной обработки хранили при температуре  $4 \pm 2^\circ\text{C}$ . В лабораторных условиях для облегчения фильтрации пробы воды обрабатывали ультразвуком в течение 2 мин (зондом УЗДН-2Т (частота 44 кГц и мощность 20 мА, Академприбор). Методы оценки общей численности и биомассы бактерий, общего количества вирусов, доли заражённых фагами бактерий, а также вирус-индуцированной смертности бактерий были описаны ранее (Стройнов и др., 2011). Статистический анализ данных проводили с использованием программы “Statistica 6.0”. При установлении корреляционных зависимостей между параметрами использовали ранговый коэффициент корреляции Спирмена для уровня значимости 0.05.

Бактериальные параметры характеризовались большой вариабельностью. Максимальная численность бактерий достигала  $93 \times 10^6$  кл./мл. Исследованные болотные водоёмы отличались по бактериальным показателям. В мочажинах высокая численность и биомасса бактерий наблюдалась на протяжении всего лета, и снизилась на порядок только в сентябре. Максимальные значения в топях наблюдались в августе, высокая численность и биомасса бактерий наблюдалась также в июне (в этот месяц значения бактериальных параметров во всех трёх водных объектах существенно не отличались). В ручье напротив, высокие значения численности и биомассы наблюдались только в июне. Наблюдалась высокая корреляция между общей численностью бактериопланктона и содержанием в воде нитратов ( $r=0.78$ ,  $p<0.05$ ,  $n=12$ ). На всех исследованных станциях большинство бактериопланктона составляли одиночные клетки, средние объёмы бактериальных клеток составляли 0.17-0.34 мкм<sup>3</sup>.

Общая численность вирусов достигала высоких значений (до  $152 \times 10^6$  частиц/мл в июне). Наибольшая средняя численность за сезон наблюдалась в сфагновых мочажинах (медиана= $27.8 \times 10^6$  частиц/мл,  $CV=86\%$ ), несколько меньшая – в топях (медиана= $23.3$  млн частиц/мл,  $CV=61\%$ ), самая низкая в ручье ( $19.9 \times 10^6$  частиц/мл,  $CV=86\%$ ). Существенное количество вирусов находилось на поверхности бактериальных клеток. Наибольшая доля бактерий с прикрепленными к поверхности вирусными частицами зарегистрирована в ручье (медиана= $14\%$ ,  $CV=38\%$ ), несколько меньшая – в мочажинах (медиана= $8\%$ ,  $CV=45\%$ ), самая низкая – в топях (медиана= $6\%$ ,  $CV=79\%$ ). Между численностью вирусов и бактерий выявлена высокая корреляция ( $r=0.72$ ,  $p<0.05$ ,  $n=12$ ). Число видимых инфицированных бактериальных клеток было очень мало (от 0.0 до 1.25%), и что говорить о каком-либо существенном прямом влиянии бактериофагов на бактериопланктон в исследованных болотах пока не приходится.

Количество бактерий в болотах может достигать очень больших значений, причём большая их часть находится в виде биоплёнок на поверхности растений или других субстратов,

а так же в торфяных отложениях. Так в торфе олиготрофного болота Обуховское находилось, в среднем,  $8.06 \times 10^8$  кл/г сырого торфа (Белова и др., 2012). Тем не менее, полученные данные свидетельствуют о том, что в планктоне небольших болотных водоёмов так же находится существенное количество бактерий. Их количество в периоды, когда наблюдалась наибольшая численность, на порядок превосходит значение данного показателя в мезотрофных водохранилищах (Копылов, Косолапов, 2011), и соответствует максимальным значениям, обычно регистрируемым в водоёмах ( $10^7$  кл/мл). Даже в периоды спада численности бактерий, она не опускалась ниже значений, обычно регистрируемых в олиготрофных и мезотрофных водоёмах (Копылов, Косолапов, 2011). Таким образом, бактериопланктон нельзя игнорировать при проведении исследований болотной микробиоты. Биомасса бактерий так же достигала существенных значений. Наиболее близкое к работе авторов, с точки зрения объекта и применяемых методов было исследование Филиппини с соавторами (Filippini et al., 2006) в пресноводных маршах эвтрофного оз. Холвил в центральной части Швейцарии. Исследователи обнаружили большое количество вирусов ( $\sim 10^7$  частиц/мл) и бактерий в толще воды, на различных субстратах и в донных отложениях. Между численностью вирусных частиц и прокариот выявлена положительная корреляция. Сильных колебаний численности бактерий (как в Шиченгском болоте) в оз. Холвил не наблюдалось. Как и в работе авторов, соотношение вирусов к бактериям было очень низким ( $\leq 2.4$ ) даже в толще воды, однако доля инфицированных клеток в бактериопланктоне достигала высоких значений (8-32%). Напротив, в биоплёнках, и донных отложениях уровень инфицирования был близок к пределу разрешения метода. При сравнении этих двух водных объектов следует, однако, учитывать, что условия обитания и влияние абиотических факторов в них сильно отличаются.

Таким образом, в исследованных внутриболотных водных объектах зарегистрированы очень высокие концентрации бактерио- и вириопланктона (соответственно до  $93 \times 10^6$  кл./мл и до  $152 \times 10^6$  частиц/мл). Выявлена статистически значимая положительная корреляция численности вирусов с численностью бактерий. Величины отношения численности вирусов к количеству бактерий, в целом, оказались низкими. Несмотря на очень высокие концентрации вириопланктона и бактериопланктона, уровень инфекции и вирус-индуцированной смертности бактерий во внутриболотных водных объектах очень низкий.

### **Список литературы**

*Белова С.Э., Федотова А.В., Дедыш С.Н., 2012. Ультрамикрo-формы прокариот в сфагновом болоте водосбора Верхней Волги // Микробиология. Т. 81. № 5. С. 665–671.*

*Копылов А.И., Косолапов Д.Б., 2011. Микробная «петля» в планктонных сообществах морских и пресноводных экосистем. Ижевск: КнигоГрад, 2011. 332 с.*

*Стройнов Я.В., Романенко А.В., Масленникова Т.С., Копылов А.И., 2011. Вирио- и бактериопланктон малой реки: влияние вирусов на смертность гетеротрофных бактерий // Биология внутренних вод. № 3. С. 22–29.*

*Filippini M., Buesing N., Bettarel Y., Sime-Ngando T., Gessner M.O., 2006. Infection paradox: high abundance but low impact of freshwater benthic viruses // Applied and Environmental Microbiology. V. 72. № 7. P. 4893–4898.*

### Изменения состава и структуры банка семян на примере Волжского плёса Рыбинского водохранилища и его притоков

**Резюме.** Банк семян – неотъемлемая часть прибрежно-водных биогеоценозов. Однако уровень изученности данного компонента в Верхневолжском регионе не велик. Данное исследование отражает флористический состав и структуру прибрежного банка семян в рамках экологически не стабильного местообитания – зоны временного затопления (ЗВЗ).

Почвенный банк семян представляет собой одну из фундаментальных составляющих популяционной динамики растений (Марков, 2012). Банк семян прибрежно-водных местообитаний Верхней Волги, как и России в целом, практически не изучен и представлен небольшим числом работ (Воронов, 1943; Овеснов, 1963, Агамамедов, 1969). Проведённые нами исследования позволяют выявить состав и структуру банков семян прибрежно-водных экосистем Рыбинского водохранилища и его притоков.

В рамках данной работы мы понимаем под банком семян (БС) всю совокупность генеративных диаспор макрофитов в прибрежном грунте. В неё включены не только семена растений, но и генеративные диаспоры харовых водорослей, в частности род хара (*Chara*), сопоставимые по размеру с семенами (Brochet et al., 2010).

Прибрежные участки водоёмов с переменным уровнем наполнения представляют собой зону временного затопления. Так, в Рыбинском водохранилище колебания уровня воды, основного экологического фактора обуславливающего условия произрастания растений, могут достигать 5 метров.

Отбор проб проводился на песчаных отмелях, попадающих в зону временного затопления, подходного канала, устьевых областей притоков Рыбинского водохранилища и Волжского плёса (архив). Основным инструментом отбора проб семян послужил цилиндрический пробоотборник диаметром 4.8 мм., сконструированный из полимерной трубки и снабжённый поршнем для извлечения полученных проб. Выделение семян из высушенных и просеянных проб осуществлялось вручную с использованием бинокулярного микроскопа. Подробно методика описана в наших ранее опубликованных работах (Тихонов, Лапиров, 2015). Пробы, собранные на берегах Волжского плёса, разделялись на три горизонта, по 5 см каждый. В работе представлены материалы как собранные лично автором (охватывают период с 2012 по 2015 год), так и хранящиеся в архиве лаборатории (с 1994 по 1996 год).

В ходе проведенных исследований были выявлены генеративные диаспоры 80 макрофитов, включая ооспоры харовых водорослей. Анализ таксономического состава БС производился по системе APG IV. При анализе проб грунта из ЗВЗ Волжского плёса были отмечены семена 44 видов высших растений, из 26 родов, 18 семейств и 13 порядков. В грунте ЗВЗ притоков были выявлены генеративные диаспоры 49 видов из 41 рода, 24 семейств, 15 порядков и 3 отделов.

Из всего пула семян, собранных в ходе исследования, можно выделить так называемое ядро – группу видов характеризующихся высокими обилием и встречаемостью: *Alisma plantago-aquatica* L.; *Betula pendula* Roth; *Butomus umbellatus* L.; *Chenopodium album* L.; *Ch. glaucum* L.; *Ch. rubrum* L.; *Eleocharis acicularis* (L.) Roem. et Schult.; *Oenanthe aquatica* (L.) Poir.; *Persicaria hydropiper* (L.) Spach; *P. lapathifolia* (L.) Gray; *Rumex confertus* Willd.; *R. maritimus* L. и *Taraxacum* spp. На долю видов слагающих ядро БС приходится порядка 80% от объёма семян выявленных в ходе исследования.

Прибрежные области Волжского плёса и его притоков не однородны и позволяют проанализировать два разных градиента. Первый градиент – от коренного берега к урезу воды, отражающий уровень воды в водохранилище. В качестве дополнения к нему было

проанализировано распределение характеристик БС по глубине в рамках выделенных подзон. Второй градиент – от реки к водохранилищу, отражающий воздействие подпора на притоки, изменения скорости течения и ширины отмелей.

В числе основных характеристик банка семян мы выделяем его качественный и количественный состав, а так же его экологическую структуру и уровень флористического сходства (по коэффициенту Жаккара).

Для анализа изменений основных характеристик БС в рамках первого градиента рассмотрим БС Волжского плёса.

На обсыхающем побережье Волжского плёса качественный состав семян, в рамках подзон, был распределён не равномерно. Максимальное видовое разнообразие наблюдалось в средней части обсыхающего участка, открытого для заноса семенного материала как с берега, так и с воды. В отличие от этого, максимальное значение количественного состава было отмечено в наиболее удалённой от уреза воды подзоне, характеризующейся развитыми сообществами прибрежно-водной растительностью. По мере приближения, к урезу воды уровень обсеменённости грунта снижался.

В спектре экотипов банка семян ЗВЗ Волжского плёса представлены все экотипы по классификации В.Г. Папченко (2001). Несмотря на экологические особенности местообитания, характеризующегося повышенной влажностью грунта, доминирует группа экотипов заходящие в воду береговые растения. Наибольшая доля водных и прибрежно-водных растений, была отмечена в средней части ЗВЗ, а абсолютный минимум – в нижней. Скорость осадконакопления на разных участках ЗВЗ не одинакова. Данные обстоятельства делают невозможным точную датировку отложений по глубине. Как показал анализ качественного и количественного состава суммарно два верхних горизонта (0 – 10 см.) охватывают более 90% видового состава и порядка 80% от объема семян. Анализ уровня сходства флористического состава показал, что уровень сходства между горизонтами в рамках подзоны много выше уровня сходства между подзонами в целом.

Второй градиент (река – водохранилище) будет рассмотрен на примере притоков Волжского плёса. Для районирования исследованного участка нами была выбрана схема представленная в работе А.И. Цветкова и др. (2015). Проведённый анализ показал, что в ряду от зоны свободного течения к водохранилищу наблюдается тенденция к увеличению как видового разнообразия, так и уровня обсеменённости грунта. Спектр экотипов исследованного участка притоков схож со спектром Волжского плёса – на всём протяжении исследованного участка доминирует группа экотипов заходящие в воду (береговые) растения. Однако в ряду от реки к водохранилищу наблюдается существенный рост долей групп экотипов истинно водных и прибрежно-водных растений. Уровень флористического сходства между зонами колебалась от 12 до 52%.

Банк семян, наряду с банком вегетативных диаспор, является одним из основных источников для восстановления флоры после изменения экологических условий местообитания. Однако уровень сходства между банком семян и флорой исследованных станций можно охарактеризовать как низкий, он колебался в диапазоне от 9 до 47%.

### **Список литературы**

*Агамомедов С.А.*, 1969. Семенная продуктивность водных растений и насыщенность почвы водоёмов семенами их // Известия академии наук Туркменской ССР. Серия биологические науки. №3. С 86–88.

*Воронов А.Г.*, 1943. О некоторых приспособлениях растений к изменению уровня озёр // Ботанический журнал. Т. 28. №5. С. 181–186.

*Марков В.М.*, 2012. Популяционная биология растений. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 387 с; илл.

*Овеснов А.М.*, 1963. Всхожие семена в почве, затопленной водами Пермского водохранилища / Материалы по гидрологии Волжских водохранилищ. Сб. статей. М.–Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1963. С. 10–12.



Папченков В.Г., 2001 Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья Ярославль: ЦМП МУБиНТ, 2001. 200 с.

Тихонов А.В., Лапиров А.Г., 2015. Банк семян водных и прибрежно-водных растений // Гидроэкология устьевых областей притоков равнинного водохранилища Ярославль: Филигрань, 2015. С. 124–137.

Цветков А.И., Крылов А.В., Болотов С.Э., Отюкова Н.Г., 2015. Физико-химическая характеристика вод выделенных зон устьевой области притока // Гидроэкология устьевых областей притоков равнинного водохранилища Ярославль: Филигрань, 2015. С. 56–75.

Brochet A-L., Guillemain M., Gauthier-Clerc M., Fritz H., Green A.J., 2010. Endozoochory of Mediterranean aquatic plant seeds by teal after a period of desiccation: Determinants of seed survival and influence of retention time on germinability and viability // Aquatic Botany. V. 93 P. 99–106. DOI: 10.1016/j.aquabot.2010.04.001

УДК 577. 472

**Zh. Buseva, G.Sh. Farahani**

*Institute of Bioresource NAS Belarus, Minsk, Belarus*  
*e-mail: sh.farahani1986@gmail.com*

### **Spatial spring distribution of zooplankton in Lake Obsterno, Belarus**

**Summary.** The state of biological communities inhabiting different water bodies was analyzed with the aim of determining late spring zooplankton species composition for Belarusian Lake Obsterno in contrasting sub habitats of pelagial, clean littoral, rush beds and yellow lily zone. The results indicated that the dominant species of zooplankton in pelagial is *Bosmina crassicornis* and for clean littoral, rush bed and yellow lily zone is *Ceriodaphnia pulchella*. The most noticeable changes in the composition of zooplankton number of individuals occurred in a negative relation of *Daphnia* and *B. crassicornis* with temperature and  $\text{NH}_4^+$  but for *Cer. pulchella* and *Chydorus sphaericus* by a positive relation with temperature and  $\text{NH}_4^+$  respectively. In the other side, the first (*C. pulchella* and *Daphnia*) and the second filterators (*B. crassicornis*) revealed a negative correlation with  $\text{NH}_4^+$  but detritivorous (*Ch. sphaericus*) expressed a positive correlation with the mentioned hydrochemical parameter. The present study attempts to analyze the structure and organization of lake ecosystems, to reveal causes behind the basic possibility of species presence in those biotopes in late-spring period according the conditions of macrophytes which start to grow.

Zooplankton is assumed to develop in response to food availability with peaks following phytoplankton after some delay. The spring peak of grazing zooplankton leads to a decline in phytoplankton biomass toward a mid-season biomass minimum (clear water phase). Subsequently, food limitation and fish predation control zooplankton biomass. The summer increase of phytoplankton in eutrophic systems contains a high proportion of inedible phytoplankton, thus shifting top-down control of phytoplankton from control of total biomass to control of community composition. The whole process of community assembly was assumed to be initiated by the vernal light increase and terminated by the autumnal light decrease. The main goal of this survey – to study of the distribution of zooplankton in different habitats shallow mesotrophic lake in the late-spring period in order to investigate the factors that may affect the quantitative development of zooplankton with different elemental composition in different contrasting locations and the influence of zooplankton community on the surrounding environment. Improved knowledge about winter conditions and about shifts in response to recent climate change has opened a debate about one of the basic assumptions underlying the original PEG model: that is, that winter effectively resets the plankton community (Jeppesen et al., 2004; Blank et al., 2009; Hülsmann et al., 2012; Wommack, Colwell, 2000; Duffy et al., 2005; Kagami et al., 2007), as well as acknowledgement of the effects of

food quality on trophic transfer efficiency and zooplankton dynamics (Elser et al., 2000; Muller-Navarra et al., 2000).

*Material and methods.* The zooplankton samples were collected from Lake Obsterno which is located in the south of Miory district of Vitebsk region with maximum depth of 12 m from three littoral zones (approximate depth of 1.2-1.5 m) and one pelagic station (depth of cca 5 meters). In littoral 3 stations were chosen: one from the open water including open sandy intertidal zone covering *Chara* (clean littoral) and two among the macrophytes – one of them – common rush beds (*Schoenoplectus lacustris*), and the second one among Yellow Water-lily (*Nuphar lutea*), using taw net (mesh size 100  $\mu\text{m}$  and diameter of 25 cm), extending from the bottom to the surface (in pelagic zone – once and other three stations two/three times). All station samples were taken once a day at 10-12 a.m., then fixed by 4% formalin solution and transformed to the lab in order to define the species composition. Finally samples were treated under a stereo microscope MBS-10.

*Statistical analyses and results.* According to the Excel statistical analyses, the dominant species of zooplankton in pelagial is *Bosmina crassicornis* (18045.93015 ind/m<sup>3</sup>) and for clean littoral, rush bed and nymphae zone is *Ceriodaphnia pulchella* (8719, 14831, 16306 ind/m<sup>3</sup>) respectively. Negative relation of *Daphnia* and *B. crassicornis* with temperature and  $\text{NH}_4^+$  ( $r^2_{(t)}=0.75$ , 0.90 and  $r^2_{(\text{NH}_4^+)}=0.95$ , 0.97) and positive relation of *C. pulchella* and *Chydorus sphaericus* with temperature and  $\text{NH}_4^+$  ( $r^2_{(t)}=0.83$ , 0.84 and  $r^2_{(\text{NH}_4^+)}=0.96$ , 0.94) were observed respectively. In the other side, the first (*C. pulchella* and *Daphnia*) and the second filterators (*B. crassicornis*) revealed a negative correlation with  $\text{NH}_4^+$  ( $r^2_{(\text{NH}_4^+)}=0.82$ , 0.94) and detritivorous (*Chydorus*) expressed a positive one with the mentioned hydrochemical parameter ( $r^2_{(\text{NH}_4^+)}=0.94$ ). The measurement of  $\text{NH}_4^+$  for pelagial, clean littoral, rush bed and yellow lily zone 0.15, 0.27, 0.27 and 0.29 (mg/l) and temperature for the mentioned sub habitants were reported 21.7, 23.2, 23.0, 24.0 (t<sup>°C</sup>) respectively.

*Discussion.* A study of Cladocerans (Jeppesen et al., 2003a) showed that *Daphnia* and *Ceriodaphnia* percentage contribution remained high in some nutrient-rich Danish lakes which is in good agreement with data from the UK (Davidson et al., 2007), (Watson, Carpenter, 1974) and Obsterno in clean littoral, rush bed and nymphae zone during spring. Accordingly, in Davidson and Jeppesens survey, multiple regression revealed that the proportion of *Bosmina* is strongly related to TP which is a witness for our results in pelagial sub habitant which in *B. crassicornis* is the dominant species. As far as trophy is concerned, Obsterno as a mesotrophic lake receives various mixtures of nutrient sources that have lower average N : P . Our study showed that in pelagial zone where owns the highest zooplankton number of species specially *B. crassicornis*, TN of zooplankton expressed the highest rate in comparison with the other habitant species.

As for the temperature, Cladocerans may also be useful proxies for direct and indirect effects of climate change. Changes in temperature may also be tracked by changes in the proportion of *Bosmina*, which decreases several order of magnitudes from Greenland to Spain (Jeppesen et al., 2003b) which can prove our achievements too or even by changes in this ratio among chydorids (Sarmaja-Korjonen, 2003) that is in agreement with our positive correlation of detritivorous (*Chydorus*) and temperature. Cladocerans may prove to be useful indicators of past climate change, as demonstrated for several lake (Verschuren et al., 1999a, 1999b, 2000).

$\text{NH}_4^+$  distribution is inversely correlated to the D.O – pH group. The negative pole of the factor is related to the production of ammonia caused by the anaerobic decomposition of the organic load in the sediment-water interface of the lake. The highest near-bottom  $\text{NH}_4^+$  concentrations in Pamvotis Lake were reported in August during 1-year surveys (Kagalou et al., 2001; Romero et al., 2002). As found in other studies of  $\text{NH}_4^+$  uptake in freshwater (Liao, Lean, 1978; Murphy, 1980; Priscu, Priscu, 1984), uptake rates were observed to decrease at higher species richness which is also matched with our survey specially in pelagial zone. According to other surveys (Currie, Kalff, 1984; Currie et al., 1986) the low levels of *Chla* in Kennedy Lake (<0.69) suggest that it is considerably more  $\text{NH}_4^+$  and it might be a reason for the lees  $\text{NH}_4^+$  in pelagial than the other habitats but its not possible to be generalized currently to a small part of our investigation.

As a conclusion, we suppose that these groups of zooplankton might be used as sensitive organisms (biological indicators) in studies of the impacts of lake chemistry on the biodiversity. We

found numerous weak, but significant correlations between species richness with  $\text{NH}_4^+$  and temperature. It is frequently reported that different taxonomic groups showed different, sometimes opposite responses to the same chemical parameter. We hypothesized that this is typical for lakes that belong to the same lake district and are characterized by similar climate, geology, and were formed at the same time. As a result, such a data set gives a unique opportunity to reveal even weak correlations between hydrochemical parameters and species richness.

### **Bibliography**

*Blank K., Haberman J., Haldna M., Laugaste R.*, 2009. Effect of winter conditions on spring nutrient concentrations and plankton in a large shallow Lake Peipsi (Estonia/Russia). *Aquatic Ecology*. V. 43. P. 745–753.

*Currie D.J., Bentzen E., Kalff J.*, 1986. Does algal-bacterial phosphorus partitioning vary among lakes? A comparison study of orthophosphate uptake and alkaline phosphatase activity in freshwater // *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences*. V. 43. P. 311–318.

*Currie D.J., Kalff J.*, 1984. The relative importance of bacterioplankton and phytoplankton in phosphorus uptake in freshwater // *Limnology and Oceanography*. V. 29. P. 311–321.

*Davidson T., Sayer C., Perrow M., Bramm M., Jeppesen E.*, 2007. Are the controls of species composition similar for contemporary and sub-fossil cladoceran assemblages? A study of 39 shallow lakes of contrasting trophic status // *Journal of Paleolimnology*. V. 38. P. 117–134.

*Duffy M.A., Hall S.R., Tessier A.J., Huebner M.*, 2005. Selective predators and their parasitized prey: are epidemics in zooplankton under top-down control? // *Limnology and Oceanography*. V.50. P. 412–420.

*Elser J.J., Fagan W.F., Denno R.F., Dobberfuhl D.R., Folarin A., Huberty A. et al.*, 2000. Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs // *Nature*. № 408. P. 578–580.

*Hulsmann S., Wagner A., Pitsch M., Horn W., Paul R., Rother A. et al.*, 2012. Effects of winter conditions on *Daphnia* dynamics and genetic diversity in a dimictic temperate reservoir // *Freshwater Biology*. V. 57. P. 1458–1470.

*Jeppesen E., Jensen J.P., Jensen C., Faafeng B., Brettum P., Hessen D., Sondergaard M., Lauridsen T., Christoffersen K.*, 2003a. The impact of nutrient state and lake depth on top-down control in the pelagic zone of lakes: study of 466 lakes from the temperate zone to the Arctic // *Ecosystems*. № 6. P. 313–325.

*Jeppesen E., Jensen J.P., Lauridsen T.L., Amsinck S.L., Christoffersen K., Sondergaard M., Mitchell S.F.*, 2003b. Sub-fossils of cladocerans in the surface sediment of 135 lakes as proxies for community structure of zooplankton, fish abundance and lake temperature // *Hydrobiologia*. V. 491. P. 1573–5117.

*Jeppesen E., Jensen J.P., Sondergaard M., Fenger-Gron M., Bramm M.E., Sandby K. et al.*, 2004. Impact of fish predation on cladoceran body weight distribution and zooplankton grazing in lakes during winter // *Freshwater Biology*. V. 49. P. 432–447.

*Kagalou I., Tsimarakis G., Paschos I.*, 2001. Water chemistry and biology in a shallow lake (Lake Pamvotis, Greece). Present state and perspectives // *Global Nest Journal*. V. 3. № 2. P. 85–94.

*Kagami M., de Bruin A., Ibelings B.W., Van Donk E.*, 2007. Parasitic chytrids: their effects on phytoplankton communities and food-web dynamics // *Hydrobiologia*. V. 578. P.113–129.

*Liao C.F.H., Lean D.R.S.*, 1978. Nitrogen transformations within the trophogenic zones of lakes // *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. V. 35. P. 1102–1108.

*Muller-Navarra D.C., Brett M.T., Liston A.M., Goldman C.R.*, 2000. A highly unsaturated fatty acid predicts carbon transfer between primary producers and consumers // *Nature*. V. 403. P. 74–77.

*Murphy T.P.*, 1980. Ammonia and nitrate uptake in the Lower Great lakes // *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences*. V.37. P. 1365–1372.

*Priscu J.C., Priscu L.R.*, 1984. Inorganic nitrogen uptake in oligotrophic Lake Taupo, New Zealand // *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences*. V. 41. P. 1436–1445.

Romero J., Kagalou I., Imberger J., Hela D., Kotti M., Bartzokas A., Albanis T., Evmirides N., Karkabounas S., Papagiannis J., Bithava A., 2002. Seasonal water quality of shallow and eutrophic Lake Pamvotis, Greece: implications for restoration // *Hydrobiologia*. V. 474. P. 91–105.

Sarmaja-Korjonen K., 2003. Chydorid ehippia as indicators of environmental changes – biostratigraphical evidence from two lakes in southern Finland // *The Holocene*. V. 13. P. 691–700.

Verschuren D., Cocquyt C., Tibby J., Roberts C.N., Leavitt P.R., 1999a. Long-term dynamics of algal and invertebrate communities in a fluctuating tropical soda lake // *Limnology and Oceanography* V. 44. P. 1216–1231.

Verschuren D., Tibby J., Leavitt P.R., Roberts C.N., 1999b. The environmental history of a climate-sensitive lake in the former ‘White Highlands’ of central Kenya // *Ambio*. V. 28. P. 494–501.

Verschuren D., Tibby J., Sabbe K., Roberts C.N., 2000. Effects of lake level, salinity and substrate on the invertebrate community of a fluctuating tropical lake // *Ecology*. V. 81. P. 164–182.

Watson N.H.F., Carpenter G.F., 1974. Seasonal Abundance of Crustacean Zooplankton and Net Plankton Biomass of Lakes Huron, Erie, and Ontario // *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. V. 31. № 3. P. 309–317.

Wommack K.E., Colwell R.R., 2000. Virioplankton: viruses in aquatic ecosystems // *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. V. 64. P. 69–114.

### Секция 3. Биоразнообразие морских и пресноводных экосистем (видовое разнообразие, экология, биологические инвазии)

УДК 574.3

Ж.М. Баймуканова

Учреждение «Институт гидробиологии и экологии», Алматы, Казахстан  
e-mail: zhanna-baimukano@mail.ru

#### Зообентос водоемов Баянаульского государственного национального природного парка

**Резюме.** В данной работе представлены краткие результаты исследования зообентоса трех озер Баянаульского ГНПП в 2011-2013 годах. Описан видовой состав донных беспозвоночных во все годы исследования и количественные характеристики в 2013 году.

Территория Баянаульского ГНПП по устройству поверхности представляет собой низкогорный рельеф Баянаульского массива, сформировавшейся в результате тектонически-денудационных и тектонически-эрозионных процессов. Абсолютные отметки горных вершин Баянаульского массива колеблются от 1027 м (гора Акпет) до 686 м (гора Нияз). Гидрографическая сеть представлена озерами и многочисленными реками, стекающими с северо-восточных, северо-западных и восточных склонов Баянских гор: с гор Акпет – на севере, Аккарагай, Сгелен, Чибет – на западе, Нияз – на юге (Разработка рекомендации..., 1991).

Озеро Жасыбай находится между вершинами гор Акпет и Огелен. Площадь зеркала водной поверхности составляет 3.7 км<sup>2</sup>, площадь водосбора – 31.2 км<sup>2</sup>. Северо-восточный берег местами пологий с пляжами. Дно озера ровное, максимальная глубина 14 м (Филонец, Омаров, 1974). В период 2011-2013 годов в оз. Жасыбай встречены 10 видов из 2 классов беспозвоночных: Nematoda и Insecta, в том числе личинки поденок *Caenis macrura*, хирономид *Tanytarsus gregarius*, *Chironomus cingulatus*, *Glyptotendipes gripekovenir* и куколки *Chironomus* sp. (Биологическое обоснование, 2011, 2012, 2013). Количественные показатели зообентоса оз. Жасыбай в 2013 году имели значения 1410 экз./м<sup>2</sup> и 1.07 г/м<sup>2</sup>. По численности и биомассе доминировали личинки хирономид (1390 экз./м<sup>2</sup> и 1.05 г/м<sup>2</sup>), низкие значения были у личинок поденок и куколок хирономид (10 экз./м<sup>2</sup> и 0.01 г/м<sup>2</sup>). По шкале трофности оз. Жасыбай отнесен к α-олиготрофному типу водоемов, очень низкому классу кормности для рыб-бентофагов (Биологическое обоснование, 2013).

Озеро Сабындыколь расположено у поселка Баянаул, между гор Акпет и Нияз. Общая площадь водосбора – 95.9 км<sup>2</sup>, площадь зеркала водной поверхности – 7.4 км<sup>2</sup>. Озеро имеет неправильную грушевидную форму и сильноизвилистую береговую линию. Юго-восточный и северные берега высотой 5-10 м крутые и каменистые; восточный – песчаный с высотой до 4.5 м. Максимальная глубина озера – 9.5 м. Вода озера пресная, гидрокарбонатно-натриевая (Филонец, Омаров, 1974). Видовой состав зообентоса в 2011-2013 годов был представлен 17 видами двукрылых, из которых многочисленными являлись хирономиды *Procladius ferrugineus*, *Endochironomus albipennis*, *Cladotanytarsus mancus*, и хаобориды рода *Chaoborus* и Ceratopogonidae (Биологическое обоснование, 2011, 2012, 2013). Численность и биомасса зообентоса оз. Сабындыколь в 2013 году составила 1808 экз./м<sup>2</sup> и 1.77 г/м<sup>2</sup>. По численности и биомассе доминировали личинки хирономид (1760 экз./м<sup>2</sup> и 1.62 г/м<sup>2</sup>), личинки прочих двукрылых дали низкие значения (48 экз./м<sup>2</sup> и 0.15 г/м<sup>2</sup>). Согласно шкале трофности оз. Сабындыколь было отнесено к α-олиготрофному типу, очень низкому классу кормности (Биологическое обоснование, 2013).

Озеро Торайгыр расположено у подножий северного склона Баянаульских гор. Общая площадь водосбора равна 12.9 км<sup>2</sup>, площадь зеркала водной поверхности – 1.9 км<sup>2</sup>. Озеро имеет вид неправильного четырехугольника, вытянутого с запада на восток. Дно плоское, со слабым уклоном к центру. Максимальная глубина 11 м. Вода озера слабосоленоватая (Филонец,

Омаров, 1974). В 2011-2013 годах в зообентосе было обнаружено 20 видов беспозвоночных из 3 классов: водяные клещи, бокоплавывы рода *Gammarus*, а также насекомые, включающие 18 видов из отрядов Diptera – 14 (включая 12 видов хирономид), Ephemeroptera – 1, Odonata – 1, Coleoptera – 1, Trichoptera – 1 (Биологическое обоснование, 2011, 2012, 2013). В 2013 году численность и биомасса зообентоса оз. Торайгыр имели значения 1690 экз./м<sup>2</sup> и 2.69 г/м<sup>2</sup>. Доминировали личинки хирономид (1160 экз./м<sup>2</sup> и 1.37 г/м<sup>2</sup>) и прочих двукрылых (340 экз./м<sup>2</sup> и 1.15 г/м<sup>2</sup>), значительно меньших показателей обилия достигали нематоды, водные клещи и личинки других отрядов насекомых. По шкале трофности водоем относится к  $\alpha$ -мезотрофным с умеренной кормностью (Биологическое обоснование, 2013).

### Список литературы

Биологическое обоснование общих допустимых уловов для любительского (спортивного) рыболовства и научно-исследовательского лова рыб на водоемах Государственного национального природного парка «Баянаул» // Фонды Учреждения «Институт гидробиологии и экологии». Астана, 2011. 64 с.

Биологическое обоснование общих допустимых уловов для любительского (спортивного) рыболовства и научно-исследовательского лова рыб на водоемах Государственного национального природного парка «Баянаул» // Фонды Учреждения «Институт гидробиологии и экологии». Астана, 2012. 80 с.

Биологическое обоснование общих допустимых уловов для любительского (спортивного) рыболовства и научно-исследовательского лова рыб на водоемах Государственного национального природного парка «Баянаул» // Фонды Учреждения «Институт гидробиологии и экологии». Астана, 2013. 78 с.

Разработка рекомендации по использованию и охране поверхностных вод на территории Баянаульского государственного национального природного парка. Отчет по хозяйственной теме №7. Алма-Ата, 1991. 240 с.

Филонец П.П., Омаров Т.Р., 1974. Озера Северного, Западного и Восточного Казахстана. Л.: Изд-во Гидрометеиздат, 1974. 121 с.

УДК: 582.522.3.06

**Е.А. Беляков**

ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН», пос. Борок, Ярославская область  
e-mail: eugenybeliakov@yandex.ru

### Проблемы таксономии и перспективы исследования представителей рода *Sparganium* L. (Typhaceae)

**Резюме.** Первое исследование монографического плана, связанное с всесторонним изучением представителей рода *Sparganium* выполнено в 1900 году немецким ученым Р. Graebner. Наиболее информативными, с точки зрения морфологии и экологии различных видов ежеголовников, являются монографические сводки В.А. Ротерта (Rothert, 1910), С.Д.К. Cook и М.С. Nicholls (1986, 1987). Однако, несмотря на широкий спектр важных и разносторонних работ, остаётся множество нерешенных вопросов в морфологии, систематике, филогении и биогеографии рода *Sparganium*, которые по-прежнему привлекают внимание современных ученых.

Проблема таксономии ежеголовников изначально затрагивалась на уровне различных таксономических рангов. Согласно современной таксономической системе (Angiosperm Phylogeny Group, 2009), ежеголовники входят в состав семейства Typhaceae, хотя ещё 6 и 10-ю годами ранее, системами APG I и APG II (Angiosperm Phylogeny Group, 1998, 2003) род ежеголовник рассматривался в ранге самостоятельного семейства. Между тем ещё в 1970 году,

отдельные исследователи (Müller-Doblies, 1970) предлагали рассматривать данный род в составе семейства Typhaceae. Основанием послужило отсутствие существенных различий в морфологии цветков и соцветий у этих растений (Беляков, 2016). Определение порядка, к которому необходимо было отнести *Sparganium*, сопровождалось дискуссиями о степени родства ежеголовников и рогозов с пандановыми (Тахтаджян, 1987), велись споры и об истинной природе генеративных органов растений. Поэтому, первоначально ежеголовники были отнесены систематиками к порядку Pandanales (Федченко, 1913) и лишь спустя некоторое время было принято решение об отнесении их к порядку Typhales (Юзепчук, 1934; Алексеев, 1979 и др.).

В течение длительного времени решались вопросы, связанные с такой важной таксономической категорией как подрод. Деление видов *Sparganium* на две группы впервые предложено С. Linnaeus (1753 – цит. по: Sulman et al., 2013). За основу он принял не морфологические особенности вегетативной и генеративной сферы растений (как это принято в систематике), а особенности расположения по отношению к поверхности воды. К первой группе таксонов, обозначенной как «*Sparganium erectum*» были отнесены растения, у которых листья возвышались над водой, ко второй «*Sparganium natans*» – растения с плавающими на поверхности воды листьями. Позднее, в 1897 году, P.F.A. Ascherson и P. Graebner (1897 – цит. по: Cook, 1961) на основе отдельных морфологических признаков (структура листовой пластинки и длина рылец), минуя деление на подроды, раздробили род *Sparganium* на три секции – Erecta, Natanti и Minima. Такого же деления в настоящее время придерживается и Н.Н. Цвелев (2000) с той лишь разницей, что первая секция в его редакции получила новое родовое название – *Sparganium*. Спустя 13 лет после указанной выше работы P.F.A. Ascherson и P. Graebner, В.А. Ротерт (Rothert, 1910) снова вернул род *Sparganium* в рамки двух систематических групп. Основанием для этого послужил анализ характера окраски околоцветных чешуй. В дальнейшем деления рода на два подрода (*Sparganium* и *Xanthosparganium*) придерживались и другие исследователи (Алексеев, 1979; Cook, 1961; Cook, Nicholls, 1986, 1987 и др.). Аналогично разделял род ежеголовник и С.В. Юзепчук (1934), меняя при этом название подрода *Sparganium* на *Melanosparganium*. Далее этот учёный заметно усложнил номенклатуру подродов, разделив виды на циклы и ряды.

До сих пор в литературе нет указания на точное число видов, включённых в состав данного рода (Беляков, 2016), даются только приблизительные данные – 15-20 видов (Sulman et al., 2013) в число которых, по-видимому, включаются и гибриды. Такое положение вызвано целым рядом причин, отражающихся в сходстве близких по габитусу видов (например, *S. natans* и *S. hyperboreum*), которые обычно не различимы в вегетативном состоянии (Бобров и др., 2013). Среди важнейших из них – их высокая фенотипическая пластичность и активная естественная гибридизация (Бобров, 2015; Беляков, 2016; Cook, Nicholls, 1986, 1987; Sulman et al., 2013; Ito et al., 2016 и др.). Кроме того, некоторые из видов понимаются ботаниками очень широко и часто рассматриваются в ранге подвидов, другие сведены в синонимы (Беляков, 2015, 2016). Так Ю.Е. Алексеев (1979) в отличие от ряда исследователей (Юзепчук, 1934; Лисицына и др., 2009 и др.), не признаёт самостоятельности *S. neglectum* и *S. microcarpum*, считая их разновидностями *S. erectum*. В связи с этим на конференции по систематике и географии водных растений А.А. Бобровым (2015) поставлен ряд вопросов, связанных с таксономией рода ежеголовник, которые еще предстоит решить. Например, остаётся не ясным, выступает ли полиморфный, широко распространённый таксон *S. emersum* в качестве одного вида, либо он включает в себя целый комплекс видов.

Мы считаем необходимым активизировать исследования в области сравнительной морфологии, которые призваны сыграть решающую роль при выявлении новых и уточнении уже известных таксономических признаков. Кроме того, при решении проблем таксономии в основу должно быть положено сопоставление всего массива полученных молекулярных данных (Ito et al., 2013, 2016; Sulman et al., 2013 и др.) по американским, европейским, сибирским и азиатским видам *Sparganium*. Это позволит акцентировать внимание на спорных моментах, показать и обосновать необходимость объединения (сведение в синонимы) или

разделения отдельных таксонов, разрешить целый ряд важных вопросов филогении, эволюционной систематики, географии и экологии.

Выражаю благодарность к.б.н., доценту А.Г. Лапирову и к.б.н. О.А. Лебедевой (ИБВВ РАН) за прочтение рукописи и ценные замечания.

### Список литературы

Алексеев Ю.Е., 1979. Сем. *Sparganiaceae* Rudolphi – Ежеголовниковые // Флора Европейской части СССР. Л.: Наука, 1979. Т. 4. С. 322–326.

Беляков Е.А., 2015. Биоморфология *Sparganium erectum* L. на территории Верхнего Поволжья // VIII Всероссийская конференция с международным участием по водным макрофитам «Гидробиотика 2015» (пос. Борок, 19-25 октября 2015 г.). Ярославль: Филигрань, 2015. С. 72–75.

Беляков Е.А., 2016. Биология некоторых представителей рода *Sparganium* L. (сем. Typhaceae). Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2016. 23 с.

Бобров А.А., 2015. Водные сосудистые растения Азиатской России: проблемы и перспективы изучения // Проблемы систематики и географии водных растений: материалы Международной конференции (Борок, Россия, 21-24 октября 2015 г.). Ярославль: Филигрань, 2015. С. 15–17.

Бобров А.А., Мочалова О.А., 2013. Заметки о водных сосудистых растениях Магаданской области // Ботанический журнал. Т. 98. № 10. С. 1287–1299.

Лисицына Л.И., Папченков В.Г., Артёменко В.И., 2009. Флора водоёмов Волжского бассейна. Определитель сосудистых растений. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. 219 с.

Тахтаджян А.Л., 1987. Система магнолиофитов. Л.: Наука, 1987. 439 с.

Федченко Б.А. (ред.), 1913. Флора Азиатской России. СПб.: Типография Ю.Н. Эрлихъ, 1913. Вып. 1. 39 с.

Цвелёв Н.Н., 2000. Определитель сосудистых растений северо-западной России (Ленинградская, Псковская, Новгородская области). СПб.: СПХВА, 2009. 257 с.

Юзепчук С.В., 1934. Ежеголовниковые – *Sparganiaceae* Engl. // Флора СССР. Л.: Изд. АН СССР. Т. 1. С. 216–229.

Cook C.D.K., 1961. *Sparganium* in Britan // *Watsonia*. V. 5. № 1. P. 1–10.

Cook C.D.K., Nicholls M.S., 1986. A Monographic Study of the Genus *Sparganium*. Part 1: Subgenus *Xanthosparganium* // *Botanica Helvetica*. V. 96. № 2. P. 213–267.

Cook C.D.K., Nicholls M.S., 1987. A Monographic Study of the Genus *Sparganium*. Part 2: Subgenus *Sparganium* // *Botanica Helvetica*. V. 97. № 1. P. 1–44.

Ito Y., Kim C.-K., Tanaka N., 2013. Phylogeny, Habitat Transition, and Biogeography of an Aquatic Genus *Sparganium* (Typhaceae) // Abstracts 5th International Conference on Comparative Biology of Monocotyledons «Monocots V» (July 7-13 July 2013 New York, USA). New York: The New York Botanical Garden, 2013. P. 59–60.

Ito Y., Tanaka N., Kim C., Kaul R.B., Albach D.C., 2016. Phylogeny of *Sparganium* (Typhaceae) revisited: non-monophyletic nature of *S. emersum* sensu lato and resurrection of *S. acaule* // *Plant Systematics and Evolution*. V. 302. № 1. P. 129–135.

Müller-Doblies D., 1970. Über die Verwandtschaft von *Typha* und *Sparganium* in Infloreszenz- und Blütenbau // *Botanische Jahrbücher*. V. 89. S. 451–562.

Rothert W.A., 1910. Übersicht der Sparganien des Russischen Reiches (zugleich Europa's) // Труды ботанического сада Юрьевского университета. Т. 11. Вып. 1. С. 11–32.

Sulman J.D., Drew B.T., Drummond C., Hayasaka E., Sytsma K.J., 2013. Systematics, biogeography, and character evolution of *Sparganium* (Typhaceae): diversification of a widespread, aquatic lineage // *American Journal of Botany*. V. 100. № 10. P. 2023–2039.



### Хаотическая динамика сообществ зоопланктона экотонов малых притоков Рыбинского водохранилища: реакция на аномальные климатические условия и риски биологических инвазий

**Резюме.** Предложен новый биофизический метод исследования экологической динамики зоопланктона экотонов малых рек, основанный на компьютерной идентификации параметров хаотических квазиаттракторов сообществ. С позиции теории хаоса–самоорганизации обсуждается синэкологическая динамика, нарушение гомеостаза, срыв адаптации и риски биологической контаминации контурных сообществ зоопланктона маргинальных структур переходных зон системы «речные – водохранилищные воды» притоков Рыбинского водохранилища в условиях изменений средовых факторов.

Изучали контурные сообщества зоопланктона маргинальных структур переходных зон «речные – водохранилищные» воды в устьевой области малых притоков Рыбинского водохранилища. С позиций теории хаоса-самоорганизации вариабельность жизненных параметров зоопланктона притоков описывали хаотическим квазиаттрактором (КА) – областью  $m$ -мерного фазового пространства, в границах которой по каждой из координат ( $m=23$ ), соответствующих конкретным исследованным синэкологическим параметрам, задается облако состояний (КА) сообщества. Расчет параметров КА основан на вычислении вариационных размахов  $\Delta x_i$  для каждой координаты вектора  $x(t)$ . Математически КА определяется нами как не нулевое подмножество  $Q$  фазового  $m$ -мерного пространства  $D$  ( $l = 1, m$ ) планктонной динамической биологической системы, являющееся объединением всех значений  $f(t_i)$  состояния биологической динамической системы на конечном отрезке времени  $[t_j, \dots, t_e]$  ( $j \ll e$ , где  $t_j$  – начальный момент времени, а  $t_e$  – конечный момент времени состояний

$$Q = \bigcup_{l=1}^m \bigcup_{i=j}^e f^l(t_i);$$

планктонной биосистемы):  $Q \neq 0; Q \in D$ , где  $m$  – количество пространственных измерений.

В качестве основной меры КА используется объем ( $vX$ ) области  $Q$   $m$ -мерного пространства, внутри которого заключены все значения  $f(t_i)$  состояния зоопланктоценоза в

промежутке времени  $[t_j, \dots, t_e]$ :

$$vX = mes(Q) = \prod_{l=1}^m (\max[f^l(t_j), \dots, f^l(t_e)] - \min[f^l(t_j), \dots, f^l(t_e)])$$

С использованием разработанных нами программ для ЭВМ производили расчет координат граней, соответствующих конкретным синэкологическим параметрам сообществ, их длины ( $D_i = x_{i(max)} - x_{i(min)}$ ) и объема 23-х мерного параллелепипеда ( $vX = \prod_{i=1}^m D_i$ ), ограничивающего КА, внутри которого двигался (варьировал) вектор состояния зоопланктоценоза. Сходство экологической структуры и характеристику адаптивной реакции экотонных сообществ устьевой области относительно граничащих экосистем давали на основе матриц межаттракторных расстояний, рассчитанных между геометрическими или хаотическими центрами КА, которые количественно представляют степень близости (или, наоборот, удаленности) этих сравниваемых КА в фазовом пространстве и являются

интегративной мерой оценки изменения состояния сообществ зоопланктона в отклоняющихся от референсных значений условиях среды.

Основные параметры КА, а именно величина асимметрии между геометрическим и хаотическим центром КА ( $rX$ ) и его объем ( $vX$ ) удовлетворительно согласуются с данными о качественном и количественном развитии сообществ зоопланктона и хорошо отражают различия, обусловленные принадлежностью к водным системам реки (зона I), зон ее устьевой области (II:  $a$  – переходная притока,  $b$  – фронтальная,  $v$  – переходная приемника) или водохранилища (III). Максимальные значения величины асимметрии центров КА и его объем устойчиво регистрируются во фронтальной зоне устьевой области ( $rX=14.0 \times 10^5$ ,  $vX=5.2 \times 10^{61}$ ), которую по совокупности признаков (повышенному видовому богатству и развитию краевого эффекта) мы определяем как зону напряжения – экотон. Минимальные значения параметров хаотических аттракторов наблюдали в зоне свободного течения притока ( $rX=0.2 \times 10^5$ ,  $vX=1.3 \times 10^{39}$ ) и водохранилище ( $rX=1.1 \times 10^5$ ,  $vX=1.1 \times 10^{49}$ ).

Относительно периода климатической нормы 2009 года в аномально жаркие годы – 2010-2011 годов, когда наблюдали продолжительный ( $> 1.5$  месяца) аномальный прогрев всей водной толщи до 29-33°C, глубокий дефицит растворенного кислорода ( $< 4$  мг/л), гиперцветение синезеленых водорослей и катастрофическое ухудшение качества воды, зоопланктон экотонов малых притоков характеризовался необычно высоким уровнем количественного развития и глубокими перестройками видовой структуры. В этих условиях происходит увеличение объема КА сообществ, расширение их границ, что свидетельствует о неудовлетворительной адаптации сообществ зоопланктона к термическому эвтрофированию.

Благодаря активизации буферной системы экотона во фронтальной зоне устьевой области притока наблюдалась ослабленная ( $vX_{2009}=vX_{2010}=7.7 \times 10^{54}$  у.е.) реакция хаотической системы сообщества зоопланктона на аномально высокие температуры воды. Это удовлетворительно согласуется со стабильностью основных количественных показателей развития (численности, биомассы и продукции) зоопланктоценоза экотонной фронтальной зоны в период аномальной жары 2010 года. По мере прогрессирования термического эвтрофирования происходит значительное (с  $7.7 \times 10^{54}$  у.е. в 2009 и 2010 годах до  $5.3 \times 10^{58}$  у.е. в 2011 году) объема хаотического КА, что свидетельствует о срыве адаптации контурных сообществ зоопланктона экотона фронтальной зоны устьевой области притоков и их переходе в область патологии.

Идентификация межаттракторных расстояний хаотических центров КА демонстрирует экологическую специфичность зоопланктона устьевой области, и особенно ее фронтальной зоны. Относительно фонового периода в жаркие годы увеличиваются межаттракторные расстояния, а КА сообществ «разбегаются» друг относительно друга в многомерном фазовом пространстве, что может свидетельствовать об экологической дифференциации сообществ различного реагирующих на аномальные условия. Наиболее сильно от референсных состояний удаляются аттракторы сообществ фронтальной зоны.

Сопоставление особенностей количественного развития популяций инвазионных видов и параметров КА сообществ свидетельствует о формировании повышенной популяционной плотности инвазионных беспозвоночных в сообществах с наиболее выраженной хаотической динамикой. Это позволяет рассматривать хаотически функционирующие экотоны устьевой области притоков водохранилища как потенциальные мишени вторжения и успешной натурализации чужеродных видов зоопланктона.

Таким образом, разработан новый биофизический метод описания сложной экологической динамики сообществ гидробионтов экотонов малых притоков равнинного водохранилища, основанный на расчете параметров хаотических КА биоценозов, и предложено компьютерное программное обеспечение для его осуществления. На основе анализа вариабельности жизненных показателей развития зоопланктона метод позволяет оценить реализованный адаптационный потенциал сообществ, диагностировать и прогнозировать развитие патогенетических процессов в зоопланктоценозах в изменяющихся условиях среды.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 14-04-97031 р\_поволжье\_a, 16-34-50136) и Министерства образования и науки Самарской области (Губернские гранты (субсидии) в области науки, Областной конкурс "Молодой ученый").

УДК 595.733

**А.С. Бузинова, А.Н. Володченко**

*Балашовский институт ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского», г. Саратов  
e-mail: kimixla@mail.ru*

### **Материалы к познанию фауны стрекоз (Insecta, Odonata) бассейна реки Хопер в Саратовской области**

**Резюме.** Материал собирался на территории Балашовского и Аркадакского районов Саратовской области в 2014-2016 годах. Выявлено обитание 23 видов стрекоз, относящихся к 12 родам и 8 семействам. Подтверждено обитание *Calopteryx splendens* (Harris, 1782) и *Calopteryx virgo* (Linnaeus, 1758), внесенных в Красную книгу Саратовской области. Впервые для фауны стрекоз реки Хопер в Саратовской области приводятся *Sympetrum flaveolum*, *S. meridionale*, *S. vulgatum*, *Coenagrion hastulatum*.

Река Хопер является левым притоком Дона, она протекает по территории Пензенской, Саратовской, Воронежской и Волгоградской областей. До настоящего времени одонатофауна реки изучена фрагментарно. Видовой состав стрекоз Хопра изучался Аникиным В.В. и Угольниковой Е.В. Ими выявлено обитание в долине реки Хопер 8 видов из 4 семейств, однако в работе не указываются места сбора материала (Аникин, Угольникова, 2010). В работах Володченко А.Н. и Бузиновой А.С. (2014, 2015) приводятся сведения по 13 видам стрекоз. Также ряд работ посвящен изучению стрекоз среднего течения реки Хопер в пределах Воронежской области (Соболева, Голуб, 2010, 2013; Прокин, Решетников, 2013).

Материалы работы были получены в ходе полевых исследований 2014–2016 годов, проводимых на территории Балашовского и Аркадакского районов Саратовской области. Имаго отлавливались с помощью энтомологического сачка, собранные материалы хранятся в коллекционном фонде кафедры биологии и экологии Балашовского института СГУ. Для идентификации использовался определитель Скворцова (2010). Ниже приведен аннотированный список стрекоз, виды отмеченные впервые для данной территории выделены звездочкой (\*).

Семейство Calopterygidae

*Calopteryx splendens* (Harris, 1782), *Calopteryx virgo* (Linnaeus, 1758)

Семейство Lestidae

*Lestes barbarus* (Fabricius, 1798); *L. virens* (Charpentier, 1825); *L. dryas* Kirby, 1890; *L. sponsa* (Hansemann, 1823); *Chalcolestes parvidens* Artobolevski, 1929

Семейство Platycnemididae

*Platycnemis pennipes* (Pallas, 1771)

Семейство Coenagrionidae

*Ischnura elegans* (Van der Linden, 1820); *Enallagma cyathigerum* (Charpentier, 1840); *Coenagrion pulchellum* Charpentier, 1825; \**C. hastulatum* (Charpentier, 1825); *Erythromma najas* (Hansemann, 1823)

Семейство Gomphidae

*Gomphus vulgatissimus* (Linnaeus, 1758)

Семейство Aeshnidae

*Aeshna affinis* Vander Linden, 1820; *Ae. cyanea* (Muller, 1764); *Ae. grandis* (Linnaeus, 1758)

Семейство Corduliidae

*Cordulia aenea* (Linnaeus, 1758)

Семейство Libellulidae

*Libellula depressa* Linnaeus, 1758; \**Sympetrum flaveolum* (Linnaeus, 1758); \**S. meridionale* (Selys, 1841), *S. sanguineum* (Muller, 1764), \**S. vulgatum* (Linnaeus, 1758).

Исследованиями были обнаружены новые местообитания стрекоз, внесенных в Красную Книгу Саратовской области (2006). *Calopteryx splendens* была обнаружена в окрестностях села Алмазово (Балашовский район), *Calopteryx virgo* была найдена в окрестностях следующих населенных пунктов: Алмазово, Пинеровка (Балашовский район), Малиновка, Летяжевка (Аркадакский район).

### Список литературы

Аникин В.В., Угольникова Е.В., 2010. Стрекозы (Insecta, Odonata) долин малых рек Саратовской области // Экология водных беспозвоночных. Сборник материалов Международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Ф.Д. Мордухай-Болтовского. ИБВВ им. И.Д. Папанина РАН, Борок, 30 октября – 2 ноября 2010 года. Ярославль: Принтхаус, 2010. С. 16.

Бузинова А.С., Володченко А.Н., 2015. Динамика суточной активности и особенности поведения красотки-девушки (*Calopteryx virgo* Linnaeus, 1758) в условиях р. Хопер на территории Саратовской области // Биоразнообразие и антропогенная трансформация природных экосистем: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященная памяти профессора А.И. Золотухина (г. Балашов, 12-13 ноября 2015 г.). Саратов: Саратовский источник, 2015. С. 57–61.

Володченко А.Н., Бузинова А.С., 2014. Фауна и население стрекоз (Insecta: Odonata) пойменных озер Балашовского Прихоперья // Экологическая безопасность региона: Сборник статей VII Международной научно-практической конференции. Брянск: РИО БГУ, 2014. С. 54–59.

Красная книга Саратовской области. Саратов: Изд-во Торгово-промышленной палаты Саратовской области, 2006. 528 с.

Прокин А.А., Решетников А.Н., 2013. Фауна водных макробеспозвоночных пойменных озер Хоперского заповедника // Труды Хоперского государственного заповедника. Вып. VIII. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2013. С. 137–157.

Скворцов В.Э., 2010. Стрекозы Восточной Европы и Кавказа: Атлас-определитель. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 623 с.

Соболева В.А., Голуб В.Б., 2010. К изучению видового разнообразия личинок стрекоз (Odonata) Хоперского государственного заповедника как основа мониторинга водных экосистем // Проблемы мониторинга природных процессов на особо охраняемых природных территориях: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Хоперского государственного природного заповедника. Варварино, 20-23 сентября 2010. Воронеж, 2010. С. 110–114.

Соболева В.А., Голуб В.Б., 2013. К изучению видового разнообразия стрекоз (Insecta: Odonata) Теллермановского леса в Воронежской области // Гидроэнтомология в России и сопредельных странах: материалы V Всероссийского симпозиума по амфибиотическим и водным насекомым. Ярославль: Издательство «Филигрань», 2013. С. 189–195.

### Современное состояние биоты Бурлинской системы озер, Алтайский край

**Резюме.** В среднем течении р. Бурла соединяет восемь озер на территории Алтайского края и два озера в Новосибирской области, которые вместе образуют Бурлинскую систему озер. Зоопланктон Бурлинской системы состоит преимущественно из эврибионтных высокопластичных видов. Минерализация воды озер находится в прямой зависимости от объема годового стока, степени проточности и фильтрующей способности подстилающих грунтов. Рыбопродуктивность озер Бурлинской системы, как и кормовая база рыб, находится в непосредственной зависимости от объема годового стока и уровня воды в озерах. Озера Бурлинской системы наиболее продуктивные и значимые рыбохозяйственные водоемы среди материковых озер Алтайского края. Таким образом, современное состояние Бурлинских озер удовлетворяет требованиям создания культурного сигово-карпового хозяйства.

Бурлинская система озер образовалась в результате соединения р. Бурла и восьми озер на территории Алтайского края (Малое Топольное, Малое Травное, Малое (Фрунзе), Большое Кабанье, Хомутиное, Песчаное, Большое Травное и Горькое) и два озера Новосибирской области: Хорошее и Хорошенок. По физико-географическому районированию Бурлинские озера расположены в одноименной долине древнего стока и относятся к Нижнебурлинскому району Барабинской лесо-лугово-степной провинции. Климат данного региона характеризуется как резко-континентальный (Николаев, 1975).

Водосбор реки Бурлы распахан на 50%, его лесистость составляет 8%, заболоченность 3%, озерность 2.5%. На водосборе насчитывается 200 бессточных и проточных озер, много заболоченных займищ.

Минерализация воды озер находится в прямой зависимости от объема годового стока, степени проточности и фильтрующей способности подстилающих грунтов. В Бурлинской системе наблюдается постепенное повышение минерализации от вышерасположенных по течению озер, к ниже расположенным. По классификации О.А. Алекина (1970) вода в водоемах относится к гидрокарбонатному классу натриевой группы.

Зоопланктон Бурлинской системы озер состоит из эврибионтных высокопластичных видов. Распространение сообществ находится в соответствии с экологическими особенностями представителей зоопланктона и в зависимости от типа гидрологического режима водоема. В данной системе встречается много общих видов, что объясняется их расположением в единой географической зоне, одной речной системе (Веснина, 2002). Всего за период исследований (2008-2015 года) в составе зоопланктона выявлено 33 массовых таксономических единицы. В период исследований 2014-2015 годов наибольшее число видов отмечено в оз. Песчаное – 23 вида, из которых 7 видов – коловратки, 14 видов – ветвистоусые ракообразные и 2 вида веслоногие ракообразные. Доминирующими видами среди представителей класса Rotifera: *Asplanchna priodonta* и *Keratella quadrata*. В фауне ветвистоусых ракообразных преобладают зарослевые и придонные виды, представители рода *Chydorus* и рода *Daphnia*, которые показывают высокую численность в озерах Бурлинской системы. Биомасса зоопланктона в Бурлинских озерах высокая и составляет от 3.8 до 30.16 г/м<sup>3</sup>, особенно в летние периоды (Веснина, 2002).

Озера Бурлинской системы являются наиболее продуктивными и значимыми рыбохозяйственными водоемами среди материковых озер Алтайского края. Видовой состав ихтиофауны Бурлинских озер, в сравнении с другими озерными системами равнинной территории Алтайского края, более разнообразен и включает в себя 14 видов рыб (1990-2010 года), относящихся к 3 семействам: щуковые (сем. Esocidae), карповые (сем. Cyprinidae) и окуневые (сем. Percidae). К аборигенным видам относятся обыкновенная щука (*Esox lucius*), плотва (*Rutilus rutilus*), речной окунь (*Perca fluviatilis*), серебряный карась (*Carassius auratus*)

и золотой карась (*Carassius carassius*). Путем планомерного заселения акклиматизированы сазан (*Cyprinus carpio*), лещ (*Abramis brama*), обыкновенный судак (*Stizostedion lucioperca*) и случайно – верховка (*Leucaspis delineatus*). Исторически сложилось, что первым объектом интенсивного выращивания в озерах в 70-80-е года прошлого века стала пелядь (*Coregonus peled*), что объяснялось наличием в Сибири посадочного материала сиговых рыб, ее быстрым темпом роста и не востребованностью ресурса зоопланктона местными рыбами. Лучший хозяйственный эффект при товарном выращивании пеляди и других сиговых достигался в многоводные по гидрологическому режиму периоды (Веснина и др., 1999).

В спектре питания пеляди предпочтение отдается группе ветвистоусых рачков и при изобилии пищи потребляется в основном 3-5 видов. В менее благоприятных условиях состав пищи расширяется до десятка и более видов, включая «вынужденные» корма (Веснина, 1988).

Рыбопродуктивность озер Бурлинской системы, как и кормовая база рыб, находится в непосредственной зависимости от уровня воды в озерах и объема годового стока. Снижение водности приводит к дефициту кислорода и гибели рыб, наиболее требовательных к кислородному режиму. Для Бурлинских озер прослеживается закономерное изменение видового состава ихтиофауны в периоды маловодных и многоводных лет. После наблюдаемых заморозов в ихтиофауне резко возрастает значение карася. Затем, постепенно, увеличивается роль плотвы, достигая максимальных величин к концу многоводного периода. При этом снижается численность карася до наступления очередного замора, после которого вновь основным объектом промысла становится карась.

Средняя рыбопродуктивность озер Бурлинской системы за период с 1967 по 2010 года составляла 21.4 кг/га. При этом продуктивность некоторых водоемов (оз. Песчаное, Хомутиное, Малое Топольное) достигала 44.0-47.0 кг/га. В настоящее время основу уловов составляют аборигенные виды рыб, главным образом карась и плотва. Доля ценных промысловых видов рыб (пеляди, сазана, обыкновенного судака) незначительная и в общих уловах не превышает 10 тонн (Веснина и др., 1999).

Таким образом, современное состояние Бурлинских озер удовлетворяет требованиям создания культурного сигово-карпового хозяйства, которое должно базироваться на выращивании товарных сеголетков пеляди, двух-трехлетков сазана и растительноядных рыб (толстолобики и белый амур). Аборигенная ихтиофауна должна составлять в уловах 30-40%. В том числе и по доступной биомассе зоопланктона, обеспечивающая оптимальные жизненные условия для рыб.

### **Список литературы**

*Алекин О.А.*, 1970. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 443 с.

*Веснина Л.В.*, 1988. Зоопланктон озер Кулундинской системы Алтайского края и его доступность для молоди пеляди. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Иркутск, 1988. 20 с.

*Веснина Л.В.*, 2002. Зоопланктон озерных экосистем равнины Алтайского края. Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 2002. 158 с.

*Веснина Л.В., Журавлев В.Б., Новоселов В.А., Новоселова З.И., Ростовцев А.А., Соловов В.П., Студенкина Т.Л.*, 1999. Водоемы Алтайского края: биологическая продуктивность и перспективы использования. Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1999. 285 с.

*Николаев В.А.*, 1975. Ландшафтная структура и физико-географическое районирование Алтайского края (равнины и Салаирский кряж) // Охрана, рациональное использование и производство природных ресурсов Алтайского края. Барнаул, 1975. С. 30–33.

**Новые роды цимбеллоидных диатомовых водорослей (*Bacillariophyceae*),  
морфологические критерии их выделения и последствия  
«генеромании» для альгофлористики**

**Резюме.** Описание новых родов диатомовых водорослей – нередкое явление в настоящее время, его можно рассматривать следствием очень узкого ограничения их объёма. Обсуждается проблема выделения новых родов на примере в одной из неплохо монографированных групп диатомовых водорослей – семействе *Symbellaceae*. Монотетическая трактовка родового таксона в морфологической систематике позволяет более объективно отразить структуру таксономического разнообразия группы. Большое количество родовых новоописаний оказывает значительное влияние на представления о таксономической и географической структурах региональных диатомовых флор.

Цимбеллоидные диатомовые водоросли (сем. *Symbellaceae*) к настоящему времени объединяют около 20 родов (Куликовский, 2016), различающихся комбинацией признаков симметрии створок, строения шовного и порового аппаратов, наличием синапоморфий, и это результат недавнего «дробления» очень крупных политипических родов *Symbella* и *Navicula*. Многочисленные факты отсылают к всё ещё недостаточно ясно очерченному таксономическому разнообразию цимбеллоидных диатомей как на видовом, так и родовом уровнях организации таксонов. Молекулярно-филогенетический анализ группы зачастую вскрывает парафилетичность самых крупных по объёму и достаточно легко диагностируемых родов семейства (*Symbella*, *Symbopleura*), что обновляет проблему поиска морфологических признаков, на которых можно выделить более естественные группы в их пределах. Наконец, сохраняется отчётливо обозначившаяся в последнее время тенденция по переводу таксонов с навиколоидной формой створок из сем. *Naviculaceae* в сем. *Symbellaceae*, родовая и семейственная принадлежность которых прежде определялась только признаком симметрии створок. Всё это стало для нас особенно очевидным в связи с обнаружением нескольких проблемных видов в ходе исследований водоёмов юга Байкальской Сибири, центральных и северо-западных частей Монголии. В докладе представлены результаты морфологического анализа, приводятся аргументы в пользу описания трёх новых родов.

В качестве родовых могут выступать нетональные признаки тонкой структуры створок, и морфология шва, строение порового аппарата ареол, наличие/отсутствие апикальных поровых полей в большинстве случаев предоставляют достаточно оснований для выделения нового родового таксона. Тип симметрии створки признаётся малонадёжным, что ярко иллюстрируется несогласием между системой высших таксонов, ориентированной на признак симметрии, и молекулярной реконструкцией их филогенеза (Nakov et al., 2014). Некоторыми специалистами-морфологами в той или иной форме проводится идея о хорошей согласованности морфологических и филогенетических паттернов у диатомей (Kociolek, Williams, 2015). «Хорошие» морфологические признаки вместе с молекулярными данными должны, по их мнению, обеспечить родовую систематику свидетельствами монофилии таксонов. Однако, описание новых родов диатомовых водорослей всё ещё очень редко сопровождается филогенетическим анализом на молекулярной основе, а его широкое внедрение не обязательно верифицирует результаты морфологического принципа к выделению родов. В ситуации, когда в силу объективных причин исследование ограничено только морфологическими рамками, «естественность» диатомового рода, скорее, можно ожидать при соблюдении монотетического принципа к его выделению, когда объём рода полностью соответствует признакам, на которых он выделяется. Этот подход в родовой систематике был впервые ясно обозначен F. Round (Round et al., 1990; Round, 1997). Мы

признаём большое эвристическое значение узкой трактовки рода для систематизации таксономического разнообразия диатомей, а сопутствующую «генероманию» инфляцию родовых описаний – следствием несостоятельности не морфологически ориентированной систематики вообще, а конвенционального подхода к выбору родовых признаков.

Влияние усиленного описания новых родов на альгофлористику – почти не исследованная проблема. Мы обратили внимание, что наиболее сильно оно сказывается на представлениях о таксономической структуре и таксономических отношениях, которыми, в свою очередь, выявляются особенности видového пула в том или ином регионе. Категория рода наиболее удобна для представления таксономической структуры диатомовых флор, и узкое ограничение рода позволяет признать флору в целом более сложно структурированной: крупные роды «распадаются» на роды меньшего объёма. Внедрение в головную часть родового спектра, объединяющую ~50% видového богатства (в практике 10-15 таксонов) родов с лимитированным распространением и/или выраженными экологическими предпочтениями, неразличимых в широкой трактовке рода, уже может подчёркивать экологические и географические особенности флоры. Заметим, что роды диатомей характеризуются в целом очень широким распространением, и эндемизм таксонов высоких рангов – достаточно редкое явление в сравнении, например, с цветковыми растениями. Как следствие, географическое распространение (и экология) небольших по объёму узко дефинированных родов на фоне политипических родов-космополитов оказывается понятыми значительно лучше. Поскольку многие ныне выделяемые роды олиго- или монотипичны, они обычно не попадают в головную часть спектра, занятую политипическими родами. Тем не менее, доля во флоре именно таких родов позволяет определить место изучаемой флоры в ряду других. Так, например, диатомовая флора Монголии содержит по меньшей мере 40% строго эндемичных для Голарктики родов (и почти всё разнообразие панголарктических эндемичных родов), хотя их доля в монгольской альгофлоре в целом не превышает 9%. За редким исключением, почти все эти роды выделены в последние 5-10 лет.

Таксономические отношения, самым популярным из которых является родовой коэффициент (РК), рассматриваются устойчивыми характеристиками таксономического разнообразия, в случае естественных флор мало зависящими от площади их выявления (Шмидт, 1980; Толмачёв, 1986). И хотя в традиции отечественной альгофлористики РК обычно всегда учитывают при характеристике таксономического разнообразия флор, не ясным для нас оказалось значение РК, на которое можно ориентироваться, характеризуя диатомовые флоры «богатыми» или «бедными». Проведя анализ литературных данных, мы обнаружили, что РК диатомовых флор изменяется в широких пределах (от 2 до 18), и близкие значения РК могут быть выведены для списков, в разы различающихся по своему объёму. Верхний предел значения РК для флор из 300-800 видов, на сколько возможно отражающих современное состояние систематики диатомей, составляет 6-7, редко больше. Пониженные значения РК (менее 5-6) мы встречаем у почти всех локальных флор, либо флор с явно выраженным «парциальным» характером (планктонные флоры, флоры сфагновых болот), либо в регионах, диатомовые водоросли остаются всё ещё слабо изученными, либо тогда, когда площадь выявления флоры оказывается не большой или водоёмы не отличаются типологическим разнообразием. Самые низкие значения РК могут быть интерпретированы следствием низкого биотопического разнообразия, пролонгированного антропогенного воздействия, экстремальных условий биотопов, а также очень поверхностной инвентаризации флоры. Интересным оказалось, что сравнительно высокие значения РК (больше 10) получаются для крупных таксономических списков (600-1500 видов), номенклатура которых не отражает современных представлений о родовой систематике. В случае крупных флор, обработка которых учла таковые, высокий РК выявляет искусственный характер флоры, представления о которой сформированы суммированием списков из контрастных по типологии водоёмов. Однако, объективно высокие значения РК уже способны отразить местные особенности эндемичного видообразования (например, в древних озёрах). Мы отмечаем, что узкое дефинирование рода гармонизирует таксономические отношения, делая их показатели более



устойчивыми к изменению от пролиферации видовых списков при охвате исследованиями больших по площади территорий, новоописаний и т.п., что, в свою очередь, реабилитирует использование таких показателей в качестве ценных инструментов сравнительного анализа альгофлор.

Работа выполнялась при финансовой поддержке гранта РФФИ (16-34-01139 мол\_а). Таксономические исследования частично проведены в рамках гранта РНФ (14-14-00555).

### Список литературы

Куликовский М.С., 2016. Систематика и распространение диатомовых водорослей (Fragilariophyceae, Bacillariophyceae) пресных вод России и сопредельных стран. Автореферат диссертации на соискание ученой степен доктора биологических наук. М.: Московский государственный университет, 2016. 48 с.

Толмачёв А.И., 1986. Методы сравнительной флористики и проблемы флорогенеза / Отв. ред. Л.И. Малышев, И.М. Красноборов. Новосибирск: Наука, 1986. 196 с.

Шмидт В.М., 1984. Математические методы в ботанике. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 288 с.

Kociolek J.P., Williams D.M., 2015. How to define a diatom genus? Notes on the creation and recognition of taxa, and a call for revisionary studies of diatoms // Acta Botanica Croatica. V. 74. P. 195–210.

Nakov T., Ruck E.C., Galachyants Y., Spaulding S.A., Theriot E.C., 2014. Molecular phylogeny of the *Cymbellales* (Bacillariophyceae, Heterokontophyta) with a comparison of models for accommodating rate variation across sites // Phycologia. V. 53. P. 359–373.

Round F.E., 1997. What characters define diatom genera, species and infraspecific taxa? // Diatom Research. V. 11. P. 203–218.

Round, F.E., Crawford, R.M., Mann, D.G., 1990. The Diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 747 pp.

УДК 574.58 (470.51)

**Р.И. Габдуллина<sup>1</sup>, И.А. Каргапольцева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», г. Москва

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск, Удмуртская Республика

e-mail: rushana-gab@yandex.ru

### Макрозообентос реки Малиновка, г. Ижевск, Удмуртская Республика

**Резюме.** В ходе исследования выявлена фауна макрозообентоса реки Малиновка в г. Ижевск Удмуртской Республики. По числу видов доминирующими группами являются двукрылые, брюхоногие моллюски, жуки, ручейники и олигохеты. Общая численность и биомасса макрозообентоса возрастает от истока к устью. Численность беспозвоночных в июне выше, чем в августе. Средняя общая биомасса организмов выше в августе, чем в июне.

Река Малиновка – правый приток реки Иж, относится к Волго-Камскому бассейну. Исток реки находится в 0.5 км западнее д. Малиново. Длина реки – 5.2 км. Площадь водосбора составляет 8.2 км<sup>2</sup>, 52% территории бассейна покрыто лесом. Средний уклон русла – 7.8 м/км. Сток реки в значительной степени зарегулирован тремя небольшими водоемами площадью не более 1.5 га. На всем своем протяжении река течет в восточном направлении и только на последних 500 м меняет направление на северо-восток, отклоняясь из-за шлакоотвалов, засыпавших ее прежнее русло. Расход реки в замыкающем створе в среднем составляет 0.042 м<sup>3</sup>/с, в меженный период – до 0.014 м<sup>3</sup>/с. Объем годового стока равен 1.32 млн. м<sup>3</sup> (Холмогорова, 2001).

Исследования проводились в июне и в августе 2015 года стандартными и гидробиологическими исследованиями (Жадин, 1960). Заложено 5 станций исследования, на

которых отобрано 20 проб макрозообентоса – 10 качественных и 10 количественных. Нумерация станций приводится от истока до устья с №1 до №5. Биомассу отдельных видов макрозообентоса определяли взвешиванием на торсионных весах ВТ-500. Общую численность рассчитывали в показателях плотности  $N$ , экз/м<sup>2</sup>, биомассу –  $B$ , в г/м<sup>2</sup>.

За период исследования было выявлено 88 видов и таксонов надвидового ранга макрозообентоса из 44 семейств, 14 отрядов, 6 классов, 3 типов. По числу видов доминирующими группами являются двукрылые (21 вид), брюхоногие моллюски (20 видов), жуки (12 видов), ручейники и олигохеты по 7 видов соответственно. Другие группы представлены в меньшей степени. Среди брюхоногих моллюсков наибольшим видовым богатством отличаются семейства *Lymnaeidae*, *Planorbidae*, *Bithyniidae*, *Valvatidae*. Среди двукрылых встречаются представители семейств *Chironomidae*, *Tipulidae*, *Stratiomyidae*, *Limoniidae*, *Simuliidae*, *Culicidae*, *Dixidae*, *Scatophagidae*, *Psychodidae*.

Количество видов донных макробеспозвоночных возрастает от истока к устью. Данная закономерность обусловлена накоплением органического вещества по профилю реки к устьевой области, увеличением роли в биоценозах водной и прибрежно-водной растительности – по продвижению к устью увеличивается площадь зарастания макрофитами, тем самым создаются благоприятные местообитания для беспозвоночных: уменьшается скорость течения, повышается температура воды, увеличивается глубина реки в точках отбора проб.

Наибольшее количество видов макрозообентоса зарегистрировано в июне и в августе на станциях №4 и №5. Эти станции характеризуются пониженной скоростью течения. Здесь активно развиваются сообщества водных растений, таких как рясковые, которые создают эффект экотона и являются аккумуляторами взвешенного в воде детрита (Прокин и др., 2008), также обильно представлены: элодея канадская, ежеголовник прямой, частуха подорожниковая. На станции №4 многочисленны поденки *Caenis horaria* L., 1758, личинки ручейников *Hydropsyche angustipennis* Curtis, 1834, *Limnephilus* sp., личинки комаров-звонцов, среди которых доминирует типичный фитофильный вид *Ablabesmyia phatta* (Eggert, 1863). Также на данной станции массово развиваются двустворчатые моллюски *Pisidium inflatum* (Muhlfeld in Porro, 1838) и *Nucleocyclus* sp. На станции №5 многочисленны брюхоногие моллюски *Physa adversa* (DaCosta, 1778), *Cincinna* sp. Из олигохет по численности доминирует типичный фитофильный вид *Stylaria lacustris* (Linnaeus, 1767). Из личинок хирономид наиболее массовым является *Cricotopus* gr. *silvestris*, из ручейников – *Hydropsyche angustipennis*, *Limnephilus rhombicus* L., 1758, *Anabolia furcata* Brauer, 1857, из поденок – *Baetis* sp.

Минимальное количество видов макрозообентоса обнаружено на станции №1 – в июне и в августе по 13 видов. Данная станция находится в истоках реки Малиновка чуть ниже места выхода родника. Фауна станции №1 представлена личинками веснянок – *Nemoura* sp., комаров-звонцов – *Pseudodiamesa* gr. *nivosa* (Goetghebuer, 1928), *C. silvestris*, амфибиотическим моллюском – *Succinea putris* (Linnaeus, 1758), а также личинками двукрылых из семейств *Limoniidae*, *Psychodidae*, предпочитающих зону уреза воды.

Согласно результатам исследования, общая численность макрозообентоса возрастает от истока к устью. Минимальная численность донных макробеспозвоночных зафиксирована в июне и в августе на станции №1 – 666.7 экз/м<sup>2</sup> и 266.7 экз/м<sup>2</sup> соответственно. Фауна данной станции представлена личинками комаров-звонцов, нимфами веснянок. Наибольшая численность бентоса зарегистрирована на станции №5 – 3066 экз/м<sup>2</sup> и 3000 экз/м<sup>2</sup> в июне и в августе соответственно. Здесь массово развиваются брюхоногие моллюски – *Cincinna frigida* (Westerlund, 1885), *Boreoelona sibirica* (Westerlund, 1886), *Lymnaea balthica* (L., 1758), *Opisthorchophorus baudonianus* (Gassiez, 1859).

Средняя общая биомасса организмов в августе выше, чем в июне. Биомасса в августе составила 24.7 г/м<sup>2</sup>, в июне – 19.4 г/м<sup>2</sup>. Наибольшая биомасса организмов макрозообентоса в июне отмечалась на станции №4 – 40.8 г/м<sup>2</sup>. Минимальная биомасса бентоса в июне зафиксирована на станции №1 – 2.578 г/м<sup>2</sup>. В данной точке в истоке реки сообщества бентоса представлено личинками хирономид и нимфами веснянок.

В августе наибольшая общая биомасса зафиксирована на станции №5 – 78.06 г/м<sup>2</sup>. Данная станция характеризуется обильным развитием макрофитов, низкой скоростью течения, что способствовало увеличению видового богатства и развитию лимнофильных видов брюхоногих моллюсков *B. sibirica*, *L. balthica*, *O. baudonianus*, *C. frigida*, а также жуков – *Ilybius fuliginosus* (F., 1792). Наименьшая биомасса в августе также, как и в июне зарегистрирована на станции №1 – 1.98 г/м<sup>2</sup>.

Таким образом, состав и структура донных макробеспозвоночных реки Малиновки очень разнообразны и определяются многими изменяющимися факторами, основные из которых: скорость течения, характер грунтов, наличие водных и прибрежно-водных растений и степень зарастания реки.

### Список литературы

Жадин В.И., 1960. Методы гидробиологического исследования. М.: Высшая школа, 1960. 327 с.

Прокин А.А., Дубов П.Г., Негрбов В.В., 2008. Водные макробеспозвоночные в составе консорциев рясковых (Lemnaceae) водоемов бассейна малой лесной реки в Среднерусской лесостепи // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Лекции и материалы докладов Всероссийской школы-конференции. Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина. 18–21 ноября 2008 г. Борок. Издательство ООО «Ярославский печатный двор», 2008. С. 234–238.

Холмогорова Н.В., 2001. Исследование состояния малых рек г. Ижевска по макрозообентосу (на примере рек Малиновка и Чемошурка) // Тезисы докладов 5-й Российской университетско-академической научно-практической конференции. Ижевск. С. 89–90.

УДК 574.583

Д.Е. Гаврилко, Г.В. Шурганова

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород  
e-mail: dima\_gavrilko@mail.ru

### Пространственное размещение сообществ зоопланктона малого водотока (на примере Шуваловского канала, г. Нижний Новгород)

**Резюме.** На основе результатов исследования видовой структуры зоопланктона с использованием метода многомерного векторного анализа на акватории Шуваловского канала выявлено существование дискретных зоопланктонных сообществ.

В настоящее время в полной мере не решены проблемы выделения сообществ гидробионтов и определения их границ. Важным представляется также изучение сезонных изменений пространственного размещения гидробиоценозов и факторов, определяющих эти изменения.

Малые водотоки являются важным элементом городского ландшафта и играют значительную роль в поддержании биоразнообразия гидробионтов. Шуваловский канал – искусственный водоток, возникший на месте бывших озёр в болотистой низине после мелиоративного вмешательства. Это уникальная, биотопически разнородная водная система, состоящая из заболоченного участка, озёрных расширений, проток и участков, зарастаемых водной растительностью. Общая длина водотока составляет 6.65 км, ширина озерных расширений доходит до 361 м.

Целью данной работы является выделение сообществ зоопланктона Шуваловского канала и характеристика их видовой структуры с использованием многомерного векторного анализа.

Материалом для работы послужили пробы зоопланктона, отобранные на постоянных станциях при единовременной съемке на акватории Шуваловского канала в мае, июле и сентябре 2014 года. Отбор и обработка проб зоопланктона проводились общепринятыми в практике гидробиологических исследований методами (Методические рекомендации..., 1982). Оценка доминирования проводилась по индексу Ковнацкого-Паляя (Баканов, 1987). Для идентификации зоопланктонных сообществ и установления их пространственного размещения был использован метод многомерного векторного анализа, подробно описанный в ряде работ (Черепенников и др., 2004; Шурганова, Черепенников, 2011 и др.). Были рассчитаны косинусы углов между векторами численностей зоопланктона отдельных проб, которые и использовались в качестве мер сходства между пробами. На их основе были построены дендрограммы иерархической кластеризации зоопланктоценозов. Для количественного обоснования выбора оптимального числа кластеров при группировке проб зоопланктона были рассчитаны значения ширины силуэтов и коэффициенты корреляции Мантеля (Rousseeuw, 1987; Legendre, Legendre, 2012; Якимов и др., 2016).

Видовой состав зоопланктона Шуваловского канала за весь период исследований был представлен 118 видами (Rotifera – 61, Cladocera – 41, Copepoda – 16). Среди идентифицированных организмов были обнаружены виды – вселенцы: северо-американская коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) и ветвистоусый рачок *Diaphanosoma orghidani* (Negrea, 1982).

На основе кластеризации проб зоопланктона в мае 2014 года на акватории Шуваловского канала было выделено 5 зоопланктоценозов. Большую часть акватории занимало единое сообщество, охватывающее все озерные расширения канала и протоки, связывающие эти расширения. Сходство видовой структуры проб внутри сообщества было достаточно высоким ( $\cos \alpha$  составлял 0.70-0.98). Абсолютным доминантом здесь выступала коловратка *Keratella quadrata* (O.F.Muller, 1786). Два сообщества, различающиеся по видовой структуре, занимали акваторию болотного участка канала. Два других сообщества располагались на участке протоки, зарастаемой урутью мутовчатой и в непосредственной близости от этого участка. Наличие высокого уровня воды и проточности водотока в мае способствовало формированию небольшого биотопического разнообразия канала и обеспечило существование небольшого числа зоопланктонных сообществ.

Кластерный анализ проб зоопланктона, отобранных в июле показал, что на акватории Шуваловского канала не выделялось протяженных участков, характеризующихся сходной видовой структурой зоопланктона. Было выделено 15 зоопланктонных сообществ, которые занимали заболоченные участки, озерные расширения, протоки, а также участки с развитой водной растительностью. Для сообществ озерных расширений канала было характерно, преимущественно, преобладание по численности и биомассе ветвистоусых и веслоногих ракообразных, а для сообществ протоков – коловраток. Существенно отличались сообщества болотного участка канала и протоки зарастаемой урутью мутовчатой. Здесь наблюдалось высокое видовое богатство зоопланктона (32-55 видов) и полидоминирование. Специфику видовой структуры болотных сообществ определяло наличие болотных видов зоопланктона. В зарослях урути создавались благоприятные условия для развития зоопланктона, что отражалось в высоких значениях биомассы (10.1 г/м<sup>3</sup>). Условия летней межени (небольшая проточность, низкий уровень воды) и развитая высшая водная растительность обеспечивали высокую дискретность зоопланктонных сообществ.

В сентябре осадков выпадало мало, водная растительность сохранилась, поэтому биотопическое разнообразие мало изменилось по сравнению с летним периодом. Было выделено 13 зоопланктонных сообществ, однако границы отдельных зоопланктоценозов сдвинулись относительно их расположения в июле. Выделялись сообщества со сходной видовой структурой, расположенные на значительном удалении друг от друга. На акватории болотного участка канала сформировался единый зоопланктоценоз с преобладанием характерной для болот коловратки *Eudactylota eudactylota* (Gosse, 1886).

Проведенный анализ показал, что в течение периода исследований на акватории Шуваловского канала пространственное размещение зоопланктонных сообществ было дискретным. Максимальная дискретность зоопланктоценозов наблюдалось на протяжении летне-осеннего периода наблюдений, что было обусловлено значительной биотопической неоднородностью водотока.

### Список литературы

Баканов А.И., 1987. Количественная оценка доминирования в экологических сообществах // Фундаментальный обзор индексов обилия и доминирования. Деп. в ВИНТИ 08.12.1987, № 8593-В87. 63 с.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах // Зоопланктон и его продукция. Л.: Государственный НИИ озерного и речного рыбного хозяйства, 1982. 33 с.

Черепенников, В.В., Шурганова Г.В., Гелаишвили Д.Б., Артельный Е.В., 2004. Исследование различий видовой структуры основных зоопланктоценозов Чебоксарского водохранилища методом многомерного анализа // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 6. № 2 (12). С. 328–333.

Шурганова Г.В., Черепенников В.В., 2011. Методы выделения и идентификации сообществ гидробионтов // Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга. Часть VII. Учебное пособие Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет, 2011. С.121–155.

Якимов В.Н., Шурганова Г.В., Черепенников В.В., Кудрин И.А., Ильин М.Ю., 2016. Методы сравнительной оценки результатов кластерного анализа структуры гидробиоценозов (на примере зоопланктона реки Линда Нижегородской области) // Биология внутренних вод. № 2. С. 94–103.

Legendre P., Legendre L., 2012. Numerical ecology. Oxford: Elsevier, 2012. 990 pp.

Rousseeuw P.J., 1987. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis // Journal Computational and Applied Mathematics. V. 20. P. 53–65.

УДК 574.583

**Л.Г. Гречухина**

*Татарское отделение ФГБНУ «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга», г. Казань, Республика Татарстан  
e-mail: rezedageorgii@mail.ru*

### Исследование фитопланктона в нижнем бьефе Чебоксарской ГЭС в 2014-2016 годах

**Резюме.** В работе изложены результаты исследования фитопланктона в нижнем бьефе Чебоксарской ГЭС в 2014-2016 годах. Выявлено 64 вида, принадлежащих к семи отделам. По видовому разнообразию выделяются 2 отдела микроводорослей: Bacillariophyta и Chlorophyta.

Для изучения особенностей развития фитопланктонных сообществ в различные сезоны года были проведены исследования в нижнем бьефе Чебоксарской ГЭС (Волжский плес Куйбышевского водохранилища). Участок акватории, на котором проводился сбор проб фитопланктона, был расположен ниже по течению от запретной зоны Чебоксарской ГЭС и охватывал как русловую, так и прибрежную части водохранилища. Пробы отбирали с 2014 по 2016 года на 4 мониторинговых станциях: в запретной зоне, в Сидельниковской протоке, в устье Цивиль, и у острова Казин.

Отбор и камеральную обработку проб фитопланктона осуществляли согласно общепринятым методикам (Мордухай-Болтовской, 1975; Вассер и др., 1989). Пробы

фитопланктона объемом 0.5 л отбирали в период открытой воды и подо льдом, из поверхностного слоя воды с последующей фиксацией 4% раствором формальдегида.

Фитопланктон концентрировали методом отстаивания в два этапа до 30 мл. Количественный анализ проб проводили в камере «Горяева» объемом 0.0009 мл, в трех повторностях с пересчетом содержания водорослей в 1 л воды. Биомассу водорослей определяли счетно-объемным методом (Федоров, 1979).

В июле 2014 года в составе фитопланктона в районе исследования выявлено 20 таксонов водорослей рангом ниже рода из четырех отделов. Основу таксономического спектра составляли диатомовые (Bacillariophyta) – 9 видов (45% от общего числа видов), зеленые (Chlorophyta) – 6 видов (30%), сине-зеленые (Cyanophyta) – 4 вида (20%), и динофитовые водоросли (Dinophyta) – 1 вид (5%).

Наиболее широко на исследуемых участках были распространены виды рода *Cyclotella* (частота встречаемости 75%), *Anabaena* (50%), а также *Scenedesmus bicaudatus* Dedussenko (25%). Средняя биомасса и численность фитопланктона на станциях составили 1.009 мг/л и 284 тыс. кл./л.

В ноябре 2015 года в составе фитопланктона выявлено 8 таксонов водорослей рангом ниже рода из двух отделов. Основу таксономического спектра составляли диатомовые (Bacillariophyta) – 7 видов (87.5% от общего числа видов) и зеленые водоросли (Chlorophyta) – 1 вид (12.5%). Наиболее широко на исследуемых участках были распространены виды рода *Melosira* (частота встречаемости 50%), *Navicula cryptocephala* Kiitz., *N. lanceolata* (Ag.), *Gyrosigma acuminatum* (Kutz.) Rabenh. (25%). Средняя биомасса и численность фитопланктона на станциях составили 0.046 мг/л и 37 тыс. кл./л.

В мае 2016 года в составе фитопланктона выявлено 36 таксонов водорослей рангом ниже рода из пяти отделов. Основу таксономического спектра составляли диатомовые водоросли (Bacillariophyta) – 12 видов (33.3% от общего числа видов), затем следовали зеленые (Chlorophyta) – 12 видов (33.3%), криптофитовые (Cryptophyta) – 8 видов (22.2%), золотистые (Chrysophyta) – 3 вида (8.2%), эвгленовые (Euglenophyta) – 1 (3%) вид. Наиболее широко на исследуемых участках были распространены *Monoraphidium contortum* (Thur.) Kom-Legn., *Cryptomonas marssonii* Skuja, (частота встречаемости 100%), *Synedra acus* Kiitz., *Cryptomonas ovata* Ehr. (66.6%) и *Nitzshia vermicularis* (Kutz.) Grun., *Pandorina morum* (Mill.), *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Vreb. (33.3%). Средняя биомасса и численность фитопланктона на станциях составили 1.885 мг/л и 4618 тыс. кл./л.

Таким образом, в результате исследований фитопланктона в нижнем бьефе Чебоксарской ГЭС с 2014 по 2016 года было зарегистрировано 64 вида принадлежащих к семи отделам. Наибольшим разнообразием таксонов отличались диатомовые и зеленые водоросли. Другие группы были менее разнообразными.

### Список литературы

Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П., Паламарь-Мордвинцева Г.М., Ветрова З.И., Кордюм Е.Л., Мошкова Н.А., Приходькова Л.П., Коваленко О.В., Ступина В.В., Царенко П.М., Юнгер В.П., Радченко М.И., Виноградова О.Н., Бухтиярова Л.Н., Разумна Л.Ф., 1989. Водоросли. Справочник. Киев: Наукова думка, 1989. 608 с.

Мордухай-Болтовской Ф.Д., 1975. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука. 240 с.

Федоров В.Д., 1979. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: Московский университет, 1979. 168 с.

### Питание бычков-вселенцев в Чебоксарском водохранилище

**Резюме.** Изучены особенности питания трех бычков вселенце в Чебоксарском водохранилище: бычка-цуцика, бычка-кругляка и бычка-головача. Установлено, что наиболее успешно бычки адаптировались в озерной части водохранилища. Все рассмотренные виды питаются в основном амфиподами и личинками хирономид. Пищевые предпочтения бычков в Чебоксарском водохранилище отличаются от таковых в естественных местах обитания.

На данный момент в Чебоксарском водохранилище встречаются 19 видов рыб вселенцев (Клевакин, 2005). Из них наиболее успешно адаптировавшимися чужеродными видами донных рыб в Чебоксарском водохранилище являются бычки рода *Neogobius* – бычок-кругляк (*Neogobius melanostomus*), бычок-головач (*N. iljini*) и бычок-цуцик (*Proterorhinus marmoratus*). Бычки не имеют промыслового значения, но они могут оказывать влияние на другие виды рыб, выступая конкурентами за место обитания, пищевые ресурсы и т.д.

На протяжении 2013-2015 годов производился лов этих видов рыб на всех участках водохранилища (речном, озерном и приплотинном). В качестве орудия лова использовали мальковую волокушу и сачок. Исследования спектра питания отловленных рыб проводились с использованием стандартных методик (Павловский, 1961). Кроме того, параллельно производились гидробиологические исследования.

Рассматриваемые виды рыб встречаются на всех участках водохранилища, но наибольшие скопления отмечаются в озерном и приплотинном. Чаще всего бычки обитают на прибрежных, хорошо прогреваемых, участках водоема с каменистым дном вблизи зарослей водной растительности. В данных местах бычки не редко являются доминирующей группой в выборке.

Успешное расселение бычков в подобных местах обитания объясняется наиболее подходящими условиями для их размножения и развития. На озерном и приплотинном участке водохранилища отмечается увеличение глубин, замедление скорости течения, значительные показатели численности и биомассы зообентоса, являющегося основным источником питания бычков (Баянов, Клеванов, 2005; Фролова, Баянов, 2012).

Основную численность бентоса в Чебоксарском водохранилище, на всем его протяжении, создают моллюски, олигохеты и личинки хирономид. В водохранилищах наблюдается неравномерное распределение плотности и биомассы различных групп донных беспозвоночных (Фролова, Баянов, 2012). Согласно исследованиям, в местах обитания бычков основу биомассы создает моллюск *Lithoglyphus naticoide*, в группе организмов мягкого бентоса доминируют амфиподы и личинки хирономид (в основном род *Cricotopus*). Кроме того, в прибрежной зоне в состав мягкого бентоса входят олигохеты, пиявки и личинки насекомых.

Бычок-цуцик в естественных местах обитания питается в основном червями и ракообразными, в пресных водах – личинками насекомых (Решетников, 2002).

В Чебоксарском водохранилище бычок-цуцик в основном амфиподами. Важную роль в питании так же играют личинки хирономид (*Eudohironomus albipennis*, *Glyptotendipes glaucus*). В составе пищевого комка отдельных особей в незначительном количестве встречаются моллюски, представители ветвистоусых (*Alona* sp.) и веслоногих рачков (*Calanoida*).

Бычок-головач в пределах естественного ареала питается моллюсками, ракообразными, личинками насекомых и молодь рыб (Васильева, Лужняк, 2013). Исследования пищеварительных трактов бычков, обитающих в Чебоксарском водохранилище, показали, что здесь головач предпочитает питаться бентосными организмами. Среди них наиболее часто рыбой потребляются крупные виды амфипод. Изредка в составе пищевого комка были

обнаружены личинки хирономид. Моллюски и молодь рыб в спектре питания бычка-головача в изученных выборках не были обнаружены.

Бычок-кругляк является наиболее успешно адаптировавшимся видом среди бычков. Известны случаи негативного влияния этого вида на аборигенные экосистемы, следовательно, его биология, в том числе характер питания, представляет особый интерес. Бычок активно питается с апреля по октябрь. В целом, в Чебоксарском водохранилище пищевой спектр этого вида широкий и включает в себя: ветвистоусых и веслоногих рачков, амфипод, некоторые виды моллюсков и личинок насекомых (отряды Trichoptera, Ephemeroptera, Heteroptera и Diptera (Chironomidae и Ceratopogonidae)).

Известно, что в естественных местах обитания этот вид питается в основном моллюсками (Васильева, Лужняк, 2013). На всех исследованных участках Чебоксарского водохранилища моллюски бычком потреблялись в незначительном количестве, основой питания кругляка здесь являются личинки хирономид (Дарсия, 2015). Кроме того, значительную роль в питании кругляка играют амфиподы.

Из результатов проведенных исследований вытекает, что бычок-цуцик, бычок-головач и бычок-кругляк успешно адаптировались в Чебоксарском водохранилище. С учетом анализа характеристик бентосного сообщества в водохранилище, можно сделать заключение о том, что все бычки обладают некоторой степенью избирательности питания: не смотря на обилие моллюсков в прибрежной зоне водоема, все рассмотренные виды бычков предпочитают использовать в пищу личинок хирономид и амфипод. Тем самым спектр питания этих видов в Чебоксарском водохранилище отличаются от их исходных мест обитания.

### **Список литературы**

Решетников Ю.С. (ред.), 2002. Атлас пресноводных рыб России. Т. 2. М.: Наука, 2002. 379 с.

Баянов Н.Г., Клевакин А.А., 2005. Особенности питания рыб-вселенцев в Чебоксарском водохранилище // Тезисы докладов Второго международного Симпозиума по изучению инвазийных видов «Чужеродные виды в Голарктике (Борок 2)». Борок, 2005. С. 137–138.

Васильева Е.Д., Лужняк В.А., 2013. Рыбы бассейна Азовского моря. Ростов-на-Дону, 2013. 272 с.

Дарсия Н.А., 2015. Питание бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus*) в летне-осенний период 2013 года в озерной части Чебоксарского водохранилища // Эколого-биологические особенности Чебоксарского водохранилища и водоемов его бассейна. СПб, 2015. С. 21–29.

Клевакин А.А., 2005. Динамика расселения чужеродных видов рыб в Чебоксарском водохранилище // Чужеродные виды в Голарктике. Тезисы докладов Второго международного симпозиума по изучению инвазийных видов. Борок, 2005. С. 152–154.

Павловский Е.Н. (ред.), 1961. Руководство по изучению питания рыб в естественных условиях. Москва, 1961. 263 с.

Фролова Е.А., Баянов Н.Г., 2012. Оценка количественного развития кормовых организмов макрозообентоса в Чебоксарском водохранилище // Сборник докладов материалов участников всероссийской конференции «Бассейн Волги в XXI веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ». Ижевск: Издатель Пермьяков С.А., 2012. С. 319–322.



М.Д. Димова<sup>1,2</sup>, А.Н. Гурков<sup>1,2</sup>, Е.В. Мадьярова<sup>1</sup>,  
Е.С. Кондратьева<sup>1,2</sup>, Р.В. Адельшин<sup>2,3</sup>, М.А. Тимофеев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет» г. Иркутск

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет» НИИ биологии, г. Иркутск

<sup>3</sup> ФКУЗ «Иркутский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, г. Иркутск  
e-mail: mariya.d.dimova@gmail.com

### Генетическое разнообразие микроспоридий, обнаруженных в гемолимфе байкальских эндемичных амфипод *Eulimnogammarus verrucosus*

**Резюме.** Особи вида *Eulimnogammarus verrucosus* из четырех точек западного побережья озера Байкал подразделяются на три популяции на основе последовательности фрагмента гена COI. У представителей всех трёх популяций *E. verrucosus* обнаружена ДНК микроспоридий рода *Microsporidium*. У представителей популяции из залива Лиственничный обнаружена ДНК микроспоридий трёх родов: *Microsporidium*, *Dictyocoela* и *Nosema*.

Микроспоридии (*Microsporidia* Balbiani, 1882) – тип облигатных внутриклеточных паразитов, поражающие практически все эукариотические организмы. Всего описано около 187 родов и более 1400 видов микроспоридий. Почти половина видов поражают водных организмов и около 50 родов – водных членистоногих (Huang et al., 2014; Weiss, Becnel, 2014). Многие микроспоридии (например, род *Dictyocoela*) влияют на гормональный статус хозяина и могут вызывать феминизацию у членистоногих (Jahnke et al., 2013).

Озеро Байкал – самое глубокое и одно из древнейших озер мира. Свыше 10% всего видового разнообразия байкальской фауны представлено амфиподами (более 350 эндемичных видов и подвидов). Амфиподы освоили почти все глубины и все типы субстратов в озере. Возраст и географическая изоляция данной группы организмов даёт уникальную возможность для изучения взаимосвязи между паразитом и хозяином, эволюции и генетического разнообразия паразитов. Эндемичный вид амфипод *Eulimnogammarus verrucosus* – один из наиболее массовых видов прибрежной зоны Байкала (Русинек и др., 2012). В данной работе была проведена детекция и анализ степени зараженности микроспоридиями вида *E. verrucosus* из четырёх мест обитания в озере Байкал (западное побережье озера): залив Лиственничный, залив Большие Коты, о. Ольхон (мыс Бурхан) и порт Байкал. Кроме того, для амфипод, отобранных из этих точек был проведен анализ их популяционной структуры на основе фрагмента гена цитохромоксидазы I (COI).

Для детекции микроспоридий в гемолимфе эндемичных амфипод *E. verrucosus* использовали молекулярно-генетические методы (ПЦР, секвенирование фрагмента гена SSU рДНК). Образцы гемолимфы, используемые для ПЦР-анализа были объединены в пул из нескольких отдельных амфипод одного вида (3-4 особи в образце). Также, для выяснения популяционного разнообразия *E. verrucosus* был рассчитан Fst-критерий, на основании которого выявлено три популяции гаммарид (использовано 15-30 последовательностей фрагмента гена COI на одну точку сбора). Первая популяция (с юга на север) – порт Байкал, вторая – Листвянка и Большие Коты, третья – Малое Море. Значение Fst-критерия составляет 0.93.

В результате нами было получено 13 нуклеотидных последовательностей ДНК микроспоридий длиной 650 п.н. Филогенетическое дерево было построено с помощью программы Mega 7 (Kumar et al., 2016), по топологии которого выявлено три отдельных кластера. Первый кластер объединяет представителей рода *Microsporidium* (последовательности ДНК микроспоридий *E. verrucosus* из всех четырёх точек сбора образцов). Второй кластер включает последовательности ДНК микроспоридий, принадлежащих к роду *Dictyocoela* (ДНК микроспоридий из гемолимфы *E. verrucosus*, обитающих в заливе

Лиственничный). Третий кластер включает последовательности, относящиеся к роду *Nosema* (ДНК микроспоридий из гемолимфы *E. verrucosus*, залив Лиственничный). Таким образом, представители всех трёх популяций *E. verrucosus* заражены микроспоридиями рода *Microsporidium*. И только у представителей второй популяции (залив Лиственничный) была обнаружена ДНК микроспоридий трёх родов: *Microsporidium*, *Dictyocoela* и *Nosema*.

Также проведена оценка степени заражённости микроспоридиями отдельных особей амфипод из разных мест обитания в озере Байкал. Особи *E. verrucosus* имеют следующий уровень заражённости микроспоридиями (род *Microsporidium*): из залива Большие Коты – 0.8-1%, Порты Байкал – 2.4-3.1%, острова Ольхон – 1.8-2.4%, залива Лиственничный – 2.2-2.9%. Также мы рассчитали общую степень заражённости микроспоридиями (все рода: *Nosema*, *Dictyocoela* и *Microsporidium*) *E. verrucosus* из залива Лиственничный, которая составляет – 8.3-10.9%.

Одним из объяснений большей заражённости микроспоридиями амфипод из залива Лиственничный может быть изменение состояния окружающей среды в литорали озера Байкал, наблюдаемое в последние годы (в частности, вдоль береговой линии залива Лиственничный).

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 14-04-00501, № 15-04-06685, гранта РНФ 14-14- 00400, темы ГЗ 1354–2014/51.

### Список литературы

Русинек О.Т., Тахтеев В.В., Ходжер Т.В. и др., 2012. Байкаловедение. Т. 2. Новосибирск: Наука, 2012. 644 с.

Huang X., Qi, G., Pan Z., Zhu F., Huang Y.W., 2014. Identification of a microsporidian isolate from *Snaphalocrocis Medinalis* and its pathogenicity to *Bombyx mori* // Journal of Basic Microbiology. V. 54. Iss. 11. P. 1166–1174.

Jahnke M., Smith J.E., Dubuffet A., Dunn A.M., 2013. Effects of feminizing microsporidia on the masculinizing function of the androgenic gland in *Gammarus duebeni* // Journal of Invertebrate Pathology. V. 112. P. 146-151.

Kumar S., Stecher G., Tamura K., 2016. MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 7.0 for bigger datasets // Molecular Biology and Evolution. V. 33 (7). P. 1870–1874.

Weiss L.M., Becnel J.J., 2014. Microsporidia Pathogens of Opportunity: First Edition. UK, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 2014. 53 pp.

УДК 574.583

**Т.В. Золотарёва, В.С. Жихарев, М.Ю. Ильин, Г.В. Шурганова**

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород  
e-mail: tanyakuklina.nn@yandex.ru

### **Показатели количественного развития вида-вселенца *Kellicottia bostoniensis* и аборигенного вида *Kellicottia longispina* в пелагиали двух разнотипных карстовых озёр в Нижегородской области**

**Резюме.** В 2013-2014 годах в пелагиали двух разнотипных карстовых озёр в Нижегородской области исследована встречаемость и обилие двух видов коловраток: вселенца *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) и аборигенного вида *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879). Установлено, что вид-вселенец характеризовался большим количественным развитием в зоопланктоне оз. Свято, чем в оз. Великом. Аборигенный вид *K. longispina* был малочисленен в обоих озёрах.

Проблема вселения и успешной адаптации живых организмов за пределы их исторических ареалов крайне актуальна в настоящее время (Дгебуадзе, 2002). Наряду с

разрушением естественных мест обитания видов, инвазии чужеродных видов являются одной из основных угроз биоразнообразию (Лазарева, Жданова, 2013).

В роде *Kellicottia* Ahlstrom, 1938 (сем. Brachionidae) известны два вида: *K. longispina* и *K. bostoniensis*. *K. longispina* – пелагическая коловратка, широко распространенный обитатель северных широт. *K. bostoniensis* – североамериканский вид, интенсивно расселяющийся в разнотипных водных объектах Южной Америки и Европы. На территории Нижегородской области вид обнаружен в озерах юго-запада области, в том числе в оз. Свято (Вауанов, 2014), в среднем течении р. Керженец (Ильин и др., 2014), р. Чара и оз. Чарском (Ильин и др., 2015). Также коловратка была идентифицирована в водоемах и водотоках г. Нижнего Новгорода, Чебоксарском водохранилище и реке Оке (Шурганова и др., 2015).

*Целью работы* было проведение оценки соотношений показателей количественного развития инвазивного вида *K. bostoniensis* и родственного ему аборигенного вида *K. longispina* в двух разнотипных карстовых озерах Нижегородской области.

*Материалы и методы исследований.* Материалом для работы послужили пробы зоопланктона, отобранные на постоянных станциях акваторий оз. Великое и оз. Свято (Пустынская озёрно-речная система) в июле 2013-2015 годов. Отбор проб проводился путем тотальных ловов от дна до поверхности сетью Джели (диаметр входного отверстия 18 см, капроновое сито № 64) в пелагиали озер. Сбор и обработка материала проводилась в соответствии с общепринятыми в практике исследований методами (Методические рекомендации..., 1982).

*Общая характеристика исследованных озер.* Пустынская озёрно-речная система расположена в пределах заказника «Пустынский» на территории Арзамасского района Нижегородской области. Озера карстового происхождения, формирующие единую систему, расположены по руслу р. Серёжи. Общая площадь оз. Великого 91.25 га, длина до 1600 м, ширина до 780 м, средняя глубина 3.5 м. Вода озера мягкая (жёсткость составляет 2.4 мг-экв/л), минерализация слабая. Оз. Свято – вторично-олиготрофное озеро с площадью 26.55 га и максимальной глубиной 14.5 м. В озере наблюдается летняя температурная стратификация, а также отмечается большая, по сравнению с оз. Великим, прозрачность воды (средние значения составляют 1.5-1.6 м). Озера отличаются по ряду гидрохимических показателей. Показатель электропроводности воды оз. Великого значительно выше (219 Ms/cm), чем оз. Свято (69 Ms/cm). Также в оз. Великом в два раза выше концентрация растворенного кальция, магния и гидрокарбонатов, по сравнению с оз. Свято (Шурганова и др., 2013).

*Результаты и их обсуждение.* В результате проведенных исследований оба вида зоопланктона – вид-вселенец *K. bostoniensis* и аборигенный вид *K. longispina* – были идентифицированы в составе зоопланктона оз. Свято во все годы наблюдений. В период проводимых исследований вид-вселенец также был отмечен в зоопланктоне оз. Великого, но его численность была гораздо ниже, чем в оз. Свято. В отличие от чужеродной коловратки *K. bostoniensis*, аборигенный вид *K. longispina* не был обнаружен в пробах, отобранных на акватории оз. Великого в 2013 году.

Вид-вселенец доминировал в сообществе зоопланктона оз. Свято в 2013 и 2014 годах. Его численность составляла – 43.6% (163.9 тыс. экз./м<sup>3</sup>) от общей численности зоопланктона в июле 2013 и 36.9% (45.3 тыс. экз./м<sup>3</sup>) в июле 2014 года. Показатели количественного развития *K. bostoniensis* в оз. Великом были значительно ниже и не превышали 3.4% (15.2 тыс. экз./м<sup>3</sup>) от общей численности зоопланктона. Аборигенный вид также доминировал в сообществе зоопланктона оз. Свято, но его численность была невысокой, по сравнению с чужеродным видом (3 тыс. экз./м<sup>3</sup>). *K. longispina* была идентифицирована в оз. Великом только в 2014 году, ее численность составляла менее 1% от общей численности зоопланктона (2 тыс. экз./м<sup>3</sup>).

Согласно полученным нами результатам, в условиях относительно глубоководного вторично-олиготрофного оз. Свято вид-вселенец *K. bostoniensis* характеризовался большим количественным развитием, чем в эвтрофном оз. Великом. Однако для контроля за количественным развитием вида-вселенца, изучения его экологических особенностей необходимо проведение дополнительных мониторинговых исследований.

### Список литературы

Дгебуадзе Ю.Ю., 2002. Проблемы инвазий чужеродных организмов // Экологическая безопасность и инвазии чужеродных организмов. Всероссийская конференция по экологической безопасности. М., 2002. С. 11–14.

Лазарева В.И., Жданова С.М., 2014. Американская коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) в водохранилищах Верхней Волги // Биология внутренних вод. № 3. С. 63–68.

Ильин М.Ю., Шурганова Г.В., Жихарев В.С., Кудрин И.А., 2015. Роль вида-вселенца *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) в видовой структуре зоопланктонных сообществ озера Чарское и реке Чара Нижегородской области // Тезисы докладов II Международной конференции «Актуальные проблемы планктонологии». Калининград: Изд. КГТУ, 2015. С. 98–99.

Ильин М.Ю., Кудрин И.А., Шурганова Г.В., 2014. Видовая структура зоопланктона малых рек ГПБЗ «Керженский» Нижегородской области // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Материалы II-й Всероссийской школы-конференции, 18-22 ноября 2014 г. В двух томах. Том II. Ярославль: Филигрань, 2014. С.168–172.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л., 1982.

Шурганова Г.В., Кудрин И.А., Жихарев В.С., Ильин М.Ю., Гаврилко Д.Е., Куклина Т.В., 2015. Сезонные изменения пространственного размещения сообществ зоопланктона верхней речной части Чебоксарского водохранилища и устьевое участка р. Оки // Современные проблемы науки и образования. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23310>.

Шурганова Г.В., Ильин М.Ю., Кудрин И.А., Заева И.А., 2013. Видовая структура и пространственное размещение зоопланктоценозов некоторых водоёмов Пустынской озёрно-речной системы Нижегородского Поволжья // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Биология. Т. 1. № 5. С. 148–152.

Bayanov N.G., 2014. Occurrence and abundance level of *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) in lakes of the Nizhniy Novgorod region // Russian Journal of Biological Invasions. № 1. P. 83–87.

УДК 574.587(262.54)

**Е.А. Ковалёв, Л.Н. Фроленко, Л.А. Живоглядова**

ФГБНУ «Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства», г. Ростов-на-Дону  
e-mail: kovalev.dgek-jek@mail.ru

### Зообентос района Предпроливье Азовского моря

**Резюме.** В этой работе рассмотрены сообщества района Предпроливье Азовского моря по исследованиям 2015-2016 годов. Инвазивные виды, которые 20 лет назад в этом районе встречались единично, в данное время формируют относительно устойчивые сообщества. Таким образом, имеющиеся данные по распределению как в целом сообществ, так и отдельных видов быстро устаревают. Нами обнаружено, что моллюск *Anadara kagoshimensis* стал в этом районе доминирующим видом в зообентосе.

За последнее время зообентосные сообщества Азовского моря структурно изменялись под воздействием биологических, антропогенных, гидрохимических и гидрологических факторов. Наиболее значительные изменения в сообществах зообентоса наблюдаются в районе Предпроливье и Таганрогском заливе.

Наибольший интерес для исследований представляют двустворчатые моллюски, так как они не только являются кормовой основой для ряда бентосоядных рыб, но также формируют благоприятные условия для развития других групп зообентоса, например, для усонного рака *Amphibalanus improvisus* (Darwin, 1854), прикрепляющегося к раковинам как живых, так и мертвых моллюсков (Матишов и др., 2010).

Исследуемый район Азовского моря располагается в южной части моря. Он ограничен с севера Центральным, с востока Кубано-Темрюкским, с запада Юго-Западным районами моря, на юге он примыкает к Керченскому полуострову и проливу (Воронков, Свиташев, 1941). Основное влияние на соленость района оказывает водообмен с Чёрным морем. Преобладающие грунты в данном районе алевритовые илы с примесью ракуши и песка.

*Цель работы* – провести изучение таксономической структуры, численных показателей зообентоса района Предпроливье и определить роль доминирующих видов в сообществе.

Для изучения бентосных сообществ района Предпроливье Азовского моря использовались пробы зообентоса, отобранные в рейсах АзНИИРХа в 2015-2016 годах. Всего было отобрано 10 проб с 4 станций весной, летом и осенью. Пробы отбирались дночерпателем с площадью захвата 0.1 м<sup>2</sup>, отмывались на бентосном столе, затем фиксировались 70%-ным спиртом. Далее обрабатывались в лаборатории по общепринятым методикам (Абакумов и др., 1983).

В составе зообентосных сообществ зарегистрировано 32 вида, при этом нематоды, олигохеты, остракоды и гидроидные до вида не определялись. Наибольшим количеством видов представлены полихеты – 10 видов, ракообразные – 7 видов и двустворчатые моллюски – 6 видов.

По результатам проведенных исследований получены следующие данные, в районе Предпроливье моллюски преобладают над другими группами зообентоса. Наиболее распространены двухстворчатые моллюски *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906), *Cerastoderma glaucum* (Bruguère, 1789), *Abra segmentum* (Récluz, 1843), *Mytilaster marioni* (Locard, 1889); единично встречаются *Mya arenaria* Linnaeus, 1758, *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819. Среди брюхоногих моллюсков преобладает *Hydrobia acuta* (Draparnaud, 1805), а *Retusa variabilis* (Milaschewitsch, 1912), *Parthenina interstincta* (J. Adams, 1797) встречаются редко и не регулярно, что не дает представления о их истинном распространении и роли в сообществах.

Среди моллюсков основную роль играют двустворчатые моллюски особенно виды, которые создают основу биомассы зообентоса, а также среду обитания.

Двустворчатый моллюск *A. kagoshimensis* был впервые обнаружен в районе Предпроливье (Чихачев и др., 1994; Загорская, 2014), а сейчас он повсеместно распространён по Азовскому морю за исключением распреснённых районов Таганрогского залива. В исследуемом районе этот моллюск образует сообщество с субдоминантом *C. glaucum*. Молодь моллюска прикрепляется к твёрдым предметам, раковинам мертвых и живых моллюсков бисусными нитями, иногда образует друзы вместе с *M. marioni* и *A. kagoshimensis*, что лучше защищает от поедания бентосоядными рыбами, чем *C. glaucum*. Вид *C. glaucum*, формировавший в этом районе сообщество до вселения *A. kagoshimensis*, в настоящее время является субдоминантом (Воробьёв, 1949; Набоженко и др., 2006). Эти два вида составляют 95% от всей биомассы зообентоса моллюсков и 91% от общей биомассы зообентоса района Предпроливье, что составляет приблизительно 777 г/м<sup>2</sup>.

*H. acuta* наиболее массовый вид в Азовском море. Хотя его массовая доля в зообентосе в Предпроливье невелика, около 1% от общей, но численность составляет около 1500 экз./м<sup>2</sup>, что делает его важным кормовым объектом для бентосоядных рыб. Биомасса *H. acuta*, как и его численность подвержена сезонным колебаниям. Так минимальная биомасса наблюдалась весной, а максимальная летом (0.13 г/м<sup>2</sup> и 24.57 г/м<sup>2</sup> соответственно).

Ракообразные в зообентосе района представлены в основном *Amphibalanus improvisus* (Darwin, 1854), *Cyprideis torosa* var. *littoralis* Brady, 1864, *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841),

*Ostracoda* spp. Из всех ракообразных встречается регулярно и повсеместно в Предпроливье лишь *A. improvises*. Его биомасса в зообентосе составляет в среднем 14.84 г/м<sup>2</sup>.

Полихеты представлены *Nephtys hombergii* Savigny in Lamarck, 1818, *Nephtys cirrosa* Ehlers, 1868, *Alitta succinea* (Leuckart, 1847) и др. Доля полихет в исследованном районе составляет около 1% при массе 6.52 г/м<sup>2</sup>.

Основной вклад в общую численность сообщества вносят мелкие организмы, такие как фораминиферы *Ammonia beccarii* (Linnaeus, 1758), олигохеты, нематоды, остракоды и молодь полихет.

Средняя численность зообентоса района Предпроливье колебалась от 15648 экз./м<sup>2</sup> в апреле 2015 до 54081 экз./м<sup>2</sup> в августе 2015 года. Биомасса колебалась от 696 г/м<sup>2</sup> в августе 2015 до 1159.0 г/м<sup>2</sup> в октябре 2015 года, в среднем составляя 850 г/м<sup>2</sup>.

Таким образом, зообентос района Предпроливье Азовского моря структурно изменился за последние десятилетие. Моллюск *A. kagoshimensis* стал преобладающим видом. Количественные показатели данного моллюска выше, чем у ранее доминировавшего *S. glaucum*.

### Список литературы

Абакумов В.А., Бубнова Н.П., Холикова Н.И., Горидченко Т.П., Лиена Р.А. и др., 1983. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. // Гидрометеиздат, 1983. 239 с.

Воронков П.П., Свиташев А.И., 1941. Опыт расчета возможной солености Азовского моря в связи с предстоящим изменением его режима // Труды НИУ ГУГМС. Сер. 5. Вып. 2. С. 14–29.

Воробьев В.П., 1949. Бентос Азовского моря // Труды Аз-ЧерНИРО. Вып. 13. 195 с.

Загорская А.С., 2014. Макрозообентос рыхлых грунтов северо-восточной части Черного моря (Джугба-Кудепста) // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Вып. 3. С. 64–71.

Матишов Г.Г., Польшин В.В., Шохин И.В., 2010. Влияние геоморфологических особенностей дна Азовского моря на распределение зообентоса // Вестник ЮНЦ РАН. Т. 6. Вып. 2. С. 14–20.

Набоженко М.В., Шохин И.В., Сарвилина С.В., Коваленко Е.П., 2006. Современное состояние макрозообентоса Азовского моря // Вестник ЮНЦ РАН. Т. 2. Вып. 2. С. 83–92.

Чихачев А.С., Фроленко Л.Н., Реков Ю.И., 1994. Новый вселенец в Азовское море // Рыбное хозяйство. № 3. С. 40–41.

УДК 594.1:591.55 (262.5)

М.А. Ковалева, А.А. Надольный

ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь  
e-mail: kovalmargarita@mail.ru

### Новые данные о состоянии поселения *Donacilla cornea* (Mollusca: Bivalvia: Mesodesmatidae) у побережья Крыма

**Резюме.** В работе представлены данные о численности и биомассе *D. cornea*. По данным разных исследователей статус этого вида за последние шестьдесят лет менялся от массового до исчезающего. Вид занесен в Красную книгу Черного моря (Gomoiu, Petranu, 1999) и в Красную книгу Крыма (Ревков, 2015).

*Donacilla cornea* (Poli, 1791) – двустворчатый моллюск, обитающий на песчаных грунтах в зоне верхней сублиторали. В Черном море в середине прошлого века он был широко распространен у берегов западного Крыма, Румынии и Болгарии. В этих районах средняя

численность особей могла составлять более 3 тысяч экз./м<sup>2</sup>. Из-за увеличения уровня эвтрофикации и антропогенной нагрузки побережий в 1970-80-х годах прошлого века вид стал считаться практически вымершим. Однако с 2000-х годов *D. cornea* вновь начали отмечать в прежних местообитаниях, но численность особей оставалась очень низкой. Так, в 2010 году В.Г. Копий, исследуя макрозообентос в прибрежных районах северо-западной части крымского побережья Черного моря, отметила, что средняя численность *D. cornea* на разных полигонах взятия проб изменялась от 31 до 95 экз./м<sup>2</sup>, а биомасса – от 1.78 до 21.22 г/м<sup>2</sup> (Копий, 2012).

Материал собран в июле 2016 года на побережье с рекреационной нагрузкой вблизи г. Евпатория (45°10'01.6"N 33°14'14.9"E). Пробы брали на урезе воды ручным дночерпателем площадью 0.04 м<sup>2</sup>. Всего выполнено 10 станций, 20 проб. Расстояние между станциями – 10 м. Считали численность, биомассу и длину раковины *D. cornea*, затем моллюсков выпускали в море.

В исследуемом районе было обнаружено полноценное разновозрастное поселение донациллы. Численность моллюска изменялась от 250 до 2250 экз./м<sup>2</sup>, средняя составила 1068 экз./м<sup>2</sup>. Биомасса – от 131 до 1150 г/м<sup>2</sup>, средняя – 491 г/м<sup>2</sup>. Длина раковины составила от 4 до 25 мм, большая часть особей имела длину – 15-20 мм.

Таким образом, по нашим данным и данным других авторов (Micu, Micu, 2006; Шадрин и др., 2009; Копий, 2012) можно говорить о фрагментарном восстановлении поселений *D. cornea*. Учитывая тот факт, что этот моллюск в своем жизненном цикле не имеет планктонной личиночной стадии (все потомство остается в исходном местообитании) и при этом является довольно чувствительным к загрязнению своего биотопа, можно судить и о некотором улучшении условий обитания этого вида.

### Список литературы

Копий В.Г., 2012. Современное состояние поселений *Donacilla cornea* в прибрежных районах северо-западной части Черного моря // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Сер. Біологія. № 2 (51). С. 140–144.

Ревков Н.К., 2015. Донацилла роговая *Donacilla cornea* (Poli, 1791) // Красная книга Республики Крым. Животные. Симферополь: ООО «ИТ «АРИАЛ». С. 41.

Шадрин Н.В., Копий В.Г., Колесникова Е.А., Афанасова Т.А., 2011. Опукский природный заповедник: к изучению биоразнообразия песчаной супралиторали (Крым, Керченский п-ов) // Заповедники Крыма. Биоразнообразие и охрана природы в Азово-Черноморском регионе. Материалы VI Международной научно-практической конференции (Симферополь, 20-22 октября 2011 г.). Симферополь. С. 381–384.

Gomoiu M., Petranu A., 1999. *Donacilla cornea* (Poli, 1791) // Black Sea Red Data Book. Edited by Dumont H.J. P. 195–196.

Micu D., Micu S., 2006. Recent records, growth and proposed IUCN status of *Donacilla cornea* (Poli, 1795) from the Romanian Black Sea // Cercetari marine. № 36. P. 117–132.

### Оценка видового разнообразия зоопланктона Ириклинского водохранилища в весенний период 2015-2016 годов

**Резюме.** По основным количественным показателям развития, а также на основании экологических индексов проведена оценка биологического разнообразия зоопланктона Ириклинского водохранилища в весенний период 2015-2016 годов.

Оценка биологического разнообразия и контроль над ним требуют измерения, а это становится возможным, только тогда, когда качественные признаки описываются количественно, в величинах, которые можно сравнивать. Это послужило причиной создания многочисленных вариантов оценки биоразнообразия (Терещенко и др., 1994; Баканов, 2000; Протасов, 2002; Крылов, 2005; Розенберг, 2005; Топтиков и др., 2010).

*Цель данной работы:* дать сравнительную характеристику изменения биологического разнообразия зоопланктона Ириклинского водохранилища за весенний период (май) в 2015 и 2016 годах. Наблюдение проводили на стандартных мониторинговых разрезах (трансектах) – четырех плесах: Чапаевском, Софинском, Таналык-Суундукском и Приплотинном, а также трех заливах: Таналыкском, Суундукском, Соленом (Малинина, 2011; Колозин, Малинина, 2016). Для водохранилища характерен слабый водообмен – менее одного раза в год (0.7), что характерно для водоемов (озер) слабой проточности (Килякова, 2007).

Оценка биологического разнообразия была проведена на основании 4-х рассчитанных и проанализированных индексов: индекс Шеннона по численности, индекс Симпсона, индекс Тейла, показатель уровня внутреннего разнообразия системы (ПУВР).

В период наблюдений 2015 года температура воды составила  $8.41 \pm 0.42^\circ\text{C}$ , а прозрачность  $1.25 \pm 0.15$  м. В составе зоопланктона за этот период было отмечено 29 таксономических групп. Самой разнообразной группой по числу видов были веслоногие рачки (отряд Copepoda) – 44.9%, на долю коловраток (класс Rotifera) приходилось 41.4%, ветвистоусых ракообразных (подотряд Cladocera) – 10.3%, группы «прочие» – 3.5%. При этом на всех исследованных участках по численности (92.5%) и биомассе (89.5%) доминировали веслоногие ракообразные. Численность Copepoda составляла 16.93 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Доминирующую роль в сообществе играли *Cyclops strenuus* Fischer, 1851 (20.7%) и *C. vicinus* Ulyanin, 1875 (18.0%), а также науплиальные стадии Copepoda (23.2%). Численность Cladocera составляла 1.27%.

К моменту работ в 2016 году вода прогрелась до  $11.75 \pm 0.49^\circ\text{C}$ . Прозрачность же на водоеме изменялась в пределах от 1.3 до 2.53 м и составила в среднем  $1.79 \pm 0.21$  м. Наибольшего развития на всех исследованных участках получили коловратки *Brachionus calyciflorus* Pallas, 1976 (29.2% численности), *Keratella quadrata* Müller, 1786 (17.3%), а также науплиальные стадии Copepoda (14.3%). Количество выявленных таксонов на данном этапе работы увеличилось до 46. Лидирующее положение по количеству видов стали занимать коловратки – 36.9%, количество веслоногих рачков составило 34.8%, ветвистоусых ракообразных – 19.6%, группы «прочие» – 8.7%. Соотношение Cycloporiformes : Calaniformes составляло 3:1. Зоопланктонный комплекс этого периода носил коловраточно-копеподный характер. Общая численность организмов несколько увеличилась, преимущественно за счет большей встречаемости коловраток, и составила в среднем  $27.99 \pm 5.97$  тыс. экз./м<sup>3</sup>, тогда как показатель биомассы снизился почти в 2.5 раза и составил  $0.24 \pm 0.05$  г/м<sup>3</sup>, вместо  $0.56 \pm 0.012$  г/м<sup>3</sup> в 2015 году.

Индекс Шеннона в 2015 году варьировал в пределах 2.72-3.47, в среднем  $3.35 \pm 0.71$ , тогда как в 2016 году его среднее значение увеличилось до  $3.42 \pm 0.73$ . Если в 2015 году



максимальные значения были характерны для Чапаевского плеса (3.47), а минимальные для Суундукского залива (2.39), то в 2016 году максимальные значения были характерны для Соленого залива (3.36), а минимальные для Чапаевского плеса (1.55). Значения этого индекса выше 3 позволяют охарактеризовать зоопланктонное сообщество как высоко разнообразное.

Индекс Симпсона принимал минимальные значения (0.11) в Чапаевском плесе в 2015 году и в Соленом заливе в 2016 году (0.12). Максимальные значения индекса (0.56) зафиксированы в Чапаевском плесе в 2016 году. Они связаны в первую очередь с тем, что 73.8% численности приходилось на мелкие формы коловраток *B. calyciflorus*. Средние показатели за сезон в 2015 году составили  $0.13 \pm 0.03$ , а в 2016 году –  $0.15 \pm 0.02$ , что характеризует водоем в целом, как имеющий высокую степень эквитабельности.

Изменения во времени коэффициентов Тейла и ПУВР, имели схожую динамику с индексом Шеннона. Единственным исключением были изменения индекса Тейла в 2016 году, когда максимальные значения отмечены в Таналыкском заливе. Следует обратить внимание, что индекс Тейла изменялся в довольно узких пределах, от 5.98 до 7.79 ( $8.21 \pm 1.75$ ) в 2015 году и от 5.94 до 7.75 ( $8.94 \pm 1.10$ ) в 2016 году, тогда как значения ПУВР имели больший размах. В 2015 году он изменялся от 5.59 до 32.51, составляя в среднем  $25.51 \pm 5.44$ , а в 2016 году от 7.87 до 37.05, в среднем –  $38.27 \pm 8.26$ .

Сравнительный анализ рассчитанных индексов показал, что зоопланктон Ириклинского водохранилища характеризуется высокими показателями биоразнообразия. Степень эквитабельности системы также достигает высоких значений. Особое внимание стоит обратить на некоторую неоднозначность в трактовке разнообразия по трем близким индексам – Шеннона, Тейла и ПУВР. На наш взгляд, последний имеет серьезное преимущество в достоверности оценки биоразнообразия, т.к. в лучшей мере учитывает оба фактора биоразнообразия: видовое богатство и эквитабельность.

### Список литературы

*Баканов А.И.*, 2000. О некоторых методологических вопросах применения системного подхода для изучения структур водных экосистем // Биология внутренних вод. № 2. С. 5–19.

*Киякова Ю.В.*, 2007. Экологическое состояние Ириклинского водохранилища. Оценка вылова рыбы за последнее десятилетие. Научный журнал КубГАУ. № 33 (9).

*Колозин В.А., Малинина Ю.А.*, 2016. Биоразнообразие зоопланктона Ириклинского водохранилища (р. Урал) // Современное состояние биоресурсов внутренних водоемов и пути их рационального использования. Материалы всероссийской конференции с международным участием, посвященная 85-летию Татарского отделения. 24-29 октября 2016 г. Казань, 2016. В печати.

*Крылов А.В.*, 2005. Зоопланктон равнинных малых рек. М.: МГУ. 181 с.

*Лебедева Н.В., Кривоуцкий Д.А.*, 2002. Биологическое разнообразие и методы его оценки. Коллектив авторов. География и мониторинг биоразнообразия. М.: Изд-во Научного и учебно-методического центра Моск. ун-та. 432 с.

*Малинина Ю.А.*, 2011. Современное состояние зоопланктона Ириклинского водохранилища // Материалы конференции «Экологические проблемы пресноводных рыбохозяйственных водоемов России.» Санкт-Петербург, 2011. С. 234–238.

*Протасов А.А.*, 2002. Биоразнообразие и его оценка. Концептуальная диверсикология. Киев: Институт гидробиологии НАН Украины, 2002. 105 с.

*Розенберг Г.С.*, 2005. Количественные методы экологии и гидробиологии (сборник научных трудов, посвященный памяти А.И. Баканова). Тольятти: СамНЦ РАН. 404 с.

*Терещенко В.Г., Терещенко Л.И., Сметанин М.М.*, 1994. Оценка различных индексов для выражения биологического разнообразия сообщества // Биоразнообразие: степень таксономической изученности. М.: Наука, 1994. С.86–98.

*Топтиков В.А., Дьяченко Л.Ф., Тоцкий В.Н.*, 2010. Оценка спектров множественных форм ферментов с помощью показателя уровня внутреннего разнообразия системы // Цитология и генетика. Т. 44. № 1. С. 46–53.

### **Макрозообентос зоны псевдолиторали природного заповедника «Мыс Мартьян»**

**Резюме.** В основу работы положен материал бентосной съёмки рыхлых грунтов зоны псевдолиторали акватории заповедника «Мыс Мартьян». Определены качественный состав и количественные параметры макрозообентоса. Выявлено неравномерное горизонтальное распределение представителей макрозообентоса в зоне псевдолиторали.

Заповедник «Мыс Мартьян» организован по Постановлению Совета Министров УССР №84 от 20.02.1973 года с целью сохранения типичного для приморской зоны Южного берега Крыма (ЮБК) природного комплекса реликтовых высокоможжевеловых лесов, морской флоры и фауны, прилегающей к акватории Чёрного моря.

Начиная с 60-х годов прошлого века на ЮБК ведётся интенсивное гидротехническое строительство, в условиях которого побережье мыса Мартьян является одним из немногих сохранившихся естественных участков с типичной донной растительностью. Ценность его велика еще и потому, что гидроботанический район «Южный берег Крыма» – наиболее богатый по флористическому составу район Чёрного моря.

Заповедник расположен в центральной части ЮБК в 6 км восточнее г. Ялта. Общая площадь заповедника составляет 240 га, из которых 120 га приходится на сушу и 120 – на акваторию.

Территория заповедника представляет собой относительно пологий макросклон, заканчивающийся у берега обрывом из известняков и сцементированных брекчий. Пляжевые полосы состоят в основном из мраморовидного известняка. Район характеризуется приглубыми берегами, постоянным и сильным волнением, типичным для открытого моря (Маслов и др., 2011; Садогурьска, 2013).

Цель настоящей работы заключается в изучении видового разнообразия и количественных параметров представителей макрозообентоса в зоне псевдолиторали заповедника «Мыс Мартьян».

*Материал и методы.* В основу работы положены материалы бентосной съёмки, выполненной в августе 2014 года. Отбор проб осуществляли на небольшом пляже ручным дночерпателем в двух повторностях. Пробы отбирали на шести разрезах, находящихся на расстоянии 10 м друг от друга. Разрез располагался перпендикулярно берегу и состоял из четырёх станций: зона уреза, ниже уреза на 1 и 0.5 м и выше уреза воды на 0.5 м. Урезом воды считали среднюю линию между верхним и нижним краями заплеска. Всего было взято 48 количественных проб.

*Результаты и обсуждение.* В исследуемой зоне идентифицированы 6 видов макрозообентоса, относящиеся к разным таксономическим категориям: Polychaeta (*Saccocirrus papillocercus* Bobretzky, 1872), Crustacea (*Echinogammarus foxi* (Schellenberg, 1928), *E. olivii* (Milne Edwards, 1830), *E. ischnus* (Stebbing, 1899), *Hyale perieri* (Lucas, 1849), *H. schmidti* (Heller, 1866)); Platyhelminthes до вида не определены.

Средний показатель численности гидробионтов составил 2820 экз/м<sup>2</sup>, биомассы – 2.27 г/м<sup>2</sup>. Доминировали по данным показателям ракообразные (88% и 76%, соответственно). Ранжированный ряд по количественным показателям возглавляет *E. olivii*, средняя численность которого составила 2271 экз/м<sup>2</sup>, при биомассе 1.5 г/м<sup>2</sup>.

Эхиногаммарус – типично прибрежная форма, обитающая в самой верхней зоне сублиторали. В Чёрном море локализуется у самого уреза воды, укрываясь в углублениях нижней поверхности камней, на галечных или песчаных грунтах. В штормовую погоду раки отходят от уреза воды на глубину до трёх метров (Грезе, 1985).

Далее следует вид полихет *S. papillocercus*, численность которого составила 327 экз/м<sup>2</sup>, биомасса – 0.5 г/м<sup>2</sup>. Для данного вида характерно обитание в зоне псевдолиторали, обычно на крупнозернистом песке (Копий, Лисицкая, 2012). По нашим данным в гранулометрическом составе грунта в исследуемом районе преобладает (более 50%) крупный и средний гравий с примесью крупного песка. Численность может значительно колебаться в зависимости от изменения состава грунта или гидрологического режима (Виноградов, 1949; Киселёва, 2004).

Можно предположить, что преобладание крупных фракций грунта и высокая степень прибойности являются негативными факторами и препятствуют обитанию гидробионтов в зоне псевдолиторали. Этим и можно объяснить бедный видовой состав в данном районе.

Следует отметить, что представители макрозообентоса неравномерно распределяются по горизонтам псевдолиторали: ниже уреза воды численность составила 2596 экз/м<sup>2</sup>, биомасса 2.21 г/м<sup>2</sup>; на урезе воды – 3804 экз/м<sup>2</sup> при биомассе 3.41 г/м<sup>2</sup>; выше уреза – 2025 экз/м<sup>2</sup>, 1.18 г/м<sup>2</sup>, соответственно.

Наибольшие количественные показатели гидробионтов выявлены в зоне уреза воды. Существенный вклад в формирование данных показателей внесли полихеты *S. papillocercus* и амфиподы *E. olivii*.

Таким образом, в зоне псевдолиторали акватории заповедника «Мыс Мартьян» выявлено 6 видов макрозообентоса и не идентифицированные до вида Platyhelminthes.

Средняя численность гидробионтов составила 2820 экз/м<sup>2</sup>, биомасса – 2.27 г/м<sup>2</sup>. Наибольшие количественные показатели отмечены на участке уреза воды.

Существенный вклад в формирование данных показателей внесли *S. papillocercus* и *E. olivii*.

### Список литературы

Виноградов К.А., 1949. К фауне кольчатых червей (Polychaeta) Чёрного моря // Труды Карадагской биостанции. Вып. 8. С. 18–56.

Грезе И.И., 1985. Бокоплавцы // Фауна Украины. Высшие ракообразные. Т. 26. Вып. 5. К.: Наукова Думка, 1985. 172 с.

Киселева М.И., 2004. Многощетинковые черви (Polychaeta) Чёрного и Азовского морей. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2004. 409 с.

Копий В.Г., Лисицкая Е.В., 2012. Некоторые особенности биологии и современное состояние популяции *Saccocirrus papillocercus* Bobretzky, 1872 (Polychaeta: Saccocirridae) прибрежной зоны Крыма (Чёрное море) // Морской экологический журнал. Т. 11, № 4. С. 39–44.

Маслов И.И., Крайнюк Е.С., Саркина И.С., Костин С.Ю., Сергеенко А.Л., 2011. Основные направления и результаты научной и природоохранной деятельности отдела охраны природы НБЦ-НИЦ, природного заповедника «Мыс Мартьян» (1973-2010 гг.) // Бюллетень Никитского ботанического сада. Вып. 100. С. 29–39.

Садогурська С.О., 2013. Анотований список Суаноргосаргота морської кам'янистої супраліторалі природного заповідника "Мис Мартьян". Чорноморський ботанічний журнал, № 9 (1). С. 125–138.

**Таксономическое разнообразие макрозообентоса Южного Каспия в восточной части разреза о. Куринский Камень – о. Огурчинский в летний период 2015 года в сравнении с аналогичным периодом 2013-2014 годов**

**Резюме.** В статье представлено качественное и количественное сравнение обнаруженных донных организмов Южного Каспия в восточной части разреза о. Куринский Камень – о. Огурчинский в летний период 2013-2015 годов.

Сбор и исследование макрозообентоса восточной части Южного Каспия (разрез о. Куринский Камень – о. Огурчинский) проводили по стандартным методикам (Методика..., 1975; Романова, 1983), а определение изучаемых таксонов по «Атлас беспозвоночных Каспийского моря» (Бирштейн, Виноградова, 1968).

В летний период 2015 года в восточной части Южного Каспия (разрез о. Куринский Камень – о. Огурчинский) в составе зообентоса было выделено 4 класса донных беспозвоночных: Polychaeta, Oligochaeta, Crustacea и Bivalvia. Всего на исследуемой акватории было обнаружено 17 видов и форм бентосных организмов, что отличается от уровня прошлых лет: 27 видов в 2014 году; 28 видов в 2013 году. Зообентос был представлен всеми экологическими группами при превалировании организмов морского и солоноватоводного комплексов (по 35%). Традиционно ведущее положение по числу встречаемых видов занимали высшие ракообразные (65%). В этой группе, относительно данных прошлых 2013 и 2014 годов, отмечено снижение видового состава до 11 таксономических единиц против 20 и 18 в 2014 и 2013 году соответственно. В качественном отношении наблюдалась замена одних таксонов морского генезиса (*Carinocuma birsteini*, *Niphargoides grimmi*, *Derzhavinella macrochelata*, *Corophium spinulosum*, *Pontogammarus paradoxus*, *Niphargogammarus derzhavini* в 2013-2014 годах) на другие (*Schizorhynchus eudorelloides*, *Pontoporeia affinis microphthalma* в 2015 году). Летом 2015 года в исследуемых пробах не обнаружены насекомые сем. Chironomidae. В таксономической группе Vermes в 2015 году наблюдалось полное отсутствие нематод, а класс Polychaeta увеличился на одну таксономическую единицу (*Hupania invalida*). Видовой состав двустворчатых моллюсков в исследуемый период остался неизменным (относительно 2013-2014 годов) и был представлен единственным видом морского генезиса *Mytilaster lineatus*. Из обнаруженных организмов повсеместным распространением характеризовались олигохеты и кумовые раки *Schizorhynchus eudorelloides* (100%). Кроме этого, высокий процент встречаемости (67%) наблюдался у полихет (*Nereis diversicolor*, *Hupaniola kowalewskii*, *Manayunkia caspica*), кумовых раков (*Stenocuma graciloides*) и корофид (*Corophium nobile*, *Corophium micronatum*). Формирование донной фауны осуществлялось, главным образом, за счет организмов «мягкого» бентоса, на долю которых приходилось 99% численности, чего нельзя сказать о биомассе, которая составляла лишь 17% от общей биомассы обнаруженных организмов. В 2015 году произошла полная смена доминирующего комплекса – по численности (64%) и биомассе (64%) преобладали кольчатые черви, тогда как в 2013 году как в качественном, так и в количественном отношении лидировали ракообразные, в 2014 году ракообразные преобладали по биомассе. Средняя численность и биомасса зообентоса на исследованной акватории составила 1.26 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 6.22 г/м<sup>2</sup> соответственно. Относительно 2013 и 2014 годов численность организмов сократилась в 3 и 4.8 раза соответственно, что может быть вызвано отсутствием в пробах бокоплавов, а величина биомассы осталась на уровне прошлых лет, что обусловлено присутствием мелких форм моллюсков (13-15 мм). В группе червей наибольшим развитием характеризовались малощетинковые (0.33 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 0.13 г/м<sup>2</sup>), за исключением нематод, которые в пробах 2015 года не обнаружены, и

многощетинковые (*Hypuniola kowalewskii* – 0.4 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 0.18 г/м<sup>2</sup>). Из ракообразных преобладали кумовые раки, а именно *Schizorhynchus eudorelloides* (0.12 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 0.03 г/м<sup>2</sup>), а также корофииды, среди которых встречались как взрослые половозрелые особи, так и разноразмерная молодежь. Усоногий рак *Balanus improvisus* сократил участок обитания с 67% в 2014 году до 33% встречаемости в 2015 году.

### Список литературы

Бирштейн Я.А., Виноградова Л.Г. (ред.), 1968. Атлас беспозвоночных Каспийского моря. М: Пищевая промышленность, 1968. 430 с.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.

Романова Н.Н. (ред.), 1983. Методические указания к изучению бентоса южных морей СССР. М.: ВНИРО, 1983. 14 с.

УДК 574.622

Т.А. Кострыкина, Д.С. Даирова

ФГБНУ «Каспийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства», г. Астрахань  
e-mail: kostrykina.t@mail.ru

### Распределение структурных характеристик макрозообентоса Южного Каспия в восточной части разреза (о. Куринский Камень – о. Огурчинский) в летний период 2013-2015 годов

**Резюме.** Изучены особенности вертикального распределения макрозообентоса Южного Каспия в восточной части разреза о. Куринский Камень – о. Огурчинский. Дана сравнительная характеристика структурных показателей макрозообентоса в зависимости от типа биотопа.

Распределение макрозообентоса по глубинам в исследуемый период (2013-2015 года) соответствовало основным биотопическим особенностям, которые свойственны донной фауне восточной части Южного Каспия (разрез о. Куринский Камень – о. Огурчинский) (Бирштейн, Виноградова, 1968). Сбор и исследование макрозообентоса проводили по стандартным методикам (Методика..., 1975).

В интервале глубин от 20 до 50 м преобладают песчаные грунты с примесью битой ракуши. Данные биотопические условия являются благоприятными для массового развития кольчатых червей, высших ракообразных и двустворчатых моллюсков, что и нашло свое подтверждение в ходе проведенных исследований. Из группы червей доминирующими здесь являлись полихеты, а именно *Hypuniola kowalewskii* (0.99 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 0.46 г/ м<sup>2</sup>), из ракообразных – кумовый рачок *Schizorhynchus bilamellatus* (0.28 тыс. экз./ м<sup>2</sup> и 0.18 г/ м<sup>2</sup>). Распространение усоногого рачка *Balanus improvisus* и двустворчатого моллюска *Mytilaster lineatus* в 2015 году, также приходится только на интервал 20-50 м. Относительно 2013 года численность донных беспозвоночных в этом диапазоне глубин выросла в 1.6 раза преимущественно за счет увеличения доли многощетинковых червей.

В диапазоне глубин 50-100 м основу количественных показателей подобно прошлым годам формировали высшие ракообразные. Следует отметить, что в 2013 году массово здесь развивались кумовые раки (*Stenocuma diastylodes*, *Schizorhynchus bilamellatus*), в 2014 году корофииды (*Corophium chelicorne*, *C. mucronatum*) и усоногие раки, в 2015 году усоногие раки не обнаружены, среди корофиид и кумовых раков в большей степени развивались *C. chelicorne* и *Sch. eudorelloides* соответственно. Относительно предыдущих 2013-2014 годов численность и биомасса зообентоса в этом интервале глубин сократилась почти в 2 раза, что было обусловлено уменьшением доли практически всех групп беспозвоночных, за исключением кумовых раков и полным отсутствием усоногого рачка *Balanus improvisus*.

На глубине 100-150 м как в 2013-2014 годах, так и в 2015 году преобладали исключительно организмы «мягкого» бентоса, это вызвано присутствием здесь соответствующих биотопических условий (глинистые илы белого цвета с примесью мелкой битой ракуши) нехарактерных для развития «жесткого» бентоса. В массовом количестве здесь развивались черви класса Oligochaeta. Из группы ракообразных, как и в предшествующие два года, доминировали кумовые – *Stenocuma diastylodes*, а также гаммариды – *Pontoporeia affinis microphthalma*.

В целом в рассматриваемый период (2013-2015 года) наиболее продуктивным являлся интервал глубин 20-50 м.

### Список литературы

Бириштейн Я.А., Виноградова Л.Г. (ред.), 1968. Атлас беспозвоночных Каспийского моря. М: Пищевая промышленность, 1968. 430 с.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.

УДК 574.5 (282.247.416.8)+(282.247.416.1)

**Е.М. Курина**

ФГБУН «Институт экологии Волжского бассейна РАН», г. Тольятти, Самарская область  
e-mail: ekaterina\_kurina@mail.ru

### Чужеродные виды амфипод (Crustacea, Amphipoda) Куйбышевского и Саратовского водохранилищ

**Резюме.** В работе представлен анализ состава, распределения чужеродных видов амфипод, их количественная оценка в сообществах макро- и нектозообентоса Саратовского и Куйбышевского водохранилищ. Показано, что наибольшими свойствами инвазионности в водохранилищах обладают амфиподы *Pontogammarus robustoides* (G.O. Sars, 1894) и *Dikerogammarus haemobaphes* (Eichwald, 1841). Выявлены особенности жизненного цикла массовых видов амфипод, способствующих их распространению в водохранилищах Средней и Нижней Волги: высокая плодовитость и раннее созревание самок, длительность периода размножения; большее по сравнению с пресноводными видами число генераций, преобладание самок в летний период.

С середины XX века отмечено массовое вселение чужеродных видов амфипод (в основном Понто-Каспийского комплекса) в континентальные воды Европы, где они успешно натурализовались и сформировали устойчивые самоподдерживающиеся популяции (Bij de Vaate et al., 2002; Konopačka, Jazdzewski, 2002). В ряде случаев вселенцы успешно конкурировали с аборигенными видами, и в конечном итоге становились доминирующими или даже вытесняли нативные виды амфипод (Pinkster et al., 1977; Dick, Platvoet, 2000).

В период исследований 2009-2013 годов в Саратовском и Куйбышевском водохранилищах выявлено 13 видов амфипод, что составляет около 10% всего таксономического состава макро- и нектозообентоса. Все массовые чужеродные виды амфипод, отмеченные в Куйбышевском и Саратовском водохранилищах, Понто-Каспийского происхождения. Единственный представитель Понто-Азовской фауны – бокоплав *Shablogammarus chablensis* (Cărgăușu, 1943), впервые отмеченный нами в 2009 году (Зинченко, Курина, 2011), имеет относительно низкую численность и биомассу по сравнению с каспийскими видами и менее успешную стратегию размножения.

Особенно интенсивно амфиподы заселяют прибрежные участки Саратовского водохранилища, где их биомасса достигает 40% от общей биомассы бентоса. Максимальное развитие в водохранилищах получили бокоплавы *Pontogammarus robustoides* (G.O. Sars, 1894) и *Dikerogammarus haemobaphes* (Eichwald, 1841), в то время как амфиподы *D. villosus*

(Sowinsky, 1894), *Stenogammarus similis* (G.O. Sars, 1894) и *Chaetogammarus ischnus* (Stebbing, 1898) отмечены единично.

Практически все виды амфипод обладают широкой степенью эвригалинности и способностью переносить сильные колебания температуры, что связано с частыми исторически сложившимися изменениями солености и гидрологического режима в Каспийском море вследствие таяния ледников (Muskó, 1992). Широкое распространение чужеродных видов амфипод в водохранилищах Средней и Нижней Волги обусловлено значительным воздействием человека на водоемы (эвтрофикация, загрязнение), которое привело к сокращению разнообразия аборигенной фауны и повышению уровня минерализации (Bij de Vaate et al., 2002). Высокая инвазионная активность амфипод объясняется также их широким спектром питания (Дедю, 1980) и способностью колонизировать различные типы субстратов. Наряду с этим, отмечается способность амфипод значительно увеличивать свою численность в новых местообитаниях за короткий период времени за счет успешной стратегии размножения (Дедю, 1980; Алимов, Богуцкая, 2004; Grabowskyi et al., 2007). Для оценки репродуктивной способности амфипод выбрано 8 основных характеристик жизненного цикла: средняя длина тела яйценосной самки; максимальное и среднее количество яиц в марсупиальной сумке самки; индекс относительной плодовитости (определяется как отношение среднего количества яиц к средней длине тела самки); длительность периода размножения (в месяцах); индекс зрелости (определяется как отношение минимальной к средней длине тела половозрелых самок); соотношение самцов и самок; число генераций в год.

Анализ полученных данных показал, что крупные чужеродные виды амфипод *P. robustoides*, *D. haemobaphes* и *D. caspius* (Pallas, 1771) имеют самый высокий репродуктивный потенциал в Куйбышевском и особенно в Саратовском водохранилищах, который выражается в высокой плодовитости, раннем созревании самок, коротком времени для производства одной генерации. Быстрому увеличению численности амфипод способствует и тот факт, что в период размножения в популяции преобладают самки (для разных видов доля самок составляла от 55 до 78%).

Наименее плодовитыми оказались мелкие виды амфипод *Chaetogammarus warpachowskyi* G.O. Sars, 1894 и *S. chablensis*, самки которых не могут производить большое количество яиц из-за незначительных размеров выводковых сумок. Однако, за счет длительности периода размножения, а также быстрого роста и раннего созревания самок численность *C. warpachowskyi* в волжских водохранилищах в последние годы увеличивается.

Таким образом, большинство чужеродных видов амфипод, вселившихся в Куйбышевское и Саратовское водохранилища (*D. haemobaphes*, *D. caspius*, *P. robustoides* и др.), по характеристикам (эврибионтность, эврифагия, высокая плодовитость, быстрый рост и раннее созревание, преобладание самок в период размножения) близки к r-стратегам, т.е. значительно увеличивают свою численность за короткий промежуток времени, становясь массовыми в водоемах-реципиентах.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 16-34-00108 и № 15-04-03341.

### Список литературы

Алимов А.Ф., Богуцкая Н.Г. (ред.), 2004. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах. М.: товарищество научных изданий КМК, 2004. 436 с.

Дедю И.И., 1980. Амфиподы пресных и солоноватых вод Юго-Запада СССР. Кишинев: Штиинца, 1980. 223 с.

Зинченко Т.Д., Курина Е.М., 2011. Распределение видов вселенцев в открытых мелководьях Саратовского водохранилища // Российский журнал биологических инвазий. № 2. С. 74–85.

Bij de Vaate A., Jazdzewski K., Ketelaars H.A.M., Gollasch S., Van der Velde G., 2002. Geographical patterns in range extension of Ponto-Caspian macroinvertebrates species in Europe // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 59. P. 1159–1174.

Dick J.T.A., Platvoet D., 2000. Invading predatory crustacean *Dikerogammarus villosus* eliminates both native and exotic species // Proceedings of the Royal Society, Series B: Biological Sciences. V. 267. P. 977–983.

Grabowskyi M., Bączela K., Konopacka A., 2007. How to be an invasive gammarid (Amphipoda: Gammaroidea) – comparison of life history traits // Hydrobiologia. V. 590. P. 75–84.

Konopacka A., Jazdzewski K., 2002. *Obesogammarus crassus* (G.O. Sars, 1894) – one more Ponto-Caspian gammarid species in Polich waters // Fragmenta faunistica. V. 45. P. 19–26.

Muskó I.B., 1992. Amphipoda species found in Lake Balaton since 1987 // Miscellanea Zoologica Hungarica. V. 7. P. 59–64.

Pinkster S., Smit H., Brandse-De Jong N., 1977. The introduction of the alien amphipod *Gammarus tigrinus* Sexton, 1939, in The Netherlands and its competition with indigenous species // Crustaceana. Suppl. 4. P. 91–105.

УДК: 598.244.1(556.55)

**О.Р. Кутузова, Д.Д. Павлов, И.А. Столбунов**

ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им И.Д. Папанина РАН», пос. Борок, Ярославской область  
e-mail: lesy1@yandex.ru

**Характеристика колониального поселения двух видов цапель  
(*Ardea cinerea* L. и *Ardea alba* L.) и некоторые аспекты их средообразующей  
деятельности в прибрежье Рыбинского водохранилища**

**Резюме.** В конце июля 2015 года во время исследования колонии серой цапли *Ardea cinerea* на о-ве Радовский на Рыбинском водохранилище в Ярославской области в ее составе были обнаружены жилые гнезда большой белой цапли *Ardea alba* с сидящими в них взрослыми птицами и подростками птенцами. Данное гнездование большой белой цапли говорит о расширении гнездового ареала к северу в Европейской части России. В начале августа 2016 был зафиксирован рост численности большой белой цапли в исследуемой колонии. Исследование средообразующей деятельности колонии показало, что продукты ее жизнедеятельности оказывают влияние на ихтиофауну прилегающей акватории. Данный средообразующий эффект жизнедеятельности колонии цапель на молодь рыб имеет временной характер и ограничен периодом гнездования.

На о-ве Радовский, расположенном в Волжском плесе Рыбинского водохранилища (58°03' с.ш., 38°17' в.д.), продолжительное время существует колония серой цапли *Ardea cinerea* (Linnaeus, 1758). В 2010 году в ней насчитывалось 82 жилых гнезда, которые размещались в кронах берёз, осин и сосен (до 5 гнёзд на одном дереве). В конце июля 2015 года в колонии были обнаружены 11 жилых гнезд большой белой цапли *Ardea alba* (Linnaeus, 1758) с сидящими в них взрослыми птицами и подростками птенцами. Гнезда располагались по краям колонии двумя группами. Всего в колонии находилось 45 больших белых цапель. При исследовании колонии в 2016 году количество жилых гнёзд большой белой цапли выросло до 13. Гнезда более не располагались по краям колонии серой цапли, а, напротив, переместились в центр поселения. В начале августа 2016 года было насчитано 48 птиц, что говорит о росте численности данного вида в исследуемой колонии.

Основываясь на литературных данных и материалах настоящих исследований, можно с уверенностью констатировать значительное расширение гнездового ареала большой белой цапли к северу Европейской части России (Петрова, Павлов, 2016). Более того, по имеющимся у нас данным, можно утверждать, что данная колония является самым северным поселением



большой белой цапли в Европе (Lawicki, 2014). Как и в большинстве зарегистрированных в литературе случаях, большая белая цапля поселилась в сформированной колонии серой цапли, не образуя нового моновидового поселения (Петрова, Павлов, 2016).

Продукты жизнедеятельности колонии цапель оказывают влияние на ихтиофауну прилегающей акватории Рыбинского водохранилища. На мелководье водохранилища в районе колонии цапель относительно фонового участка численность молоди рыб была выше (6.0 экз./м<sup>2</sup> в цапельной колонии и 3.6 экз./м<sup>2</sup> в фоновом участке соответственно). Молодь наиболее массового вида рыб – плотвы – отличалась достоверно более высокими значениями линейно-массовых показателей, а также большим темпом весового прироста. Выявлены фенотипические различия у разных биотопических группировок молоди рыб в зависимости от места обитания: по антедорсальному расстоянию, высоте спинного плавника, расстоянию между грудным и брюшным плавниками, диаметру глаза и высоте головы у затылка. Показано, что средообразующий эффект жизнедеятельности колонии цапель на молодь рыб имеет временной характер и ограничен периодом их гнездования (Столбунов и др., в печати).

### Список литературы

Петрова О.Р., Павлов Д.Д., 2016 Первое обнаружение гнездовой большой белой цапли *Casmerodius albus* в Ярославской области // Российский журнал биологических инвазий. № 3. С. 128–134.

Столбунов И.А., Кутузова О.Р., Крылов А.В., 2017. Видовой состав молоди рыб, ростовых и морфологических характеристик плотвы (*Rutilus rutilus* (L.)) открытого мелководья Рыбинского водохранилища в зоне поселения цапель (*Ardea cinerea* L. и *A. alba* L.) // Биология внутренних вод. № 2. В печати.

Lawicki L., 2014. The Great White Egret in Europe: population increase and range expansion since 1980 // British Birds V. 107. P. 8–25.

УДК 591.9

О.Г. Лопичева, И.А. Мухин

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда  
e-mail: olga2008.08@bk.ru

### Эпифитон макрофитов литорали Ладожского озера

**Резюме.** Изучена экологическая структура эпифитонных сообществ, формирующихся на различных видах макрофитов, а также на различных частях одного растения. Показана зависимость структуры сообщества от организации пространства вокруг частей растения. Отмечена неоднородность распределения перифитона на участках одного растения.

Сообщества перифитонных организмов играют важную роль в функционировании организации водных экосистем. Высокая скорость метаболизма, а также формирование на границе раздела фаз обуславливают их высокое разнообразие и численные характеристики (Протасов, 1994). Актуальность изучения процессов заселения перифитоном высшей водной растительности увеличивается в связи с усилением процесса эвтрофирования, что выражается в высокой скорости зарастания водных объектов. Также следует отметить, что макрофиты, находясь на любой стадии своего развития, создают вокруг себя специфические условия для обитания других гидробионтов (Быкова и др., 2010). Многочисленные исследования подтверждают аллелопатическое влияние макрофитов. Например, было показано, что эфирное масло рдеста пронзенolistного, рдеста малого и роголистника темнозеленого обладает выраженным бактерицидным действием, угнетая рост бактерий (Митрукова, 2015). Особого внимания заслуживает разнородность и сложность субстрата, такого как макрофиты, для заселения организмами перифитона (Мухин, 2013).

В связи с этим, для исследования заселения эпифитомом различных участков макрофитов были выбраны 2 модельных организма – роголистник и рдест, произрастающие в северном шхерном районе Ладожского озера. Сборы проводились по стандартным методикам в августе 2016 года. Перифитонные организмы наблюдались непосредственно на побегах роголистника и листьях рдеста прижизненно при увеличении микроскопа 10×15.

В целом, сообщество микроперифитонных организмов было представлено прикрепленными и свободно живущими инфузориями, диатомовыми (в том числе одиночными и колониальными) водорослями, коловратками, бесцветными и окрашенными жгутиконосцами, а также планктонными автотрофами. Наибольшим разнообразием отличались сообщества перифитона, формирующиеся на листьях рдеста, где весомую роль играли прикрепленные жгутиконосцы. Несколько реже встречались колониальные диатомовые, а наименьшее количество было отмечено для одиночных диатомовых, коловраток и различных водорослей. Инфузории не отмечались на листовых пластинках. Сообщество обрастателей роголистника было несколько однороднее и включало, в основном, одиночные диатомовые водоросли. Во флоре диатомовых отмечены представители родов *Fragelaria*, *Tabellaria*, *Asterionella*, *Diatoma*, *Aulacoseira*. Значительно меньше была встречаемость свободно живущих и прикрепленных инфузорий, а также колониальных диатомовых и коловраток. Вероятно, это связано с тем, что эфирные масла роголистника обладают более высокой антимикробной активностью, по сравнению с рдестом (Митрукова, 2015), что влияет на структуру сообщества перифитона.

Анализировалась экологическая структура сообществ микроэпифитона. Было выделено пять групп в зависимости от особенностей освоения пространства (прикрепленные или свободные, одиночные или колониальные формы), а также по положению в цепи питания (продуценты и консументы).

При исследовании микроперифитонных сообществ различных частей одного растения (роголистника) было отмечено, что наименьшее число видов встречается в зоне образовательных меристем. Там доминирующее положение занимали одиночные диатомовые, в незначительном количестве встречались колониальные диатомовые водоросли. При этом плотность эпифитона выше на концевых участках побегов. Заметно более разнообразное сообщество фиксировалось на средней части побега роголистника, в гуще побегов. Хотя доминирующее положение также занимали одиночные диатомовые водоросли, заметную долю играли свободноживущие и прикрепленные инфузории. Изредка отмечались коловратки и планктонные автотрофы. Такое распределение организмов, вероятно, связано с повышенным содержанием фитонцидов в зоне образовательных меристем роголистника.

### Список литературы

Быкова С.Н., Борисовская Е.В., Виноградов Г.А., 2010. Влияние некоторых макрофитов и нитчатых водорослей на сукцессию микроперифитонных сообществ // Поволжский экологический журнал. № 3. С. 241–253.

Митрукова Г.Г., 2015. Компонентный состав и антибактериальная активность эфирных масел рдеста туполистного (*Potamogeton obtusifolius* Mert. et Koch) и роголистника тёмно-зелёного (*Ceratophyllum demersum* L.). Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. СПб: Институт озероведения РАН, 2015. 168 с.

Мухин И.А., 2013. Экологическая структура сообществ перифитонных инфузорий на различных субстратах в естественном и искусственном водотоках // Вода: Химия и экология. № 12. С. 64–70.

Протасов А.А., 1994. Пресноводный перифитон. Киев: Наукова Думка, 1994. 307 с.

Е.В. Мадьярова, Д.С. Бедулина, В.А. Емшанова,  
Д.В. Аксенов-Грибанов, Б.К. Бадурев, М.А. Тимофеев  
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», НИИ биологии, г. Иркутск  
e-mail: madyarovae@gmail.com

### Сравнительный анализ базовых показателей энергетического обмена и БТШ 70 у глубоководных и литоральных видов байкальских эндемичных амфипод

**Резюме.** Провед сравнительный анализ базовых показателей энергетического обмена и содержания БТШ 70 у двух представителей глубоководных байкальских амфипод рода *Ommatogammarus* с разных глубин обитания. Показали, что уровни БТШ 70 изменялись в зависимости от обитания по градиенту глубин. Базовые уровни аденилатов и их энергии у *O. flavus* с увеличением глубины обитания снижаются. Базовые уровни аденилатов у литоральных видов амфипод выше в среднем в три раза выше чем у глубоководных.

Байкальские амфиподы (Amphipoda: Crustacea) представляют собой уникальную «модельную систему» для изучения вопросов эволюции и адаптации. Большие глубины озера Байкал (до 1640 м), а также высокое насыщение воды кислородом по всей толщии позволили сформироваться пресноводной фауне глубоководных амфипод – единственной в мире. Одним из интересных представителей которой с точки зрения механизмов стресс- адаптации является род *Ommatogammarus*. Ряд видов этого рода населяет различные глубины (от sublittoralis до абиссали) и предоставляет идеальную возможность сравнительного изучения механизмов адаптации как у близкородственных видов, так и у различных популяций одного вида, обитающих по градиенту условий среды. В качестве объекта исследования нами были выбраны два эврибатных вида *O. flavus* и *O. albinus*, который встречаются от 50 м до 1500 м и отличаются по термотоллерантности (Тимофеев, 2010).

Таким образом целью исследования было оценить базовые уровни энергетического обмена и БТШ 70 у видов *O. flavus* и *O. albinus* по градиенту глубин, а также провести сравнение исследуемых показателей с литоральными видами.

Отлов амфипод *O. flavus* и *O. albinus* осуществляли в районе пос. Большие Коты (Южный Байкал) с установленных ледовых станций при помощи глубоководных ловушек. Ловушки располагались на глубинах 50 м, 100 м, 150 м, 200 м и 300 м. Фиксация амфипод производилась в жидком азоте в момент вылова. В лабораторных условиях были измерены базовые уровни содержания ряда энергетических метаболитов (аденилаты и их энергия, глюкоза, гликоген и лактат), а также определены базовые уровни БТШ 70 и количество изоформ БТШ 70.

Количественный анализ ловушек показал, что *O. flavus* чаще встречается от 50 до 150 м, а *O. albinus*, начиная от 300 м и глубже, на 50 м вид обнаружен не был. Таким образом, мы можем сказать, что *O. albinus* населяет зоны больших глубин, чем *O. flavus*.

Результаты проведенных исследований показали, что у представителей вида *O. flavus* наблюдали статистически значимые отличия в базовых уровнях содержания АТФ, АДФ и АМФ в тканях животных, поднятых с разных глубин. Так, концентрация АТФ у *O. flavus* с увеличением глубины достоверно снизилась в 1.7 раза, АДФ в 1.5 раза и АМФ в 1.6 раза. Средние показатели концентрации аденилатов у данного вида составили: АТФ –  $0.93 \pm 0.15$ , АДФ –  $0.24 \pm 0.05$  и АМФ –  $0.19 \pm 0.03$  мкМоль/г.сыр.веса. Энергия аденилатов с увеличением глубины падает с 1.61 усл. ед. до 1.17 усл. ед.

Для представителей вида *O. albinus* наблюдали иную картину, достоверных отличий в концентрации аденилатов у животных поднятых с разных глубин обнаружено не было. Средние показатели концентрации аденилатов у данного вида составили: АТФ –  $1.12 \pm 0.3$ , АДФ –  $0.3 \pm 0.06$  и АМФ –  $0.2 \pm 0.06$  мкМоль/г.сыр.веса. Энергия аденилатов с увеличением глубины существенно не изменилась и составила 1.78 усл. ед.

Как видно из предложенных данных, базовые показатели аденилатов и их энергии у исследуемых видов существенно не отличаются. При сравнении этих показателей с литоральными видами обнаружили, что базовый уровень аденилатов у вида *Eulimnogammarus verrucosus* (Axenov-Gribanov et al., 2012) в среднем в три раза выше, чем у глубоководных видов рода *Ommatogammarus*.

Уровни содержания свободной глюкозы в тканях представителей вида *O. flavus* с разных глубин не отличаются между собой (показатель составил:  $0.16 \pm 0.05$  мкМоль/г.сыр. веса). При сравнении показателей уровня содержания гликогена у вида *O. flavus* с разных глубин изменений не выявлено.

Для вида *O. albinus* отмечали иную ситуацию: содержание свободной глюкозы в тканях амфипод с глубины 100 м было достоверно выше (в 1.1 раза)  $0.46 \pm 0.12$  мкМоль/г.сыр. веса, чем у амфипод с других глубин. Напротив, изменений в содержании гликогена, не отмечали – уровень содержания во всех случаях соответствовал  $0.51 \pm 0.13$  мкМоль/г. сыр.веса.

Базовые уровни лактата у вида *O. flavus* почти в 2.5 раза выше чем у *O. albinus*, это может говорить о том, что доля анаэробноза у *O. flavus* выше чем у *O. albinus*.

Базовый уровень БТШ 70 у *O. flavus* в 3.3 раза выше ( $p < 0.05$ ), чем у *O. albinus*, что согласуется с нашими предыдущими исследованиями. Ранее показано (Тимофеев, 2010) показано, что уровень БТШ 70 у байкальских эндемичных амфипод постепенно уменьшается с глубиной обитания вида. Базовый уровень БТШ 70 у *O. flavus* с глубины 50 метров, почти в три раза ниже ( $p < 0.05$ ), чем у *O. flavus*, выловленного с 300 м. Такие различия показывают, что БТШ 70 играет определенную роль в распространении этого глубоководного эврибатного вида на разные глубины.

Детальный анализ профилей белков с использованием протеомного подхода показал 8 изоформ БТШ 70 у *O. albinus*. Как было показано нашим предыдущим исследованием (Bedulina et al., 2013), литоральные термотолерантные виды амфипод *E. cyaneus* (Dyb.) имеет максимум 5 изоформ этого белка. Причины большего количества изоформ БТШ 70 у глубоководного вида будут изучаться в будущих исследованиях.

Таким образом, впервые было показано, что БТШ 70 принимает участие в адаптации эврибатных глубоководных эндемичных амфипод Байкала к большим глубинам озера, а также их распределение по градиенту глубин. Накопление продуктов анаэробного обмена – лактата, снижение содержания продуктов аэробного обмена – АТФ и энергии аденилатов у *O. flavus* может указывать на увеличение доли анаэробного метаболизма, необходимого для поддержания энергетического гомеостаза в условиях изменения условий окружающей среды. Базовые уровни аденилатов у литоральных видов амфипод выше, чем у глубоководных, что может говорить об адаптивном ослаблении клеточных механизмов защиты при заселении байкальскими амфиподами больших глубин.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 14-04-00501, № 15-04-06685, гранта РНФ 14-14- 00400, темы ГЗ 1354–2014/51.

### Список литературы

Тимофеев М.А., 2010. Экологические и физиологические аспекты адаптации к абиотическим факторам среды эндемичных байкальских и палеарктических амфипод. Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. Томск: ТГУ, 2010. 384 с.

Axenov-Gribanov D.V., Lubyaga J.A., Shakhtanova N.S., Gurkov A.N., Bedulina D.S., Shatilina Zh.M., Kondratyeva E.M., Vereshchagina K.P., Timofeyev M.A., 2012. Determination of Lake Baikal endemic amphipod *Eulimnogammarus verrucosus* (Gerstf., 1858) thermal optima limits by changes in its metabolic markers // Journal of Stress Physiology & Biochemistry. V. 8. Iss. 4. P. 289–301.

Bedulina D.S. Evgen'ev M.B., Timofeyev M.A, Protopopova M.V., Garbuz D.D., Pavlichenko V.V., Luckenbach T., Shatilina Zh.M., Axenov-Gribanov D.V., Gurkov A.N., Sokolova I.M., Zatssepina O.G., 2013. Expression patterns and organization of the hsp70 genes correlate with thermotolerance

in two congener endemic amphipod species (*Eulimnogammarus cyaneus* and *E. verrucosus*) from Lake Baikal // *Molecular Ecology*. V. 22. P. 1416–1430.

УДК 574.583

**Н.Н. Макаренкова**

*Вологодское отделение ФГБНУ «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга», г. Вологда  
e-mail: mackarenkova@yandex.ru*

### **Структура фитопланктона устьевого участка реки Вожега (Вологодская область)**

**Резюме.** Исследована таксономическая и эколого-географическая структура фитопланктона устьевого участка реки Вожега в течение периода открытой воды 2015 года. Для анализа динамики количественных показателей использованы материалы предыдущих лет изучения (2004-2009 года).

Река Вожега является вторым по величине притоком озера Воже, крупного рыбохозяйственного водоема Вологодской области, собирает воды с восточной части его водосбора. При впадении в озеро она образует обширную дельту, разделенную на три рукава. Длина реки составляет 140 км, площадь ее бассейна – 1980 км<sup>2</sup>. Воды реки Вожега относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы с содержанием гидрокарбонатов 64.0-272.0 мг/л, сульфатов – 6.0-26.0 мг/л, хлоридов – 1.6-7.1 мг/л. В катионном составе воды количество ионов кальция равняется 12.4-114.0 мг/л, магния – 5.1-39.6 мг/л, натрия и калия суммарно – 1.0-7.4 мг/л (Борисов, Расплетина, 2005).

Материалом для изучения особенностей структуры фитопланктона устья реки Вожега послужили пробы, отобранные в период с мая по октябрь 2015 года. В соответствии с методикой гидробиологических исследований пробы объемом 0.5 л, зафиксированные раствором Люголя, сгущали до 25 мл и обрабатывали счетно-камерным методом с использованием камеры Нажотта (0.01 мл) (Федоров, 1979). Идентификацию водорослей проводили под световым микроскопом ЛОМО Микмед-6 по общепринятым методикам. Для анализа фитопланктонного сообщества также использованы результаты исследований в течение 2004-2009 годов (Борисов и др., 2011).

В составе фитопланктона устьевого участка реки Вожеги зарегистрировано 74 вида, разновидностей и формы водорослей, принадлежащих к 7 отделам, 11 классам, 14 порядкам, 29 семействам и 47 родам. Основное число таксонов рангом ниже рода распределено между тремя отделами: Bacillariophyta – 39 (52.70%); Cyanophyta – 11 (14.86%); Chlorophyta – 11 (14.86%), на остальные отделы приходится по 1-5 видов.

На уровне классов наиболее богаты видами следующие таксоны: Pennatophyceae – 33 вида, разновидностей и формы водорослей (44.59%), Chlorophyceae – 10 (13.51%), Centrophyceae – 6 (8.11%), Hormogoniophyceae – 6 (8.11%), Chroococophyceae – 5 (6.76%). Наиболее разнообразно представленные классы составляют 45.45% от всего числа встреченных классов, они объединяют 81.08% видов. К ведущим порядкам водорослей в реке Вожеге относятся Raphales, Araphales из диатомовых, Chlorococcales из зеленых и Chroococcales, Oscillatoriales из синезеленых. Порядок Raphales является наиболее многочисленным, он включает 20 видов и внутривидовых таксонов, остальные перечисленные порядки содержат от 13 (Araphales) до 5 (Oscillatoriales) видов.

Наиболее крупные по числу видов семейства (Fragilariaceae, Thalassiosiraceae, Naviculaceae) объединяют 29.73% видов, разновидностей и форм водорослей. Среди них наибольшей насыщенностью видов характеризуется семейство Fragilariaceae (10 видов). Одно- и двувидовые семейства составляют от всего списка семейств 62.07%, к ним относится 24 вида (32.43%). Большинство одно- и двувидовых семейств находится среди зеленых водорослей.

Анализ родового спектра водорослей планктона показал, что к ведущим родам относятся *Aulacoseira*, *Nitzschia*, *Fragilaria*. Три перечисленных рода, составляющие 6.38% всего родового состава, охватывают 18.92% общего числа видов. Одно- и двувидами являются 82.98% всех родов водорослей планктона, на их долю приходится 60.81% видового состава.

Общая биомасса фитопланктона в устьевом участке реки Вожеги изменяется в пределах от 0.11 до 1.20 г/м<sup>3</sup>. Наименьшие величины биомассы регистрируются в осенний период, когда основное значение в формировании массы водорослей имеют виды рода *Cryptomonas*. Максимальные биомассы фитопланктона в реке Вожеге отмечаются весной. Основная часть биомассы создается в этот период диатомовыми водорослями (в среднем 82.81%). Доминантами среди них по биомассе являются *Staurosira construens* var. *binodis* (Ehr.) Hamilton, *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Sim., *Gyrosigma attenuatum* (Kütz.) Rabenh., *Surirella bifrons* Ehr. и *Entomoneis ornata* (Bailey) Reimer.

Численность водорослей на исследуемом участке реки колеблется от 0.32 до 5.02 млн кл./л. Минимальная численность, как и в случае с биомассой, наблюдается осенью. Число клеток заметно увеличивается и достигает наибольшего значения в летний период, когда синезеленые создают около 87.71% численности водорослей, преимущественно за счет *Aphanocapsa holsatica* (Lemm.) Cronb. et Kom. и *Cyanodictyon planktonicum* Meyer.

Показатели сапробности водной толщи реки Вожеги, оцененные индексами Пантле-Букк в модификации Сладечека, изменяются по численности фитопланктона в пределах 1.33-1.78, а по биомассе – от 1.56 до 1.98. Наибольшие величины отмечаются в весенний период (воды умеренно загрязненные, III класс качества).

Из 74 зарегистрированных в устьевом участке реки Вожега таксонов водорослей 48 (64.86%) относятся к индикаторам органического загрязнения, распределившихся между 11 группами по сапробионти. Основное количество индикаторов приходится на интервал от 0 до β с индивидуальными индексами 1.0-2.0 – 66.67% (43.24% от числа всех видов). Наиболее часто встречаются среди индикаторов сапробности β-мезосапробы (22.92%). Активная реакция воды в реке близка к нейтральной, поэтому в сообществе фитопланктона большей частью (79.54%) встречаются виды-индифференты.

Среди таксонов с известной приуроченностью к местообитанию чаще всего отмечаются планктонно-бентосные виды, их доля составляет 45.45%. Истинно-планктонные и бентосные формы встречаются примерно в равных соотношениях. В фитопланктоне устьевого участка реки Вожеги 32.43% видов являются индикаторами подвижности водных масс (реофильности). Из них большую часть (70.83%) составляют виды, обитающие в стояче-текучих водах. Было встречено также 6 реофобных видов (*Amphora pediculus* (Kütz.) Grun., *Cyclotella kuetzingiana* Thw., *Synedra fasciculata* (Ag.) Lange-Bert., *Fragilaria leptostauron* (Ehr.) Hust., *Gyrosigma attenuatum* (Kütz.) Rabenh., *Surirella bifrons*) и 1 реофильный (*Meridion circulare* Ag.). Подавляющее большинство зарегистрированных водорослей являются широко распространенными (космополиты), они составляют 87.50% видов с известной географической приуроченностью (56.76% от всех встреченных видов). Также отмечено 2 аркто-альпийский таксона (*Dinobryon bavaricum* Imhof, *D. suecicum* var. *longispinum* Lemm.) и 4 бореальных (*Achnanthes affinis* Grun., *Aulacoseira islandica*, *Fragilaria leptostauron*, *Nitzschia hantzschiana* Rabenh.).

Таким образом, фитопланктон устьевого участка реки Вожега, формирующийся преимущественно диатомовыми и зелеными водорослями, представляет собой в общих чертах комплекс водорослей широко распространенных планктонно-бентосных, тяготеющих к стояче-текучим водам. Наибольшее количественное развитие водорослей отмечается в весенне-летний период, главным образом, за счет роста диатомовых и синезеленых водорослей.

### Список литературы

Борисов М.Я., Лобуничева Е.В., Расстончинова Е.С., 2011. Особенности гидробионтов реки Вожеги (Вологодская область) // Вестник Вологодского государственного педагогического университета. № 1. С. 87–91.

*Борисов М.Я., Расплетина Г.Ф., 2005. Динамика ионного состава воды озера Воже и его притоков // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: Сборник материалов IV (XXVII) Международной конференции. Т. 1, Вологда, 2005. С. 77–79.*  
*Федоров В.Д., 1979. О методах изучения фитопланктона и его активности. Изд-во МГУ, 1979. 168 с.*

УДК 594 (262.5)

**М.В. Макаров**

*ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь  
e-mail: mihaliksevast@inbox.ru*

**Сезонная динамика состава, численности и биомассы Mollusca  
на твёрдых искусственных субстратах у берегов Севастополя (Чёрное море)  
в контактной зоне «суша-море»**

**Резюме.** В работе приводятся данные по сезонной динамике видового состава, количества видов, численности и биомассы моллюсков в двух районах побережья Севастополя в контактной зоне «суша-море» на твёрдых поверхностях искусственного происхождения.

Зона соприкосновения двух природных сред, суши и моря, расположена в нестабильных экологических условиях, поскольку она подвержена гидродинамическому воздействию, перепадам температур воды и антропогенному влиянию. Это относится и к твёрдым искусственным поверхностям, которые широко представлены у берегов Севастополя. Помимо различных гидротехнических функций, они являются также субстратом для многих видов гидробионтов. Большинство бентосных съёмок проводится лишь в летний период, круглогодичных исследований мало. Однако сезонность является одним из главных факторов, влияющих на жизнедеятельность моллюсков. В первую очередь, от данного экологического фактора зависит их размножение. Воспроизводство каждого вида приурочено к определённому или нескольким сезонам, благодаря чему в различный период времени наблюдается разная численность и биомасса тех или иных видов Mollusca. В Чёрном море выражена чёткая смена сезонов, вследствие чего в течение года температура воды колеблется весьма значительно, особенно у уреза воды.

В связи с этим, целью данной работы является изучение сезонной динамики состава, численности и биомассы моллюсков на твёрдых неподвижных искусственных субстратах (перифитоне) у побережья Севастополя в контактной зоне суши и моря.

Для достижения данной цели с марта 2015 г. по март 2016 г. отбирали пробы моллюсков в двух участках побережья Севастополя (юго-западный Крым) – на бетонной набережной им. Корнилова в Артиллерийской бухте (Арт. бухте) и на бетонном молу в Карантинной бухте. Все пробы взяты на глубине 0 м, т. е. у уреза воды. Материал собирали во все сезоны 1 раз в 2 месяца с помощью скребков площадью 0.04 и 0.06 м<sup>2</sup>, обшитых мельничным газом с размером ячеей 0.5 мм. В лабораторных условиях определяли видовой состав моллюсков, подсчитывали их количество и измеряли вес. Затем рассчитывали численность (экз./м<sup>2</sup>) и биомассу (г/м<sup>2</sup>) видов. Всего взято 54 пробы (по 27 проб в каждом районе). Артиллерийская бухта (44°36'53" с.ш., 33°31'12" в.д.) ориентирована с юга на север и представляет собой часть большой Севастопольской бухты. Является полузамкнутой акваторией. Карантинная бухта (44°36'45" с.ш., 33°29'59" в.д.) расположена примерно в 2 км юго-западнее Арт. бухты и является более открытой. Её протяжённость с юго-востока на северо-запад составляет 1.25 км, максимальная ширина 0.64 км, глубина при входе – 15 м (Куфтаркова и др., 2008). Если в Карантинной бухте автором (Макаров, 2005, 2012) ранее проводили исследования моллюсков на данных субстратах, то в Артиллерийской бухты такая работа была осуществлена впервые.

В целом обнаружено 12 видов Mollusca, из них 10 видов в Карантинной бухте и 8 видов в Арт. бухте. Общих видов – 6, коэффициент общности Чекановского-Серенсена составил 0.67. Преобладают Gastropoda (9 видов, включая 1 вид голожаберника), отмечены также Bivalvia (2 вида) и Polyplacophora (1 вид). На молу в Карантинной бухте в 2015-2016 гг. обнаружены виды, не встреченные здесь ранее (в 2003-2004 и 2011 гг.) – голожаберник *Limapontia capitata* (O.F. Müller, 1774), раковинные гастроподы *Rissoa membranacea* J. Adams, 1800 и *R. parva* Da Costa, 1778. В общем, минимальное количество видов отмечено в марте 2015 г. (4), максимальное – в июле и августе (7), а также в марте 2016 г. (8). Такие отличия в марте в разные годы возможно связаны с тем, что в 2015 г. была поздняя весна, а в 2016 г. – ранняя. В частности, в марте 2016 г., по сравнению с 2015 г., отмечены такие теплолюбивые виды как *Bittium reticulatum* Da Costa, 1778 и *Tricolia pullus* Linnaeus, 1758.

Средняя численность Mollusca в Карантинной бухте составила  $3624 \pm 874$  экз./м<sup>2</sup>, в Артиллерийской –  $3561 \pm 1373$  экз./м<sup>2</sup>. В обеих бухтах самым многочисленным видом является двустворчатый моллюск *Mitylaster lineatus* (Gmelin 1791) –  $3091 \pm 703$  и  $3031 \pm 1259$  экз./м<sup>2</sup> соответственно. Этот вид типичен для твёрдых субстратов, в том числе искусственных (Макаров, 2012). Следует также отметить, что в Арт. бухте в относительно большом количестве обнаружена мидия *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 ( $448$  экз./м<sup>2</sup>), а в Карантинной бухте – *Gibbula adriatica* (Linnaeus, 1758) ( $126$  экз./м<sup>2</sup>).

В сезонной динамике численности моллюсков максимумы и минимумы в основном обусловлены изменениями данного показателя у митилястера. В целом, наименьшая численность Mollusca приходится на март 2016 г. ( $1605$  экз./м<sup>2</sup>), но в Карантинной бухте – на март 2015 г. ( $1908$  экз./м<sup>2</sup>). В любом случае, минимум обилия видов отмечен ранней весной. Максимум численности наблюдается летом – в июле и августе ( $5925$  экз./м<sup>2</sup>), когда происходит размножение многих видов моллюсков, в том числе митилястера (Захваткина, 1959; Чухчин, 1984).

Средняя биомасса Mollusca выше в Артиллерийской бухте ( $1109.095 \pm 691.046$  г/м<sup>2</sup>), чем в Карантинной ( $198.387 \pm 45.891$  г/м<sup>2</sup>), что связано с преобладанием по этому показателю в первом районе больших по весу и размеру мидий, а во втором – более мелких митилястеров.

Максимальная биомасса моллюсков в целом отмечена в сентябре ( $1906.424$  г/м<sup>2</sup>) за счёт мидий, минимальная – в марте 2016 г. ( $184.217$  г/м<sup>2</sup>).

Таким образом, в сезонной динамике состава, численности и биомассы Mollusca на твёрдых искусственных субстратах у побережья Севастополя в контактной зоне «суша-море» в целом можно выделить ранневесенний минимум и летне-раннеосенний максимум, что связано с преобладанием теплолюбивых видов.

### Список литературы

Захваткина К.А., 1959. Личинки двустворчатых моллюсков Севастопольского района // Труды Севастопольской биологической станции. Вып. 11. С. 108–118.

Куфтаркова Е.А., Родионова Н.Ю., Губанов В.И., Бобко Н.И., 2008. Гидрохимическая характеристика отдельных бухт севастопольского взморья // Основные результаты комплексных исследований в Азово-Черноморском бассейне и Мировом океане (Юбилейный выпуск). Керчь: изд-во ЮгНИРО, 2008. С. 110–117.

Макаров М.В., 2005. Сезонная динамика Gastropoda на жестких искусственных рифах (молах) в акватории Севастополя (Черное море) // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. В. Гнатюка. Серія: Біологія. Спец. випуск «Гідроекологія». № 4 (27). С. 146–148.

Макаров М. В., 2012. Моллюски в перифитоне твёрдых искусственных субстратов побережья Севастополя (юго-западный Крым, Чёрное море) // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. В. Гнатюка. Серія: Біологія. № 2 (51). С. 168–172.

Чухчин В.Д., 1984. Экология брюхоногих моллюсков Чёрного моря. К.: Наукова думка, 1984. 176 с.



**Эстуарные крабы Японского и Охотского морей: редкие виды и новые находки**

**Резюме.** Приведен список и районы распространения прибрежных крабов, встречающихся на территории РФ в эстуариях рек, впадающих в Японское и Охотское моря. На данный момент список включает пять видов: *Hemigrapsus penicillatus* (de Haan, 1835) (Varunidae) (отмечается для фауны РФ впервые), *Hemigrapsus takanoi* Asakura & Watanabe, 2005 (Varunidae), *Eriocheir japonica* (de Haan, 1835) (Varunidae), *Helice tridens* (de Haan, 1835) (Varunidae) и *Deiratonotus cristatum* (de Man, 1895) (Camptandriidae).

Прибрежные эстуарные крабы (Crustacea: Decapoda: Brachyura) являются важным элементом практически всех морских экосистем, особенно в тропических широтах, где наблюдается наиболее высокое разнообразие данной группы (Morton, Zeng, 1982; Morton, Morton, 1983; Coldrey, 1986). Однако в более высоких широтах данная группа крабов также играет существенную роль в организации прибрежных экосистем и требует детального изучения. В фауне России прибрежные эстуарные крабы встречаются только на Дальнем Востоке в акватории Японского и южной части Охотского моря. На данный момент описано четыре вида, один из которых, *Helice tridens* (de Haan, 1835) (Varunidae), является, вероятно, вымершим в данном регионе, так как достоверные находки с 2000-х годов отсутствуют (собств. данные), и один вид, *Deiratonotus cristatum* (de Man, 1895) (Camptandriidae), известен по единственному местообитанию в южной части о-ва Сахалин (Лабай, 2004). Два других эстуарных вида, *Hemigrapsus takanoi* Asakura & Watanabe, 2005 (Varunidae) и *Eriocheir japonica* (de Haan, 1835) (Varunidae), являются широко распространенными вдоль российского побережья Японского и Охотского морей, от залива Посыет до устья реки Амур, а также в южной части о-ва Сахалин (Виноградов, 1950; Марин, 2013а, б, в).

*Hemigrapsus takanoi* Asakura et Watanabe, 2005 был описан как вид-двойник (sibling species) *H. penicillatus* (de Haan, 1835) на основании комплексного изучения окраски и морфологии конечностей, электрофореза и генетического анализа (Asakura, Watanabe, 2005; Yamasaki et al., 2011). В работах японских ученых показано, что *H. takanoi* обитает вдоль побережья о-вов Хоккайдо, Хонсю, Шикоку и Кюсю, где встречается совместно с *H. penicillatus*, тогда как южнее, до южного побережья Китая и Формозы (Тайвань), по-видимому, встречается только *H. penicillatus* (Asakura & Watanabe, 2005; Yamasaki et al., 2011). Особи *H. penicillatus* были обнаружены в районе г. Сокчо в северной части южнокорейского побережья Японского моря (Марин, 2013б). Однако, ряд авторов (Sakai, 2007; Yamasaki et al., 2011) отрицает валидность *H. takanoi*, приводя в качестве примера особей с пограничными признаками, а также генетический анализ экземпляров из Японии, которым, по мнению авторов, относятся к *H. penicillatus*. В тоже время, в работе И. Марина (2013б) показано, что вдоль российской части материкового побережья Японского моря встречается только *H. takanoi*, тогда как ранее упоминаемый *H. penicillatus* (Бражников, 1907; Кобякова, 1936, 1958, 1967, 1979; Виноградов, 1947, 1950) на территории РФ отсутствует. Однако, в ходе полевых сборов эстуарии реки Волчанка зал. Восток Японского моря в 2013 и 2014 годах были обнаружены особи крабов, которые в полной мере соответствуют приведенным в работе Асакуры и Ватанабэ (Asakura, Watanabe, 2005) морфологическим признакам, характерным для *H. penicillatus*. Более того, дополнительное обследование южного побережья о-ва Сахалин и материкового побережья Японского моря в 2013–2014 годах позволили более детально уточнить современное разнообразие и распространение известных видов эстуарных прибрежных крабов, встречающихся в этом регионе.

На данный момент список эстуарных крабов Японского и Охотского морей включает пять видов: *Hemigrapsus penicillatus* (de Haan, 1835) (Varunidae) (отмечается для фауны РФ

впервые), *Hemigrapsus takanoi* Asakura & Watanabe, 2005 (Varunidae), *Eriocheir japonica* (de Haan, 1835) (Varunidae), *Helice tridens* (de Haan, 1835) (Varunidae) и *Deiratonotus cristatum* (de Man, 1895) (Camptandriidae). Два вида из представленных, *H. takanoi* и *E. japonica*, являются широко распространенными вдоль российского побережья Японского и в южной части Охотского моря. *Helice tridens* известен в указанном регионе только по литературным данным как «широко распространенный вид», но на данный момент, вероятно, в указанном ареале является вымершим, так как не отмечался с 2000-х годов. Два оставшихся вида, *D. cristatum* и *H. penicillatus*, отмечаются как узкоареальные: единственная популяция *D. cristatum* на территории РФ известна из эстуария реки Средняя, расположенного в кутовой части бухты Лососей зал. Анива о-ва Сахалин (Охотское море), тогда как единственным известным подтвержденными местообитаниями *H. penicillatus* на территории РФ пока является только эстуарий реки Волчанка в зал. Восток и эстуарий небольшого ручья в бухте Витязь залива Посъета (Японское море) (данная публикация). Для всех перечисленных видов популяции на территории РФ являются самыми северными; область распространения всех видов находится в субтропической области – в южной части Японского моря, вдоль побережья Корейского полу-ва и о-вов Японии. В статье описаны морфология, отличительные признаки, экология и распространение всех указанных видов эстуарных крабов на территории РФ и прилегающих областях.

Представлен ключ для определения крабов рода *Hemigrapsus* Dana, 1851 (Varunidae), встречающихся в акватории Японского и Охотского морей (согласно Виноградову (1950) с дополнениями)\*:

1. Карапакс квадратный, с почти параллельными боковыми краями; ходильные конечности относительно длинные, общая длина дистальных частей ходильных конечностей почти в 2 раза длиннее ширины карапакса; длина проподуса ходильных конечностей примерно в 2.5-3 раза больше ширины ..... *Hemigrapsus longitarsis* (Miers, 1879)  
(Вид распространен от зал. Петра Великого до Шаньдунского полу-ва и от Сангарского пролива до Нагасаки; на глубинах от 3 до 16 м);  
– Ширина карапакса заметно больше его высоты, боковые края слегка дугообразные; ходильные конечности относительно короткие, общая длина дистальных частей ходильных конечностей примерно в 1.5 раза длиннее ширины карапакса; длина проподуса ходильных конечностей примерно в 1.5-2 раза больше ширины ..... 2
2. Подглазничный гребень, покрытый очень тонкими поперечными насечками, без перерыва продолжается за наружный угол орбит. Клешни самцов голые, без пучка щетинок ..... *Hemigrapsus sanguineus* (De Haan, 1835)  
(Вид распространен от южного Приморья, о-ва Монерон и зал. Анива до Гавайских о-вов, Австралии и Новой Зеландии; встречается от литорали до глубины 40-50 метров)  
– Подглазничный гребень короткий, не достигает наружного угла орбит, прерывается под наружным углом орбит и далее продолжается в виде 2-4 сближенных между собой бугорков. Самцы с мощным пучком волосков на клешнях ..... 3
3. Темные пятна на первых грудных стернитах крупные и присутствуют также на абдомене у самцов и самок; пучок щетинок в основании пальцев наружной стороны клешни у самцов относительно небольшой, достигает лишь проксимальной четверти длины пальцев клешни ..... *H. penicillatus*  
(Единственным известным местообитанием вида на территории РФ является эстуарий реки Волчанка в зал. Восток Японского моря; большая часть ранее опубликованных данных о распространении нуждается в уточнении; встречается в прибрежной зоне на глубинах 1-3 метра)

– Темные пятна на первых грудных стернитах мелкие и отсутствуют на абдомене у самцов и самок; пучок щетинок в основании пальцев наружной стороны клешни у самцов крупный и доходит до середины пальцев ..... *H. takanoi* (Вид встречается от Татарского пролива и побережья Курильских о-вов до юго-восточного побережья Китая (Гонконга) и о-ва Формоза (Тайвань). Является активным вселенцем, заселившим Европейское побережье Северного моря, Балтийское море и, возможно, вселился в Черное море; встречается от литорали до глубины 10-15 метров)

\* Стоит отметить, что наиболее хорошо исследованном нами районе – в акватории зал. Восток Японского моря, все четыре вида крабов рода *Hemigrapsus* встречаются совместно (Марин, Корниенко, 2014).

Автор искренне признателен директору и сотрудникам станции «Восток» ИБМ ДВО РАН, а также сотрудникам Института биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (ИБМ ДВО РАН), к.б.н. О.М. Корн, к.б.н. Е.С. Корниенко и к.б.н. А.С. Майоровой, за помощь в сборе материала. Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 15-04-05125\_а.

### Список литературы

Бражников В., 1907. Материалы по фауне русских восточных морей, собранные шхуною «Сторож» в 1899–1902 гг. // Записки Императорской Академии наук по физико-математическому отделению. Сер. VIII. Т. 20. № 6. С. 1–185.

Виноградов Л.Г., 1947. Десятиногие ракообразные Охотского моря // Известия ТИНРО, 1947. Т. 25. С. 67–125.

Виноградов Л.Г., 1950. Определитель креветок, раков и крабов Дальнего Востока // Известия ТИНРО. Т. 33. 538 с.

Кобякова З.И., 1936. Зоогеографический обзор фауны Decapoda Охотского и Японского моря // Труды Ленинградского общества естествоиспытателей. Т. 65. Вып. 2. С. 185–228.

Кобякова З.И., 1958. Десятиногие раки (Decapoda) района Южных Курильских островов // Исследования дальневосточных морей СССР. Вып. 5. С. 249–260.

Кобякова З.И., 1967. Десятиногие раки (Crustacea, Decapoda) залива Посъет (Японское море) // Исследования фауны морей. Биоценозы залива Посъет. Л.: Наука, 1967. Вып. 5. № 13. С. 230–247.

Кобякова З.И., 1979. Особенности распределения десятиногих раков (Crustacea, Decapoda) на шельфе Курильских островов // Биология шельфа Курильских островов. М.: Наука, 1979. С. 95–111.

Лабай В.С., 2004. *Paracleistostoma cristatum* De Man, 1895 (Crustacea: Decapoda) – новый для России вид краба из эстуарных вод южного Сахалина // Биология моря. Т. 30. № 1. С. 72–75.

Марин И.Н., 2013а. Малый атлас десятиногих ракообразных России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 145 с.

Марин И.Н., 2013б. Новые данные о распространении прибрежных крабов рода *Hemigrapsus* (Decapoda: Varunidae) вдоль российского материкового побережья Японского моря // Биология моря. Т. 39. № 4. С. 300–303.

Марин И.Н., 2013в. Infraorder Brachyura. // Сиренко Б. (ред.) Список видов свободноживущих беспозвоночных дальневосточных морей России. В серии: Исследования фауны морей. Вып. 75 (83). СПб., 2013. С. 120–121.

Марин И.Н., Корниенко Е.С., 2014. Десятиногие ракообразные (Decapoda) залива Восток Японского моря // Биота и среда заповедников Дальнего Востока. № 2. С. 50–72.

Asakura A., Watanabe S., 2005. *Hemigrapsus takanoi*, new species, a sibling species of the common Japanese intertidal crab *H. penicillatus* (Decapoda: Brachyura: Grapsoidea) // Journal of Crustacean Biology. V. 25. № 2. P. 279–292.

Coldrey J., 1986. The Crab on the Seashore. Gareth Stevens Publ. 32 pp.

Morton B., Zeng Ch., 1982. The Marine Flora and Fauna of Hong Kong and Southern China: Ecology, morphology, behaviour, and physiology. Hong Kong University Press. 933 pp.

Morton B., Morton J., 1983. The Sea Shore Ecology of Hong Kong. Hong Kong University Press. 366 pp.

Sakai K., 2007. Comments on an invalid nominal species, *Hemigrapsus takanoi* Asakura Watanabe, 2005, a synonym of *Hemigrapsus penicillatus* (De Haan, 1835) (Decapoda, Brachyura, Grapsidae) // *Crustaceana*. V. 80. P. 503–508.

Yamasaki I., Doi W., Mingkid W.M. et al., 2011. Molecular-based method to distinguish the sibling species *Hemigrapsus penicillatus* and *Hemigrapsus takanoi* (Decapoda: Brachyura: Varunidae) // *Journal of Crustacean Biology*. V. 31. № 4. P. 577–581.

УДК 582.262.2

Н.А. Мартыненко<sup>1,2</sup>, Е.С. Гусев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Пермское отделение ФГБНУ «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного хозяйства им. Л.С. Берга», г. Пермь

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь

<sup>3</sup> ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанова РАН», пос. Борок, Ярославская область  
e-mail: nikita-martynenko@yandex.ru

### Флора десмидиевых водорослей Пермского края на основе изучения коллекционных штаммов

**Резюме.** В 174 полученных моноклональных штаммах десмидиевых водорослей идентифицировано 49 видов и таксонов ниже видового ранга из 10 родов. Выявлены следующие рода, принадлежащие к семейству Desmidiaceae: род *Staurastrum* (14 видов), *Euastrum* (9 видов и 1 разновидность), *Cosmarion* (5 видов и 1 разновидность), *Xanthidium* (4 вида), *Micrasterias* (3 вида) и по одному представителю из родов *Desmidium*, *Hyalotheca*, *Staurodesmus* и *Spondylosium*. Десять видов и таксонов внутривидового ранга представлены родом *Closterium* одноимённого семейства – Closteriaceae. На данном этапе видовой состав десмидиевых водорослей Пермского края насчитывает 86 внутривидовых таксонов.

Порядок Десмидиевые (Desmiales) относится к классу Zygnematomphyceae, отделу Streptophyta. Это парафилитическая группа водорослей, которую, по современным данным, считают предковой для высших растений (Гончаров, 2009). Их представители обитают по всему земному шару и населяют пресноводные водоемы различного типа трофности и гидрохимического состава. Из-за широкого распространения и огромного числа видов, обитающих в разных условиях и обладающих высоким разнообразием мест обитания и занимаемых ими ниш, десмидиевые служат надежными биологическими индикаторами качества воды. В связи с высокой восприимчивостью к среде, коротким циклом размножения (по сравнению с высшими растениями) и быстрым «ответом» на изменившиеся условия среды десмидиевые водоросли служат надёжным идентификатором краткосрочных изменений. Высокая антропогенная нагрузка на водные экосистемы приводит к изменению гидрохимического состава: ацидо- или алкализации, эвтрофикации. Данные изменения влияют на морфологическое и видовое разнообразие десмидиевых, ставят под угрозу разнообразие исчезновения некоторых видов (Štátný, 2009). Водоросли, входящие в порядок десмидиевых, издавна привлекают к себе внимание не только профессиональных исследователей, но и любителей, благодаря чему сейчас эта группа является относительно хорошо изученной во многих странах мира. Но в связи с внедрением новых методов идентификации, в том числе и молекулярных, систематика и таксономия водорослей подвергается серьёзной ревизии. Отсутствие чёткой видовой концепции, сложность в идентификации осложняют оценку видового разнообразия десмидиевых водорослей. В связи

с этим необходима работа по детальному изучению видового разнообразия данной группы. Такая работа ведётся на территории Пермского края с 2014 года (Мартыненко, 2015).

Отбор проб проводился с поверхностного слоя воды и выжимок из мха в октябре 2014 и в мае, июне и сентябре 2015 года в 10 водоёмах: река Кама, болото около дер. Чепец, р. Кельтма, пруд на р. Вильва, оз. Бигичевское, болото около г. Соликамск, болото в пойме р. Усолки, Камское водохранилище около г. Орёл, болото около дер. Шабуничи, Нытвенский пруд.

В ходе проделанных исследований было получено 174 штамма десмидиевых водорослей, относящихся к 49 видам и внутривидовым таксонам, 10 родам и 2 семействам. Из семейства Closteriaceae это род *Closterium* с десятью представителями: *Cl. acutum* var. *linea* (Perty) West et G.S. West, *Cl. acutum* (Lyngb.) Bréb., *Cl. venus* Kütz., *Cl. tumidulum* F.Gay, *Cl. ulna* R. Focke, *Cl. kuetzingii* Bréb., *Cl. jenneri* Ralfs, *Cl. attenuatum* Ehrenb., *Cl. lanceolatum* Kütz., *Cl. gracile* Bréb. Из семейства Desmidiaceae это 5 видов и 1 разновидность из рода *Cosmarium*: *C. regulare* Schmidle, *C. simplicius* (West et G.S. West) Grönblad, *C. raciborskii* Lagerh., *C. pseudoprotuberans* Kirchn., *C. circulare* Reinsch, *C. phaseolus* Bréb. ex Ralfs; 9 видов и одна разновидность из рода *Euastrium*: *E. montanum* West et G.S. West, *E. pectinatum* Bréb., *E. oblongum* (Grev.) Ralfs, *E. bidentatum* Näg., *E. binale* f. *gutwinskii* Schmidle, *E. binale* (Turpin) Ehrenb., *E. ansatum* (Ehrenb.) Ralfs, *E. elegans* (Bréb.) Kütz., *E. insulare* (Wittr.) Roy, *E. sublobatum* Bréb.; 3 вида из рода *Micrasterias*: *M. truncate* (Corda) Bréb., *M. rotate* (Grev.) Ralfs, *M. denticulata* Bréb.; 14 видов из рода *Staurastrum*: *S. hexacerum* (Ehrenb.) Wittr., *S. vestitum* Ralfs, *S. botrophilum* Wolle, *S. laevispinum* Bisset, *S. turgescens* De Not., *S. alternans* Ralfs, *S. punctulatum* Ralfs, *S. hirsutum* Ralfs, *S. striolatum* (Nägeli) W. Archer, *S. monticulosum* Ralfs, *S. dilatatum* Ralfs, *S. cristatum* (Nägeli) W. Archer, *S. margaritaceum* Ralfs, *S. pentasterias* Grönblad; 4 вида из рода *Xanthidium*: *X. antilopaeum* (Bréb.) Kütz., *X. armatum* (Bréb.) Rabenh., *X. uncinatum* (Ralfs) Stastny, Skaloud et Neustupa, *X. fasciculatum* Ehrenb. Также были идентифицированы *Desmidium swartzii* C. Agardh, *Hyalotheca dissiliens* Bréb., *Stauroidesmus convergens* (Ehrenb.) S. Lillieroth и *Spondylosium rugmaeum* Cooke, являющиеся единственными представителями своих родов.

На данном этапе предварительный список десмидиевых водорослей Пермского края, учитывая литературные данные (Таусон, 1947; Третьякова и др., 1988; Беляева, Поздеев, 2005; Беляева, 2013, 2014) включает в себя 86 внутривидовых таксонов из 12 родов и 3 семейств – Closteriaceae, Gonatozygaceae и Desmidiaceae. Из них 45 видовых и внутривидовых таксонов и рода *Hyalotheca*, *Micrasterias*, *Spondylosum*, *Stauroidesmus* и *Xanthidium* впервые представлены на данной территории. Работа по исследованию видового разнообразия десмидиевых водорослей на территории Пермского края будет продолжаться, в том числе с использованием молекулярно-генетических методов.

### Список литературы

Беляева П.Г., 2013. Видовой состав и структура фитопланктона Камского водохранилища // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. № 3. С. 4–12.

Беляева П.Г., 2014. Состав и структура фитоперифитона реки Сылва (Пермский край) // Ботанический журнал. Т. 99. № 8. С. 903–916.

Беляева П.Г., Поздеев И.В., 2005. Донные сообщества р. Чусовая (бассейн Камы) // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. № 6. С. 10–108.

Гончаров А.А., 2009. Проблемы систематики конъюгат (Zygnematomphyceae, Streptophyta) с точки зрения молекулярно-филогенетических данных // Ботанический журнал. Т. 97. № 10. С. 1417–1438.

Мартыненко Н.А., 2015. Флора десмидиевых водорослей Урала на основе изучения коллекционных штаммов // Материалы международной научной конференции «Проблемы систематики и географии водных растений». ИБВВ РАН, Борок, 2015. С. 57.

Таусон А.О., 1947. Водные ресурсы Молотовской области. Молотов: ОГИЗ, 1947. 321 с.

Третьякова С.А., Головачева С.И., Батова Е.М., 1988. Фитопланктон // Биология Воткинского водохранилища. Иркутск, 1988. 184 с.

Štastný J., 2009. The desmids of the Swamp Nature Reserve (North Bohemia, Czech Republic) and a small neighbouring bog: species composition and ecological condition of both sites // Fottea. V. 9. №. 1. P. 135–148.

УДК 574.587

**А.В. Мельникова**

Институт проблем экологии и недропользования Академии Наук Республики Татарстан, г. Казань  
e-mail: d.bugensis@mail.ru

### **Таксономическое разнообразие донных беспозвоночных мелководных участков верховий Куйбышевского водохранилища (в районе г. Казани)**

**Резюме.** В ходе проведенных исследований на мелководных участках Волжского плеса Куйбышевского водохранилища (в районе г. Казани) были получены данные о таксономической структуре зообентоса. В результате зообентос на данном участке представлен 214 таксонами беспозвоночных. Из них 12 видов являются инвазионными, а 2 занесены в Красную книгу Республики Татарстан. Наибольшее видовое разнообразие было выявлено для двукрылых насекомых, главным образом за счет Chironomidae. Основными видами на исследуемом участке являлись гидракарины и брюхоногий моллюск *Lithoglyphus naticoides*, встречаемость в пробах которых составила более 50%.

Куйбышевское водохранилище является одним из крупнейших в системе Волжского каскада. Для него, как и для большинства равнинных водохранилищ, свойственно наличие обширных мелководных участков, которые приурочены в основном к левому берегу, и на ее долю приходится более 40% площади дна водоема. Наибольшая площадь мелководий приходится на Волго-Камский и Волжский плесы (Куйбышевское..., 1983; Куйбышевское..., 2008). Мелководные участки являются своеобразным типом местообитания, так как именно здесь формируются специфические условия обитания. Одними из основных факторов, которые оказывают существенное влияние на формирование сообществ беспозвоночных прибрежных мелководий, является сезонное осушение этих участков в результате колебания уровня воды, а также воздействие ветра и волн (Мордухай-Болтовской, 1978; Зимбалевская, 1981; Куйбышевское..., 1983; Куйбышевское..., 2008).

Исследования проводили на мелководных участках в верховьях Куйбышевского водохранилища в районе ж. м. Новое Аракчино, западная часть г. Казани. Отбор проб осуществлялся с помощью ручного сачка/скребка в 2007, 2011, 2012, 2015 и 2016 годах, в результате было собрано и обработано 177 качественных проб зообентоса. По мере падения уровня воды меняли точки отбора проб в сторону от берега. Камеральную обработку выполняли в лабораторных условиях в соответствии с общепринятыми в гидробиологии методами (Руководство..., 1983; Руководство..., 1992).

Состав зообентоса мелководья рассматриваемого участка водохранилища весьма разнообразен и представлен бентосными, нектобентосными и фитофильными видами и формами. Так в результате проведенных исследований общее число видов донных организмов составило 216: Hydrozoa, Nematoda и Polychaeta по 1, Oligochaeta – 34, Hirudinea – 7, Mollusca – 38 (Gastropoda – 27 и Bivalvia – 11), Hydracarina – 1, Crustacea – 5 (Mysidacea и Isopoda по 1, Amphipoda – 3), Ephemeroptera – 5, Odonata – 9, Lepidoptera – 2, Hemiptera – 8, Coleoptera – 11, Trichoptera – 18 и Diptera – 75. Отряд двукрылых насекомых был представлен 10 семействами: Chironomidae (60 таксонов), Tabanidae (3), Ceratopogonidae (2), Tipulidae (2), Limoniidae (2), Stratiomyidae (1), Empedidae (1), Dolichopodidae (1), Athericidae (1) и Ephydriidae (1).

Из выявленных таксонов зообентоса 12 относятся к инвазионным видам, представленные полихетой *Hypania invalida* Grube, 1860, олигохетами *Potamothrix heucheri* (Bretschler, 1900) и *Potamothrix vej dovskyi* Hrabe, 1941, пиявкой *Caspiobdella fadejevi* (Epstein,

1961), двустворчатыми моллюсками *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897) и *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771), брюхоногими моллюсками *Lithoglyphus naticoides* C.Pfeiffer, 1828 и *Physella acuta* (Draparnaud, 1805), мизидой *Paramysis lacustris* Cherniavky, 1882 и бокоплавами *Niphargoides macrurus* (Sars, 1894), *Obessogammarus crassus* (Sars, 1894) и *Obessogammarus obessus* Sars, 1894.

Также в отобранных пробах были обнаружены 2 вида, которые занесены в Красную книгу Республики Татарстан. Первый вид – озерная чашечка *Acroloxis lacustris* (Linnaeus, 1758), которая в РТ имеет IV статус, как малоизученный вид (Красная..., 2006; Яковлев, 2010). Моллюск предпочитает обитать в зарослях рогоза узколистного и тростника обыкновенного и избегает открытых участков водохранилища (Яковлев, 2010). Является индикатором  $\beta$ -мезосапробной зоны загрязнения ( $s=1.9$ , по: Wegl, 1983). За весь период исследования был выявлен лишь в четырех пробах.

Второй вид – ранатра палочковидная *Ranatra linearis* (Linnaeus, 1758), имеет III статус, как редкий вид, численность которого сокращается (Красная..., 2006). Была встречена однократно в сентябре 2016 года. Так же, как и предыдущий вид клоп-ранатра является индикатором  $\beta$ -мезосапробной зоны загрязнения ( $s=1.9$ , по: Wegl, 1983), и предпочитает населять мелководные участки с зарослями водных растений (Красная..., 2006).

К основным видам зообентоса на рассматриваемом участке были отнесены *Hydracarina* sp. (72.2%) и *L. naticoides* (50.6%). Второстепенные виды, встречаемость которых находилась в пределах 25-50%, были представлены 13 таксонами – нематоды, *Stylaria lacustris* (Linnaeus, 1767), *D. bugensis*, *D. polymorpha*, *Gyraulius albus* (Müller, 1774), *Bithynia tentaculata* (Linne, 1758), *Valvata depressa* C. Pfeiffer, 1821, *Viviparus viviparus* (Linne, 1758), *Caenis horaria* (Linnaeus, 1758), *Cricotopus (Isocladius) gr. sylvestris* (Fabricius, 1794), *Tanytarsus* sp., *Demicryptochironomus vulneratus* (Zetterstedt, 1838) и *Polypedilum gr. nubeculosum* (Meigen, 1818). Большинство обнаруженных видов имели встречаемость менее 25%.

Анализ структурных показателей сообществ зообентоса показал, что среднее количество таксонов в пробе составило  $13 \pm 1$ , максимально количество в пробе равнялось 35 видов. Индекс видового богатства Менхеника ( $D_{Mn}$ ) составил  $1.08 \pm 0.05$  (медиана 1.03), а Маргалефа ( $D_{Mg}$ ) –  $2.41 \pm 0.08$  (медиана 2.30). Среднее значение индекса выравненности Пиелу ( $e$ ) равнялось  $0.58 \pm 0.02$ . Индекс видового разнообразия Шеннона, рассчитанного по численности за весь период исследования на данном участке, составил  $1.9317 \pm 0.0690$  бит/экз., а медиана – 1.9751.

Комплекс доминирующих видов был представлен моллюсками *L. naticoides* (индекс доминирования составил 3.10), *V. viviparus* (1.59), *D. polymorpha* (1.46) и *D. bugensis* (0.75) и *Hydracarina* sp. (1.20). Они формировали 83.1% суммарной биомассы всего зообентоса на исследуемом участке Куйбышевского водохранилища.

Таким образом, таксономический состав зообентоса мелководных участков верховой Куйбышевского водохранилища (в районе г. Казани) разнообразен. Так на данном участке было выявлено более 200 видов донных организмов, и наиболее видовое разнообразие было характерно для хириноид, моллюсков и олигохет.

### Список литературы

- Зимбалева Л.Н., 1981. Фитофильные беспозвоночные равнинных рек и водохранилищ. Киев: Наукова Думка, 1981. 216 с.
- Красная книга Республики Татарстан. Казань: Изд-во «Идель-Пресс», 2006. 832 с.
- Куйбышевское водохранилище. Л.: Наука, 1983. 214 с.
- Куйбышевское водохранилище (научно-информационный справочник). Тольятти: ИЭВБ РАН, 2008. 123 с.
- Мордухай-Болтовской Ф.Д., 1978. Фауна прибрежной зоны // Ивановское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1978. С. 210–218.
- Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.

Яковлев В.А., 2010. Охраняемые водные беспозвоночные Республики Татарстан. Казань: Изд-во Казанского государственного университета, 2010. 140 с.

Wegl R., 1983. Index fur Limnosaprobitat // Journal Wasser und Abwasser. V. 26. S. 175.

УДК 574.58

**А.В. Михайлова**

ООО «Спецстройсервис», г. Астрахань  
e-mail: anna\_korotenko1983@mail.ru

## **Морские экосистемы Российского побережья**

**Резюме.** Морские экосистемы – одни из крупнейших водных экосистем Земного шара. Они включают в себя океаны, солончаки, зоны приливов, лиманы, лагуны, мангровые заросли, коралловые рифы, глубокое море и морское дно. Главным критерием отличия морских водоемов является скорость течения воды.

Морская экосистема – сложные многоуровневые образования, охватывающие всю многокилометровую пелагиаль и бенталь, где происходят различные взаимодействия морских организмов с другими существами под действием физиолого-химических факторов. Взаимоотношения морских организмов изменяются в связи с особенностями прилегающей суши. Так, в засушливые годы, когда уменьшается сток пресных вод в море, заметно повышается солёность воды, и, как следствие, некоторые виды организмов эмигрируют из данной области, а другие, наоборот, временно проникают. Следует отметить, что очертания суши сильно влияют на условия, даже вдали от береговой линии. Мысы, полуострова могут являться преградой для прохождения морских течений и распространения морских организмов. Таким образом, образуются совершенно разные экосистемы со сторон полуострова (берега полуострова Кейп-Код) (Мозолевская, 2002).

Морские экосистемы разделяют на следующие классы: океаническая область, область континентального шлейфа, прибрежная зона, коралловые рифы. В морях и океанах происходит постоянная циркуляция воды. В результате действия ветров, продуцированных разницей температур полюсов и экватора, и вращения Земли вокруг своей оси образуются экваториальные течения на восток и запад, и прибрежные течения на север и на юг. В морских экосистемах обитают только три жизненные формы организмов: планктон, бентос и нектон (Мозолевская, 2002).

Морские побережья России расположены практически во всех природных зонах. Они представлены широким спектром типов береговой линии, что является неотъемлемой частью формирования биоразнообразия экосистем побережья.

Зонами раздела сухопутных и морских экосистем служат побережья, обладающие исключительным биоразнообразием. Именно к морским побережьям приурочены регионы с наивысшим уровнем видового богатства флоры и фауны: на Дальнем Востоке локальные флора и фауна млекопитающих достигают 1200 и 75 видов на 100 км<sup>2</sup> соответственно, на Черноморском побережье – 1100 и 70 видов на 100 км<sup>2</sup> (Большаков, 2000).

В высокоарктических морях (Карском, Лаптевых и др.) в связи с суровыми ледовитыми условиями (истирающее действие льдов) и незначительной высоты приливов литоральные сообщества выражены слабо, формирование литорали происходит за счет прибоев (нагонная волна, шторм). В прибрежной, мелководной, в основном, южной, части этих морей, принимающей в себя сток рек, наряду с морскими формами существенную, а иногда и преобладающую, роль играет солоноватоводная фауна, к которой примешиваются также и пресноводные эвригалинные формы (Мозолевская, 2002).



Богатая фауна и флора литорали и сублиторали Дальнего Востока обусловлена разнообразием береговой линии и уровнем прилива. В Охотском море отмечаются самые высокие среди российских морей приливно-отливные колебания. Прибрежная часть заселена высшей водной растительностью, что является центром количественного обилия макрофитов в российских водах, особенно выделяются Курильские острова. В Японском море, с проникновением теплых вод с юга, в сублиторали резко увеличивается разнообразие беспозвоночных животных и представителей ихтиофауны. Водоросли и морские травы являются объектами промысла. На состав макрофитобентоса существенный отпечаток может накладывать антропогенное нарушение среды, в частности загрязнение, для некоторых видов оно может быть негативным и даже губительным (Боголюбов, 2001).

Черное и Азовское моря практически лишены литоральной области. Приливно-отливные колебания выражены не так сильно, как в других российских морях, их колебания варьируют в пределах 1 метра. Под влиянием волнового воздействия здесь формируется полоса псевдолиторали с бедным биоразнообразием.

Для Каспийского моря характерны многолетние колебания уровня. В последние годы отмечается трансгрессия, которая ведет к формированию сообществ на затопляемых участках береговой полосы. Здесь доминируют виды-интродуценты, которые вселились сравнительно недавно.

Своеобразие побережьям Баренцева, Берингова и Охотского морей придают огромные колонии морских птиц – «птичьи базары». На Баренцевом море базары расположены на мелких островах и на архипелаге Новая Земля.

Прибрежные мелководья Черного, Азовского, Каспийского и Японского морей играют большую роль как места гнездования, остановок при миграциях и зимовок для морских и водоплавающих птиц.

Моря и побережья России – местообитания многих редких и исчезающих видов растений и животных, включенных в Красную Книгу России: 17 видов беспозвоночных, 15 видов круглоротых и рыб, около 20 видов птиц, 29 видов и подвидов млекопитающих.

Из уникальных морских экосистем морей России следует отметить следующие:

- экосистему мелководных морских гидротермальных излияний бухты Кратерной (о-в Янкича, средние Курильские острова);
- «островные» поселения низкобореальных организмов в высокобореальных регионах, в частности, лагуна Буссе на южном Сахалине;
- районы крупных залежек морских млекопитающих на Командорских о-вах и у о-ва Тюленьего (Охотское море);
- районы влияния субтропической морской фауны на крайнем юге Приморья, включая внешние острова залива Петра Великого, залив Посыета и п-в Гамова (Мозолевская, 2002).

Таким образом, экосистемы побережья Российской Федерации представляют собой сообщества водных организмов, находящихся в постоянном контакте между собой и абиотической средой их обитания.

### **Список литературы**

- Боголюбов С.А. (ред.), 2001. Экология: Юридический энциклопедический словарь. М.: Норма, 2001. 443 с.*
- Большаков В.Н., 2000. Экология. М.: Интернет инжиниринг, 2000. 330 с.*
- Мозолевская Е.Г., 2002. Экология, мониторинг и рациональное природопользование. М.: МГУЛ, 2002. 249 с.*

### Паразиты сома *Silurus glanis* (Linnaeus, 1758) Моложского плеса Рыбинского водохранилища

**Резюме.** Паразиты сома в Рыбинском водохранилище изучены недостаточно. Данное исследование направлено на организацию и мониторинг паразитофауны сома с целью установления степени зараженности различными видами паразитов и изучения динамики численности отдельных видов. В результате обнаружено три вида паразитов, трех систематических групп. Цестода *Silurotaenia siluri* (Batsch, 1786), впервые отмечена у сомов Рыбинского водохранилища.

Полевые сборы материала проведены в июне-августе 2014 года на постоянной ихтиологической станции «река Лоша». Анализ производился по методике полного и частичного гельминтологического вскрытия.

Сбор, фиксация и камеральная обработка гельминтологического материала и определение выполнялась общепринятыми методами (Быховская-Павловская, 1985; Судариков, Шигин, 1965; Бауер, 1985, 1987).

Сом – крупная хищная рыба, занимающая значимое место в рыбном промысле. Паразиты сома в Рыбинском водохранилище изучены недостаточно. Вероятно, это связано с тем, что в начальный период становления водохранилища, когда проводились первые паразитологические исследования, сом был довольно редок. В дальнейшем численность этого вида увеличивалась и, в настоящее время, он стал достаточно обычным объектом спортивного и промыслового рыболовства.

Всего вскрыто 6 экз. данного вида: средняя длина 68.05 см, средний вес 3.438 гр.

Обнаружено 3 вида паразитов, 3 систематических групп. Небольшое количество отмеченных паразитов может быть вызвано недостаточностью выборки, и тем, что обследовались неполовозрелые, ювенильные особи. Наибольшее число паразитов было зарегистрировано у крупного сома (11 кг, длина тела 107 см).

Нематоды представлены одним видом – *Camalanus lacustris* (Zoega, 1776), поражающим кишечник (ЭИ 33%, ИО 1.2 экз.) Из ракообразные обнаружен *Ergasilus sieboldi* (Nordmann, 1832), найденный на жабрах (ЭИ 33%, ИО 2.3 экз.).

Особое внимание следует обратить на цестоду *Silurotaenia siluri* (Batsch, 1786), впервые отмеченную у рыб Рыбинского водохранилища. Этот вид обнаружен в кишечнике сомов (ЭИ 83%, ИО 7.6 экз.). Так, у крупного сома (11 кг, 107 см) просвет кишечника был полностью забит стробилами червей – 50 экз., длиной до 30 см. Ранее этот вид регистрировался в пределах ареала сома в южных и западных регионах, в реках и водохранилищах бассейнов Балтийского, Черного, Каспийского и Аральского морей (Бауер, 1987). По морфологическим признакам (наличие мускулистого темного органа, вооруженного несколькими рядами шиповидных крючьев с овальной формой основания), найденные у сомов из Рыбинского водохранилища цестоды определены как *S. siluri*.

В целях дальнейшего изучения фауны гельминтов сома Рыбинского водохранилища необходимо продолжить паразитологические исследования в различные сезоны года. Особенно интересен осенне-зимний период, когда значительная часть паразитов имеет половозрелую форму. Так же следует увеличить выборку исследуемых объектов.

#### Список литературы

Бауер О.Н., 1985. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Т. 2. Паразитические многоклеточные. Л.: Наука, 1985. 428 с.

Бауер О.Н., 1987. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Т. 3. Паразитические многоклеточные. Л.: Наука. 583 с.

Быховская-Павловская И.Е., 1985. Паразиты рыб: руководство по изучению. Л.: Наука, 1985. 122 с.

Судариков В.Е., Шигин А.А., 1965. К методике работы с метацеркариями трематод отряда Strigeidida // Тр. ГЕЛАН. Т. 15. С. 158–166.

УДК 574.5(470.53)(045)

**Т.С. Надцонова**

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск, Удмуртская Республика  
e-mail: tanya.nadisonova@mail.ru

### **Водные макробеспозвоночные сообществ рясковых Павловского водохранилища и водоёмов поймы реки Очёр (Пермский край)**

**Резюме.** Впервые проведены исследования водных макробеспозвоночных сообществ рясковых Павловского водохранилища и водоёмов поймы реки Очёр. Определены количественные и качественные характеристики зоофитоса сообществ рясковых. Всего за период исследования на всех водоёмах было обнаружено 49 видов из 10 отрядов и 26 семейств.

Рясковые играют важную ценотическую роль, выступая в качестве эдификаторов. Сообщества рясковых, несмотря на малые размеры особей, характеризуются высокими темпами вегетативного размножения, показателями проективного покрытия и обилия. В результате формируется фитогенное поле, которое может значительно превышать площадь поверхностной пленки биотопа (Дубов и др., 2008).

В результате исследований на Павловском водохранилище и водоёмах поймы реки Очёр определили 2 вида ряски: малая (*Lemna minor* L.) и трёхдольная (*L. trisulca* L.).

*Цель работы* – изучить количественные и качественные характеристики зоофитоса сообществ рясковых.

*Задачи:* (1) Определить видовой состав зоофитоса сообществ рясковых; (2) Оценить количественное развитие зоофитоса; (3) Определить значение индекса Шеннона и выравненности сообществ по Пиелу в разных биотопах.

Очёрский административный район расположен в юго-западной части Пермского края в бассейне реки Очёр, правого притока реки Камы. На севере он граничит с Верещагинским, на востоке – с Нытвенским, на юго-востоке – с Оханским, на юге – с Больше-Сосновским районами, а на западе – с Удмуртской Республикой. Площадь территории сравнительно не велика: составляет 1330 квадратных км или 0.8% территории Пермского края. Рельеф холмисто-увалистый (Гусева, 1997).

Павловское водохранилище расположено на территории пос. Павловский, на притоке р. Очёр и р. Малая Озерная. Создано в 1817 году при постройке Павловского железодобывающего завода. Площадь водохранилища равна 340 га. Глубина изменяется от 2 м в верховье до 9 м у плотины.

Длина реки Очёр составляет 82 км, площадь водосборного бассейна 1216 км<sup>2</sup>. Устье реки находится в 545 км по правому берегу Воткинского водохранилища на Каме.

Основное направление течения – восток и юго-восток. Крупнейшие населённые пункты на реке – город Очёр и посёлок Павловский, кроме них на берегах расположены ряд сёл и деревень. Максимальная ширина реки составляет 30 м.

Исследования проводились с августа по сентябрь 2014-2015 годов на Павловском водохранилище и водоёмах поймы реки Очёр. На Павловском водохранилище заложено 5 станций отбора проб, на водоёмах поймы реки Очёр – 9 станций. В ходе исследования было отобрано 24 пробы макробеспозвоночных.

Сборы проб ряски проводили с помощью сита. Выборка организмов производилась пинцетом, макробеспозвоночные складывались в банки и фиксировались 70% спиртом.

Идентификация беспозвоночных проводилась по доступным определителям пресноводных беспозвоночных.

Биомассу отдельных групп бентоса определяли взвешиванием на торсионных весах ВТ-500 после обсушивания на фильтровальной бумаге до исчезновения мокрых пятен.

Общую численность рассчитывали в показателях плотности – N, экз./кг, биомассу – B, в мг/кг ряски.

В Павловском водохранилище встречаемость двух видов ряски примерно одинакова, однако в пойменных водоемах преобладала ряска малая до 86%.

Всего за период исследования на всех водоёмах было обнаружено 49 видов из 10 отрядов и 26 семейств. Наиболее разнообразно представлены жуки – 16 видов и родов (*Halipilus* sp., *Halipilus ruficollis* (De Geer, 1774), *Laccophilus hyalinus* (De Geer, 1774), *Agabus* sp., *Rhantus* sp., *Hyphydrus ovatus* (L., 1761), *Hygrotus* sp., *Hygrotus inaequalis* (Fabricius, 1777), *Nebrioporus depressus* (Fabricius, 1775), *Porhydrus lineatus* (Fabricius, 1775), *Acilius canaliculatus* (Nicolai, 1822), *Anacaena* sp., *Anacaena lutescens* (Stephens, 1829), *Enochrus testaceus*, *Helochares obscurus* (O.F. Müller, 1776), *Hydrobius fuscipes* (L., 1758)), клопы – 8 видов и родов (*Ilyocoris cimicoides* (L., 1758), *Plea minutissima* (Leach, 1817), *Gerris* sp., *Gerris lateralis* (Schummel, 1832), *Hydrometra gracilentata* (Horváth, 1899), *Cymatia coleoprata* (Fabricius, 1777), *Gorixa sahlbergi* (Fieber, 1848)), брюхоногие моллюски – 7 видов (*Lymnaea balthica* (L., 1758); *L. fragilis* (Linnaeus, 1758); *L. palustris* (O F Müller, 1774); *Physa adversa* (Costa, 1778); *Anisus contortus* (L., 1758); *A. vortex* (L., 1758); *Succinea putris* (Linnaeus, 1758)). Двукрылые представлены следующими семействами: *Chironomidae*, *Ptychopteridae*, *Syrphidae*, *Stratiomaidae*. Такие группы как олигохеты, стрекозы, ручейники и поденки представлены только по одному виду: *Lumbriculus variegatus*, *Cordulia aenea*, *Limnephilus rhombicus* и *Cloeon* gr. *dipterum* соответственно.

Средняя плотность зоофитоса в сообществах ряски Павловского водохранилища составляла 188.3 экз./кг, биомасса – 9224.0 мг/кг. Минимальные показатели отмечены в местах отдыха и рыбной ловли.

В пойменных водоемах средняя плотность составляла 194.0 экз./кг, средняя биомасса – 3662,5 мг/кг.

В Павловском водохранилище наблюдается тенденция увеличения плотности зоофитоса и числа видов к августу, за счет активного разрастания ряски. Наибольшим показателем численности обладали брюхоногие моллюски (*Lymnaea balthica*, *L. fragilis*, *Physa adversa*, *Anisus contortus*, *A. vortex*). В пойменных водоемах обычен моллюск *Lymnaea palustris*.

**Выводы:** (1) В результате исследования макробеспозвоночных сообществ рясковых Павловского водохранилища и водоёмов поймы реки Очёр определен видовой состав зоофитоса; (2) Наибольшей встречаемостью в пробах отличаются брюхоногие моллюски, они представлены практически во всех пробах. Доминирующим видом по плотности и биомассе является брюхоногий моллюск *Anisus contortus*. Клопы и жуки встречались в 3 раза реже. Значения плотности в сообществе рясковых варьируют значительно – от 7 экз./кг до 617 экз./кг. Биомасса изменяется от 98 мг/кг до 27210 мг/кг; (3) Среднее значение индекса Шеннона-Уивера – 0.25 бит/экз.; выравненности по Пиелу – 0.17. Что свидетельствует о доминировании в сообществе зоофитоса небольшого числа видов.

### Список литературы

Дубов П.Г., Прокин А.А., Негроров В.В., 2008. Лепна-консорции как структурно-функциональные единицы экотона на границе раздела сред вода-воздух // Проблемы изучения краевых структур биоценозов: Материалы 2-й Всероссийской научной конференции с международным участием. Саратов: Изд-во Саратовского университета. С. 27–31.

Гусева М.Н., 1997. Земля Очёрская // Управление образования Народный краеведческий музей им. А.В. Нецветаева. Комитет охраны природы. г. Очёр, 1997. 7 с.

### Исследование морфологии географически удаленных популяций *Ceriodaphnia cornuta* (Crustacea: Cladocera)

**Резюме.** Изучена морфология группы видов *Ceriodaphnia cornuta* (Crustacea: Cladocera: Daphniidae) из водоемов Австралии, Старого и Нового Света. Показано, что по морфологии партеногенетические самки *C. cornuta* из разных регионов идентичны, а значимые отличия наблюдаются в строении эфиппиев (модифицированных личиночных экзувиев, в которых откладываются покоящиеся яйца).

Виды рода *Ceriodaphnia* Dana, 1853 являются одной из доминирующих групп ветвистоусых ракообразных в планктоне крупных водоемов. Но систематика этого рода разработана недостаточно, имеющиеся сводки учитывают лишь небольшое число признаков и в большинстве случаев позволяют провести определение популяции только до группы видов.

Особенно запутанная ситуация складывается с инвентаризацией разнообразия тропических представителей рода. Например, на данный момент все представители рода с заостренным рострумом объединяются в группу видов *Ceriodaphnia cornuta*. Гетерогенность этой группы в пределах Австралии была показана на основе молекулярных данных. Тем не менее, до сих пор не было предпринято попыток сопоставить молекулярные данные с данными классической морфологической систематики. В фаунистических списках Старого и Нового Света фигурирует несколько названий: собственно *C. cornuta* Sars, 1885 (описана из Австралии) и *C. rigaudi* Richard, 1894 (описана из Вьетнама). *C. cornigera* Xiezh, 1977, описанная из Китая, в настоящее время рассматривается как младший синоним *C. cornuta*. Недостаток данных по морфологии не позволяет провести переоценку статуса упомянутых таксонов и оценить их реальное распространение. В связи с этим, цель нашей работы – изучение морфологии особей (партеногенетических и эфиппимальных самок) из географически удаленных популяций *C. cornuta*.

Материалом для нашей работы послужили популяции *C. cornuta* из водоемов Старого Света (Вьетнам, Индия, Эфиопия), Австралии и Нового Света (Канзас, Куба, Мексика). Под бинокулярным микроскопом из проб выбирали партеногенетических и эфиппимальных самок. Особи из всех местообитаний были исследованы при помощи светового микроскопа Olympus VX41 и сканирующих электронных микроскопов Jeol JSM 840-A и CamScan MV 2300. Для каждой популяции при помощи рисовального аппарата были выполнены рисунки общего вида животных и деталей строения головы, раковинки, антеннул, антенн, постабдомена и торакальных конечностей.

В результате нашей работы впервые было проведено детальное изучение морфологии популяций *C. cornuta* из географически удаленных тропических регионов, включая исследование строения торакальных конечностей. Установлено, что по морфологическим признакам партеногенетические самки *C. cornuta* из разных регионов идентичны. Значимые различия были обнаружены в особенностях орнаментации эфиппиев, которые различимы только при помощи сканирующего электронного микроскопа. В изученных популяциях из Канзаса, Кубы и Мексики клетки эфиппиев имеют тонкие неветвящиеся отростки, в то время как для всех исследованных популяций из Вьетнама, Индии и Эфиопии характерны клетки с толстыми разветвленными отростками. Из-за отсутствия материала с гамогенетическими самками из водоемов Австралии пока не удается прояснить статус популяций из Старого Света, неясно, является ли *C. rigaudi* самостоятельным видом или это лишь младший синоним *C. cornuta*. Однако выявленные отличия между популяциями из Старого и Нового Света позволяют утверждать, что популяции из водоемов Центральной Америки представляют собой

новый, еще неописанный, вид. Стоит надеяться, что ситуацию с определением статуса популяций из Старого Света позволит прояснить включение в анализ молекулярно-генетических данных по популяциям из Африки, Южной и Юго-Восточной Азии и их сравнение с имеющимися сиквенсами представителей группы видов *C. cornuta* из Австралии и Центральной Америки.

Группа видов *C. cornuta* – один из ярких примеров континентального эндемизма, к настоящему времени показанного для многих видов планктонных и литоральных ветвистоусых ракообразных. Однако морфологические отличия между представителями этой группы видов невелики, и, по полученным данным, затрагивают лишь строение гамогенетических самок. Возможно, изучение морфологии самцов также позволит выявить дополнительные отличия между популяциями *C. cornuta* из Старого и Нового Света. Эти обстоятельства создают дополнительные трудности при оценке числа видов в группе, поскольку по партеногенетическим самкам провести точное определение невозможно.

Авторы выражают благодарность А.А. Котову и Н.Н. Смирнову (ИПЭЭ РАН) за предоставленные коллекционные пробы и ценные консультации; координаторам Совместной Российско-Эфиопской Биологической Экспедиции (JERBE) и сотрудникам Бахар-Дарского исследовательского центра разведения рыб и других водных организмов (Bahir-Dar Fishery and Other Aquatic Life Research Center) за помощь в сборе материала на оз. Тана в 2014-2015 годах; С.И. Метелеву (ИБВВ РАН) и А.Н. Некрасову (ИЭМ РАН) за помощь в проведении электронно-микроскопических исследований.

УДК 574.583

**Д.Ю. Нечаев**

*Волгоградское отделение ФГБНУ «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга», г. Волгоград  
e-mail: dimanos13@gmail.com*

### **Фаунистическое разнообразие планктонных беспозвоночных Волго-Ахтубинской поймы**

**Резюме.** Приведены данные по видовому разнообразию зоопланктона водоёмов северной части Волго-Ахтубинской поймы, основанные на исследованиях автора 2012-2016 годов. Определены показатели встречаемости видов, виды-доминанты в сообществе, индекс видового разнообразия.

Волго-Ахтубинская пойма (ВАП) является одной из крупнейших в мире речных долин. Она образована рекой Волгой и её большим рукавом - Ахтубой. Несмотря на интенсивное воздействие со стороны человека, данная территория сохранила черты, присущие подобным природным комплексам. Однако северная часть ВАП, расположенная на территории Волгоградской области, в наше время рискует потерять свои исконные ландшафты в первую очередь из-за сокращения сроков и объемов половодья (Нечаев, 2015).

Территория поймы располагается в европейско-сибирской подобласти Палеарктики (районирование по Старобогатову) в непосредственной близости от Понто-Каспийской зоогеографической области. Водоёмы ВАП можно разделить условно на два типа: «озёра» и «ерики». Первые представляют собой неглубокие (глубина 1-2 м) округлые водоёмы, заполняемые каждое половодье из систем многочисленных протоков и ериков. Вторые бывают различной глубины, весьма протяженные, в период половодья, обеспечивающие прохождение полых вод из рек в глубь поймы, а в меженный период, функционирующие по типу озёр.

Ниже представлены результаты изучения зоопланктонных сообществ водоёмов ВАП. Для анализа использовались 109 проб, отобранных на озёрах, ериках и литоральной зоне р.

Ахтубы. При сборе и обработке материала использовались стандартные методики, принятые в гидробиологии (Методика..., 1975). Ракообразные определялись, главным образом, по «Определителю зоопланктона и зообентоса европейской части России, том 1» (Алексеев, 2010). При идентификации коловраток задействовался классический труд – «Коловратки фауны СССР» (Кутикова, 1970). Работы проводились с 2012 по 2016 года с охватом всех сезонов.

Всего в течении 5 лет исследований на территории Волго-Ахтубинской поймы удалось обнаружить 147 зоопланктонных организмов. По числу таксонов преобладали коловратки с 75 видами. Ракообразные были представлены 47 видами ветвистоусых рачков и 25 видами веслоногих. Изредка в пойменных водоёмах встречались велигеры моллюсков. Постоянно в пробах присутствовали науплиарные и копеподитные стадии развития Copepoda, чаще всего не поддающиеся идентификации.

Среди коловраток, самым представленным в водоёмах ВАП было семейство Brachionidae. Они насчитывали 24 таксона видового ранга, а с учётом подвидов их разнообразие увеличивается до 29 таксонов. Многие представители этого семейства определяли структуру изучаемых сообществ зоопланктона. Семейства Synchaetidae и Trichocercidae имели в своём составе по 9 видов, но отличались по роли своих представителей в сообществах. Все виды рода *Trichocerca* встречались редко и никогда не доминировали в зоопланктоценозах. Напротив, представители родов *Synchaeta* и *Polyartra* отличались высокими показателями встречаемости и часто достигали относительно высоких показателей численности и биомассы. Так *Polyartra dolichoptera* (Idelson, 1925) в зимний период в некоторых водоёмах была доминантом по численности и биомассе. Всего на территории ВАП найдены представители 16 семейств ротифер.

Следует также отметить единичное обнаружение на озере Широкогорлое (48°36'41.10" с.ш. 44°51'09.10" в.д.) коловратки *Lecane hastata* (Murray, 1913), ранее не отмечаемой в бассейне Нижней Волги.

Кладоцеры, обнаруженные в анализируемых пробах, принадлежали к 9 семействам. Самым разнообразным было семейство Chydoridae – 22 вида. Daphniidae были представлены 11, а Sididae – 6 видами. На ерике Старая Ахтуба (48°35'09.68" с.ш. 45°12'49.43") весной 2013 года существенно южнее своего исконного ареала была обнаружена *Latona setifera* (O.F. Müller, 1776). Род *Diaphanosoma* характеризовался наличием 4 видов, из которых *D. dubium* (Manuilova, 1964) является относительно недавним вселенцем с Дальнего Востока (Коровчинский, 2004).

Интересной находкой следует считать представителя рода *Moina*, предположительно *M. ephemeralis* (Hudec, 1997). Особи данной популяции требуют дальнейшего изучения (Hudec, 1997). Если определение подтвердится, то это будет первое место обитания, достоверно указанное для вида в России.

Копеподы характеризовались наличием 7 семейств, 4 из которых относились к отряду Harpacticiformes. Наиболее многочисленным было семейство Cyclopiformes – 18 видов. Указанный для Северного Каспия дальневосточный рачок *Thermocyclops taihokuensis* (Harada, 1931) (Степаньянц и др., 2015) был найден и на территории Волго-Ахтубинской поймы. В пробах он обнаруживался не часто, но иногда достигал высоких значений численности и биомассы.

Встречаемость видов рассчитывалась как отношение количества случаев, когда таксон был обнаружен в пробе, к общему количеству проб умноженное на 100%. В результате к группе константных видов (встречаемость выше 50%) принадлежали коловратки *Brachionus angularis* (Gosse, 1851), *Brachionus calyciflorus* (Pallas, 1776), *Keratella quadrata* (Müller, 1786); ветвистоусые рачки *Bosmina longirostris* (O.F. Müller, 1785), *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller, 1785); а также науплиусы и копеподиты веслоногих рачков. К второстепенным видам (встречаемость от 25% до 50%) относились *Filinia terminalis* (Plate, 1886), *Filinia longiseta* (Ehrenberg, 1834), *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850), *P. Dolichoptera* и *Synchaeta pectinata* (Ehrenberg, 1832). В среднем на одну пробу приходилось 13.2 видов зоопланктеров.

В качестве доминантов обычно выступали группы с высокой встречаемостью. Чаще других по численности и биомассе преобладали науплиусы Copepoda. Весьма важной для сообществ были коловратка *B. calyciflorus* и копеподиты веслоногих.

Оценка разнообразия производилась с помощью метода Шеннона. Расчёт этого показателя по численности дал среднее значение в 2.31 бит при среднеквадратичном отклонении 0.69. По биомассе индекс был равен 2.16 бит, а его квадратичное отклонение 0.69. В целом наименьшие значения показателя составляли 0.37 бит для численности и 0.77 бит для биомассы, а наибольшие 3.6 бит и 3.55 бит соответственно.

### Список литературы

Алексеев В.Р., Цалохин С.Я. (ред.), 2010. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон. М.-СПб.: Товарищество научных изданий «КМК», 2010. 495 с.

Коровчинский Н.М., 2004. Ветвистоусые ракообразные отряда Stenopoda мировой фауны (морфология, систематика, экология, зоогеография). М.: Товарищество научных изданий «КМК», 2004. 410 с.

Кутикова Л.А., 1970. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Л.: Наука, 1970. 744 с.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоёмов. М.: Наука, 1975. 240 с.

Нечаев Д.Ю., 2015 Влияние дноуглубительных работ на зоопланктон пойменных водоемов Краснослободского тракта (Волго-Ахтубинская пойма) // Грани познания. Вып. 4 (38). С. 138–141.

Степаньянц С.Д., Хлебович В.В., Алексеев В.Р., Данелия М.Е., Петряшев В.В., 2015. Определитель рыб и беспозвоночных Каспийского моря. Т. 2. Стрекающие, гребневики, многощетинковые черви, веслоногие ракообразные и мизиды. М.-СПб.: Товарищество научных изданий «КМК», 2015. 244 с.

Hudec I., 1997. *Moina ephemeralis* n. sp. from Central Europe // Cladocera: the Biology of Model Organisms. V. 126 of the series Developments in Hydrobiology, 1997. P. 55–61.

УДК 595.745

А.М. Островский

УО «Гомельский государственный медицинский университет», г. Гомель, Беларусь  
e-mail: arti301989@mail.ru

### Эколого-фаунистическое изучение имагинальных фаз развития ручейников (Insecta, Trichoptera) юго-востока Беларуси

**Резюме.** В статье представлены данные о видовом составе, численности и распространении ручейников на юго-востоке Беларуси. Установлено обитание 23 видов ручейников, среди которых 16 видов доминируют и встречаются повсеместно, 7 видов классифицируются как редкие и малочисленные, с ограниченным распространением на территории, и встречаются в определенных средах обитания.

Ручейники (Trichoptera) – многочисленная и богатая видами группа амфибионтных насекомых, обладающая высокой экологической дифференциацией. Личинки ручейников населяют практически все типы пресноводных водоемов и являются постоянными компонентами донных биоценозов речных экосистем (Гигиняк, 2010). Известно, что видовой состав и численность этой группы подвержены значительным колебаниям в зависимости от различных факторов окружающей среды. Однако, сведений о последних фаунистических изменениях для отряда Trichoptera гораздо меньше, чем для таких популярных групп насекомых, как, например, чешуекрылые или жесткокрылые (Гигиняк, 2011). Вместе с тем, за последние десятилетия состав и структура трихoptерофауны водоемов и водотоков претерпела



существенные изменения. В связи с этим изучение динамики качественного и количественного состава фауны ручейников приобретает существенную значимость.

Ранее нами опубликованы предварительные сведения по изучению трихoptерофауны реки Уза (Островский, 2014). Данная работа вносит некоторые дополнения. Учет ручейников проводился в 1998-2016 годах. Отловы осуществлялись вручную и энтомологическим сачком в прибрежных экосистемах Буда-Кошелевского и Гомельского районов Гомельской области. Видовую принадлежность насекомых устанавливали при помощи определителя (Качалова, 1987). Для изучения морфологических особенностей имаго использовали бинокулярный микроскоп МБС-10 и ручные 7<sup>x</sup> и 10<sup>x</sup> лупы. Собранный материал находится в коллекции автора.

При анализе собранного материала определено 23 вида ручейников, относящихся к 5 семействам из 2 подотрядов.

Подотряд Кольчатощупиковые – Annulipalpia Martynov, 1924

I. Семейство Гидропсихиды – Hydropsychidae Curtis, 1835

1) Гидропсиха узкокрылая – *Hydropsyche angustipennis* (Curtis, 1834)

2) *Hydropsyche contubernalis* McLachlan, 1865

II. Семейство Ручейники плетущие – Polycentropidae Ulmer, 1903

3) Жилочник двупятнистый – *Neureclipsis bimaculata* (Linnaeus, 1761)

Подотряд Цельнощупиковые – Integripalpia Martynov, 1924

III. Семейство Ручейники тонкоусые – Leptoceridae Leach, 1815

4) Цераклея дряхлая – *Ceraclea senilis* (Burmeister, 1839)

5) *Ceraclea nigronervosa* (Retzius, 1783)

IV. Семейство Ручейники настоящие – Limnephilidae Kolenati, 1848

6) Анаболия гладкая – *Anabolia laevis* (Zetterstedt, 1840)

7) Глифотелиус прозрачный – *Glyptotaelius pellucidus* (Retzius, 1783)

8) Граммотаулиус черноточечный – *Grammotaulius nigropunctatus* (Retzius, 1783)

9) Граммотаулиус блестящий – *Grammotaulius nitidus* (Müller, 1764)

10) Ручейник двуточечный – *Limnephilus bipunctatus* Curtis, 1834

11) Ручейник продольный – *Limnephilus decipiens* (Kolenati, 1848)

12) Ручейник пляжный – *Limnephilus extricatus* McLachlan, 1865

13) Ручейник желтоусый – *Limnephilus flavicornis* (Fabricius, 1787)

14) Ручейник лунный – *Limnephilus lunatus* Curtis, 1834

15) Ручейник черноголовый – *Limnephilus nigriceps* (Zetterstedt, 1840)

16) Ручейник ромбический – *Limnephilus rhombicus* (Linnaeus, 1758)

17) Ручейник редкий – *Limnephilus sparsus* Curtis, 1834

18) Ручейник ленточный – *Limnephilus vittatus* (Fabricius, 1798)

19) Ручейник мозаичный – *Halesus tessellatus* (Rambur, 1842)

20) Ручейник альпийский – *Rhadicoleptus alpestris* (Kolenati, 1848)

V. Семейство Фриганейды – Phryganeidae Leach, 1815

21) Ручейник сетчатый – *Oligostomis reticulata* (Linnaeus, 1767)

22) Фриганея двуточечная – *Phryganea bipunctata* Retzius, 1783

23) Фриганея большая – *Phryganea grandis* Linnaeus, 1761

Таким образом, ядро трихoptерофауны составляют представители сем. Limnephilidae. Они же превосходят все остальные группы ручейников и в количественном отношении. Удельный вес представителей других семейств незначителен и представлен 1-3 видами.

Кроме того, анализ литературных данных показал, что из 157 видов ручейников, зарегистрированных на территории Беларуси (Мороз, Липинская, 2014), многие виды включены в Красные книги и Красные списки ряда европейских стран (Balevičius, 1992; Szcześny, 1992; Klima, 1998; Lilleleht, 2001-2002; Protected Latvian..., 2016). Из них *Grammotaulius nitidus* Müll. и *Limnephilus nigriceps* Zett. являются обычными для юго-востока Беларуси.

## Список литературы

Гигиняк И.Ю., 2011. Виды ручейников Беларуси, имеющие охранный статус в европейских странах // Красная книга Республики Беларусь: состояние, проблемы, перспективы: материалы международной научной конференции, Витебск, 13-15 декабря 2011 г. Витебск, 2011. С. 36–38.

Гигиняк И.Ю., 2010. Характеристика фауны ручейников (Trichoptera) в разнотипных водоемах Беларуси // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. № 1. С. 111–113.

Качалова О.Л., 1987. Отряд Trichoptera – Ручейники // Определитель насекомых Европейской части СССР: в 5 томах. Т. IV, Ч. 6: Большекрылые, верблюдки, сетчатокрылые, скорпионовые мухи и ручейники. М.-Л.: Наука, 1987. С. 107–193.

Мороз М.Д., Липинская Т.П., 2014. Каталог поденок (Ephemeroptera), веснянок (Plesoptera) и ручейников (Trichoptera) Беларуси. Минск: Белорусская наука, 2014. 315 с.

Островский А.М., 2014. Изучение трихoptерофауны реки Уза // Эколого-географические проблемы регионов России: материалы V всероссийской научно-практической конференции, посвященной 85-летию естественно-географического факультета, Самара, 15 января 2014 г. Самара, 2014. С. 33–35.

Klima F., 1998. Rote Liste der Köcherfliegen (Trichoptera) // Bundesamt für Naturschutz. Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz. – 1998. № 55. P. 112–118.

Lilleleht V., 2001-2002. Red data Book of Estonia // Commission for Nature Conservation of the Estonian Academy of Sciences, 2001-2002. Mode of access: <http://www.zbi.ee/punane/english/index.html>. Date of access: 30.07.2016.

Protected Latvian invertebrates: complete list. Entomological society of Latvia. Mode of access: <http://leb.daba.lv/protectedlv.htm>. Date of access: 30.07.2016.

Balevičius K. (ed.), 1992. Red Data Book of Lithuania. Rare and Endangered Species of Animals, Plants and Fungi / Vilnius: Environmental Protection Department of the Republic of Lithuania, 1992.

Szczygły B., 1992. Chruściki Trichoptera // Red List of threatened Animals in Poland. PAN ZOP i ZN, Cracow, 1992. P. 59–63.

УДК 581.16+582.261

Ю.А. Подунай<sup>1</sup>, К.И. Шоренко<sup>1</sup>, С.А. Андреева<sup>2</sup>, Д.Ю. Романова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН «Карадагская научная станция им. Т.И.Вяземского – природный заповедник РАН», пгт Курортное, Республика Крым

<sup>2</sup> ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН», пос. Борок, Ярославская область  
e-mail: [yu.podunai@yandex.ru](mailto:yu.podunai@yandex.ru)

## Морфометрическая характеристика дальневосточной популяции *Ulnaria ulna* (Bacillariophyta)

**Резюме.** Изучены некоторые морфологические характеристики диатомовой водоросли *Ulnaria ulna* (Nitzsch) P.Compère, обитающей в реках Суходол и Артёмовка Приморского края России. Обсуждается вопрос политипической концепции вида в отношении *U. ulna* и предположительное время прохождения полового воспроизведения дальневосточной популяции.

Последние два десятилетия актуализировались исследования, посвященные биогеографии отдельных видов диатомовых водорослей. Особенно это касается так называемых «видов-космополитов». Долгое время господствовало представление о том, что диатомовые, как и другие микроорганизмы, эффективно расселяются по планете, и поэтому отдельные виды могут встречаться повсеместно, т.е. там, где условия среды соответствуют

границам толерантности данного вида. В силу известной сложности идентификации морфотипы таких космополитичных видов, обнаруженные на разных континентах или в разных океанах, очень часто относили к одному и тому же виду, если их морфологические различия не были существенными. Однако развитие современных методов исследований для идентификации диатомей (например: молекулярно-генетический анализ, сканирующая электронная микроскопия), привело к выявлению криптических видов или видов-двойников, ранее не идентифицировавшихся (Mann et al., 2008; Amato et al., 2007). При этом последний термин, широко использующийся в отношении данных видов, вряд ли является удачным, так как объективно таких «видов» может быть намного больше, чем два. Пресноводная диатомея *Ulnaria ulna* (Nitzsch) P. Compère (syn. *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg 1832) с ее многочисленными вариантами встречается в Европе, Юго-Западной и Юго-Восточной Азии, Северной и Южной Америке, Австралии и Новой Зеландии (Morales et al., 2007; Guiry, Guiry, 2012), что вызывает закономерный вопрос о реальном распространении этого вида. Можно предположить, что космополитичный вид *U. ulna* является комплексом криптических видов имеющих локальное распространение. Поэтому необходимым является подробное изучение морфометрических характеристик различных популяций данного вида. Семь клонов *U. ulna* были выделены из популяции р. Суходол и р. Артёмовка, протекающей на юге Приморского края России. Пробы собраны в октябре 2015 года О.В. Шевченко (ИБМ ДВО РАН), изолированы в культуры Ю.А. Подунай (КНС ПЗ РАН). Клетки для клоновых культур выделяли микропипеточным методом (Гайсина, 2008) под микроскопом МБС-9, очищали с помощью многократного пересева в свежую среду. Культуры содержали на среде, близкой по составу к среде Dm (Mann, Cherpurnov, 2004). Культивирование проводили в стеклянных чашках Петри диаметром 5-9 см, высотой 0.9-1.4 см при наполнении средой от 8 до 45 мл соответственно размеру чашки. Экспоненциальную фазу роста поддерживали еженедельным пересевом в свежую питательную среду. Для наблюдения использовали микроскоп Biolar PI (PZO, Польша) по методу дифференциально-интерференционного контраста и освещения по Кёлеру. Фотографии выполнены с помощью цифровой фотокамеры Canon PowerShot A640. Размер клеток определяли с помощью окулярной линейки, калиброванной по объект-микрометру. Электронные микрофотографии сделаны на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-5600 в ИБВВ РАН. В природной популяции клетки *U. ulna* встречаются как одиночно, так и в кустиковидных колониях, прикрепляясь с помощью слизи одним концом к субстрату. Клетки дальневосточной популяции *U. ulna* не имеют осевого поля, количество штрихов в 10 мкм составляет 8.9 – 10.5 (среднее значение – 9.6±0.1). Число ареол в 1 мкм – 2.8-4.0 (среднее значение – 3.4±0.1). Апоикальный размер клеток *U. ulna* в природной популяции, по нашим данным, колебалась от 117.6 до 346.0 мкм, средняя длина всех измеренных клеток составила 256.0±6.1 мкм (N=217). Однако размеры клеток, встреченных в двух реках Приморского края, отличались друг от друга. Средняя длина *U. ulna*, обитающей в р. Суходол, равна 177.4±3.7 мкм (117.6- 235.3 мкм; N=107); размер клеток в популяции из р. Артёмовка был больше и составил 239.3±10.0 мкм (117.6-346.0 мкм; N=110). Из ранее опубликованных данных (Podunay et al., 2014) известно, что диапазон длины клеток *U. ulna*, способных вступить в половое воспроизведение колеблется от 62 до 162 мкм, а максимальный размер (размер инициальных и постинициальных клеток) составляет 422 мкм. Полученные данные позволяют рассчитать предположительное время прохождения полового воспроизведения в популяции, а также сопоставить морфологические характеристики с характеристиками, полученными в других популяциях данного вида.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-34-00790.

### Список литературы

Гайсина Л.А., Фазлутдинова А.И., Кабиров Р.Р., 2008. Современные методы выделения и культивирования водорослей: учебное пособие. Уфа: Изд-во БГПУ, 2008. 152с.

Amato A., Kooistra W.H.C.F., Levaldi Ghiron J.H., Mann D.G., Pröschold T., Montresor M., 2007. Reproductive isolation among sympatric cryptic species in marine diatoms // *Protistologica*. V. 158. P. 193–207.

Guiry M.D., Guiry G.M., 2012. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway [Электронный ресурс]. <http://www.algaebase.org>; searched on 31 July 2012.

Mann D.G., Chepurinov V.A., 2004. What have the Romans ever done for us? The past and future contribution of culture studies to diatom systematic // *Nova Hedwigia*. № 79. P. 237–291.

Mann D.G., Thomas S.J., Evans K.M., 2008. Revision of the diatom genus *Sellaphora*: a first account of the larger species in the British Isles // *Fottea*, Olomouc. V. 8. № 1. P. 15–78.

Morales E.A., Hamsher S.E., Manoylov K.M., Gillett N., Hamilton P.B., Potapova M.M., Ponader K.C., Winter D.M., Spaulding S., Hagan E.E., Lavoie I., 2007. *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg and allies from rivers in the United States. Thirteenth NAWQA Workshop on Harmonization of Algal Taxonomy. Edited by Eduardo A. Morales, Sarah H. Hamsher, and Jaclyn M.W. Mantell. P. 6–29.

Podunay Yu.A., Davidovich O.I., Davidovich N.A., 2014. Mating system and two types of gametogenesis in the fresh water diatom *Ulnaria ulna* (Bacillariophyta) // *Algologia*. V. 24. № 1. P. 3–19.

УДК 582.28

**А.В. Потемина, Т.Ф. Черняковская**

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского», г. Ярославль  
e-mail: [chernyakovskaya@inbox.ru](mailto:chernyakovskaya@inbox.ru)

### **Сукцессия грибов на листьях *Phragmites australis*, разлагающихся в условиях водоема**

**Резюме.** Изучались численность и структура комплексов микроскопических грибов на листьях тростника обыкновенного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud), разлагающихся в условиях пресноводной мезотрофной озерной экосистемы озера Плещеево. Установлено, что в отличие от наземных условий, в водной среде участие микроскопических грибов в утилизации растительных остатков минимально.

Прибрежно-водная растительность – важная составная часть автотрофного блока водных экосистем. Создаваемая ею первичная продукция определяет продуктивность литоральной зоны водоемов и, в конечном итоге, всего водоема в целом (Жукова, 2015; Садчиков, 2004). Изучению продуктивности прибрежно-водных растений, путей поступления их биомассы в водоемы посвящено большое количество исследований (Дьяченко, 2011; Жукова, 2015; Садчиков, 2004). Однако остаются практически не изученными пути вовлечения биомассы отмирающих прибрежно-водных растений в круговорот веществ водоемов. Известно, что группа гетеротрофов-редуцентов в биосфере представлена сапротрофными бактериями и грибами. В настоящее время грибы рассматривают как группу организмов, специализированную для переработки растительного материала. Их ферментативный аппарат направлен преимущественно на деструкцию лигноцеллюлозного комплекса растений. В разрушении растительных остатков в наземных экосистемах им принадлежит ведущая роль. Бактерии тоже участвуют в этих процессах, но пальму первенства они отдали грибам (Добровольская, 2002; Заварзин, 2004; Каратыгин, 1993).

Высказываются предположения, что грибы – неотъемлемая часть биоты любой экосистемы, включая водные. Однако, их месту в структуре и роли в функционировании водных экосистем уделяется неоправданно мало внимания.

Целью настоящего исследования является выявление степени участия грибов в разложении листьев тростника обыкновенного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud) в пресноводной экосистеме мезотрофного озера Плещеево (Ярославская область) в ходе годового цикла: с сентября 2014 по октябрь 2015 года.

Изучали численность и таксономический состав грибов и грибоподобных организмов методом посева на плотные питательные среды (среду Чапека и глюкозо-пептонно-дрожжевой агар (ГПД)). Для выявления и идентификации воздушно-водных и истинно водных микромицетов, основных деструкторов растений в водных экосистемах, использовали метод проращивания грибов в условиях накопительной культуры.

Методом посева грибов на плотные питательные среды из серийных разведений установлено, что их численность на листьях тростника, разлагающихся в условиях водоема, невелика и в ходе эксперимента закономерно снижается. На среде Чапека на сухих отмирающих листьях, собранных с поверхности суши в сентябре, она составляла  $9.5 \cdot 10^4$  КОЕ/г абсолютно сухого веса образца. При погружении листьев в водоем численность грибов сократилась до  $1.4 \cdot 10^4$  КОЕ/г и далее снижалась, составляя в октябре следующего года  $0.69 \cdot 10^4$  КОЕ/г.

Для более полного учета таксономического состава грибов, мы одновременно проводили посевы образцов на две питательные среды: среду Чапека и ГПД.

В общей сложности идентифицировано 13 видовых таксонов: *Aureobasidium pullulans* var. *pullulans*, *Aureobasidium pullulans* var. *melanigenum*, *Cladosporium avellaneum*, *C. herbarum*, *C. elatum*, *C. sphaerospermum*, *Mucor hiemalis*, *Acremonium charticola*, *Phialophora alba*, *Mortierella longicola*, *M. alpina*, *Fusarium sporotrichiella* var. *poae*, *Aspergillus flavus*. Выявлены также представители родов *Penicillium*, *Trichoderma*, *Phoma*. Это так называемые терригенные грибы, попавшие в водоем разными путями с поверхности суши, многие из них способны выживать в водной среде.

Для выявления микромицетов, способных осуществлять деструкцию мортмассы растений в водной среде: водных гифомицетов и грибоподобных организмов, нами проведены эксперименты по культивированию высечек из листьев тростника, отобранных во все сроки исследования, в условиях влажной камеры (в слое воды – для выявления водных, и на влажной фильтровальной бумаге – для выявления воздушно-водных представителей). Признаками формирования комплексов микромицетов на разлагающихся листьях и их активного участия в деструкции мы считаем активное спороношение в водной среде, степень развития мицелия и площадь колонизации листьев, показатели обилия (частоту встречаемости вида гриба на высеченных фрагментах листьев) (Воронин, 1992). Через две недели после погружения листьев в водоем мы наблюдали развитие и спороношение на них терригенных грибов *Phoma* sp. и неидентифицированного нами темноокрашенного гифомицета. Однако полноценный комплекс грибов не был сформирован: степень развития мицелия и площадь покрытия субстрата были невелики, а показатели обилия низкими: заселено лишь 13% фрагментов листьев. Спустя две недели эти терригенные грибы были вытеснены истинно водными грибоподобными оомицетами из рода *Saprolegnia* (*Saprolegnia* sp., *S. eccentrica*) Однако их обилие на листьях также было невелико – 8%. Преимущественно этими организмами были заселены стебли тростника. Здесь обнаружено большее видовое разнообразие (*Saprolegnia* sp., *S. eccentrica*, *S. unispora*, *S. ferax*), которые характеризовались активным спороношением, более плотным заселением субстрата и средними показателями обилия 53%. Таким образом пионерный комплекс водных грибов деструкторов сформировался только на стеблях тростника через месяц после погружения листьев в водоем в ноябре 2014 года. После схода льда в мае грибы на фрагментах листьев не обнаруживались. В конце июня и октябре 2015 года были выявлены лишь единичные представители эврибионтных микромицетов, широко распространенных в наземных условиях и способных выживать в водной среде (*Aspergillus* sp.). Многие из них формируют споры только в воздухе (*Penicillium* sp., *Mucor* sp.).

Проведенное исследование показывает, что в экосистеме озера Плещеево роль грибов в деструкции тростника минимальна. Численность грибов на разлагающихся листьях

закономерно снижается в течение года. Истинно водные грибы деструкторы тканей высших растений обнаруживаются только на начальном этапе сукцессии, степень развития их комплексов невелика.

Мы предполагаем, что, в отличие от наземных экосистем, в мезотрофном пресноводном водоеме основными деструкторами растений являются прокариоты.

Выражаем благодарность Л.В. Воронину за помощь в идентификации грибов.

### Список литературы

Воронин Л.В., 1992. Комплексы грибов на отмерших макрофитах разнотипных озер Эстонии // Известия АН Эстонии. Биология. Т. 41. № 2. С. 77–85.

Добровольская Т.Г., 2002. Структура бактериальных сообществ почв. М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. 282 с.

Дьяченко Т.Н., 2011. Биологические и экологические особенности тростника южного (*Phragmites australis*) в аспекте оптимального использования его ресурсов // Гидробиологический журнал. Т. 47. № 4. С. 23–33.

Жукова А.А., 2015. Сезонная динамика роста тростника в литорали оз. Нарочь // Материалы VIII Всероссийской конференции с международным участием по водным макрофитам «Гидрботаника 2015». п. Борок, 16-20 октября 2015 года. ФГБУН ИБВВ им. И.Д. Папанина РАН, Ярославль: Филигрань, 2015. С. 109–111.

Заварзин Г.А., 2004. Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука, 2004. 348 с.

Каратыгин И.В., 1993. Коэволюция грибов и растений. Труды Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН. СПб: Гидрометеиздат, 1993. Вып. 9. 119 с.

Садчиков А.П., 2004. Экология прибрежно-водной растительности (учебное пособие для студентов вузов). М.: Изд-во НИИ-Природа, РЭФИА, 2004. 220 с.

УДК 597.2/5+574.32

**М.А. Предвижкин, В.В. Логинов, О.А. Морева**

Нижегородское отделение ФГБНУ «Государственного научно-исследовательского института озерного и рыбного хозяйства им. Л.С. Берга», г. Нижний Новгород  
e-mail: gosniorh@list.ru

### Морфометрические характеристики густеры Чебоксарского водохранилища и некоторых водоемов Восточной Европы

**Резюме.** В статье рассматриваются меристические и пластические признаки густеры Чебоксарского водохранилища, и производится их сравнение с аналогичными показателями для Киевского, Кременчугского водохранилищ, низовьев Днепра и Вислинского залива.

Морфологическая изменчивость густеры обыкновенной *Blicca bjoerkna* (L.) изучена многими исследователями (Кирилук, 2002; Руйгите, 2009). Сравнение морфологической изменчивости густеры в разных точках ее местообитания в пределах ареала является актуальной задачей, т.к. в популяционных исследованиях для решения, как теоретических, так и практических задач, по-прежнему острой остается проблема оценки природы наблюдаемого фенотипического разнообразия (Глотов, 1983; Животовский, 1984; Тимофеев-Ресовский и др., 1973). В связи с этим морфологическая характеристика густеры в разных водных объектах ареала представляет интерес с точки зрения популяционной экологии.

Материал для исследования собирался на всем протяжении Чебоксарского водохранилища в 2015 году. Всего исследовано 66 экз. густеры: 33 самца в возрасте 5+ (21.21%), 6+ (18.18%), 7+ (9.09%), 8+ (39.39%), 9+ (3.03%), 10+ (6.06%), 11+ (3.03%) лет, и 33 самки в возрасте 5+ (3.03%), 6+ (3.03%), 7+ (6.06%), 8+ (18.18%), 9+ (27.27%), 10+ (30.30%),

11+ (9.09%), 12+ (3.03%) лет. Биометрический анализ рыб проводился по общепринятой методике (Правдин, 1976). Затем было проведено сравнение 8 меристических и 19 пластических признаков пяти популяций густеры из Чебоксарского, Киевского, Кременчугского водохранилищ, низовье Днепра, Вислинский залив (Кирилюк, 2002; Руйгите, 2009).

Наши исследования показали, что густера Чебоксарского водохранилища имеет следующую плавниковую формулу: D III 8-10 (в 93.94% – D III 9), A III 20-24 (в 43.94% – A III 22), P I 8-17 (в 51.52% – P I 16), V II 6-9 (в 95.45% – V II 8). В боковой линии 47 чешуй с порами (и с левой и с правой стороны). Поперечных рядов чешуй: с лева 6-12, справа 5-9; причем в 89.39% слева 9 чешуй, в 87.88% справа 6 чешуй: 47 6-12/5-9. Позвонков в туловищном отделе 12-16 (в 71.21% – 14), позвонком в хвостовом отделе 20-24 (в 86.36% – 22). Глоточные зубы двухрядные 2.5-5.2.

Сравнение меристических и пластических признаков густеры, обитающей в разных водных объектах в пределах ареала ее распространения, не выявило морфологической (фенотипической) изменчивости густеры. Значения критерия Фридмана  $\chi^2 = 10.4$ ,  $p = 0.03$  (аналог параметрического дисперсионного анализа); значения показателя конкордации Кендалла = 0.08,  $r = 0.05$  (Трухачева, 2013).

Таким образом, наши исследования показали, что морфологическая (фенотипическая) изменчивость густеры в пределах ареала ее распространения стабильна. Это подтверждается гомогенностью проявления меристических и пластических признаков густеры в разных водных объектов в пределах ее ареала.

### Список литературы

Глотов Н.В., 1983. Оценка генетической гетерогенности природных популяций: количественные признаки // Экология. № 1. С. 3–9.

Животовский Л.А., 1984. Интеграция полигенных систем в популяциях. М.: Мир, 1984. 182 с.

Кирилюк О.П., 2002. Морфологическая изменчивость густеры обыкновенной (*Blicca bjoerkna*) в водохранилищах Днепра // Вестник зоологии. Т. 36. № 1. С. 69–76.

Правдин И.Ф., 1976. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.

Руйгите Ю.К., 2009. Морфо-экологическая характеристика и возможности промыслового использования густеры (*Blicca bjoerkna* L.) Вислинского залива Балтийского моря. Автореф. дисс. канд. биол. наук. Калининград, 2009. 23 с.

Тимофеев-Ресовский Н.В., Глотов Н.В., Яблоков А.В., 1973. Очерк учения о популяции. М.: Наука, 1973. 278 с.

Трухачева Н.В., 2013. Математическая статистика в медико-биологических исследованиях с применением пакета *Statistica*. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. 384 с.

### Современное состояние ихтиофауны системы реки Западный Маныч

**Резюме.** Рассматривается современное состояние ихтиофауны некоторых водоемов системы реки Западный Маныч различной галинности на основании результатов экспедиционных исследований в октябре 2015 года. Отмечено отсутствие ихтиофауны для водоемов с высокой минерализацией (озеро Маныч-Гудило). Выявлены благоприятные условия для нагула молоди карповых и окуневых рыб в Пролетарском водохранилище. Зафиксирована довольно высокая численность вселившегося канального сомика в реке Егорлык.

Антропогенное вмешательство в функционирование естественных водных экосистем реки Западный Маныч (объединение ее с водной системой реки Кубань и создание в начале XX века цепи водохранилищ) повлекло за собой изменение в состоянии ихтиофауны. Начавшийся в 70-х годах прошлого века и продолжающийся до сих пор процесс увеличения минерализации вод искусственных водоемов требует постоянного мониторинга состояния природных рыбных популяций. С этой целью в октябре 2015 года сотрудниками Южного научного центра РАН и Института морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН были проведены совместные экспедиционные исследования в водной системе реки Западный Маныч.

Район исследований включал различные водоемы и водотоки системы Западного Маныча: Пролетарское водохранилище, участок реки Егорлык в районе Бараниковской дамбы, озеро Маныч-Гудило, а также изолированные водоемы системы Западного Маныча. Отбор ихтиологического материала проводился в светлое время суток с помощью буксируемого бимтрала ячеей 3 мм, мальковой волокуши ячеей 5 мм, подхвата ( $S=1\text{ м}^2$ ), раколовки, ручного сачка, удебного лова. Видовую принадлежность идентифицировали по определителям (Васильева, Лужняк, 2013). Биологический анализ полученного материала проведен с использованием стандартных методик (Правдин, 1966).

Исследователями выделяется три этапа развития экосистемы водоемов Кумо-Манычской впадины. 1 этап характеризуется высокой минерализацией и бедным видовым разнообразием (до 1948 года). 2 этап связан с началом активной подачи пресной воды в водохранилища, при этом минерализация снизилась (до 12-13 г/л в Пролетарском водохранилище) и возросло разнообразие ихтиофауны (1948-1989 года). 3 этап (с 1990 года по настоящее время) характеризуется снижением подачи пресной воды, сбросом засоленных вод с сельскохозяйственных полей; искусственные водоемы практически потеряли свое рыбохозяйственное значение (Степаньян, Старцев, 2014).

В условиях повышающейся минерализации для Антоновского пруда ранее отмечались красноперка (*Scardinius erythrophthalmus*), речной окунь (*Perca fluviatilis*), серебряный карась (*Carassius gibelio*), сазан (*Cyprinus carpio*). На межплотинном участке Пролетарского водохранилища отмечены серебряный карась, сазан, европейский сом (*Silurus glanis*), плотва (*Rutilus rutilus*), американский канальный сомик (*Ictalurus punctatus*), белый и пестрый толстолобики (*Hypophthalmichthys molitrix* и *H. nobilis*), лещ (*Abramis brama*), густера (*Blicca bjoerkna*). В районе Бараниковской дамбы реки Егорлык помимо аборигенных густеры, уклей (*Alburnus alburnus*), карася, отмечался американский канальный сомик. В озере Маныч-Гудило были отмечены трехиглая и малая южная колюшки (*Gastrosteus oculeatus*, *Pungitius platygaster*), бычок пцуик (*Proterorhinus marmoratus*) (Степаньян, Старцев, 2014).

Наши исследования показали, что процесс трансформации ихтиофауны, связанный с изменением гидролого-гидрохимических характеристик бассейна, продолжается. Так в озере Маныч-Гудило, где минерализация достигла величин 47.19-50.84 г/л, ихтиофауна полностью



элиминировала. В некоторых прудах наблюдались значительное снижение уровня воды, заморные явления и крайняя бедность или полное отсутствие ихтиофауны.

В связи с кратковременностью работ, нам не удалось отметить все виды, которые встречались в уловах предыдущих исследователей. Отсутствие крупных промысловых рыб (белый и пестрый толстолобик, лещ, обыкновенный сом) помимо непродолжительности исследований, можно связать с избирательностью орудия лова, а также значительным развитием браконьерства в регионе (в ходе работ нами неоднократно обнаруживались жаберные сети). В Пролетарском водохранилище в уловах разнообразных снастей (удочка, раколовка, подхват, сачок) на мелководье преобладали представители семейства Cyprinidae (главным образом, плотва, красноперка и укля), Percidae (речной окунь) и Syngnathidae (пухляк игла-рыба *Syngnathus abaster*). Плотва лидировала среди представителей карповых, представленная в основном половозрелыми особями (соотношение самок и самцов в улове примерно 1:1), укладывалась в размерный ряд от 52.7 мм до 163.3 мм (стандартная длина), в среднем – 73.1 мм; масса плотвы в среднем 31.257 г (от 5.6 до 104.0 г). Красноперка имела длину в среднем 83.3 мм (от 61.5 до 191.8 мм), массу – 22.495 г (от 5.0 до 203.0 г), состав половозрелых особей был примерно 1:1. Укля была представлена самками размерами от 57.6 до 91.8 мм (в среднем 78.6 мм), массой 7.147 г (от 3.3 до 10.8 г). Окунь был представлен в основном молодью и единично отнерестившимися производителями. Размеры окуня колебались от 50.0 до 125.4 мм, в среднем 60.2 мм, масса – от 2.1 до 43.4 г, в среднем 5.025 г. Следует отметить, что в Пролетарском водохранилище складываются благоприятные условия для питания молоди окуневых – недавние исследования показали разнообразие видового состава зоопланктона (Болтачев и др., 2016). Пухляк игла-рыба, размерами от 95.6 до 118.6 мм (в среднем 106.4 мм) и массой от 0.2 до 0.7 г (в среднем 0.391 г) занимала третье место по численности в улове. Нахождение пухляка иглы-рыбы подтверждает ее широкое расселение в бассейне реки Дон. Также применение мелкоячейного бимтрала позволило выявить в Пролетарском водохранилище присутствие бычка длиннохвостой книповичии (*Knipowitschia longecaudata*), являющегося важным кормовым объектом для молоди хищных видов рыб.

В уловах волокуши на Пролетарском водохранилище лидировали карповые (плотва, молодь серебряного карася, красноперка) и окуневые (молодь речного окуня). Единично встречались представители бычковых (бычок цуцик, бычок кругляк *Neogobius melanostomus* и бычок песочник *N. fluviatilis*) и Syngnathidae (пухляк игла-рыба).

В районе Бараниковской дамбы реки Егорлык помимо высокой численности молоди карповых рыб (густера, укля, плотва, серебряный карась, единично – молодь леща), нами отмечено значительное количество ювенальных особей вселенца – американского канального сомика, создавшего здесь довольно устойчивую популяцию.

### Список литературы

Болтачев А.Р., Вдодович И.В., Загородняя Ю.А., Карпова Е.П., Статкевич С.В., Прищепина Р.Е., 2016. Изменения видового состава и структуры сообществ гидробионтов в водоемах разной солености: озеро Маныч-Гудило, устье Дона, Таганрогский залив Азовского моря // Морские биологические исследования: достижения и перспективы: в 3-х т.: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции (Севастополь, 19-24 сентября 2016 г.). Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Т. 2. С. 32–35.

Васильева Е.Д., Лужняк В.А., 2013. Рыбы бассейна Азовского моря. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2013. 272 с.

Правдин И.Ф., 1966. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.

Степаньян О.В., Старцев А.В., 2014. Современное состояние биоты водоемов Кумо-Манычской впадины: Усть-Манычского, Веселовского, Пролетарского и Чограйского водохранилищ (обзор) // Аридные экосистемы. Т. 20. № 2. С. 56–69.

### Обнаружение бактерий, продуцирующих антибиотики, в тканях глубоководных эндемичных амфипод озера Байкал

**Резюме.** Проведено исследование биоразнообразия актинобактерий, ассоциированных с тремя видами байкальских эндемичных амфипод, обитающих в градиенте глубин от 150 до 300 м. Выделенные штаммы идентифицированы до рода по гену 16S рРНК. Экстракты, полученные в результате культивирования штаммов на трех жидких питательных средах, показали антимикробную активность относительно ряда тест-культур.

Мутуалистические микроорганизмы играют важную роль в питании и защите организма-хозяина от патогенов (Seipke et al., 2012). Одними из ярких представителей таких микроорганизмов являются актинобактерии. Данная группа бактерий отличается широким спектром синтезируемых вторичных метаболитов – от антибиотиков до ферментов-гидролитиков, расщепляющих целлюлозу, лигнин, хитин и другие труднодеградируемые полимеры (Anderson et al., 2012). В ряде публикаций описаны мутуалистические взаимоотношения между актинобактериями и насекомыми (Cafaro et al., 2001; Kaltenpoth, 2009; Seipke et al., 2001), морскими (Thomas et al., 2010), пресноводными (Costa et al., 2013) губками и другими организмами. Известно, что актинобактерии являются самыми активными продуцентами биологически активных веществ, используемых в медицине, ветеринарии и ряде других отраслей промышленности (Demain, Sanchez, 2009). В свою очередь, развитие антибиотикоустойчивости микроорганизмов ставит вопрос поиска новых продуцентов антибиотиков и новых источников для выделения бактерий. Так, как показано в ряде работ (Harunari et al., 2016; Parrot et al., 2015), выделение микроорганизмов из экстремальных по своим условиям сред обитания многократно повышает шансы обнаружения в них новых антибиотиков и иных биологически активных соединений. Одной из таких экстремальных экосистем является экосистема оз. Байкал.

Озеро Байкал является древнейшим и глубочайшим пресноводным озером планеты. Длительная эволюция в условиях низких температур и высокого содержания кислорода по всей толще воды создали уникальную фауну с высоким уровнем эндемизма (Тимошкин, 2001). Одной из наиболее многообразных фаунистических групп озера являются амфиподы (Amphipoda, Crustacea), число которых достигает по последним данным 276 видов и 78 подвидов (Takhteev et al., 2015). Данная группа беспозвоночных населяет все глубины и зоны озера – от верхней литорали до абиссали. Особый интерес в контексте поиска продуцентов новых биологически активных веществ представляют глубоководные виды, поскольку они выступают ключевыми звеньями пищевых цепей в озере.

В ходе проведенного исследования с применением глубоководных ловушек были выловлены амфиподы – обитатели градиента глубин 150-300 м (150 м – *Eulimnogammarus ussolzewii* (Dybowsky, 1874), *E. aheneus* (Dybowsky, 1874); 200 м – *Ommatogammarus carreolus malanophthalmus* (Dybowsky, 1874); 300 м – *E. ussolzewii*, *O. carreolus malanophthalmus*). Для выделения актинобактерий использовали среды MS и ISP. Выделенные штаммы были культивированы в жидких средах NL-19, SG, ISP в течение 4-х дней (Kieser et al., 2000). Для антибиотических тестов были получены экстракты биологически активных соединений из культуральной жидкости и клеточной биомассы актинобактерий. Антибиотические тесты проведены против ряда модельных тест-культур, в том числе: *E. coli* ATCC25922, *P. putida* KT2440, *B. subtilis* ATCC 6633, *St. carnosus*, *S. cerevisiae* BY4742.

Экстракт, полученный в результате культивирования штамма *Streptomyces* sp. IB 2015 /P/143-3 (выделен из *O. carreolus malanophthalmus* с глубины 300 м), на среде NL-19, показал широкую активность против как грамположительных, так и грамотрицательных бактерий, а

также против грибов. Экстракт штамма *Streptomyces sp.* IB 2015 /P /139-2 (выделен из *E. aheneus* с глубины 150 м), полученный при культивировании на среде NL-19, подавлял рост дрожжей *S. cerevisiae*. Этот же штамм, выращенный на среде ISP, показал бактериостатическую активность против *B. subtilis*. Культивированные на этой же среде штаммы *Streptomyces sp.* IB 2015 /P/141-1 и IB 2015 /P/142-1 были активны против *St. carnosus*.

Таким образом, в ходе данного исследования показано, что актинобактерии, ассоциированные с байкальскими глубоководными эндемичными амфиподами, обладают симбиотическим потенциалом и продуцируют биологически активные соединения, в том числе антибиотики, подавляющие рост модельных микроорганизмов.

Настоящее исследование проведено при частичной финансовой поддержке проектов Министерства образования и науки РФ (№ 6.382.2014/К, 6.734.2016 DAAD, 6.696.2016 DAAD), РФФИ (проект № 14-14-00400), РФФИ (проекты № 14-04-00501, 16-34-60060, 16-34-00686 мол\_а), гранта Иркутского государственного университета для молодых ученых.

### Список литературы

Тимошкин О.А., 2001. Список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна / под ред. О.А. Тимошкин. Новосибирск: Наука, 2001. 1679 с.

Anderson I. Anderson, Abt I., Lykidis D., Klenk A., Kyrpides H-P., Ivanova N., 2012. Genomics of aerobic cellulose utilization systems in actinobacteria // PLoS One. V. 7. № 6. P. e39331.

Cafaro M.J., Poulsen, M., Little, A., Price, S., Gerardo, N., Stuart, A., Larget, Bret A., 2011. Specificity in the symbiotic association between fungus-growing ants and protective *Pseudonocardia* bacteria // Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences. V. 278. № 1713. P. 1814–1822.

Costa R., Keller-Costa T., Gomes, N., da Rocha N., van Overbeek L., van Elsas J., 2013. Evidence for Selective Bacterial Community Structuring in the Freshwater Sponge *Ephydatia fluviatilis* // Microbial Ecology. V. 65. P. 232–244.

Demain A.L., Sanchez S. Microbial drug discovery: 80 years of progress // The Journal of Antibiotics. 2009. V. 62. № 1. P. 5–16.

Harunari E., Hamada M., Chibata C., Tamura M., Komaki H., Imada C., Igarashi Y., 2016. *Streptomyces hyaluromycini* sp. nov., isolated from a tunicate (*Molgula manhattensis*) // The Journal of Antibiotics. V. 69. № 3. P. 159–63.

Kaltenpoth M., 2009. Actinobacteria as mutualists: general healthcare for insects? // Trends in Microbiology. V. 17. № 12. P. 529–535.

Kieser B., 2000. Practical streptomyces genetics. John Innes Foundation, Norwich, 2000. 613.

Parrot D., Antony-Babu S., Intertaglia, S., Grube M., Tomasi S., 2015. Littoral lichens as a novel source of potentially bioactive Actinobacteria // Scientific Reports. V. 5. P. 15839.

Seipke R.F., Barke J., Brearley C., Hill L., Yu D., 2011. A single *Streptomyces* symbiont makes multiple antifungals to support the fungus farming ant *Acromyrmex octospinosus* // PLoS One. V. 6. № 8. P. e22028.

Seipke R.F., Kaltenpoth M., Hutchings M.I., 2012. *Streptomyces* as symbionts: An emerging and widespread theme? // FEMS Microbiology Reviews. V. 36. № 4. P. 862–876.

Takhteev V.V., Berezina N.A., Sidorov D.A., 2015. Checklist of the Amphipoda (Crustacea) from continental waters of Russia, with data on alien species // Arthropoda Selecta. V. 24. № 3. P. 335–370.

Thomas T.R.A., Kavlekar D.P., Lokabharathi P.A., 2010. Marine Drugs from Sponge-Microbe Association – A Review // Marine Drugs. V. 8. P. 1417–1468.

### Семейство Heteroceridae MacLeay, 1825 (Insecta: Coleoptera) фауны России: степень изученности и дальнейшие перспективы исследования группы

**Резюме.** Фауна жесткокрылых семейства Heteroceridae MacLeay, 1825, особенно в России, изучена поверхностно, ежегодно описываются десятки новых видов из различных регионов мира. В России интерес к этому семейству околотовных жесткокрылых только появляется, наряду с фаунистическими находками начато изучение экологии и биологии гетероцерид.

Жуки-пилоусы Heteroceridae MacLeay, 1825 – небольшое всеветно распространённое семейство околотовных жесткокрылых. Мировая фауна не ревизована, известно порядка 320-370 видов. На территории России в настоящее время отмечены представители родов *Augyles* и *Heterocerus*. При этом изученность семейства остается слабой и фрагментарной. Стоит отметить, что личинки и куколки многих видов еще не описаны.

По неопубликованным данным для территории России отмечен 21 вид семейства, из них 14 видов обитает в Европейской части страны. Наименее исследованными и в то же время перспективными территориями для новых находок Heteroceridae в России являются: юго-восток Европейской части, Сибирь, Дальний Восток, пограничные с Казахстаном, Китаем, Монголией области. Именно оттуда в недавнем прошлом отмечены новые для территории России *Augyles interspidulus* (Charpentier, 1979) и *Heterocerus kaszabi* Charpentier, 1979. Еще один вид – *Augyles tokejii* Nomura, 1958, описанный с островов Японии, отмечен в России в этом году, находка служит первым указанием вида для материковой части Дальнего Востока и находится в печати.

Ряд вопросов по распространению видов семейства остается открытым. Например, литературные указания для юга Сибири и Дальнего Востока вида *Augyles hispidulus* (Kiesenwetter, 1843) не подтверждены. На наш взгляд на большей части азиатской России *Augyles hispidulus* замещается близким видом *Augyles interspidulus*, описанным из Монголии и известным для России с территории Бурятии и Забайкалья, а на Дальнем Востоке основным видом из группы «*cribratellus*» является, описанный из Японии, *Augyles japonicus* (Копо, 1931), что подтверждается коллекционным материалом.

Недавно (Sazhnev, 2016) утратил валидность вид, указываемый как эндемик Камчатки, *Heterocerus kamtschaticus* А. Егоров, 1989, ныне он рассматривается, как младший синоним голарктического вида *Heterocerus fenestratus* (Thunberg 1784). Основным признаком *Heterocerus kamtschaticus* – «диск переднеспинки с 2 ... ямками» не является видоспецифичным. Нами отмечались экземпляры разных видов *Augyles* и *Heterocerus* с аналогичными ямками на переднеспинке. К тому же, при описании *Heterocerus kamtschaticus* не были рассмотрены признаки полового аппарата самцов, как основополагающие при детерминации видов семейства.

Интересны находки на юге Европейской части России и Урала особей *Heterocerus flexuosus* Stephens, 1828 близких к описанному из Малой Азии синонимичному ему *Heterocerus heydeni* Kuwert, 1890, которые имеют различия от *Heterocerus flexuosus* как во внешней морфологии, так и в строении полового аппарата самцов. На наш взгляд, статус *Heterocerus heydeni* требует детального рассмотрения.

Очень важны и перспективны исследования симбиотических связей и роли гетероцерид в них как участников. В качестве симбионтов для гетероцерид известны отдельные виды форетических нематод, клещи разных таксономических групп, из настоящих эндопаразитов для Heteroceridae указаны споровики Gregarinida (Mascagni, 2015), на имаго развиваются аскомицеты отряда Laboulbeniales, в частности в этом году впервые для территории России был отмечен *Botryandromyces heteroceri* (Maire), рецептакулы которого обнаружены на *H.*

*fenestratus* (Сажнев, 2016). Дополнительно на имаго Heteroceridae в 2016-ом году нами были обнаружены новые для науки таксоны клещей надсемейства Pygmephoroidae (Acari: Heterostigmata: Neopygmephoridae, Scutacaridae) из России и Казахстана, связанные с гетероцеридами. Готовятся к описанию новый монофилетический род и два новых вида рода *Allopygmephorus* Cross, 1965 (Acari: Neopygmephoridae).

Экология гетероцерид в России почти не изучалась. Лишь некоторые статьи и фаунистические сводки касаются биотопической приуроченности отдельных видов Heteroceridae. Однако недавно были получены первичные данные об экологической структуре Heteroceridae в условиях прибрежной зоны водных объектов на примере Саратовской области (Сажнев, 2016). К псаммофильному комплексу видов мы отнесли *A. hispidulus* и *Heterocerus marginatus* (Fabricius, 1787), которые предпочитают песчаные, берега и имеют на них высокую степень стенофитности. Наиболее пластичным к условиям заселяемых биотопов оказался вид *H. fenestratus*. К эвригалинным видам нами отнесены: *H. flexuosus*, *Heterocerus parallelus* Gebler, 1830 и *Heterocerus obsoletus* Curtis, 1828, при этом, только *H. flexuosus* отмечен на засоленной почве (Сажнев, 2016). Было предположено, что для гетероцерид при выборе местообитания определяющее значение имеют следующие факторы: 1) гидрологический режим водного объекта, который действует посредством изменения уровня воды, следовательно, и влажность заселяемого субстрата 2) характер грунта, 3) наличие кормовой базы и 4) тип зоны уреза. Согласно нашим данным, гетероцериды предпочитают второй морфологический тип зоны уреза воды, т.е. метровую зону берега, чаще без воздействия волн с наносами растительных остатков.

Таким образом, исследования семейства Heteroceridae в России, в виду малой изученности не только фауны, но и экологии, биологии и систематики видов, остаются актуальными и перспективными и требуют дальнейшей разработки. Необходимо в первую очередь объединение литературных и коллекционных материалов в единую базу данных, а также ревизия родов семейства фауны России.

### Список литературы

Сажнев А.С., 2016. Состав и структура населения Heteroceridae (Coleoptera) в условиях прибрежной зоны водных объектов Саратовской области // Поволжский экологический журнал. № 1. С. 85–93.

Mascagni A., 2015. The Variegated Mud-Loving Beetles of Europe (second part) (Coleoptera: Heteroceridae) // Onychium. № 11. P. 117–126.

Sazhnev A.S., 2016. *Heterocerus kamtschaticus* A. Egorov, 1989 is a new synonym of the Holarctic *H. fenestratus* (Thunberg, 1784) (Coleoptera: Heteroceridae) // Zoosystematica Rossica. V. 25. № 1. P. 163–164.

УДК 574.38

А.С. Сажнев, А.А. Переходова

ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН», пос. Борок, Ярославская область  
e-mail: sazh@list.ru

### Структура сообществ жесткокрылых насекомых с участием Heteroceridae (Coleoptera) на севере Нижнего Поволжья

**Резюме.** Исследование экотонных систем весьма перспективное направление в биологической науке. Жесткокрылые семейства Heteroceridae являются характерными обитателями краевых структур «вода-суша», при этом их роль в водно-наземных биотопах изучена недостаточно. В настоящей работе нами предпринята попытка установления внутренней структуры сообществ жесткокрылых с участием Heteroceridae в прибрежных условиях различных водных объектов севера Нижнего Поволжья.

На всех стадиях развития жесткокрылые семейства Heteroceridae MacLeay, 1825 приурочены к берегам разнотипных водных объектов с неоднородной степенью солёности. Имаго и личинки являются характерными обитателями краевых структур «вода-суша», так называемой аэропелали, сооружающими в субстрате разветвлённые сети тоннелей, используемые ими для питания, откладки яиц, окукливания. В настоящее время для севера Нижнего Поволжья приведено 9 видов Heteroceridae (Литовкин и др., 2013; Сажнев, 2016). По Heteroceridae существует довольно большое количество фаунистических работ, при этом экология семейства изучена весьма поверхностно. Известно, что жуки-пилоусы являются неотъемлемой частью разнообразных водно-наземных сообществ, в состав которых они входят как альгодетритофаги, гетероцериды определенно участвуют в переносе вещества и энергии в зоне перехода двух сред «вода-суша» и, несомненно, включены в разнообразные типы взаимодействия с другими организмами внутри сообществ.

Целью настоящего исследования послужило установление внутренней структуры сообществ жесткокрылых с участием Heteroceridae на примере Саратовской области. Материал собирался авторами на территории региона с 2007 года, однако, в основу полученных результатов легли сборы 2011–2015 годов. Станции отбора проб находились на территории Правобережья и Левобережья Саратовской области в лесостепной, степной и полупустынной зонах. Обследованию подвергались участки по урезу воды различных водных объектов. Пробы брались по градиенту от линии уреза в тройной повторности методами выплескивания и взмучивания с применением ограничительной рамы 25x25 см и эксгаустера. Жуки собирались в пробирки типа Эппендорф с 70% раствором спирта в качестве фиксатора. Всего было изучено 14 водных объектов, расположенных в 9 районах Саратовского право- и левобережья, а также в черте Саратова; обработано 42 пробы, собрано 812 экз. имаго жесткокрылых насекомых. Материал сохранен в коллекции автора и в энтомологической коллекции Саратовского государственного университета.

За время исследования в сообществах с присутствием Heteroceridae зарегистрировано 144 вида жесткокрылых из 20 семейств, из них Heteroceridae – 5 видов; Staphylinidae – 32 вида, Carabidae – 31 вид, Hydrophilidae – 21 вид, Helophoridae – 9 видов, Hydrochidae – 5 видов, Hydraenidae – 4 вида, остальные семейства представлены единично. Количество видов и экземпляров в пробах значительно варьирует ( $S=5-49$ ,  $N=6-193$ ), что связано с зональным расположением изучаемых водных объектов и их типологией. В большинстве сообществ (7 из 14) изученных водных объектов доминировал *Heterocerus fenestratus* (Thunberg, 1784) (индекс доминирования 10.29-47.62%), в псаммофильных сообществах доминантами и субдоминантами служили *Dyschirius thoracicus* (P. Rossi, 1790) и *Augyles hispidulus* (Kiesenwetter, 1843). В других сообществах доминировали разные виды семейств Carabidae и Hydrophilidae.

Для изученных сообществ были рассчитаны индексы биологического разнообразия и получены следующие результаты. Среднее арифметическое значение индекса Шеннона составило  $2.58 \pm 0.55$  бит/экз., что указывает на среднюю сложность структуры сообществ водно-наземных биотопов исследованных водных объектов. При этом индекс для естественных водоемов (включая временные) и водотоков практически не различался и в среднем составил 2.70 и 2.79 бит/экз., соответственно. Сообщества искусственных и экстремальных (сероводородный источник) водных объектов статистически отличаются по показателям биоразнообразия (1.56–1.83 бит/экз.), обедненные, а жесткокрылые в них представлены эвритопами видами. Соответствующим образом коррелирует с индексом Шеннона и выравненность изученных сообществ.

Из наиболее характерных представителей жесткокрылых в сообществах с присутствием Heteroceridae на глиняных и илистых субстратах в условиях Саратовской области можно выделить эпигеобионтов родов *Acupalpus*, *Bembidion*, *Badister*, *Stenus*, герпетобионтов из рода *Philonthus*, *Lathrobium* и др., а из стратобионтов виды рода *Carpelimus*, присутствующие во всех пробах, и некоторых Hydrophilidae. Для песчаного субстрата

практически постоянно присутствие геобионтов родов *Dyschirius* и *Bledius*, не редок *Georissus costatus* Laporte de Castenlau, 1840.

В то время как активные эпигеобионты и герпетобионты не столько привязаны к зоне уреза воды, геобионтные и стратобионтные виды, будучи зависимыми от условий увлажнения субстрата и наличия в нем пищевых ресурсов (в основном это альгодетритофаги), совместно с Heteroceridae образуют в водно-наземных биотопах своеобразный стенотопный комплекс, который может служить маркером границы «вода-суша» на голых песчаных или незаросших участках береговой линии.

### Список литературы

Литовкин С.В., Сажнев А.С., Клёмин Д.А., 2013. К познанию пилоусов (Coleoptera, Heteroceridae) Самарской, Саратовской, Ульяновской областей и Республики Татарстан // Евразийский энтомологический журнал. Т. 12. № 6. С. 561–569.

Сажнев А.С., 2016. Состав и структура населения Heteroceridae (Coleoptera) в условиях прибрежной зоны водных объектов Саратовской области // Поволжский экологический журнал. № 1. С. 85–93.

УДК 591.5

**О.О. Саклеева**

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда  
e-mail: sakleeva.olga@mail.ru

### Структура сообществ микроперифитона на субстратах различной сложности

**Резюме.** В последнее время актуальность изучения водных экосистем признается многими учеными. Это касается и сообществ микроперифитона, которые представляют собой перспективный объект исследования, так как обладают высокой скоростью размножения, экологической пластичностью и быстро реагируют на изменения в окружающей среде (Попова, 2012). Благодаря микроскопическим размерам микроперифитонные организмы легко культивировать. Такие преимущества позволяют в короткий срок наблюдать изменения в популяциях сообществ под влиянием какого-либо фактора. Данное направление мало изучается, но существуют работы, посвященные изучению формирования экотопических группировок перифитонных организмов. Сообщества перифитона имеют пространственно-сложную структуру, которая сочетает как прикрепленные, так и подвижные формы, выполняющие специфические для них функции (Протасов и др., 1982). Важную роль для формирования микросообществ играет структура биотопа (Александров, Юрченко, 2000). Для выявления закономерностей формирования перифитонных сообществ используют экспериментальные субстраты с различной текстурой поверхности. Некоторые авторы придают большое значение сложности архитектоники субстрата (Мухин, 2013). Изучение микроперифитона актуально, так как такие организмы имеют большое значение в питании рыб (Семерной, 2008). В частности, для развития аквакультуры существует потребность в увеличении биомассы перифитонных организмов, которые употребляются рыбами в качестве подкормки. Технологии увеличения продуктивности микроперифитона могут оказать позитивное воздействие для развития сельского хозяйства.

Для выявления закономерностей выбраны два вида субстрата с простой и сложной структурой. В качестве субстрата с простой пространственной структурой использовали стекла обрастания. Сложная пространственная структура формировалась из противомоскитной полимерной сетки с размером ячеек 4 мм. Предварительные эксперименты показали, что наибольшей биомассой микроперифитонных организмов обладают субстраты с сетевидной структурой. Поэтому в качестве субстрата выбрана противомоскитная сеть.

Наблюдения проводились в течение двух недель. Определение микроорганизмов проводилось прижизненно с использованием микроскопа. Животные подсчитывались в десяти полях зрения. Полученные результаты усреднялись.

Организмы, обитающие на экспериментальных субстратах, были разделены на четыре группы: стебельковые инфузории, подвижные организмы, прикрепленные коловратки, сидячие инфузории (Мухин, 2013), личинки насекомых.

Результаты наблюдений представлены в таблице 1. Можно отметить, что преимущественно на стеклах отмечались прикрепленные инфузории рода *Vorticella*.

Таблица 1. Средняя численность экологических групп организмов в динамике на стеклах обрастания и противомоскитной сети

Группировки организмов	1 день наблюдений		2 день наблюдений		3 день наблюдений		4 день наблюдений		5 день наблюдений	
	стекло	сеть	Стекло	сеть	стекло	сеть	стекло	сеть	стекло	Сеть
Прикрепленные инфузории	40	32	115	42	154	77	191	58	393	83
Подвижные формы	69	53	76	14	112	9	46	33	171	24
Коловратки	2	25	3	57	11	122	11	135	23	214
Сидячие инфузории	0	0	11	0	47		16	2	41	0
Личинки насекомых	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4

С учетом обзорной площади посчитана биомасса организмов в разные дни на субстратах разной сложности. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Расчет биомассы с учетом обзорной площади на стеклах обрастания и противомоскитной сети.

Субстрат	Биомасса в 1 день (мкг) 19.09	Биомасса во 2 день (мкг) 21.09	Биомасса в 3 день (мкг) 23.09	Биомасса в 4 день (мкг) 26.09	Биомасса в 5 день (мкг) 28.09
Стекло	0.346	0.777	1.402	1.538	3.235
Сеть	1.445	3.069	6.491	7.129	11.198

Если сеть рассматривать в целом, без учета площади ячеек, можно отметить, что стекло более заселенное. Средняя численность за весь период наблюдений на стекле 8.2 особей, на сети 6.6. На стекле в 1.2 больше количество микроперифитонных организмов. Это связано с тем, что основную часть сети составляют пустые пространства. Эта особенность субстрата находит отражение в структуре сообществ: на сети были отмечены личинки двукрылых насекомых, которые не могут осваивать гладкую поверхность стекла, доля коловраток на сети в 11 раз больше, чем на стекле. Это связано с относительной подвижностью организмов и способностью передвигаться между нитями. По-видимому, коловратки вытесняют крупных прикрепленных инфузурий, с которыми они конкурируют за питание. В ходе наблюдений так же отмечались амёбы. Таким образом, сообщество сети было более разнообразно в таксономическом плане.

Средняя биомасса микроперифитонных организмов при подсчете на стекле составила 5.866 мкг, а на сети 1.469 мкг. Разница биомасс организмов на сети больше, чем на стекле в 4 раза. Это обусловлено тем, что сеть имеет сложную архитектуру, благодаря переплетению нитей. Предполагается, что на такой структуре организмам гораздо удобнее закрепляться.



Основную биомассу на сети составляют коловратки, которые являются относительно крупными организмами.

Исходя из вышесказанного, очевидно, что сетевидная структура субстрата имеет преимущества перед плоской структурой стекла, позволяющие повысить продуктивность микроперифитонных организмов.

### **Список литературы**

*Александров Б.Г., Юрченко Ю.Ю., 2000. Зависимость структурно-функциональных свойств морского зообранения от геометрии твердых субстратов // Экологическая безопасность прибрежной зоны и шельфа, и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: МГИБ., 2000. С. 367–376.*

*Мухин И.А., 2013. Экологическая структура сообществ перифитонных инфузорий на различных субстратах в естественном и искусственном водотоках // Вода: химия и экология. № 12 (65). С. 64–70.*

*Попова Л.А., 2012. Цилиоперифитон искусственных субстратов (гидротехнических сооружений и его участие в передаче нефтяных углеводородов по пищевой цепи // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Вып. 26 (1). С. 81–87.*

*Протасов А.А., Стародуб К.Д., Афанасьев С.А., 1982. Водолазный метод исследования пресноводного перифитона // Гидробиологический журнал. Т. 18. № 4. С. 91–93.*

*Семерной В.П., 2008. Общая гиробиология: Тексты лекций // Ярославский государственный университет им П.Г.Демидова, Ярославль, ЯрГУ, 2008. 184 с.*

УДК 574.583

**Е.Г. Сахарова**

*ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН», пос. Борок, Ярославская область  
e-mail: katya.sah@mail.ru*

### **Фитопланктон переходных участков Рыбинского водохранилища**

**Резюме.** Переходные участки Рыбинского водохранилища (устьевой участок малой реки и мелководная зона) характеризуются повышенным видовым богатством и удельным числом видов фитопланктона, количественными характеристиками, увеличением показателя ценотического разнообразия (индекса Шеннона) и сезонной вариабельности структурных компонентов фитопланктона (среднеценотического объема). В альгофлоре наблюдались структурные перестройки, обычно происходящие при увеличении уровня трофии водоема. Отмеченные изменения в планктонном сообществе свидетельствуют о проявлении краевого эффекта в устьевых областях и на мелководье равнинного водохранилища, что позволяет определить их как экотоны. Зоной максимального проявления краевого эффекта являлась фронтальная зона устьевой области и участок защищенного мелководья.

Экотонные зоны играют большую роль в формировании и сохранении биологического разнообразия. В водохранилищах к таким зонам относят устья впадающих в них рек и мелководья. Прибрежные участки регулируют потоки вещества и энергии между водными и наземными биоценозами, они являются эффективными биофильтрами загрязняющих веществ, которые поступают с водосбора. Обмен веществом, энергией, генетической информацией водохранилища и рек оказывает существенное влияние на структуру и функционирование искусственного водоема. Таким образом, процессы, происходящие в литоральной зоне и устьевых областях рек, во многом определяют функционирование водоема в целом. Цель работы – изучение особенностей формирования планктонных альгоценозов экотонных зон Рыбинского водохранилища.

Для анализа был использован материал, собранный в литоральной зоне Рыбинского водохранилища с мая по июль на защищенном (2009-2011 года) и открытом (2009-2010 года) мелководьях, а также с мая по октябрь в устьевой области малого притока (р. Ильдь) водохранилища (2009-2011 года). Для сравнения были отобраны пробы фитопланктона с прилегающих к рассматриваемым переходным зонам участков (в зоне свободного течения реки и в пелагиали водохранилища, напротив бывшего с. Коприно).

Наибольшим числом внутриродовых таксонов по сравнению с граничащими зонами характеризовались устьевая область малого притока – р. Ильдь и пелагиаль водохранилища. Большая гетерогенность среды, создаваемая в этих переходных участках, способствовала повышенному богатству альгофлоры. Увеличение видового богатства произошло за счет того, что диатомеям, имеющим наибольшее разнообразие в реке и литорали водохранилища, добавились зеленые, синезеленые, эвгленовые и золотистые водоросли. При этом, соотношение эколого-географических групп всех исследуемых участков не различалось: везде преобладали планктонные формы, космополиты, индифферентны по отношению к солености воды и рН. Во всех зонах превалировали  $\beta$ -мезосапробы. Доля планктонных видов в пелагиали водохранилища значительно выше, чем в устьевой области притока и на мелководье.

Изучаемые переходные зоны водохранилища характеризовались более высокими величинами биомассы фитопланктона, чем регистрировались в граничащих участках. При этом в экотонных зонах наблюдалось увеличение вклада в общую биомассу миксотрофных флалеллят (динофитовых, криптофитовых, золотистых и эвгленовых водорослей), что свидетельствует о повышенной биогенной нагрузке на данные участки. Этому способствует постоянное поступление с водосбора и с речными водами биогенных и органических веществ, и их аккумуляция в изучаемых зонах (Соловьева, Корнева, 2006; Цветков и др., 2015). Сообщество водорослей маргинальных участков становится полидоминантным. Сезонный ход биомассы защищенного побережья характеризовался высокой степенью варьирования, что свойственно участкам данного типа, отличающимся высокой гетерогенностью среды (Девяткин, 1983; Корнева, 1983; Соловьева, Корнева, 2006).

Самые высокие значения показателей биоценологического разнообразия (индекс Шеннона) и выровненности (индекс Пиелу), и в противоположность им низкие величины степени доминирования (индекс Симпсона) были характерны для рассматриваемых зон по сравнению с пелагиалью водохранилища и зоной свободного течения реки. Высокая гетерогенность среды, свойственная переходным пространствам, создает большее число экологических ниш, в связи с чем происходит увеличение ценологического разнообразия и выровненности фитопланктона и снижение степени доминирования. В ходе повышения уровня трофии вод отмечалось увеличение сезонной вариабельности структурных компонентов фитопланктона (Корнева, 2015). На мелководье степень сезонного варьирования величины среднеценологического объема была выше, чем в пелагиали, что тоже подтверждает более высокий трофический статус прибрежной зоны.

Рост количественных показателей фитопланктона переходных участков и его структурные перестройки являлись следствием взаимодействия двух систем, обеспечивающих ряд благоприятных для развития водорослей условий (многообразие экологических ниш, аккумуляция органического вещества, высокая изменчивость параметров среды). Отмеченное увеличение видового богатства, численности, биомассы водорослей фитопланктона свидетельствует о проявлении краевого эффекта в устьевых областях и на мелководье равнинного водохранилища, что позволяет определить их как экотоны (Holland, 1988; Ермохин, 2007). Зоной максимального проявления краевого эффекта являлась фронтальная зона устьевой области реки и участок защищенного мелководья.

### **Список литературы**

Девяткин В.Г., 1983. Состав и продуктивность фитопланктона в прибрежной зоне Рыбинского водохранилища // Пресноводные гидробионты и их биология. Л.: Наука. С. 52–70.

*Ермохин М.В.*, 2007. Проблемы и перспективы исследования краевых структур биоценозов рек и водоемов речных долин // Актуальные вопросы изучения микро-, мейзообентоса и фауны зарослей пресноводных водоемов. Н. Новгород: Вектор ТиС. С. 101–129.

*Корнева Л.Г.*, 1983. Планктонные альгоценозы побережья Рыбинского водохранилища // Пресноводные гидробионты и их биология. Л.: Наука. С. 38–51.

*Корнева Л.Г.*, 2015. Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги. Кострома, 2015. 284 с.

*Соловьева В.В., Корнева Л.Г.*, 2006. Структура и динамика фитопланктона мелководий и пелагиали волжского плеса Рыбинского водохранилища // Биология внутренних вод. № 4. С. 34–41.

*Цветков А.И., Крылов А. В., Болотов С. Э. Отюкова Н. Г.*, 2015. Физико-химическая характеристика воды выделенных зон устьевой области притока // Гидроэкология устьевых областей притоков равнинного водохранилища. Ярославль: Филигрань, 2015. С. 56–75.

*Holland M.M.*, 1988. SCOPE/MAB technical consultations on landscape boundaries. Report of SCOPE/MAB Workshop on Ecotones // Biology International. Special Iss. 17. P. 47–106.

УДК 574.583

**В.А. Сенкевич**

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза  
e-mail: viktoriya0606@mail.ru

### **Зоопланктонные сообщества малых рек лесостепной зоны**

**Резюме.** Приводятся результаты изучения зоопланктонных сообществ девяти малых рек Пензенской области. Обнаружено 157 видов и подвидов, 24 таксона выявлено впервые для Пензенской области, один – впервые для Поволжья. Во всех изученных сообществах преобладали коловратки, как по численности, так и по количеству видов. Весенние сообщества зоопланктона отличаются от летних. По биологическим показателям воды изученных рек относятся к мезотрофному и эвтрофному типу.

Малые реки – самые многочисленные среди водоемов и водотоков. Благодаря их небольшому размеру, развивающиеся в них сообщества очень чувствительны к изменению условий среды. Крупные реки из-за полноводности медленнее реагируют на изменения. Изучая малые реки, можно судить об экологической обстановке на территории, а также об антропогенной нагрузке. Сообщество зоопланктона быстро реагирует даже на самые незначительные колебания факторов среды. Таким образом, зоопланктонные сообщества малых рек являются ценными объектами для мониторинговых наблюдений. Цель настоящей работы – изучить пространственную и видовую динамику зоопланктонных сообществ малых рек Сурского бассейна на территории Пензенской области.

Для изучения были выбраны девять малых рек Сурского бассейна: Кадада, Кряжим, Елюзань, Вядя, Отвель, Инра, Шукша, Елшанка, Иванырс. В каждой реке пробы зоопланктона отбирали на трех станциях в мае, июле и августе 2015 года. Сто литров поверхностной воды процеживали через сеть Апштейна и фиксировали 4% раствором формалина. Всего отобрана 81 проба. Материал обработан по общепринятым в гидробиологии методам. В июле и августе отобраны образцы воды для гидрохимического анализа. В ходе анализа определяли структурные показатели зоопланктонных сообществ: видовое богатство, численность, биомассу, доминирующие виды, относительное обилие таксономических групп. Все полученные параметры обрабатывали с помощью программы MS Excel 2010.

Изученные малые реки характеризуются высоким содержанием железа и марганца, что типично для многих природных водоёмов Пензенской области. Подобная ситуация отмечается

и в других регионах. Гидрохимические показатели воды в исследованных нами реках определяются особенностями химического состава водосбора и уровнем антропогенной нагрузки.

В результате исследования в девяти малых реках Сурского бассейна обнаружена богатая фауна зоопланктонных организмов, насчитывающая 157 видов и подвидов (коловратки – 114, ветвистоусые раки – 24 и веслоногие раки – 19), 24 таксона выявлены впервые для Пензенской области, один – впервые для Поволжья.

Основу зоопланктонных сообществ исследованных рек по количеству видов и по численности составляют коловратки, что характерно и для других малых рек Пензенской области. Наибольшее разнообразие коловраток характерно для р. Кадада, где в течение вегетационного сезона было выявлено 65 видов. Зоопланктонные сообщества исследованных нами рек являются коловратными, что связано с достаточной проточностью рек и не значительной степенью зарастания берегов высшей водной растительностью.

Среди видов, впервые отмеченных в Пензенской области коловратка *Aspelta angusta* является новым видом для Поволжья (Сенкевич, Стойко, 2016). Этот вид был отмечен в реках на юго-западном побережье бассейна Онежского озера в холодное время года (Куликова, 2007, 2015). Четыре вида коловраток (*Dicranophorus caudatus*, *Notommata cerberus*, *Proales sigmoidea*, *Testudinella truncata*) лишь недавно были впервые выявлены в Самарской области (Герасимов, Мухортова, 2010). Обнаружение значительного количества новых видов зоопланктона для Пензенской области может быть связано с недостаточным обследованием разнообразия существующих водоемов и водотоков в области.

Результаты исследования показали, что количество видов, численность и биомасса зоопланктона больше в реках с повышенным содержанием хлоридов, аммиачного азота и нитритов, и снижается при увеличении взвешенных веществ. Высокие концентрации хлоридов, аммиачного азота и нитритов указывают на загрязнение бытовыми отходами и разнообразными стоками, в результате чего в воде увеличивается содержание растворенного органического вещества, которое может благоприятно влиять на зоопланктон за счет увеличения численности и разнообразия объектов питания. Обратная ситуация может складываться при высоком содержании взвешенных веществ в воде, которое вероятно затрудняет фильтрационную активность ракообразных и уменьшает глубину фотического слоя.

В течение сезона численность и биомасса зоопланктонных сообществ уменьшается, а количество видов увеличивается. В исследованных реках на численность и биомассу майских сообществ сильно повлияло преобладание холодолюбивого вида коловраток *Synchaeta oblonga*, который, вероятно, достигал высокой численности в отсутствии конкуренции со стороны теплолюбивых видов. В результате весенние сообщества были более похожими друг на друга, по сравнению с летними. Несмотря на повышение температуры воды в течение лета, водотоки в целом остаются холоднее водоемов из-за проточности. В результате чего холодолюбивые и теплолюбивые виды совместно присутствуют в сообществах зоопланктона. Кроме того, увеличение видового богатства к концу вегетационного сезона связано с повышением биотопического разнообразия в водотоках за счет присутствия участков с быстрым течением, а также застойных и заросших высшей водной растительностью участков. Это также приводит к повышенной неоднородности видовой структуры сообществ.

Несмотря на высокую степень антропогенного загрязнения по данным гидрохимического анализа в реках Шукша, Отвель, Вяда и Инра, биологические показатели свидетельствуют об улучшении качества вод в течение вегетационного сезона. Это может быть связано с высокой самоочистительной способностью рек благодаря оптимальной скорости их течения и глубины. Воды исследуемых рек относятся к мезотрофному и эвтрофному типу, что в целом характерно как для Пензенской области, так и для других регионов России.

В целом видовой состав изученных рек является типичным для пресноводных сообществ региона. Большое количество впервые обнаруженных видов свидетельствует о недостаточной изученности фауны зоопланктона Пензенской области.

### Список литературы

Герасимов Ю.Л., Мухортова О.В., 2010. Уточнение ареалов некоторых видов коловраток // Теоретические проблемы эволюции и экологии. Теория ареалов: виды, сообщества, экосистемы (V Люблинские чтения). Тольятти: Кассандра, 2010. С. 31–34.

Куликова Т.П., 2007. Зоопланктон водных объектов бассейна Онежского озера. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 223 с.

Куликова Т.П., 2015. Зоопланктон водных объектов города Петрозаводска (Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. № 2. С. 71–88.

Сенкевич В.А., Стойко Т.Г., 2016. Обнаружение коловратки *Aspelta angusta* (Ploimida, Dicranophoridae) в бассейне р. Суры (Среднее Поволжье) // Зоологический журнал (в печати).

УДК 574.583

В.А. Сенкевич

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза  
e-mail: viktoriya0606@mail.ru

### Зоопланктонные сообщества старичных водоемов реки Хопер (ГПЗ «Приволжская лесостепь»)

**Резюме.** Приводятся предварительные результаты изучения зоопланктонных сообществ старичных водоемов р. Хопер. Обнаружено 98 видов и форм зоопланктонных организмов (коловраток – 62, ветвистоусых раков – 22, веслоногих раков – 14), 11 таксонов выявлено впервые для Пензенской области. Сообщества зоопланктона характеризуются богатым и разнообразным видовым составом, включающим как озерные, так и болотные виды, что свидетельствует о заболачивании исследуемых водоемов.

Старичные озера расположенные на особо охраняемых природных территориях являются модельными объектами экосистем, в меньшей степени подверженных антропогенному влиянию. При этом многие из них попадают под воздействие бобровых поселений. Зоопланктон является важным звеном любой водной экосистемы, он быстро отвечает на изменения условий среды. Таким образом, изучение зоопланктонного сообщества позволяет оценить влияние факторов окружающей среды на систему, а также оценить ее состояние в целом. Цель настоящей работы – изучить зоопланктонные сообщества старичных водоемов р. Хопер.

Исследуемые водоемы расположены на территории участка «Островцовская лесостепь» государственного природного заповедника «Приволжская лесостепь». Для исследования были выбраны семь старичных водоемов, которые могут быть подразделены на два комплекса по степени влияния бобра. Первый комплекс (1-3 старицы) менее подвержен данному влиянию, на территории второго комплекса (4-7 старицы) отмечена достаточно активная деятельность бобра. Пробы отбирали с апреля по август 2016 года по одной станции на каждой старице. Десять литров поверхностной воды процеживали через сеть Апштейна и фиксировали 4% раствором формалина. Всего отобрано 33 пробы. В июле и августе третья старица пересохла, вследствие чего материал собран не был. Полученные данные обработаны по общепринятым в гидробиологии методам. На данном этапе анализа определяли следующие структурные показатели зоопланктонных сообществ: видовое богатство, численность, доминирующие виды, относительное обилие таксономических групп. Все полученные параметры обрабатывали с помощью программы MS Excel 2010.

На данный момент идентифицировано 98 видов и форм зоопланктонных организмов. Из них коловраток – 62, ветвистоусых раков – 22, веслоногих раков – 14. Впервые для Пензенской области отмечено 11 таксонов: коловратки *Keratella valga brehmi* (Klausener, 1908), *Lecane* (s. str.) *luna balatonica* Varga, 1945, *Monommata enedra* Myers, 1930, *Monommata actices*

Myers, 1930, *Mytilina trigona* (Gosse, 1851), ветвистоусые раки *Dunhevedia crassa* King, 1853, *Megafenestra aurita* (Fischer, 1849), *Tretocephala ambigua* (Lilleborg, 1901), веслоногие раки *Eudiaptomus vulgaris* (Schmeil, 1898), *Hemidiaptomus ignatovi* Sars, 1903, *Hemidiaptomus rylovi* Charin, 1928.

Доминантный комплекс стариц представлен следующими видами: коловратки *Anuraeopsis fissa* (Gosse, 1851), *Brachionus variabilis* Hempel, 1896, *Conochilus unicornis* Rousselet, 1892, *Keratella quadrata* (Müller, 1786), *Keratella valga* (Ehrenberg, 1834), *Lecane* (s. str.) *luna* (Müller, 1776), *Lecane* (s. str.) *luna balatonica*, *Lecane* (M.) *closterocerca* (Schmarda, 1859), *Mytilina trigona* (Gosse, 1851), *Polyarthra dolichoptera* Idelson, 1925, *Postclausa hyrtopus* (Ehrenberg, 1838), *Rotaria* sp., *Synchaeta tremula* (Müller, 1786), *Testudinella patina* (Hermann, 1783), *Trichocerca* (s. str.) *pusilla* (Lauterborn, 1898), ветвистоусые раки *Ceriodaphnia reticulata* (Jurine, 1820), *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller, 1785), *Daphnia* (D.) *longispina* O.F. Müller, 1785, *Simocephalus exspinosus* (De Geer, 1778), веслоногие раки *Eudiaptomus vulgaris* (Schmeil, 1898), *Cyclops scutifer* Sars, 1863, *Diacyclops bicuspidatus* (Claus, 1857).

Видовой состав зоопланктонных сообществ изученных стариц включает в себя как озерные, так и болотные виды, что свидетельствует о заболачивании озер. Наиболее богатое видовое разнообразие (44-52 вида) отмечено в старицах, подверженных большему влиянию деятельности бобра (5-7 старицы). Большое количество видов, впервые отмеченных для Пензенской области, указывает на недостаточное изучение зоопланктона разнотипных водоемов на данной территории. Дальнейшие исследования помогут изучить разнообразие и структурные параметры сообществ гидробионтов старичных водоемов р. Хопер и оценить влияние природных и антропогенных факторов на экосистемы стариц.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-34-00119.

УДК 597-19(063) (285.2)

**Ю.И. Соломатин, М.И. Базаров**

ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова РАН», пос. Борок, Ярославская область  
e-mail: solomatin1988@gmail.com

### **Плотность рыбного населения пелагиали Иваньковского водохранилища в 2012-2015 годах**

**Резюме.** В настоящей работе приведена оценка плотности рыбного населения пелагиали Иваньковского водохранилища за период 2012-2015 годов. Установлены достоверные различия в общей плотности рыб в пелагиали между двумя парами лет: 2012-2013 и 2014-2015 годов. Увеличение численности черноморско-каспийской тюльки *Clupeonella cultriventris* (Nordmann, 1840) в 2014-2015 годах связано с особенностями биологии данного вида, а именно, с ее коротким жизненным циклом.

Решение проблемы оптимизации рыбного хозяйства на водохранилищах и других внутренних водоемах в значительной степени определяется полнотой и объективностью данных о численности рыбного населения (Поддубный и др., 1985).

Иваньковское водохранилище является наиболее крупным водоёмом Тверской области, имеющим рыбохозяйственное значение. Исследуемый водоем относится к водохранилищам долинного типа, имеет сложную конфигурацию береговой линии. Водоохранилище мелководное: средняя глубина составляет 3.4 м (Печников, Кудинов, 2004).

Цель настоящей работы – оценить плотность рыбного населения пелагиали Иваньковского водохранилища в 2012-2015 годах.

Материалом для проведения данного исследования послужили результаты траловых съёмов на русловых участках Иваньковского водохранилища, проведенных в августе 2012-2015 годов. Траления проводили в светлое время суток по разработанной сетке станций. Отлов

рыбы осуществляли с помощью пелагического трала с горизонтальным раскрытием 17.3 м, вертикальным раскрытием 1.8 м и коэффициентом уловистости 0.4 (Лапшин и др., 2010). Горизонт для траления выбирали в соответствии с показаниями эхолота «Simrad EY-500» (частота 120 кГц, угол луча 7°). Плотность рыб рассчитывалась в экземплярах и граммах на кубический декаметр (дам<sup>3</sup>=1000 м<sup>3</sup>).

Видовой состав рыб пелагиали Иваньковского водохранилища в 2012-2015 годах был представлен 10 видами, среди которых черноморско-каспийскую тюльку *Clupeonella cultriventris* (Nordmann, 1840) можно считать супердоминантом: на её долю приходилось от 82 до 99.8% от общей численности рыб. При этом абсолютные значения численности тюльки в 2014-2015 годах превышали таковые в 2012-2013 году в 10-30 раз, в среднем составляя 177 и 353 г/дам<sup>3</sup> соответственно. В отношении биомассы между упомянутыми выше двумя парами лет также наблюдаются существенные различия. В 2014-2015 годах соотношение пелагических видов рыб по биомассе было приближено к таковому по численности: 82-93% приходилось на тюльку. В 2012-2013 годах, напротив, на тюльку приходилось лишь 7-32% от общей ихтиомассы уловов. Для леща *Abramis brama* (Linnaeus, 1758), плотвы *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758) и густеры *Blicca bjoerkna* (Linnaeus, 1758) отмечены нехарактерно высокие доли по биомассе (14-35%). Наиболее высокие средние значения биомассы для леща и густеры отмечены в 2013 году – 109 и 110 г/дам<sup>3</sup> соответственно, что многократно превышает аналогичные показатели как для 2012 года (28 и 23 г/дам<sup>3</sup>), так и для 2014-2015 годов (0-39 г/дам<sup>3</sup>).

Для пелагиали Иваньковского водохранилища обнаружены достоверные изменения общей численности рыб в исследуемый период. Данные изменения связаны с резким увеличением численности тюльки в 2014-2015 годах, для которой, как и для всех короткоциклового вида характерны значительные межгодовые колебания численности (Никольский, 1974; Одум, 1975; Кияшко и др., 2012). Достоверные изменения в общей ихтиомассе пелагиали отмечены между 2012 годом и остальными годами рассматриваемого периода. Данные изменения с одной стороны связаны с увеличением количества леща и густеры в уловах пелагическим тралом в 2013 году, с другой – со значительным увеличением численности и биомассы тюльки в 2014-2015 годах. На вопрос об увеличении численности леща и густеры в уловах пелагическим тралом в 2013 году дать однозначный ответ достаточно сложно. Наиболее вероятно, что отмеченные различия обусловлены характером распределения особей этих видов, сложившимся на момент съемки.

### Список литературы

Кияшко В.И., Карабанов Д.П., Яковлев В.Н., Слынько Ю.В., 2012. Становление и развитие популяции черноморско-каспийской тюльки *Clupeonella cultriventris* (Clupeidae) в Рыбинском водохранилище // Вопросы ихтиологии. Т. 52. № 5. С. 571–580.

Лапшин О.М., Герасимов Ю.В., Малин М.И., Базаров М.И., Павлов Д.Д., Татарников В.А., Рой И.В., 2010. Определение коэффициента уловистости учетного трала на основе использования поведенческой модели процесса уловистости // Поведение рыб. Материалы докладов IV Всероссийской конференции с международным участием (19-21 окт. 2010 г., Борок, Россия). М.: АКВАРОС, 2010. С. 203–208.

Никольский Г.В., 1974. Экология рыб. М.: Высшая школа, 1974 366 с.

Одум Ю., 1975. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.

Печников А.С., Кудинов М.Ю., 2004. Иваньковское водохранилище // Современное состояние рыбного хозяйства на внутренних водоемах России (ред. Иванов Д.И.). СПб.: ФГНУ ГосНИОРХ, 2004. С. 190–197.

Поддубный А.Г., Юданов К.И., Малинин Л.К., Стрельников А.С., Лапицкий И.И., 1985. Плотность рыбного населения открытых плесов водохранилищ Волги и Дона. // Теория формирования численности и рационального использования стад промысловых рыб. М.: Наука, 1985. С. 129–137.

### Состояние популяции речных раков в некоторых водоёмах Ленинградской области

**Резюме.** В озёрах Ленинградской области встречается два вида раков *Astacus astacus* и *Pontastacus leptodactylus*. Ареалы широкопалого и длиннопалого раков в пределах РФ перекрываются, и область распространения первого непрерывно сужается (Цукерзис, 1970). В водоёмах Ленинградской и Псковской областях, по сведениям предыдущих исследователей, преобладает широкопалый рак.

Ареал широкопалого рака неуклонно уменьшается. Во многих водоёмах он исчез полностью. Причины снижения его запасов и сокращения ареала обсуждались в литературе. Тем не менее, значение пресноводных раков как промысловых объектов, индикаторов чистой воды, санитаров водоёмов, необходимых элементов водных экосистем требует не только констатации их деградации, но и разностороннего изучения причин этого явления и разработки мер по восстановлению их численности.

*Цель исследования* – оценка современного состояния популяций пресноводных раков в водоёмах Ленинградской области.

Для достижения поставленной цели решались следующие конкретные задачи: (1) Определить основные параметры условий среды в некоторых озёрах, пригодных для обитания пресноводных раков; (2) Оценить состояние популяции широкопалого и длиннопалого раков и определить их запасы в исследованных озёрах; (3) Рассчитать ориентировочно возможный вылов раков в исследованных озерах Ленинградской области.

*Материалы и методы.* Исследования выполнялись в сентябре-октябре в 2009-2016 годов. Для оценки условий обитания раков были взяты следующие показатели водных объектов: абиотические – характер берегов, форма котловины, площадь, глубина, прозрачность, проточность, характер грунтов, рН, содержание кислорода, температура воды, а также биотические – состав и обилие зоопланктона, макрозообентоса, водной растительности.

Пробы зоопланктона и зообентоса отбирались и обрабатывались по общепринятым методикам. Отлов раков производился пассивным способом. На каждом озере выставлялось около 20 раколовов в среднем на 10 часов экспозиции в ночное время. Для постановки раколовов выбирались характерные для обитания раков места коряжник, камни, граница тростниковых зарослей и т.д. Запасы раков оценивались по уловистости орудий лова и полезной площади, заселяемой раками. Для определения запасов учитываются закономерности, которым подчиняются изменения репродуктивного потенциала популяций, их возрастного и полового состава, численности отдельных поколений, периодичности линек, скорости роста и естественной смертности, а также динамика факторов окружающей среды (Мицкевич, 2006).

*Результаты.* Все исследованные озёра, в которых встречались раки, со средними глубинами от 2 до 8 метров, проточные с хорошо развитой береговой линией.

Грунты в литоральной зоне озёр песчаные, глинистые с наличием грубого детрита. Данный тип грунта наилучшим образом подходит при строительстве нор. Жидкие илистые грунты в водоёме раки избегают. На илистых грунтах могут встречаться только длиннопалые раки, использующие их в качестве временного местообитания.

Насыщение воды кислородом в исследованных озёрах имеет достаточно высокие значения – от 40% до 76%, и не может лимитировать существование раков.

Активная реакция среды изменяется от 6.7 до 7.6, что укладывается в допустимые пределы для развития популяции рака в озёрах Карельского перешейка. Однако раки были встречены только в озёрах, в которых рН около 7 и выше.



Следует подчеркнуть, что в озёрах, обследованных в 2009 и в 2016 году, произошло значительное снижение запасов раков.

*Основные выводы:* (1) По условиям обитания все озера можно отнести к ракопродуктивным, пригодным для обитания раков. Условия в водоёмах вполне пригодны для нормального роста раков на всех стадиях их развития; (2) Негативное влияние на состояние популяции раков оказали гидрометеорологические факторы; (3) Ориентировочные расчёты показали, что общие запасы раков в обследованных водоемах составляют 319000 экз., или (при средней массе 1 рака промыслового размера – 40 г) – 12760 кг.

### Список литературы

Мицкевич О.И., 2006. Раколовство и раководство на водоемах Европейской части России (справочник). СПб, 2006. 207 с.

Цукерзис Я.М., 1970. Биология широкопалого рака. Вильнюс: Минтис, 1970. 203 с.

УДК 597.2/.5

Т.А. Тележникова<sup>1,2</sup>, Ю.А. Северов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Татарское отделение ФГБНУ «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Республика Татарстан  
e-mail: tamara-info@bk.ru

### Современное состояние популяции речного окуня (*Perca fluviatilis* L.) центральной части Куйбышевского водохранилища

**Резюме.** Произведена оценка современного состояния популяции речного окуня центральной части Куйбышевского водохранилища за 2015 год, в частности исследован размерно-весовой, возрастной и половой состав популяции окуня, а также рост данного вида. Проанализировано рыбохозяйственное значение окуня в Куйбышевском водохранилище.

Первые литературные сведения об окуне Волжского-Камского края приведены П.С. Палласом в 1771 году (Паллас, 1809). Начиная с этого времени, собран обширный материал по биологии окуня, в том числе и Куйбышевского водохранилища. По сегодняшний день, данный вид является важным и значимым объектом для рыбохозяйственных и экологических исследований, что говорит о необходимости продолжения мониторинга за его популяцией.

Целью данной работы является оценка современного состояния популяции речного окуня центральной части Куйбышевского водохранилища.

Ихтиологический материал (201 экз.) собран весной 2015 года в Тетюшском плёсе Куйбышевского водохранилища с помощью ставных сетей. Камеральная обработка материала нами проводилась согласно общепринятой методике (Правдин, 1966).

Размеры окуня в исследованном материале колебались от 17.5 до 37 см при средней длине  $26.27 \pm 0.41$  см. Основную массу составили особи окуня длиной от 23 до 29 см (65.1%), среди которых доминировали рыбы, имевшие размер 25-27 см.

Вес окуня в исследованном материале весной варьировал от 88 до 1012 г. Средний вес окуня составил  $359.82 \pm 15.6$  г. Вес основной части материала находился в пределах от 150 до 450 г (74%). Преобладающая весовая группа была весом от 350 до 450 г.

Возрастная структура популяции окуня была представлена особями в возрасте от 2 до 13 лет. Наибольшую численность имели особи в возрасте 5, 6 и 7 лет (поколения 2010, 2009, 2008 годов), составившие 48.2%. Но, следует отметить, что достаточно многочисленны были и рыбы в возрасте 3 и 4 лет.

В уловах самки окуня составляли 68.6%, самцы – 31.3%.

Вычисленные величины удельной скорости роста окуня до 13-летнего возраста показывают, что максимальная динамика линейного прироста проходит у него до 3-летнего возраста включительно. Далее, вследствие процессов полового созревания – у самцов окуня в 3-4 года, а у самок в 3-5 лет (Кузнецов, 2005), удельная скорость роста сильно замедляется.

Сравнение полученных в 2015 году данных по росту окуня в Куйбышевском водохранилище с данными предыдущего года (Тележникова, Сайфуллин, 2015) показывает, что они весьма сходны. Очевидно, что в современных условиях Куйбышевского водохранилища этот вид не испытывает недостатка в пищевых ресурсах.

В течение зимнего периода 2015-2016 года, в соответствии с «Методическими указаниями по изучению любительского рыболовства на состояние рыбных запасов внутренних водоемов» (Никанорова, 1979), проведен опрос рыболовов-любителей, находящихся на водоемах вблизи городов Зеленодольск и Казань. Всего было обработано 300 карточек опроса рыбаков.

Опрос рыболовов-любителей подтверждает выводы о достаточной стабильности встречи окуня в уловах (до 42% от всего числа респондентов) и дают право считать речного окуня важным объектом любительского лова данного региона.

Стабильность вылова окуня связана с его высокой пластичностью, увеличением благоприятных мест для нереста и низкой пищевой конкуренцией. Несмотря на довольно интенсивный промысел, запасы окуня центральной части Куйбышевского водохранилища не подорваны, и на данный момент популяция представлена особями до 13 лет. Это указывает, что ведение промысла и любительский лов в водоеме на популяцию окуня влияют в небольшой степени (Семёнов, 2004).

#### **Список литературы**

*Кузнецов В.А.*, 2005. Рыбы Вожско-Камского края. Казань, 2005. 201 с.

*Никанорова Ю.И. (ред.)*, 1979. Методические указания по изучению любительского рыболовства на состояние рыбных запасов внутренних водоемов. Л.: ГосНИОРХ, 1979. 19 с.

*Паллас П.С.* Путешествие по разным провинциям Российской империи, бывшее в 1768-1769 гг. Ч. 1. 2-е изд. СПб, 1809. 504 с.

*Правдин И.Ф.*, 1966. Руководство по изучению рыб. Москва: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.

*Семёнов Д.Ю.*, 2004. Экология окуня (*Perca fluviatilis* L.) Центральной части Куйбышевского водохранилищ. Диссертация на соискание учёной степени кандидата биологических наук: 03.00.16. Ульяновск: УлГУ, 2004. 22 с.

*Тележникова Т.А., Сайфуллин Р.Р.*, 2015. Популяционные характеристики окуня (*Perca fluviatilis* L.) Мешинского залива Куйбышевского водохранилища // Природа Симбирского Поволжья: Сборник научных трудов. Вып. 16. Ульяновск, 2015. С. 166–168.

### **Современная макросистематика эукариот, новые филогенетические линии и скрытое биоразнообразие одноклеточных гидробионтов**

**Резюме.** В докладе будут приведены данные о современной макросистеме эукариот, основных макротаксонах, филогенетических ветвях эволюционного древа. Представлены сведения о пока неопisanном, скрытом разнообразии протистов в водных экосистемах, существование которого предсказано результатами секвенирования природных проб.

Развитие методов секвенирования нового поколения (Next-generation sequencing, NGS) привело в настоящее время к накоплению огромного массива молекулярных данных по разнообразию одноклеточных эукариот в природных экосистемах. Часть полученных последовательностей нуклеотидов фрагментов гена 18S rRNA соответствует уже известным организмам, другие сиквенсы формируют новые филогенетические клады на молекулярных деревьях, и иллюстрируют новое, пока не известное науке огромное биоразнообразие, открывая тем самым целое направление для экологических и эволюционных исследований. Обнаружение клеток этих организмов в водных экосистемах, их всесторонне изучение и наложение тем самым морфологического и экологического портретов на это «новое биоразнообразие» является в настоящее время актуальной и очень важной задачей. Протисты являются узловым элементом любых водных экосистем. Отсутствие информации о реальном разнообразии, биологии клеток и экологических особенностях этих неописанных одноклеточных эукариот сильно тормозит развитие представлений о структуре и функционировании водных экосистем на микробном уровне. Кроме того, описание и изучение данных организмов молекулярными методами имеет огромное филогенетическое и эволюционное значение.

Еще 20 лет назад общепринятым было разделение эукариот на царства животных, растений, грибов и протистов. В такой системе постановка вопроса о начальной эволюции эукариот не имела смысла. Однако логически можно допустить, что животные, растения или грибы, как потомки каких-то одноклеточных предков, имеют современных более близких родственников среди одноклеточных и представляют собой, таким образом, только маленькие веточки на разветвленном филогенетическом древе одноклеточных. Применение молекулярно-биологических методов исследований за последние 2.5 десятилетия привело к накоплению огромного количества молекулярно-генетических данных, и соответственно, к очередной перестройке макросистемы эукариот, которая не завершена и до настоящего времени. В результате выделяются родственные группы эукариот, которые не совпадают с традиционными.

Сейчас насчитывают различное количество наиболее крупных групп эукариот – от 5 до 7-8 и 13. Однако наблюдается стабилизация в этом отношении, в работах разных исследователей проступают очертания общей картины системы эукариот. Более того, создан международный комитет, который вырабатывает в настоящее время общую консенсусную систему эукариот, чтобы рекомендовать ее всему научному сообществу. К настоящему времени выделяется пять крупных и достаточно устоявшихся группировок эукариот: Opisthokonta, Amoebozoa, SAR (Stramenopiles, Alveolates, Rhizaria), Archaeplastida, Excavata. Кроме того, в природе имеется большое количество эукариот пока неясного систематического положения, которые представляют собой отдельные филогенетические линии эволюционного древа. Зачастую они представляют собой небольшие отряды, семейства и роды жгутиконосцев и солнечников. Ряд из этих организмов действительно обладает уникальными особенностями, другие еще не исследованы в должной мере.

**Отряд Bathynellacea Chappuis, 1915 (Crustacea: Malacostraca) фауны России и сопредельных государств: степень изученности и перспективы исследования**

**Резюме.** В работе дается обзор фауны батинеллиевых ракообразных (Bathynellacea) России и сопредельных государств (бывшего СССР) – представленной 17 видами и подвидами. Обсуждаются зоогеографические связи, степень изученности и перспективы дальнейших исследований. Приводится библиографический список всей известной литературы по этой группе ракообразных в пределах рассматриваемой территории.

Батинеллиевые ракообразные Bathynellacea Chappuis, 1915 – всесветно распространенный отряд, обитающий на всех континентах, за исключением Антарктиды. Батинеллацеи относятся к следующим экологическим группам – стигобионты и интерстициобионты, являющиеся типичными (истинными) подземными обитателями. Данные ракообразные высокоспециализированная группа, по большей части обитающая в подземных пресноводных биотопах – пещерные, интерстициальные, грунтовые, капиллярные и фреатические воды. Однако, часть видов обитает в специфических условиях, как пример: *Thermobathynella adami* Sapart, 1951 в подземных термальных водах (55°C) близ озера Упемба (Заир); *Tianschanobathynella jankowskajae* Serban, 1993 и *T. paraisykhulensis* Serban, 1993 в солоноватых интерстициальных водах (6‰) у берегов озера Иссык-Куль (Кыргызстан); *Baicalobathynella magna* (Bazikalova, 1954) на глубине 1440 м в озере Байкал (Россия).

Большая часть видов батинеллиевых раков в виду подземного образа жизни имеют редуцированные глаза и депигментированное вытянутое червеобразное тело (от 0.3 до 5.4 мм) с рядом примитивных признаков (7 брюшных сегментов, наличие фурки и т.д.) приспособленное к перемещению в заполненных водой системе капиллярных ходов толщи горных пород, частиц почвы, песка, или же к обитанию в прочих гипогейных биотопах.

По данным ревизии отряда (Camacho, 2006) в его составе два семейства с 234 валидными видами и подвидами. На территории России и сопредельных государств (бывшего СССР) в соответствии с литературными данными отмечено обитание 17 видов и подвидов:

Семейство Bathynellidae Grobben, 1904.

*Antrobathynella stammeri stammeri* (Jakobi, 1954). Интерстициобионт. Указана как *Bathynella natans stammeri* в пресных и слабосолёных колодцах с. Данило-Ивановка Мелитопольского района Запорожской области, Украина (Монченко, 1968).

*Antrobathynella stammeri ciscaucasica* (Birstein et Ljovuschkin, 1964). Стигобионт. Описана как *Bathynella natans ciscaucasica* из ручья в пещере Фанагорийская близ Горячего Ключа (Краснодарский край, Россия) (Бирштейн, Лёвушкин, 1964а, 1967; Serban, 1993).

*Baicalobathynella magna* (Bazikalova, 1954). Предположительно, интерстициобионт. Вид описан как *Bathynella magna* по материалу бентосной пробы с глубины 1440 м в районе пос. Листвиничного из озера Байкал, Россия (Базикалова, 1949, 1954; Бирштейн, Лёвушкин, 1967).

*Bathynella arsenjevi* Birstein et Ljovuschkin, 1967. Стигобионт. Описана из озера в пещере Приморский Великан в Приморском крае, Россия (Бирштейн, Лёвушкин, 1967).

*Bathynella baicalensis* Bazikalova, 1954. Предположительно, интерстициобионт. Вид описан по материалам бентосных проб с глубин 100-300 м в районе пос. Листвиничного из озера Байкал, Россия (Базикалова, 1949, 1954; Бирштейн, Лёвушкин, 1967).

*Bathynella glacialis* Birstein et Ljovuschkin, 1967. Стигобионт. Описана из подземного озера Ледяной пещеры в Хабаровском крае, Россия (Бирштейн, Лёвушкин, 1967).

*Bathynella gregaria* Birstein et Ljovuschkin, 1967. Стигобионт. Описана из водоемов пещеры Макрушинская в Приморском крае, Россия (Бирштейн, Лёвушкин, 1967а).

*Bathynella natans natans* Vejdovsky, 1882. Стигобионт. Обнаружена в водоеме пещеры Ущельная в верховьях реки Восточная Хоста в Большом Сочи (Краснодарский край, Россия) (Бирштейн, Лёвушкин, 1967); также отмечена в подземных водах бассейна реки Прут, Украина (Полищук, Гарасевич, 1986).

*Bathynella natans ukrainica* Monchenko, 1968. Интерстициобионт. Описана из родника Чумше в окр. села Владимировка Одесской области, Украина (Монченко, 1968).

*Bathynella* sp. Интерстициобионт. Приводится как *Bathynella chappuisi* Delachaux, 1919 в колодце в 65 км к западу от г. Калач-на-Дону в Волгоградской области, Россия (Schäfer, 1951). Видовая принадлежность данной находки требует уточнения (Бирштейн, Лёвушкин, 1967).

*Tianschanobathynella issykkulensis* (Jankowskaja, 1964). Интерстициобионт. Описана как *Bathynella stammeri issykkulensis* из колодца на северном берегу оз. Иссык-Куль в Кыргызстане (Янковская, 1964; Бирштейн, Лёвушкин, 1967; Serban, 1994).

*Tianschanobathynella jankowskajae* Serban, 1993. Интерстициобионт. Описана из интерстициальных вод близ берега оз. Иссык-Куль в Кыргызстане (Serban, 1993).

*Tianschanobathynella paraissykhulensis* Serban, 1993. Интерстициобионт. Описана из интерстициальных вод близ берега оз. Иссык-Куль в Кыргызстане (Serban, 1993).

Семейство Parabathynellidae Noodt, 1964.

*Parabathynella stygia* Chappuis, 1926. Стигобионт. Обнаружена в водоеме в пещере на левом берегу реки Куми близ Цхалтубо, Грузия (Бирштейн, Лёвушкин, 1968; Samacho, 2006).

*Eobathynella mesasiatica* (Birstein et Ljovuschkin, 1964). Стигобионт. Описана как *Parabathynella mesasiatica* из подземного озера в карстовой полости на юго-востоке Кыргызстана (Бирштейн, Лёвушкин, 1964б, 1968).

*Eobathynella minima* Jankowskaja, 1972. Интрестициобионт. Описана из интерстициальных вод пустыни Кызылкум в Узбекистане (Бирштейн, Лёвушкин, 1968; Янковская, 1972).

*Issykkulibathynella tianschanica* (Jankowskaja, 1964). Интрестициобионт. Описана как *Parabathynella tianschanica* из колодца на северном берегу оз. Иссык-Куль в Кыргызстане (Янковская, 1964; Бирштейн, Лёвушкин, 1968; Serban, 1994).

Из приведенного выше списка видно, что, в пределах бывшего СССР имеется три крупных центра видообразования батинеллиевых раков: 1) европейско-кавказский – *A. stammeri stammeri*, *A. stammeri ciscaucasica*, *B. natans natans*, *B. natans ukrainica*, *P. stygia*; 2) среднеазиатско-байкальский – *B. magna*, *B. baicalensis*, *T. issykkulensis*, *T. jankowskajae*, *T. paraissykhulensis*, *E. mesasiatica*, *E. minima*, *I. tianschanica*; 3) дальневосточный – *B. arsenjevi*, *B. glacialis*, *B. gregaria*. Изучение вопросов формирования данных фаун этих древних ракообразных, помогут решить многие вопросы зоогеографии (Бирштейн, Левушкин, 1965). Считаем, что необходимо применять не только классические методы морфологического анализа, но и использовать молекулярно-генетический подход в данном исследовании.

Дальнейшие исследования батинеллиевых ракообразных весьма перспективны, как пример, имеется указание на нахождение новой еще не описанной формы на Камчатке (Сидоров, 2008). Также, нашими исследованиями при отборе мейобентосных проб в 2014-15 годах в карстовых пещерах Кавказа установлено обитание ряда новых еще не описанных видов. Однако, в пределах вышеупомянутых территорий все подземные гидробиологические исследования носили фрагментарный и выборочный характер, и на данном этапе не способны отобразить представление о возможном истинном разнообразии этой группы ракообразных.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, гранты № 16-34-00275 мол\_а, 16-04-50113\_мол\_нр, 15-54-40011 Абх\_а.

### Список литературы

Бирштейн Я.А., Левушкин С.И., 1964а. Новый подвид *Bathynella natans* Vejd. (Crustacea, Bathynellacea) из подземных вод Предкавказья // Зоологический журнал. Т. 43. № 11. С. 1719–1722.

- Бириштейн Я.А., Левушкин С.И., 1964б. Нахождение Bathynellacea (Crustacea, Syncarida) в Средней Азии // Зоологический журнал. Т. 43. № 1. С. 11–27.
- Бириштейн Я.А., Левушкин С.И., 1965. Распространение Bathynellacea в подземных водах СССР // Вопросы гидробиологии. Тезисы докладов I съезда Всесоюзного гидробиологического общества. С. 33–34.
- Бириштейн Я.А., Левушкин С.И., 1967. Отряд Bathynellacea (Crustacea, Malacostraca) в СССР. I. Семейство Bathynellidae // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. Т. 72. № 4. С. 51–66.
- Бириштейн Я.А., Левушкин С.И., 1968. Отряд Bathynellacea (Crustacea, Malacostraca) в СССР. II. Семейство Parabathynellidae и зоогеографические замечания // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. Т. 73. № 6. С. 55–64.
- Базикалова А.Я., 1949. Находка в озере Байкал интересного ракообразного // Природа. № 7. С. 63–64.
- Базикалова А.Я., 1954. Новые виды рода *Bathynella* из озера Байкал // Труды Байкальской лимнологической станции. Т. 14. С. 355–368.
- Монченко В.И., 1968. Новый для фауны Украины отряд ракообразных (Crustacea, Bathynellacea) с описанием нового для науки подвида // Вестник зоологии. № 4. С. 9–14.
- Полищук В.В., Гарасевич И.Г., 1986. Биогеографические аспекты изучения водоемов бассейна Дуная в пределах СССР. Киев: Наукова думка, 1986. 212 с.
- Сидоров Д.А., 2008. Пресноводные гипогейные высшие ракообразные (Crustacea: Malacostraca) Дальнего Востока России // Автореферат на соискание ученой степени кандидат биологических наук. Владивосток: БПИ ДВО РАН, 2008. 20 с.
- Янковская А.И., 1964. Реликтовые ракообразные в грунтовых водах побережья озера Иссык-Куль (Северный Тянь-Шань) // Зоологический журнал. Т. 43. № 7. С. 975–986.
- Янковская А.И., 1972. Новые представители *Parabathynella* (Crustacea, Syncarida) и *Microcharon* (Isopoda) в интерстициальных водах пустыни Кызылкум // Фауна грунтовых вод Средней Азии. Труды Зоологического института АН СССР. Л.: Наука, 1972. Т. 51. С. 131–138.
- Camacho A.I., 2006. An annotated checklist of the Syncarida (Crustacea, Malacostraca) of the world // Zootaxa. V. 1374. P. 1–54.
- Schäfer A.W., 1951. Ueber die Besiedlung des Grundwasser // Verhandlungen des Internationalen Vereins für Limnologie. Bd. 11. S. 324–330.
- Serban E., 1993. *Tianschanobathynella jankowskajae* n. g. sp. n. et *Tianschanobathynella paraisykhulensis* n. sp. (Bathynellidae, Bathynellacea, Podophallocarida) // Travaux de l'Institut de Speologie "Emile Racovitza". V. 32. P. 19–41.
- Serban E., 1994. *Issykkulibathynella* n. g. et son espece-type *I. tianschanica* (Jankowskaja) (Parabathynellidae, Bathynellacea, Podophallocarida) // Travaux de l'Institut de Speologie "Emile Racovitza". V. 33. P. 31–48.

**Морфологическая вариабельность клонов *Ardissonea crystallina* (Bacillariophyta)**

**Резюме.** Изучена морфологическая изменчивость черноморской популяции *Ardissonea crystallina* в клоновых культурах. Установлено, что качественные и количественные признаки изученных клонов имеют диапазоны варьирования близкие к канадской популяции.

Диатомовая водоросль *Ardissonea crystallina* (C. Agardh) Grunow описана из пролива Гаттегат, расположенного между восточным берегом полуострова Ютландия и юго-западной частью Скандинавского полуострова. Известна у берегов юго-восточной Австралии, Новой Зеландии, в западной части Тихого океана (остров Гуам), на тихоокеанском побережье России, атлантическом побережье Северной Америки и Канады (Прошкина-Лавренко, 1955, 1963; Poulin et al., 1987; Druzhkov, Makarevich, 1999; Witkowski et al., 2000; Неврова, Шадрин, 2005; Lobban et al., 2012; Ивин и др., 2014; <http://www.algaebase.org>). Обитает в Чёрном море (Рябушко, 2006). Материалом для исследования послужили клоновые культуры *A. crystallina*, выделенные из бентосных проб, отобранных с глубины до 0.5 м в Казачьей бухте (Севастополь, Крым, Россия) и проб отобранных в результате 84 рейса НИС «Профессор Водяницкий» (глубина 31 метр, координаты 44°59'29" N и 33°26'19" E). Клоны (потомство, полученное вегетативным путем от одной клетки) являются генетически чистой линией. Культуры выделяли по стандартной методике (микрораспределением) в лаборатории водорослей и микробиоты Карадагского природного заповедника, выращивали при одинаковой солености (20‰) на среде ESAW с модификациями (Давидович, Давидович, 2009). Панцири очищали от органического содержимого упрощённым способом (Рощин, 1994), их фотографии были получены при помощи электронно-сканирующего микроскопа (SEM) Jeol Jsm-5600 в Институте биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина (ИБВВ РАН) и светового микроскопа Biolar-PI при помощи откалиброванной по объект-микрометру окулярной линейки с ценой деления 1.60 и 6.92 мкм, при использовании объективов с увеличением 40X и 9X соответственно. Морфометрические показатели (плотность расположения фибул, ареол, штрихов и т.д.) оценивали по полученным микрофотографиям при помощи программы ImageJ v. 1.45. Вид *A. crystallina* описан шведским ботаником К.А. Агардом в 1824 г. как *Diatoma crystallinum* Agardh, типовой местностью указана акватория «Sinus Codani», что соответствует проливу Гаттегат, расположенному между восточным берегом полуострова Ютландия и юго-западной частью Скандинавского полуострова. В 1828 г. итальянский ботаник Ф.Л. Нацари обнаруживает данный вид в Адриатическом море, впоследствии шотландский натуралист Р.К. Гревилл переводит данный вид в выделенный им род *Exilaria* Greville 1827, а немецкий альголог Ф.Т. Кютцинг рассматривает его в роде *Synedra* (Kützing, 1844). В работе А. Грунова и П.Т. Клеве (Cleve, Grunow, 1880) для вида *A. crystallina sensu lato* указаны две вариации – var. *insignis* Grunow и var. *bacillaris* Grunow, обе под знаком вопроса. Традицию *sensu lato* (выделения внутривидовых форм) у данного вида поддерживали немногие авторы. В настоящее время, по данным справочника AlgaeBase (<http://www.algaebase.org>) род *Ardissonea* de Notaris самостоятелен, все внутривидовые таксоны у *A. crystallina* упразднены. В результате анализа литературных данных и исследования электронных микрофотографий створок *A. crystallina* обнаружена изменчивость по ряду морфологических признаков. Наиболее стабильными таксономическими признаками у пеннатных диатомовых являются плотность расположения ареол в штрихе и число штрихов. Последний признак оказался способен значительно флуктуировать у представителей разных популяций *A. crystallina* – черноморской (Прошкина-Лавренко, 1955, 1963), канадской (Poulin et al., 1987) и гуамской (Lobban et al., 2012). Особый интерес вызывает близость этого показателя у изученных нами клонов не к

черноморской, а к представителям канадской популяции. Качественные признаки данного вида (структура створки) у двух популяций также не отличались. Данное обстоятельство заставляет усомниться в идентичности аборигенной формы *A. crystallina*, описанной А.И. Прошкиной-Лавренко (1955, 1964) и формы обнаруженной нами. Можно предположить, что в акватории Чёрного моря под названием *A. crystallina* обитает не один вид, а сложный видовой комплекс, требующий всестороннего анализа и изучения, в том числе с применением методов молекулярно-генетического анализа и репродуктивной биологии.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-04-00237 А «Получение данных о репродуктивной биологии рода *Ardissonea*, критически важных для понимания филогении диатомовых».

### Список литературы

- Давидович Н.А., Давидович О.И., 2009. Использование среды ESAW в опытах по изучению полового воспроизведения диатомовых водорослей. // Карадаг-2009. Сборник научных трудов посвященных 95-летию Карадагской научной станции и 30-летию Карадагского природного заповедника НАНУ. Севастополь: ЭКОСИ: Гидрофизика, 2009. С. 538–544.
- Ивин В.В., Звягинцев А.Ю., Кашин И.А., 2014. Мониторинг и контроль чужеродных видов в морских и островных особо охраняемых природных территориях на примере Дальневосточного морского государственного природного биосферного заповедника // Российский журнал биологических инвазий. № 2. С. 47–79.
- Неврова Е.Л., Шадрин Н.В., 2005. Донные диатомовые водоросли солёных озёр Крыма // Морской экологический журнал. Т. 4. № 4. С. 61–71.
- Прошкина-Лавренко А.И., 1955. Диатомовые водоросли планктона Черного моря. М.-Л.: АН СССР, 1955. 223 с.
- Прошкина-Лавренко А.И., 1963. Диатомовые водоросли бентоса Черного моря. М.-Л.: АН СССР, 1963. 244 с.
- Роцин М.А., 1994. Жизненные циклы диатомовых водорослей. Киев: Наукова думка, 1994. 170 с.
- Рябушко Л.И., 2006. Микроводоросли бентоса Черного моря (Чек-лист, синонимика, комментарий). Севастополь: ЭКОСИ: Гидрофизика, 2006. 143 с.
- Cleve P.T., Grunow A., 1880. Beiträge zur kenntniss der arctischen Diatomeen // Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar. Ser. 4/17. № 2. P. 108.
- Družhkov N.V., Makarevich P.R., 1999. Comparison of the Phytoplankton Assemblages of the South-Eastern Barents Sea and South-Western Kara Sea: Phytogeographical Status of the Regions // Botanica Marina. № 42. P. 103–115.
- Kützing F.T., 1844. Die kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen. Nordhausen, 1844. 152 pp.
- Latif S., Ayub Z., Siddiqui G., 2013. Seasonal variability of phytoplankton in a coastal lagoon and adjacent open sea in Pakistan // Turkish Journal of Botany. № 37. P. 398–410.
- Lobban S.Ch., Scheffter M., Jordan W.R., Arai Y., Sasaki A., Theriot E.C., Ashworth M., Ruck C., 2012. Coral-reef diatoms (Bacillariophyta) from Guam: new records and preliminary checklist, with emphasis on epiphytic species from farmer-fish territories // Micronesica. V. 43. № 2. P. 237–479.
- Poulin M., Cardinal A., Bérard-Therriault L., 1987. *Ardissonea crystallina* (Bacillariophyceae): une cryst en microscopie électronique à balayage des cristall structuraux des valves // Canadian Journal of Botany. V. 65. P. 2686–2689.
- Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D., 2000. Diatom Flora of Marine Coast. V. 7. I. Iconographia Diatomologica. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G. 925 pp.



## Секция 4. Физиология, биохимия и поведение гидробионтов

УДК 574.24

А.А. Батракова

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», г. Ярославль  
e-mail: batrakova\_a@mail.ru

### Изучение влияния геомагнитного поля на пространственную ориентацию плотвы *Rutilus rutilus* (L.)

**Резюме.** Известно, что некоторые костистые рыбы (Teleostei) ориентируются в пространстве, используя ГМП (Крылов и др., 2013). Однако нам не удалось обнаружить экспериментальные работы, в которых тестировалась бы гипотеза об ориентации в ГМП карповых рыб (Cyprinidae) из естественных популяций. Таким образом, изучение ориентации карповых рыб в ГМП может существенно дополнить представления о роли магнитоцепции в ориентационном поведении представителей различных групп костистых рыб.

Геомагнитное поле (ГМП) – это магнитное поле, генерируемое внутриземными источниками. Каждой точке на Земле соответствует конкретное значение интенсивности и наклона ГМП, что позволяет животным использовать этот абиотический фактор для ориентации в пространстве.

Способностью к ориентации, то есть выбору направления движения, при помощи ГМП обладают животные из различных таксономических групп: ракообразные (Crustacea), насекомые (Insecta), рыбы (Pisces), земноводные (Amphibia), пресмыкающиеся (Reptilia), птицы (Aves), млекопитающие (Mammalia).

Цель: Изучить влияние ГМП на пространственную ориентацию плотвы *Rutilus rutilus* (L.). Для выполнения цели мы поставили следующие задачи: (1) Оценить преимущественное направление движения плотвы в ГМП; (2) Оценить преимущественное направление движения плотвы при повороте горизонтальной компоненты ГМП на 90° по часовой стрелке; (3) Сравнить преимущественное направление движения плотвы в ГМП и при повороте горизонтальной компоненты ГМП на 90° по часовой стрелке.

Для проведения эксперимента мы использовали круговую арену из белого пластика. Внешние ориентиры были скрыты ширмой. Рыбу отлавливали из аквариума случайным образом и помещали в непрозрачный стакан без дна диаметром 5 см, который находился в центре экспериментальной арены. Через минуту после этого осторожно поднимали стакан. Оказавшись в «открытом поле», рыба плыла в определенном направлении. Передвижения рыб фиксировали с помощью видеокамеры. Для эксперимента использовали 71 особь плотвы. Для создания условий поворота горизонтальной компоненты ГМП на 90° по часовой стрелке использовали три пары взаимно ортогональных колец Гельмгольца. Рыбы с четным порядковым номером подвергались воздействию модифицированного ГМП, а рыбы с нечетным порядковым номером оставались в контрольных условиях. Каждая рыба использовалась в эксперименте 1 раз.

При анализе видеозаписи перемещений рыб в «открытом поле» использовали приложение MB-Ruler. Полученные данные обрабатывали с помощью программы Ogiانا Version 4.02.

Статистическая обработка включала в себя:

1) определение среднего вектора преимущественного направления в группе на основе измеренных направлений каждой особи. Для этого определяли декартовы координаты (X и Y) среднего вектора на основе нескольких измерений по формулам. Затем вычисляли средний вектор.

2) оценку достоверности выделения преимущественного направления движения рыб в контроле и в условиях поворота горизонтальной компоненты ГМП на 90° по часовой стрелке при помощи z-критерия Рейли (Batschelet, 1981).

3) оценку значимости различий между преимущественным направлением в экспериментальных (модифицированное ГМП) и контрольных (ГМП) вариантах с помощью непараметрического U<sup>2</sup>-критерия Уотсона (Batschelet, 1981).

Обнаруженное нами предпочитаемое направление движения плотвы в ГМП (востоко-северо-восточное) совпадало с направлением выхода из канала ихтиологического корпуса в русловую часть Рыбинского водохранилища. Для объяснения выбора этого направления мы можем предложить следующую гипотезу: при стрессе, вызванном экспериментальными манипуляциями, рыбы стремились двигаться в направлении, предоставляющем возможность «покинуть» данную территорию.

При анализе направлений движения рыб в условиях поворота горизонтальной компоненты ГМП на 90° по часовой стрелке было обнаружено, что большая часть рыб предпочитала двигаться в юго-юго-восточном направлении. То есть направление движения рыб в контрольной и экспериментальной выборках зависели от направления горизонтальной компоненты ГМП. В литературе можно обнаружить результаты полевых наблюдений, на основании которых можно предположить, что поведение карповых рыб, обитающих в естественной среде, модифицируется магнитными полями. В частности, сообщалось, что размещение постоянных магнитов на неводе повышало его уловистость в среднем на 50%. Лучше, чем в невод без магнитов, попадались плотва *R. rutilus*, краснопёрка *Scardinius erythrophthalmus* (L.), лещ *Abramis brama* (L.) и уклейка *Alburnus alburnus* (L.) (Formicki et al., 2004). В наших экспериментах поворот горизонтальной компоненты ГМП на 90° по часовой стрелке, вызывал изменение преимущественного направления движения рыб практически на ту же величину. Таким образом, в результате выполнения работы впервые получено экспериментальное подтверждение ориентации карповых рыб из естественной популяции при помощи ГМП.

Угол между обнаруженными предпочитаемыми направлениями в контроле и опыте составил 79.87°. Различия в преимущественном направлении между контрольным (ГМП) и экспериментальным вариантом оцененные при помощи критерия Уотсона (U<sup>2</sup>=0.38) были достоверны при уровне значимости p<0.001.

Так же на основе литературных данных, можно предположить, что способность плотвы чувствовать ГМП и менять преимущественное направления движения в соответствии с его изменениями связана с магнитоцепцией с помощью магнетита. Известно, что представители других семейств костистых рыб могут воспринимать изменения ГМП при помощи электрочувствительных рецепторов или чувствительных клеток, содержащих биогенный магнетит (Крылов и др., 2013). Поскольку плотва не относится к электрочувствительным рыбам, мы можем предположить, что восприятие ГМП происходит с помощью чувствительных клеток, содержащих биогенный магнетит. Подтверждением этому может быть факт обнаружения биогенного магнетита в тканях другого представителя карповых рыб – *Danio rerio* (Dixon, 2012).

Выводы: (1) Преимущественное направление движения плотвы в ГМП тяготело к восток-северо-востоку и составило 66.5°, что совпадало с направлением выхода из канала ихтиологического корпуса ИБВВ РАН (место отлова сеголеток) в Рыбинское водохранилище и, вероятнее всего, было связано с выбором направления, которое в обычных условиях позволило бы рыбе покинуть опасную территорию; (2) Преимущественное направление движения плотвы при повороте горизонтальной компоненты ГМП на 90° по часовой стрелке тяготело к юго-юго-востоку и составило 146.37°, что подтверждает наличие магниточувствительности, у рыб данного вида; (3) Преимущественные направления движения плотвы в ГМП и в условиях поворота горизонтальной компоненты ГМП на 90° по часовой стрелке различались на 79.87°. Различия были достоверны при уровне значимости p<0.001.

Таким образом, нами впервые показано, что плотва *R. rutilus* из естественной популяции, может использовать геомагнитное поле для пространственной ориентации.

### Список литературы

Крылов В.В., Изюмов Ю.Г., Извеков Е.И., Непомнящих В.А., 2013. Магнитные поля и поведение рыб // Журнал общей биологии. Т. 74. № 5. С. 354–365.

Batschelet E., 1981. Circular statistic in biology. London: Academic Press, 371 p.

Dixson A., 2012. Zebrafish magnetite and long-lived rohon-beard neurons: expanding our view of two zebrafish sensory systems in development and adulthood: Ph.D. thesis. Pasadena: California Institute of Technology, 2012. 145 pp.

Formicki K., Tanski A., Sadowski M., Winnicki A., 2004. Effects of magnetic fields on fyke net performance // Journal of Applied Ichthyology. V. 20. № 5. P. 402–406.

УДК 57.084, 574.5

Е.В. Борвинская<sup>1,2</sup>, Е.П. Шапова<sup>1</sup>, И.А. Белоусова<sup>1</sup>, Б.К. Бадуев<sup>1</sup>, М.А. Тимофеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», НИИ биологии, г. Иркутск

<sup>2</sup> ФГБУН «Институт биологии Карельского научного центра РАН», г. Петрозаводск, Республика Карелия  
e-mail: borvinska@gmail.com

### Подвижность флуоресцентных микрокапсул в тканях рыбы *Danio rerio*

**Резюме.** Применение инкапсулированных флуоресцентных красителей является перспективной технологией для создания сенсоров для оценки физиологических показателей гидробионтов *in vivo*. В данной работе описаны особенности распространения флуоресцентных микрокапсул покрытых многослойной полимерной оболочкой при введении в мышцы и кровотоки рыбы *Danio rerio*. Показана устойчивость инкапсулированного красителя в тканях рыб в течение 7 дней и обнаружена большая скорость миграции у капсул размером 2.7 мкм по сравнению с капсулами размером 7.7 мкм.

Введение в организм различных соединений в инкапсулированной форме уменьшает их токсичность и препятствует преждевременной деградации, что является большим преимуществом при использовании этой технологии в биологии и медицине, в том числе с целью регистрации показателей внутренней среды *in vivo*, целевой доставки лекарств и т.д. Инкапсулирование веществ методом наложения слоев противоположно заряженных полимеров (Sadovoy et al., 2012) позволяет создать микрокапсулы с уникальными свойствами. Полимерная оболочка обладает эластичностью, поэтому форма и площадь сечения микрокапсул могут значительно изменяться. Известно, что динамика распространения частиц в организме определяется способом их введения, размером и свойствами поверхности. Это означает, что распространение пластичных микрокапсул будет проходить иначе, чем твердых частиц сопоставимого объема, вероятно, в сторону увеличения их мобильности. Подобной гибкостью, например, обладают мембраны эритроцитов, что позволяет им с током крови проникать в самые мелкие капилляры. Таким образом, в рамках разработки различных технологий, использующих микрокапсулы, представляет интерес описание особенностей их распространения при введении в организм. Также большое значение имеет оценка скорости возможной деградации многослойной полимерной оболочки в организме.

В данной работе использовали микрокапсулы с красителем флуоресцеином, сшитым с бычьим сывороточным альбумином, диаметром  $7.7 \pm 3.0$  и  $2.7 \pm 0.6$  мкм. Согласно рекомендациям (Sadovoy et al., 2012), капсулы были покрыты сополимером полиэтиленгликоля и поли-L-лизина для повышения биосовместимости. Были протестированы разные способы введения микрокапсул в рыбу *Danio rerio* (линия с пониженной пигментацией): внутримышечная инъекция, заднеглазничная инъекция, инъекция в среднюю почку, инъекция

в область хвостовой вены. Перемещение капсул фиксировали с помощью флуоресцентного микроскопа *in vivo* через покровы тела и в жабрах после удаления жаберной крышки, а также во внутренних органах после вскрытия рыб. Полученные фотографии анализировали в программе обработки изображений Fiji.

В течение недели после введения в мышцу не было зафиксировано уменьшения площади окрашенного пятна, что говорит о том, что микрокапсулы не подвергаются разрушению под действием внутренней среды. При этом микрокапсулы размером 2.7 мкм на седьмой день после введения в мышцу начинают распространяться в окружающие ткани, единичные капсулы попадают в кровоток (обнаруживаются в сосудах плавников). Известно, что частицы размером от 1-2 мкм обладают низкой подвижностью (Høgsberg et al., 2011; Tang et al., 2009), так как не могут проникать через плотную сеть межклеточных соединений. Частичный перенос частиц размером до 6 мкм возможен в составе макрофагов, способных поглощать частицы с размером до 6 мкм.

Среди протестированных способов доставки микрокапсул непосредственно в кровоток, наиболее эффективным и наименее травматичным было введение капсул микроинъектором в почку рыб. Благодаря богатому кровоснабжению этого органа и близости крупных спинных сосудов, микрокапсулы уже через минуту после инъекции можно наблюдать в жабрах рыб. При последующем вскрытии капсулы обнаруживаются в сосудах печени, кишечника и в капиллярах мозга. Через несколько суток, независимо от способа введения, капсулы аккумулируются в основном в почках рыб.

Таким образом, была показана способность микроразмерных капсул, сформированных многослойной полимерной оболочкой, мигрировать внутри мышечной ткани рыб. Оценена зависимость между размером микрокапсул и скоростью их миграции, которая была выше у капсул меньшего размера.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 15-14-10008 и 14-14-00400, а также при частичной поддержке гранта РФФИ № 15-29-01003.

### Список литературы

Høgsberg T., Loeschner K., Löf D., Serup J., 2011. Tattoo inks in general usage contain nanoparticles // *British Journal of Dermatology*. V. 165. № 6. P. 1210-1218.

Sadovoy A., The C., Korzh V., Escobar M., Meglinski I., 2012. Microencapsulated biomarkers for assessment of stress conditions in aquatic organisms in vivo // *Laser Physics Letters*. V. 9. № 7. P. 542–546.

Tang J., Xiong L., Wang S., Wang J., Liu L., Li J., Yuan F., Xi T., 2009. Distribution, translocation and accumulation of silver nanoparticles in rats // *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. V. 9. № 8. P. 4924–4932.

УДК 574.2, 574.5

**К.П. Верещагина<sup>1</sup>, Е.С. Кондратьева<sup>1</sup>, Д.С. Бедулина<sup>1</sup>,  
Ж.М. Шатилина<sup>1,2</sup>, М.А. Тимофеев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», НИИ биологии, г. Иркутск

<sup>2</sup> АНО «Байкальский исследовательский центр», г. Иркутск

e-mail: k.p.vereshagina@gmail.com

### **Влияние минерализации среды на выживаемость и некоторые компоненты системы антиоксидантной защиты у амфипод *Gammarus lacustris* Sars**

**Резюме.** Целью данного исследования являлось изучение влияния различных режимов минерализации на термотолерантность и неспецифические механизмы стресс-адаптации голарктического вида амфипод *Gammarus lacustris* Sars из двух удаленных популяций – оз. Ши́ра (Хакасия) и пресноводного озера в черте г. Иркутск. Показано, что разные условия

минерализации могут влиять на термоустойчивость и неспецифический стресс-ответ на примере компонентов антиоксидантной системы (АОС) у исследуемых амфипод. Представители *G. lacustris* из пресноводной популяции по критерию смертности являются менее устойчивыми к изменению температурных условий как при быстром, краткосрочном, так и при постепенном, более длительном повышении температуры. Базовые уровни активности пероксидазы (ПОД), каталазы (КАТ) и глутатион S-трансферазы (ГСТ) были выше у представителей амфипод из популяции оз. Ши́ра.

Температура и соленость – важные абиотические факторы, влияющие на выживаемость и репродуктивные способности водных беспозвоночных, которые также определяют пределы географического распределения видов (Nelson et al., 1977; Pörtner, Farrell, 2008). Температура оказывает значительное влияние на эктотермных животных, так как скорость протекания физиологических и биохимических реакций у таких организмов напрямую зависит от температуры окружающей среды. Температурные флуктуации часто сопряжены с изменением других абиотических факторов, например, таких как соленость. Для водных организмов отклонения от оптимальных условий солености среды может вызывать осмотический стресс, требующий регулирования клеточного объема и изменения ферментной активности для поддержания нормального состояния клеточных функций из-за изменяющегося ионного баланса (Sokolova et al., 2012; Amiard-Triquet et al., 2011).

Данное исследование посвящено изучению влияния различных соленостных условий на термотолерантность и неспецифические механизмы адаптации голарктического вида амфипод *Gammarus lacustris* Sars из двух удаленных популяций с различными режимами минерализации. Объектами исследования были выбраны амфиподы из пресноводной популяции заводи р. Ангара в черте г. Иркутска, минерализация воды составляет 0.53 г/л. Амфиподы второй исследуемой популяции были выловлены из меромиктического озера Ши́ра (Хакасия) с минерализацией 16.6 г/л (Kalacheva et al., 2002).

В исследовании проводили два типа экспериментов: воздействие острой гипертермии 30°C в течение 3-6 часов, а также градиентное повышение температуры с 7°C до 31 и 33°C со скоростью 1°C/ч. По результатам экспериментов оценивали выживаемость амфипод и активность ферментов антиоксидантной системы (пероксидазы, каталазы, глутатион S-трансферазы). Перед экспериментом животных преакклимировали в течение 3-7 дней. Преакклимацию для эксперимента по влиянию острого стресса проводили при температуре вылова (15°C). В случае с постепенным изменением температуры, для преакклимации была выбрана температура 7°C, как среднегодовая для обоих водоемов.

Было показано, что амфиподы из пресноводной популяции более чувствительны к температурным изменениям. Смертность амфипод из пресноводной популяции при остром стрессе 30°C была значительно выше (LT50 = 7.7 ч), чем у представителей солоноводной популяции (LT50 = 22.8 ч). В условиях постепенного изменения температуры среды, смертность 100% особей у иркутской популяции наблюдали при достижении 31°C в то время как у амфипод из оз. Ши́ра она наступала только при достижении 33°C.

В исследовании показано, что в условиях акклимации к среднегодовой температуре 7°C базовые уровни активности всех исследуемых ферментов были значительно выше у амфипод из солоноводной популяции оз. Ши́ра. Воздействие острого температурного стресса (30°C) приводило к значительному увеличению активности ПОД, ГСТ и КАТ у иркутской популяции *G. lacustris*, то время как у представителей более термоустойчивой популяции из оз. Ши́ра наблюдали обратную реакцию, то есть снижение их активности. Градиентное повышение температуры приводило к снижению активности ПОД у амфипод из обеих исследуемых популяций. Изменений в активности каталазы и глутатион S-трансферазы не наблюдали ни в одной из исследуемых популяций.

Анализируя полученные результаты можно предположить, что повышение уровня активности антиоксидантных ферментов в ответ на воздействие высокой температуры (30°C), вызвано увеличением генерации активных форм кислорода в ответ на окислительный стресс у

пресноводной популяции. В то время как популяции из солоноводного оз. Ши́ра, вероятно, достаточно базового уровня антиоксидантных ферментов для защиты клеток от термоиндуцированных повреждений. Снижение активности пероксидазы при градиентном повышении температуры может быть вызвано либо уменьшением производства АФК, либо служить в качестве механизма экономии энергии, который перенаправляет ресурсы других защитных механизмов (например, шаперонов) для обеспечения оптимального уровня клеточной защиты при высоких температурах.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ 16-34-00687 мол\_а, 15-29-01003 офи\_м, гранта РНФ 14-14-00400, темы ГЗ 1354–2014/51, 6.742.2016/ДААД, 6.734.2016/ДААД.

### Список литературы

*Amiard-Triquet C., Rainbow P.S., Roméo M.*, 2011. Tolerance to environmental contaminants. CRC Press.

*Nelson D.R., Fatland C.L., Cardwell D.L.*, 1977. Long-chain methylalkanes from haemolymph of larvae of Japanese beetles, *Popillia japonica* // Insect Biochemistry. V. 7 (5–6) P. 439–446.

*Pörtner H.O., Farrell A.P.*, 2008. Physiology and climate change // Science. V. 322 (5902) P. 690–692.

*Kalacheva G.S., Gubanov V.G., Gribovskaya I.V., Gladchenko I.A., Zinenko G.K., Savitsky S.V.*, 2002. Chemical analysis of Lake Shira water (1997–2000) // Aquatic ecology. V. 36 (2). P. 123–141.

*Sokolova I.M., Frederich M., Bagwe R., Lannig G., Sukhotin A.A.*, 2012. Energy homeostasis as an integrative tool for assessing limits of environmental stress tolerance in aquatic invertebrates // Marine Environmental Research. V. 79. P. 1–15.

УДК 574.52+546

**Г.Б. Винярская, О.И. Боднар**

*Тернопольский национальный педагогический университет им. В. Гнатюка, г. Тернополь, Украина  
e-mail: viniarska19@gmail.com*

### Аккумуляция *Chlorella vulgaris* селена и биологически активных металлов

**Резюме.** Исследовали накопление клетками *Chlorella vulgaris* ионов металлов  $\text{Co}^{2+}$  (0.05 мг/дм<sup>3</sup>),  $\text{Cu}^{2+}$  (0.002 мг/дм<sup>3</sup>),  $\text{Fe}^{3+}$  (0.008 мг/дм<sup>3</sup>),  $\text{Mn}^{2+}$  (0.25 мг/дм<sup>3</sup>),  $\text{Zn}^{2+}$  (5.0 мг/дм<sup>3</sup>) и селенита натрия в концентрациях 0.5, 5.0, 10.0 и 20.0 мг Se(IV)/дм<sup>3</sup> отдельно и совместно с металлами в течение 1-7 суток. Установлено, что на протяжении всего периода экспозиции хлорелла активно накапливала селен при его присутствии в среде культивирования в виде селенита натрия отдельно и совместно с  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ . Содержание исследуемых металлов в биомассе хлореллы увеличивался при действия всех исследуемых металлов, кроме  $\text{Cu}^{2+}$ .

Водоросли обладают высокой способностью к аккумуляции химических элементов, что обусловлено адсорбционной емкостью их клеточных оболочек относительно химических соединений и способностью клетки активно поглощать вещества против градиента концентрации. Высокую биоаккумуляцию неорганических солей и образование их биоккомплексов с макромолекулами клеток водорослей *in vivo* можно использовать для получения биологически активных добавок, которые содержат необходимые для организма микроэлементы, например, селен и ионы биогенных металлов (Голтвянский, 2002). Исследования подтверждают, что невысокие дозы селена обладают способностью снижать токсическое действие некоторых металлов, потому что селениты могут взаимодействовать и адсорбировать различные металлы (Детков, Мусатов, 2002).

*Материалы и методы.* Объектом исследования была *Chlorella vulgaris* Beijer., которую выращивали в условиях накопительной культуры на среде Фитцджеральда в модификации Цендера и Горхема №11 при 22-25°C и освещении 2500 лк 16/8 ч (Топачевский, Масюк, 1984). Селен вносили в виде селенита натрия из расчета Se(IV) – 0.5, 5.0, 10.0 и 20.0 мг/дм<sup>3</sup> и водные растворы солей металлов с расчета на количество ионов: Zn<sup>2+</sup> – 5.0 мг/дм<sup>3</sup>, Mn<sup>2+</sup> – 0.25 мг/дм<sup>3</sup>, Cu<sup>2+</sup> – 0.002 мг/дм<sup>3</sup>, Fe<sup>3+</sup> – 0.008 мг/дм<sup>3</sup>, Co<sup>2+</sup> – 0.05 мг/дм<sup>3</sup>. Контролем служила культура, выращиваемая на среде без селенита натрия и ионов металлов. Отбор проб для анализа осуществляли на 1-е, 3-е и 7-е сутки культивирования. Селен определяли спектрофотометрическим методом с о'-фенилендиамином (Дедков Мусатов, 2002), а содержание металлов – атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре Selmi C-115 M1 (Хавезов, Цалев, 1983).

*Результаты исследования и их обсуждение.* Результаты исследования показали, что содержание селена в биомассе на 1-е сутки эксперимента увеличилось относительно контроля на 21% при внесении селениту натрия в культуральную среду в концентрации 0.5 мг(IV)/дм<sup>3</sup>, на 3.8% при действии 5.0 мг(IV)/дм<sup>3</sup>, на 12.5% при действии 10.0 мг(IV)/дм<sup>3</sup> и на 107% при действии 20.0 мг(IV)/дм<sup>3</sup>. На 3-е сутки содержание микроэлемента составило относительно контроля 130% при действии концентрации 0.5 мг Se(IV)/дм<sup>3</sup>, 146% – при 5.0 мг Se(IV)/дм<sup>3</sup>, 133% – при 10.0 мг Se(IV)/дм<sup>3</sup> и 254% – при 20.0 мг Se(IV)/дм<sup>3</sup>. На 7-е сутки эксперимента при действии 0.5 мг Se(IV)/дм<sup>3</sup> содержание селена в клетках хлореллы увеличился на 34%, при действии 5.0 мг Se(IV)/дм<sup>3</sup> – на 83%, при действии 10.0 мг Se(IV)/дм<sup>3</sup> – на 59%, а при действии 20 мг Se(IV)/дм<sup>3</sup> – на 234%.

Очевидно, при действии низкой концентрации селениту, которая является близкой к естественному содержанию, механизмы поступления микроэлемента в клетки водорослей являются более регулируемыми и физиологически обусловленными. Вместе с тем, значительное содержание селена в среде культивирования, возможно, вызывает нарушение функционирования ионных каналов вследствие их открытия или частичного разрушения, что обуславливает неконтролируемое проникновение микроэлементов в клетки *Ch. vulgaris*.

Поглощение селена одноклеточными водорослями и его биологический эффект существенно меняются в зависимости от морфофункциональных особенностей водорослей, концентрации и степени окисления элемента в соединениях, физико-химических факторов водной среды. Кроме того, доступность соединений селена для микроводорослей определяется другими сопутствующими факторами, среди которых активными являются ионы биогенных и небιοгенных металлов (Винярская, 2016). Поэтому актуальным было исследование особенностей накопления селена клетками *Ch. vulgaris* за дополнительного влияния металлов – Co<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>2+</sup> и Zn<sup>2+</sup>.

Нами установлено, что поглощение металлов имеет флуктуационный характер и осуществляется в 4 этапа: этап самоизоляции (стресс-реакция) клеток, этап активного поглощения, этап угнетения, этап восстановления активного поглощения. Снижение металлорезистентности клеточной оболочки к исследованным ионам металлов указывает на активный транспорт в клетку (0.1 мг/дм<sup>3</sup> – от 0.75 до 24 часа; 0.2 и 0.5 мг/дм<sup>3</sup> – от 0.5 до 24 часа), Zn<sup>2+</sup> (1 мг/дм<sup>3</sup> – до 0.5 часа; 2 и 5 мг/дм<sup>3</sup> – до 0.75 часа), Cu<sup>2+</sup> (0.001 мг/дм<sup>3</sup> – до 0.75 часа; 0.002 мг/дм<sup>3</sup> – от 0.5 до 0.75 часа; 0.005 мг/дм<sup>3</sup> – до 1 часа), Pb<sup>2+</sup> (0.1 и 0.5 мг/дм<sup>3</sup> – от 0.25 до 6 часов; 0.2 мг/дм<sup>3</sup> – до 1 часа) (Луцив, Грубинко, 2015).

В результате исследования (7-е сутки) установлено, что при внесении селенита натрия (10.0 мг Se(IV)/дм<sup>3</sup>) содержание селена в клетках хлореллы увеличился на 15.8%, а при его совместном действии с Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup> – на 25.0%, 51.6% и 4.2% соответственно относительно контроля. Уменьшение содержания селена на 8.6% и 3.8% отмечено при одновременном внесении селенита с Co<sup>2+</sup> и Mn<sup>2+</sup>.

Полученные результаты по накоплению селена биомассой хлореллы в присутствии Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup> дают основания считать, что при совместном действии указанных микроэлементов имеет место положительный эффект усвоения селена. Лучший результат по накоплению микроэлемента был отмечен при совместном действии селенита и ионов цинка. При

культивировании хлореллы (7-е сутки) в среде с селенитом натрия (10.0 мг Se(IV)/дм<sup>3</sup>) и Zn<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> и Co<sup>2+</sup> содержание последних в биомассе водорослей значительно увеличилось. Содержание Co<sup>2+</sup> относительно контрольных показателей увеличилось на 18.94%, Mn<sup>2+</sup> – 168.33%, Zn<sup>2+</sup> – на 4.72% и Fe<sup>3+</sup> – на 6.14%. Однако, при одновременном внесении в культуральную среду селениту натрия и Cu<sup>2+</sup> наблюдали уменьшение содержания меди на 5.36% относительно контроля.

**Выводы.** Таким образом, полученные результаты обусловлены, большей частью, высокой адсорбционной емкостью клеточных оболочек водоросли, их значительной ассимиляционной поверхностью, и, возможно, менее развитыми механизмами регуляции мембранного поглощения микроэлементов. Однако, это может быть связано и с тем, что ионы селена и металлов в использованных концентрациях могли вызвать нарушение физиологических функций и структурные изменения в клетках, в том числе функциональные нарушения клеточных оболочек, что, в свою очередь, является причиной неконтролируемого проникновения селена и металлов внутрь клеток *Ch. vulgaris*.

### Список литературы

Хавезов Д., Цалев И., 1983. Атомно-абсорбционная спектроскопия: методические указания. Л.: Химия, 1983. 144 с.

Винярская Г.Б., 2016. Накопление селена и его влияние на метаболизм у *Chlorella vulgaris* Beij. в культуре при действии селенита натрия и ионов металлов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Тернополь: Тернопольский государственный медицинский университет, 2016. 21 с.

Голтвянский А.В., 2002. Биоаккумуляция ионов металлов клетками зеленых водорослей и получение биомассы, богатой на микроэлементы. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Киев: Институт биохимии НАН Украины, 2002. 17 с.

Дедков Ю.М. Мусатов А.В., 2002. Селен: биологическая роль, химические свойства и методы определения // ВИНТИ по РЖ Химия № 1688–В2002.

Луцив А. И. Грубинко В.В., 2013. Особенности поглощения ионов Mn<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> и Pb<sup>2+</sup> клетками *Chlorella vulgaris* Beij. // Доклады НАН Украины. № 7. С. 138–145.

Топачевский А.В., Масюк Н.П., 1984 Пресноводные водоросли Украинской ССР. Киев: Вища школа, 1984. 333 с

УДК 597.556.333.7-1.05:597-169(262.5)

**А.В. Войкина, Л.А. Бугаев, Н.Е. Бойко**

ФГБНУ «Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства», г. Ростов-на-Дону  
e-mail: vojkina-anna@yandex.ru

### Физиолого-биохимические показатели черноморской кефали лобан в аспекте заражения микоспориديозом

**Резюме.** Представлены сравнительные физиолого-биохимические данные здоровых и больных микоспоридиозом рыб черноморской кефали лобан. Показано снижение энергетических и пластических резервов заболевших рыб, которая отрицательно сказывается на репродуктивном потенциале производителей, подавлении защитных функций организма.

Черноморская кефаль лобан является важным промысловым объектом в Черноморском бассейне. Помимо этого, использование лобана как объекта аквакультуры на лиманах позволяют расценивать данный вид как перспективный и актуальный с точки зрения разносторонних исследований его биологии. Целью исследования являлась оценка



физиологического состояния черноморской кефали лобан в современный период в аспекте заражения микроспориديозом.

Оценку состояния проводили по биохимическим и морфофизиологическим показателям. В мышечной ткани рыб определялись содержание общего белка по методу Лоури и жира по методу Рушковского в модификации Сокслет, а также размерно-массовые характеристики, коэффициент упитанности рыб, степень зрелости, наличие/отсутствие патологий, индексы гонад. Возможное негативное влияние среды обитания оценивали по неспецифическим реакциям гематологических параметров, иммунитета (содержание ЦИК, иммуноглобулинов, лизоцима). (Физиологические..., 2005). Материалом для исследования послужили производители лобана, отловленные в Черном море в районе м. Тузла и м. Железный Рог в весенний, летний и осенний сезоны 2015 года.

Среди производителей во все периоды отбора проб присутствовали рыбы с внешними признаками заболевания – поражением чешуйчатого покрова; заболевание идентифицировано как микроспоридиоз. Известно, что распространение этого заболевания у кефалей связано со многими факторами: образованием плотных скоплений рыб, голоданием, неблагоприятным гидрохимическим режимом в водоёме. Заражение лобана микроспоридиями в текущем году впервые было зарегистрировано в весенний период.

С целью выявления возможных изменений метаболических функций у зараженных производителей лобана, оценки влияния последствий заражения на воспроизводительную функцию, на качество рыб как товарного продукта, а также для исследования процесса адаптации к действующему негативному фактору изучалась динамика морфофункциональных и иммунологических показателей лобана в весенний, летний и осенний периоды. Для объективной оценки реагирования организма рыб на заражение сравнение показателей проводилось с учетом сезонных и половых особенностей рыб.

В весенний период самки без признаков заражения были длиной 35.7 см и массой 837 г, самцы – длиной 39 см, массой 1000 г. Гонады производителей были III-IV стадии зрелости. Гонадосоматический индекс самок и самцов составлял 3.3% и 3.5% соответственно. У зараженных самок гонадосоматический индекс составлял 0.6%, индекс печени был низким, что свидетельствует о нарушении функции печени как трофического депо, необходимого при созревании гонад. Во всех обследованных тканях больных рыб было отмечено снижение количества водорастворимого белка на 16%-30%, что, вероятно, связано с нарушением функции печени и снижением количества сухого вещества тканей. Содержание тканевого жира у зараженных рыб было в 2-5 раз ниже, чем у здоровых рыб.

У заболевших рыб выявлено снижение уровня сывороточных иммуноглобулинов, что является свидетельством подавления гуморального звена иммунитета и нарушения функции печени. Также вероятной причиной снижения этого показателя иммунитета в крови зараженных рыб является повышение расхода антител на образование иммунных комплексов с антигенами паразитов. В тканях лобана, ответственных за нейтрализацию и удаление иммунных комплексов из организма, особенно в почечной ткани, было выявлено значительное количество иммунных комплексов.

В летний период здоровые самцы были длиной 37.5 см и массой 990 г, гонады были IV стадии зрелости. Среди обследованных самок здоровых рыб не выявлено. Зараженные самки были в нерестовом состоянии (стадия зрелости гонад IV-V). Индекс гонад был высокий и составлял 19.7%. Индекс печени был на уровне нормы. Содержание белка в тканях мышц и печени было ниже, чем у рыб в аналогичном функциональном состоянии в весенний период. В гонадах зараженных самок содержание белка и жира летом было выше, чем у рыб в нормальном функциональном состоянии в весенний период. Это свидетельствует о том, что у части зараженных рыб процесс использования тканевых депо для формирования гонад не был нарушен. У зараженных самок были выявлены признаки активизации иммунитета: в сыворотке крови и селезенке отмечено высокое содержание иммуноглобулинов. У зараженных самцов ткани печени и мышц характеризовались низким содержанием жира. Количество

сухого вещества в них было ниже, чем у здоровых рыб. Низкое содержание иммуноглобулинов в тканях свидетельствовало о подавлении функции иммунитета.

В осенний период обследованные самки лобана имели длину 30.4 см, массу 515 г, самцы – 28.5 см и 415 г. Гонады были II стадии зрелости. Здоровые и зараженные самки не различались по содержанию белка и жира в тканях. Концентрация сухого вещества в ткани мышц была на уровне нормы. Различий по содержанию иммуноглобулинов в сыворотке крови не выявлено. Ткани почки рыб, имеющих внешние признаки заболевания, характеризовались умеренным повышением количества иммуноглобулинов и иммунных комплексов, что свидетельствует о том, что гуморальное звено иммунитета рыб, как и в летний период, было в активном состоянии, направленном на борьбу с заболеванием и поддержание постоянства внутренней среды организма.

У здоровых и заболевших рыб во все сроки обследования не выявлено различий по показателям содержания лизоцима, что является свидетельством слабой реакции клеточного звена иммунитета (продуцирующих лизоцим нейтрофилов) на паразитарное заболевание.

Полученные материалы свидетельствуют о том, что в исследуемый период функциональное состояние лобана было неоднородным. У здоровых рыб все морфофункциональные показатели во все периоды наблюдения отражали нормальный процесс созревания гонад, вымета половых продуктов и перехода отнерестившихся рыб к осеннему нагулу. Величины показателей гуморального иммунитета соответствовали норме. Наиболее острая фаза заболевания лобана наблюдалась в весенний период. Она выражалась в снижении индексов органов, в том числе гонад, снижении показателей белка, жира и количества сухого вещества в тканях, включая репродуктивные органы, подавлении защитных функций организма продуктами обмена паразитов. Часть зараженных рыб оказалась неспособна к нересту вследствие нарушения метаболических процессов в организме и недостатка ресурсов для завершения формирования полноценных половых продуктов. В летний период у лобана наблюдалась активизация гуморального звена иммунитета. Содержание белка и жира в гонадах соответствовало норме и свидетельствовало о сохранении репродуктивной функции у части зараженных рыб. В период осеннего нагула морфофункциональные и иммунологические показатели всех обследованных рыб свидетельствовали о стабилизации функционального состояния, которое было оценено как удовлетворительное.

### **Список литературы**

Физиолого-биохимические и генетические исследования ихтиофауны Азово-Черноморского бассейна. Методическое руководство. Ростов-на-Дону: Эверест, 2005. 100 с.

### **Результаты исследования функционального состояния производителей судака Азовского моря в 2015 году**

**Резюме.** Приведены результаты исследований функционального состояния производителей судака Азовского моря в 2015 году. Представлены данные о физиолого-биохимических показателях, отражающих адаптационные ресурсы рыб на этапе нагула и нереста. Выявлено, что в целом, состояние производителей в репродуктивном аспекте было удовлетворительным и соответствовало среднемноголетним уровням показателей.

Азовский судак традиционно считался ценным объектом промысла на бассейне. В силу ряда факторов естественного и антропогенного генеза плотность популяции данного вида катастрофически быстро снизилась до уровня, который не позволяет дальнейшую его промысловую эксплуатацию. В контексте восстановления численности судака в Азовском море актуальным становится мониторинг функционального состояния производителей в репродуктивном аспекте. В этой связи целью исследования являлась оценка функционального состояния и репродуктивного потенциала популяций судака в современный период.

Оценку состояния проводили методами биохимического, гистологического и морфофизиологического анализов. Условия нагула, трофическую обеспеченность осуществления физиологических циклов рыб оценивали по содержанию в тканях рыб липидов, белка, холестерина и ряду других показателей. Возможное негативное влияние среды обитания оценивали по нарушениям в репродуктивных органах, по биохимическим показателям, характеризующим состояние антиоксидантной системы (содержанию каротиноидов) (Физиологические..., 2005).

Материалом для исследования послужили производители судака, отловленные в Азовском море в период нерестового хода и в период осеннего нагула. Для оценки результатов нереста была обследована пократная молодь судака в период ее выпуска из нерестово-выростных водоемов и старшевозрастная молодь из Азовского моря в весенний и осенний периоды в течение 2015 года.

В весенний период возраст обследованных производителей судака составлял 4-7 лет. Содержание белка и жира в мышцах и печени как самок, так и самцов было ниже среднегодовых значений, что связано с термическими условиями зимне-весеннего периода. Содержание белка и жира в гонадах соответствовало норме для рыб в преднерестовый период. Гонады были IV стадии зрелости. Как у самок, так и у самцов было отмечено низкое содержание холестерина, предшественника половых гормонов, что свидетельствовало о высокой зрелости половых продуктов. Гонадосоматический индекс самцов варьировал от 0.52 до 0.87%. Патологий развития гонад не отмечалось.

Гонадосоматический индекс зрелых самок варьировал от 8.5% у впервые нерестующих самок до 17.3% у старшевозрастных рыб. Общая плодовитость обследованных самок варьировала от 118 тыс. шт. у четырехлетних рыб до 830 тыс. шт. у семилетних рыб. Ооциты были зрелые, диаметр клеток составлял 1.0-1.2 мм. Количество белка, рассчитанного на одну икринку, составляло 120 мкг. У 30% обследованных самок были отмечены выраженные морфофункциональные отклонения в состоянии половых желез. Встречались самки репродуктивного возраста (4 года) с незрелыми гонадами, ооциты были II стадии зрелости, гонадосоматический индекс этих рыб составлял 0.6%. В последние годы отмечается увеличение частоты встречаемости самок с асимметричным развитием гонад. У самок с такой патологией развития гонад, как правило, качество икры хуже, чем у рыб с нормальным развитием. Икра характеризовалась повышенной влажностью, сниженным содержанием белка и жира, меньшими размерами. Содержание каротиноидов в гонадах было в 2.8 раза выше

значений этого показателя у нормально созревающих рыб. Повышение содержания каротиноидов в гонадах самок с аномалиями развития можно расценивать как адаптационный механизм повышения жизнестойкости потомства от икры низкого качества. У рыб с такой аномалией в процессе нереста часть икры не выметывается и остается в яичнике, в дальнейшем эта икра резорбируется в течение длительного периода. Рыбы с такими нарушениями развития гонад пропускают нерест следующего года.

В нагульный период возраст самок и самцов судака составлял 4 года. Гонады самок были III стадии зрелости. Индекс зрелости гонад варьировал от 1.74 до 2.29%. На гистологических срезах гонады были хорошо различимы яйценозные пластины. Большая часть ооцитов находилась в фазе начала трофоплазматического роста, по всей цитоплазме ооцитов распределены капли жира. В ядрах клеток протоплазматического роста отмечались многочисленные митозы, что характеризуется как норма для рыб в период осеннего нагула. У самцов гонады были III стадии зрелости, индекс зрелости варьировал от 1.42 до 1.44%.

Условия нагула судака в осенний период 2015 года были хорошие. Рыбы активно питались, имели высокие индексы наполнения желудочно-кишечного тракта, жирность, оцениваемая по пятибалльной шкале, достигала 4-5 баллов, коэффициент упитанности составлял 1.33-1.51. Содержание белка и холестерина в сыворотке крови, количество белка в мышцах и гонадах находилось на уровне оптимальных значений. Как и в преднерестовый период, среди самок, отловленных в море на местах нагула, были отмечены рыбы с нарушениями созревания гонад: недоразвитие одной из гонад, задержка созревания (II стадия зрелости). Впервые была отмечена рыба, у которой одна гонада развивалась по женскому типу, другая – по мужскому, так называемые «мозаичные» гонады. Доля производителей с нарушениями в репродуктивной системе составляла менее 6%.

Анализ изменчивости размерно-массовых признаков молоди судака, отобранной перед скатом из нерестово-выростных водоемов, показал, что различия коэффициентов вариации по всем показателям были значительные. Наиболее высокий уровень изменчивости наблюдался по массе тела (более 40%), что свидетельствует о неоднородности обследованной выборки. Нерест производителей судака в водоеме в результате неблагоприятных погодных условий в преднерестовый период был растянутым, что привело к тому, что молодь перед скатом была разнокачественной. Содержание белка в теле рыб (137 мг/г) было выше среднемноголетних значений (100-110 мг/г).

В весенний период у обследованной молоди судака в возрасте двухгодовиков яичники были II стадии зрелости, представляли собой тонкие тяжи с центральным сосудом. Молодь хорошо питалась, индекс наполнения кишечника был высокий, жирность внутренностей оценивалась в 2 балла, коэффициент упитанности составлял 1.4. Содержание белка в мышцах и печени молоди было высоким, так как в период интенсивного линейного роста происходит активный синтез белка.

В нагульный период у проанализированных ювенальных особей судака гонады были II стадии зрелости, индекс зрелости варьировал от 0.15 до 0.37%. Содержание белка и жира в мышцах и печени было высоким и соответствовало значениям нормы в осенний нагульный период.

Таким образом функциональное состояние производителей судака в преднерестовый период, несмотря на отдельные нарушения созревания половых продуктов, оценивалось как удовлетворительное. Высокие показатели нагула судака с гонадами II и III стадий зрелости в условиях теплого осеннего периода 2015 года позволяют выйти им на зимовку хорошо подготовленными. Благоприятные условия нагула и созревания старшевозрастной молоди судака способствовали высокому накоплению запасных веществ в теле рыб.

### **Список литературы**

Физиолого-биохимические и генетические исследования ихтиофауны Азово-Черноморского бассейна. Методическое руководство. Ростов-на-Дону: Эверест, 2005. 100 с.

А.Н. Гурков<sup>1</sup>, Е.П. Шапова<sup>1</sup>, И.А. Белоусова<sup>1</sup>, Ж.М. Шатилина<sup>1,2</sup>,  
И.В. Меглинский<sup>1</sup>, М.А. Тимофеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», НИИ биологии, г. Иркутск

<sup>2</sup> АНО «Байкальский исследовательский центр», г. Иркутск

e-mail: a.n.gurkov@gmail.com

### Стресс-диагностика гидробионтов *in vivo* с использованием инкапсулированных оптических микросенсоров

**Резюме.** В рамках данной работы на примере байкальских эндемичных амфипод впервые продемонстрирована возможность прижизненного мониторинга физиологических параметров гидробионтов в стрессовых условиях с помощью инкапсулированных оптических микросенсоров. С использованием инкапсулированных сенсоров показано закисление рН гемолимфы амфипод *Eulimnogammarus verrucosus* как в гиперкапнических условиях, так и при экспонировании без аэрации, сопровождавшееся повышением содержания лактата у амфипод.

В качестве объектов исследования в современной экологической физиологии и экотоксикологии преимущественно используются организмы, имеющие небольшие размеры. Это связано, главным образом, с удобством их содержания и высокой скоростью воспроизведения, что позволяет быстро проводить большое количество экспериментов. Основным недостатком данной стратегии является невозможность использования одних и тех же особей для многократного измерения их физиологических параметров, поскольку данные измерения обычно сопряжены с гибелью исследуемого организма. При этом повышается вариабельность получаемых результатов и увеличивается время, затрачиваемое на проведение экспериментальной работы.

На сегодняшний день разработано большое разнообразие флуоресцентных красителей, чей спектр флуоресценции чувствителен к таким параметрам водных сред как рН, содержание ряда ионов и метаболитов (Johnson, Spence, 2010). Однако токсичность красителей и их растворимость во всём объёме внутренних сред не всегда даёт возможность применять их для измерения физиологических показателей живого организма. Инкапсулирование данных флуоресцентных сенсоров в полупроницаемые капсулы позволяет снять вопрос токсичности красителей для изучаемого организма и локализовать сенсор внутри капсулы, сохранив его чувствительность к физиологическим параметрам. Использование микроинкапсулированных флуоресцентных сенсоров в экофизиологических исследованиях может позволить проведение прижизненного мониторинга состояния даже небольших организмов.

Озеро Байкал является одним из уникальных природных объектов, флора и фауна которого отличаются высокой степенью эндемизма и биоразнообразия. Байкальская фауна в течение длительного времени эволюционировала в стабильных условиях среды, что могло привести к развитию особенностей в функционировании механизмов резистентности у байкальских эндемиков (Тимофеев, 2010). Амфиподы являются важным компонентом экосистемы озера и его наиболее таксономически разнообразной группой: более 350 видов и подвидов, 100% эндемизм (Takhteev et al., 2015). Байкальские амфиподы представляют как фундаментальный интерес с точки зрения изучения особенностей их стресс-ответа на неблагоприятные условия среды, так и могут быть использованы как тест-объекты при разработке комплексной системы экологического мониторинга озера Байкал.

В рамках данной работы на примере байкальских эндемичных амфипод впервые продемонстрирована возможность прижизненного мониторинга физиологических параметров гидробионтов в стрессовых условиях с помощью инкапсулированных оптических микросенсоров. После предварительной акклимации к лабораторным условиям, в центральный кровеносный сосуд амфипод *Eulimnogammarus verrucosus* (Gerstfeldt, 1858) были введены микроинкапсулированные флуоресцентные сенсоры. После инъекции амфиподы были подвергнуты гиперкапнической экспозиции (60 мг СО<sub>2</sub>/л) в течение 2 ч либо

экспонированию без аэрации в течение 18 ч (комбинированные слабогиперкапнические и слабогипоксические условия). Измерение рН гемолимфы проводили сразу после инъекций и после экспериментальных экспозиций. Параллельная группа амфипод было подвергнута аналогичным стрессовым условиям и зафиксирована в жидком азоте для последующего измерения уровня лактата.

С использованием инкапсулированных оптических сенсоров удалось показать, что в данных условиях происходит снижение медианной рН гемолимфы с 8.1 в контрольных условиях до примерно 7.6 в обоих типах экспозиции, что совпадает с повышением уровня лактата. При содержании амфипод после инъекции в контрольных условиях описанных эффектов не обнаружено. Данные результаты демонстрируют возможность использования микроинкапсулированных флуоресцентных сенсоров для прижизненной диагностики стрессовых состояний гидробионтов.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №15-14-10008 и 14-14-00400, а также при частичной поддержке гранта РФФИ №15-29-01003.

### Список литературы

Тимофеев М.А., 2010. Экологические и физиологические аспекты адаптации к абиотическим факторам среды эндемичных байкальских и палеарктических амфипод: Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. Томск: ТГУ, 2010. 384 с.

Johnson I., Spence M.T.Z., 2010. The Molecular Probes Handbook, A Guide to Fluorescent Probes and Labeling Technologies. Life Technologies, 2010.

Takhteev V.V. Berezina N.A., Sidorov D.A., 2015. Checklist of the Amphipoda (Crustacea) from continental waters of Russia, with data on alien species // Arthropoda Selecta. V. 24. P. 335–370.

УДК 597.55+59.084

О.М. Желтова<sup>1</sup>, В.А. Непомнящих<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», г. Ярославль

<sup>2</sup> ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова РАН», пос. Борок, Ярославская область  
e-mail: zheltova95@bk.ru

### Исследовательское поведение *Danio margaritatus*

**Резюме.** Объектом исследования является расбора звездная (*Danio margaritatus*) из семейства *Cyprinidae*. Цель работы – изучение исследовательского поведения *D. margaritatus* в крестообразном лабиринте. С помощью методов статистической обработки данных было показано, что у расборы звездной в крестообразном лабиринте наблюдается тенденция возвращаться в недавно посещавшиеся коридоры. Это указывает на то, что расборы используют стереотипные алгоритмы в незнакомой обстановке. По крайней мере, у некоторых особей наблюдаются стереотипные последовательности посещения коридоров – челночные передвижения и обходы. Асимметричного предпочтения какого-либо направления (поворачивать вправо или влево) выявлено не было. Кроме того, у расборы обнаружено избегание красного ориентира.

В настоящее время активно изучается исследовательское поведение животных. Это поведение, направленное на сбор информации об окружающей среде и ее свойствах. Оно необходимо для адаптации к меняющимся условиям среды. В этой форме поведения проявляется способность животного к изменению своего поведения и его «интеллектуальные» способности. В результате исследовательского поведения формируется так называемая

«когнитивная карта» (Lanke et al., 1993). Она позволяет животному быстрее находить в уже знакомой среде источники пищи и т.д.

*Цель работы* – изучить исследовательское поведение карповых рыб на примере *D. margaritatus* в крестообразном лабиринте.

Эксперименты по изучению поискового повеления проводятся в основном с грызунами. Рыбам же уделяют меньше внимания. В подобных лабиринтах изучали только общие свойства исследовательского поведения рыб (общую двигательную активность, посещаемость коридоров). Поэтому для выполнения данной цели мы поставили следующие задачи: (1) определить, способны ли рыбы к спонтанному чередованию; (2) выяснить, существуют ли у рыб стереотипные алгоритмы последовательных посещения коридоров и описать их; (3) на основе полученных данных оценить различия между рыбами и высшими позвоночными (грызунами); (4) выяснить, как влияет на эти алгоритмы зрительный ориентир.

*Эксперимент.* Было проведено два опыта. В первом каждую особь помещали в белый, без каких-либо внешних ориентиров лабиринт по отдельности, в коридор №1, закрытый загородкой. Через две минуты загородку поднимали и вели видеозапись передвижений рыбы в течение 15 мин. После этого животное вылавливали из лабиринта и помещали в отдельный аквариум, чтобы не перепутать с остальными. Такая процедура выполнялась со всеми особями. Далее мы оставили рыб на два дня в контейнере. Затем провели вторую часть эксперимента. В слепой конец коридора №4 поместили прямоугольник красного цвета, ширина которого совпадала с шириной коридора. Наблюдения за рыбами в лабиринте с красным прямоугольником проводили так же, как и в первом эксперименте.

Полученные видеозаписи мы обрабатывали с помощью программы Sheerfish, разработанной в ИБВВ им. И.Д. Папанина РАН.

Наличие спонтанного чередования было впервые подтверждено опытным путем (с использованием простых лабиринтов) на крысах (Lanke et al., 1993). Спонтанное чередование – предпочтение животного при посещении коридоров лабиринта заходить в те, которые посещались относительно давно (Ramey, 2009). Это означает, что животных руководствуются как внешними ориентирами, а также, при их отсутствии в однородном лабиринте, запоминают последовательность своих перемещений. У рыб спонтанного чередования не изучалось.

Для расчета коэффициента чередования для каждой рыбы мы использовали метод, предложенный ранее и широко используемый разными авторами (Ragozzino, 1998). Полученный уровень чередования сравнивали со случайным, который равен 44.4%. Мы получили, что уровень чередования для рыб в контроле и опыте с красным прямоугольником статистически значимо ниже случайного ( $t=-2.6$ ,  $p=0.03$ ,  $n=9$ ;  $t=-3.3$ ,  $p=0.007$ ,  $n=11$ ). А это значит, что *D. margaritatus* имеют тенденцию посещать коридоры, которые недавно посещали. Таким образом, это первое отличие от исследовательского поведения высших млекопитающих (крыс). Данный результат можно объяснить следующей гипотезой. Есть данные о том, что уровень спонтанного чередования у грызунов снижается под действием различных химических соединений, вызывающих стресс. Можно предположить, что расбора (или рыбы в целом) более подвержена стрессу, вызванному незнакомой обстановкой лабиринта, чем грызуны, чем и объясняются полученные нами результаты. Однако на основании изучения поведения одного вида нельзя сделать глобальных выводов.

Это предположение будет в дальнейшем проверено нами экспериментально. Так как спонтанного чередования не выявлено, то, возможно, рыбы использовали стереотипную модель поведения в лабиринте.

К стереотипным последовательностям перемещений относятся обходы лабиринта в определенную сторону и челночные передвижения между коридорами. Наличие таких последовательностей мы проверяли с помощью критерия серий для каждой особи в контроле и опыте с красным прямоугольником. В данном критерии используется показатель  $Z$ , отрицательные значения которого означают, что действия повторяются сериями, положительные означают чередование разных действий, а нулевое значение соответствует случайной последовательности действий. Полученные результаты говорят о том, что в контроле только

три рыбы проявили достоверную тенденцию к челночным перемещениям и обходам, а в опыте – две. Для остальных достоверных закономерностей в движении обнаружено не было. Возможно, при увеличении числа рыб в эксперименте и продолжительности наблюдения за каждой особью, наличие указанных алгоритмов в поведении рыб оказалось бы более явным.

Повторяющиеся обходы лабиринта по периметру могли бы быть вызваны поведенческой асимметрией – предпочтением рыб поворачивать в определенную сторону при выходе из очередного коридора. Однако, такого предпочтения у *D. margaritatus* не выявлено ( $t=-1.4$ ,  $p=0.18$ ,  $n=11$ ;  $t=0.8$ ,  $p=0.42$ ,  $n=11$ ). Возможно, расборам свойственно повторять уже совершенное действие, которое первоначально могло быть выполнено по случайным причинам (Непомнящих, 2012).

Известно, что рыбы обладают хорошо развитым зрением. Поэтому мы исследовали влияние зрительного ориентира, представленного красным прямоугольником, на алгоритмы исследовательского поведения *D. margaritatus* в лабиринте. Мы выяснили, что в коридор с ориентиром рыбы проводили времени почти в два реже, чем в этом же коридоре без ориентира и меньше чем в других коридорах ( $t=2.97$ ,  $p=0.007$ ,  $n_1=9$ ,  $n_2=11$ ). Различия в посещаемости других коридоров оказались недостоверными ( $t=1.1$ ,  $p=0.3$ ,  $n_1=9$ ,  $n_2=11$  – для коридора №3;  $t=-1.6$ ,  $p=0.1$ ,  $n_1=9$ ,  $n_2=11$  – для коридора №2;  $t=-0.3$ ,  $p=0.7$ ,  $n_1=9$ ,  $n_2=11$  – для коридора №1). Таким образом, у рыб этого вида обнаружено избегание красного цвета. Аналогичные результаты были получены другими исследователями для данио рерио (*D. rerio*) (Oliveira et al., 2015).

Таким образом, помимо, конкретных результатов, наши эксперименты с расборой показали, что этот вид может стать, наряду с данио рерио (сейчас данио широко используется в различных исследованиях – поведенческих, нейрофизиологических и т.д.), модельным объектом для изучения исследовательского поведения и его регуляции различными факторами, включая химические соединения.

**Выводы:** (1) Показано, что у расборы звездной отсутствует тенденция к спонтанному чередованию в крестообразном лабиринте; (2) По крайней мере, у некоторых особей наблюдаются стереотипные последовательности посещения коридоров – челночные передвижения между двумя коридорами, а также обходы коридоров по часовой стрелке или в противоположном направлении. Это может свидетельствовать о том, что, возможно, расборам свойственно повторять уже совершенное действие, которое первоначально могло быть выполнено по случайным причинам; (3) В отличие от грызунов, расборы предпочитают посещать коридоры, которые недавно посещали. Можно предположить, что *D. margaritatus* (или рыбы в целом) более подвержена стрессу, вызванному незнакомой обстановкой лабиринта, чем грызуны. Этим и объясняются полученные нами результаты; (4) У расборы обнаружено избегание красного ориентира.

### Список литературы

- Непомнящих В.А., 2012. Увеличение изменчивости поведения животных вследствие автокорреляций // Журнал общей биологии. Т. 73. № 4, С. 243–252.
- Lanke J., Mansson L., Bjerketo M., Kjellstrand P., 1993. Spatial memory and stereotypic behaviour of animals in radial arm mazes // Brain Research. № 605. P. 221–228.
- Oliveira J., Silveira M., Chacon D., Luchiari A., 2015. The zebrafish world of colors and shapes: preference and discrimination // Zebrafish. V. 12. Iss. 2. P. 166–173.
- Ramey P., Teichman E., Oleksiak J., Balci F., 2009. Spontaneous alternation in marine crabs: Invasive versus native species // Behavioural Processes. № 82. P. 51–55.



### Активность кишечных протеиназ при разных значениях pH *in vitro* у рыб из Кучурганского и Рыбинского водохранилищ

**Резюме.** Показано, что активность протеиназ у рыб из Рыбинского водохранилища ниже, чем у рыб из Кучурганского водохранилища. Протеолитическая активность слизистой оболочки кишечника, химуса и энтеральной микробиоты у рыб разных видов (лещ *Abramis brama* (L.), окунь *Perca fluviatilis* L., судак *Sander lucioperca* (L.)) в диапазоне pH от 5.0 до 10.0 значительно варьирует. Несмотря на значительные различия этих водохранилищ по ряду экологических характеристик, оптимум pH протеиназ слизистой оболочки у всех видов рыб, соответствует 10.0, химуса, как правило, наблюдается при этих же значениях pH. Максимальная активность протеиназ энтеральной микробиоты у рыб разных видов варьирует в широком диапазоне pH от 6.0 до 10.0.

Известно, что существуют видовые различия в активности одноименных ферментов, обусловленные как спектром питания рыб, так и температурными условиями среды обитания (Уголев, Кузьмина, 1993; Кузьмина, 2015). Установлено, в процессах пищеварения у рыб помимо ферментов, синтезируемых их пищеварительной системой, участвуют ферменты симбионтной микрофлоры, реализующие симбионтное пищеварение (Уголев, Кузьмина, 1993; Ray et al., 2012). Бактериальная флора – неотъемлемый компонент пищеварительного тракта рыб, жизненно необходимый для их существования. Состав микрофлоры пищеварительного тракта рыб в значительной мере зависит от такового в воде и пище (Buddington et al., 1997; Ray et al., 2012). Качественное и количественное соотношение микроорганизмов в популяции кишечного содержимого в значительной мере зависят от интенсивности и характера питания макроорганизма (Кузьмина, 2015). Следовательно, пища является основным экзогенным фактором, влияющим на энтеральный микробиоценоз. При этом не только численность микрофлоры пищеварительного тракта, но и спектр гидролаз зависит от характера питания рыб. Это обстоятельство необходимо учитывать при исследовании эффективности питания рыб, поскольку в последние десятилетия доказана важная роль симбионтного пищеварения, реализуемого энтеральной микробиотой, в деградации компонентов пищи у различных животных, в частности рыб (Кузьмина, 2015; Ray et al., 2012). Однако вклад ферментов микроорганизмов, обеспечивающих симбионтное пищеварение, в процессы пищеварения корректно оценить невозможно. Вместе с тем об их роли можно судить, используя сопоставление различных характеристик ферментов энтеральной микробиоты, а также ферментов, функционирующих в составе слизистой оболочки кишечника и химуса (Кузьмина, 2015).

Из-за отсутствия сведений о влиянии особенностей среды обитания на активность протеиназ энтеральной микробиоты рыб в широком диапазоне значений pH целесообразно исследовать характеристики ферментов у рыб одного и того же вида из водоемов, различающихся по гидрологическому режиму и состоянию кормовых ресурсов.

Цель работы состояла в изучении влияния pH *in vitro* на активность протеиназ энтеральной микробиоты и для сравнения слизистой оболочки кишечника и химуса у трех видов рыб с разным типом питания, обитающих в водохранилищах, различающихся по гидрологическому и гидрохимическому режимам, а также по состоянию кормовой базы.

Материал собран летом. Объект исследования рыбы трех видов (лещ *Abramis brama* (L.), окунь *Perca fluviatilis* L., судак *Sander lucioperca* (L.)) близких размерно-весовых характеристик. В качестве ферментативно активных препаратов использовали культуры микрофлоры, выделенной из химуса, а также химус и слизистую оболочку кишечника.

Активность протеиназ (преимущественно активность трипсина, КФ 3.4.21.4) оценивали по увеличению концентрации тирозина по методу Ансона (Anson, 1938) в некоторой модификации. В качестве субстрата использовали 1%-ный раствор казеина (рН 5.0-10.0, интервал 1.0).

Активность протеаз при стандартном значении рН 7.4 у исследованных видов рыб из Рыбинского водохранилища, как правило, ниже, чем у рыб Кучурганского водохранилища. Наиболее высокая активность протеаз слизистой оболочки кишечника у рыб из обоих водохранилищ выявлена у факультативного ихтиофага – окуня ( $1.37 \pm 0.15$  и  $3.74 \pm 0.27$  мкмоль/г·мин соответственно). Минимальная активность слизистой выявлена у бентофага-леща ( $0.40 \pm 0.07$  и  $0.92 \pm 0.12$  мкмоль/г·мин соответственно). Максимальная активность химуса наблюдалась так же у окуня ( $1.87 \pm 0.11$  и  $6.03 \pm 0.13$  мкмоль/г·мин соответственно) минимальная – у леща ( $1.58 \pm 0.15$  и  $1.35 \pm 0.21$  мкмоль/г·мин соответственно). Максимальный уровень активности энтеральной микробиоты в Рыбинском водохранилище наблюдался у судака ( $1.72 \pm 0.20$  мкмоль/г·мин) в Кучурганском – у окуня ( $2.20 \pm 0.15$  мкмоль/г·мин). Минимальная активность энтеральной микробиоты выявлена у окуня ( $0.58 \pm 0.20$  мкмоль/г·мин) из Рыбинского водохранилища и леща ( $1.32 \pm 0.11$  мкмоль/г·мин) из Кучурганского водохранилища.

При изучении влияния рН на активность пищеварительных ферментов у рыб Рыбинского и Кучурганского водохранилища на фоне близких характеристик протеиназ слизистой и химуса (оптимум рН 10) были выявлены существенные видовые различия уровня активности протеиназ энтеральной микробиоты – оптимум рН варьировал от 6.0 до 10.0. Эти данные свидетельствуют о различии видового состава энтеральной микробиоты.

Полученные результаты позволили предположить, что в связи с различиями в составе и численности микроорганизмов из разных гидробиоценозов характеристики ферментов энтеральной микробиоты, в отличие от характеристик ферментов, синтезированных собственно организмом, у рыб, обитающих в разных экологических условиях, могут значительно различаться.

### Список литературы

- Кузьмина В.В., 2015. Процессы экзотрофии у рыб. Организация. Регуляция. Адаптации. Москва: Полиграф-Плюс, 2015. 260 с.
- Уголев А.М., Кузьмина В.В., 1993. Пищеварительные процессы и адаптации у рыб. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 238 с.
- Buddington R.K., Krogdahl A., Bakke-Mckellep A.I., 1997. The intestines of carnivorous fish: structure and functions and relations with diet // *Acta Physiologica Scandinavica* V. 161. Suppl. 638. P. 67–80.
- Anson M., 1938. The estimation of pepsin, trypsin, papain and cathepsin with hemoglobin // *Journal of General Physiology*. V. 22. P. 79–83.
- Ray A.K, Ghosh K., Ringø E., 2012. Enzyme-producing bacteria isolated from fish gut: a review // *Aquaculture Nutrition*. V. 18. № 5. P. 465–492.

**Показатели системы антиоксидантной защиты (АОЗ) у пресноводных двустворчатых моллюсков *Dreissena polymorpha* и *D. bugensis* в условиях гипоксии**

**Резюме.** В лабораторных условиях был поставлен эксперимент по воздействию гипоксии в течение 72 часов на двустворчатых пресноводных моллюсках *Dreissena polymorpha* и *D. bugensis*. При этом в их мягких тканях измеряли показатели системы антиоксидантной защиты (АОЗ): активность каталазы (КАТ), глутатион-S-трансферазы (GST), глутатионредуктазы (ГР), содержание восстановленного глутатиона (ГЛТ) и малонового диальдегида (МДА). Установлено, что в условиях гипоксии у *D. polymorpha* в отличие от *D. bugensis* возрастает содержание МДА, ГЛТ и активность ГР. При этом, через 48 часов наблюдалась инактивация КАТ, и последующее повышение ее активности через 72 часа. У *D. bugensis* через 72 часа эксперимента увеличилось значение GST.

Двустворчатые моллюски *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) и *D. bugensis* (Andrusov, 1897) агрессивные виды вселенцы. Они образуют совместные биоценозы и конкурируют друг с другом (Zhulidov et al., 2004; Пряничникова, 2015). Одной из биохимических систем, обеспечивающих физиологические основы их адаптации к воздействию факторов внешней среды, является система антиоксидантной защиты (АОЗ) (Livingstone, 2001). Система АОЗ – защищает клетки от негативного действия активных форм кислорода (АФК). Повышение образования АФК является неспецифической реакцией аэробных организмов на действие стресс-факторов. АФК очень реакционно активны и способны повреждать органические молекулы клетки, нарушая их функции (Halliwell, Gutteridge, 1999). Своевременная активизация защитных механизмов системы АОЗ стабилизирует окислительные процессы в клетке и обеспечивает устойчивость к воздействию стресс-фактора (Sole, 2000). В связи с этим, АОЗ может играть важную роль в адаптивном потенциале на физиолого-биохимическом уровне у двух видов моллюсков сем. *Dreissenidae* при их конкурентном взаимоотношении.

При совместном поселении *D. bugensis* вытесняет *D. polymorpha*. По мнению некоторых авторов, основной причиной ее доминирования, является устойчивость к недостатку кислорода (Karatajev et al., 1998). Содержание кислорода в воде это определяющий фактор для многих гидробионтов. Таким образом, адаптация к условиям недостатка кислорода может быть важным преимуществом при конкурентном взаимоотношении. В связи с этим, изучение особенностей функционирования АОЗ моллюсков сем. *Dreissenidae* позволит оценить их адаптивный потенциал к условиям гипоксии на физиолого-биохимическом уровне.

Цель исследования: в экспериментальных условиях оценить влияние естественного стресс-фактора гипоксии на показатели системы АОЗ у моллюсков *D. polymorpha* и *D. bugensis*.

Для эксперимента моллюсков отбирали из Волжского плеса Рыбинского водохранилища в ноябре 2015 года. После двух недельной акклимации к лабораторным условиям, их подвергали воздействию гипоксии в течение 72 часов. Условия гипоксии в опыте создавали путем барботирования воды в аквариуме газообразным азотом. При этом концентрация кислорода в опыте составляла 0.56-1.1 O<sub>2</sub> мг/л, а в контроле 6.17-7.78 O<sub>2</sub> мг/л.

Через каждые 24 часа моллюсков отбирали для анализа показателей системы АОЗ. В их мягких тканях определяли активность ферментов: каталазы (КАТ) (Королюк и др., 1988), глутатион-S-трансферазы (GST) (Habig et al., 1974) и глутатионредуктазы (ГР) (Regoli, Principato, 1995), а также содержание низкомолекулярного антиоксиданта восстановленного глутатиона (ГЛТ) (Moron et al., 1979) и продукта процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) – малонового диальдегида (МДА) (Стальная, Гаришвили, 1977).

У *D. polymorpha* по сравнению с *D. bugensis* при воздействии гипоксии через 48 часов эксперимента наблюдалась инактивация КАТ (в 1.6 раз) и последующий рост ее активности

через 72 часа (в 1.5 раз), активизация ГР (в 2.1 раза) через 48 и 72 часа, а также через 72 часа повышение содержания ГЛТ (в 1.6 раза) и усиление образования продуктов ПОЛ (1.8 раз). При этом у *D. bugensis*, повышалась только активность GST (1.5 раз) через 72 часа.

Накопление МДА в тканях у *D. polymorpha* предполагает, что система АОЗ не справляется с избытком АФК, образующихся в условиях не достатка кислорода, и это приводит к оксидативным поражениям липидов в их тканях. Таким образом, *D. bugensis* более устойчива к условиям гипоксии. У данного моллюска не наблюдается нарастания процессов ПОЛ и инактивации ферментов на протяжении всего времени эксперимента. Ранее, другой автор так же показал в эксперименте по воздействию недостатка кислорода, что *D. polymorpha* более оксифильна чем *D. bugensis* (Шкорбатов и др., 1994). При этом у *D. polymorpha* 100% гибель фиксировалась на четвертые сутки, а у *D. bugensis* гибели не наблюдалось, и 60% особей еще оставалось прикрепленными к стенкам сосуда.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 12-05-00572.

### Список литературы

Королюк М.А., Иванова Л.И., Майорова И.Г., Токарев В.Е., 1988. Метод определения активности каталазы // Лабораторное дело. № 1. С. 16–19.

Пряничникова Е.Г., 2015. Дрейссениды (Mollusca, Dreissenidae) верхневолжских водохранилищ // Поволжский экологический журнал. № 1. С. 64–71.

Стальная И.Д., Гаришвили Т.Г., 1977. Методы определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты // Современные методы в биохимии. Под ред. В.Н. Ореховича. М.: Медицина, 1977. С. 66–68.

Шкорбатов Г.Л., Карпеевич А.Ф., Антонов П.И., 1994. Экологическая физиология // В кн.: Дрейссена: *Dreissena polymorpha* (Pall.) (Bivalvia, Dreissenidae): систематика, экология, практическое значение. Москва: Наука, 1994. С. 67–107.

Livingstone D.R., 2001. Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms // Marine Pollution Bulletin. V. 42. P. 656–666.

Moron M.S., Depierre J.W., Mannervik B., 1979. Levels of glutathione, glutathione reductase and glutathione-S-transferase activities in rat lung and liver // Biochimica et Biophysica Acta. V. 582. P. 67–78.

Habig W.H., Pabst M.J., Jacoby W.B., 1974. Glutathione-S-transferase: the first step in mercapturic acid formation // Journal of Biological Chemistry. V. 249. P. 7130–7139.

Regoli F., Principato G., 1995. Glutathione, glutathione-dependent and antioxidant enzymes in mussel, *Mytilus galloprovincialis*, exposed to metals under field and laboratory conditions: implications for the use of biochemical biomarkers // Aquatic Toxicology. V. 31. P. 143–164.

Halliwell B., Gutteridge J.M.C., 1999. Free Radicals in Biology and Medicine. Oxford University Press. Oxford, 1999. 936p.

Karatayev A., Burlakova L., Padilla D., 1998. Physical factors that limit the distribution and abundance of *Dreissena polymorpha* (Pall.) // Journal of Shellfish Research. V. 17. № 4. P. 1219–1235.

Sole M., 2000. Assessment of the results of chemical analyses combined with the biological effects of organic pollution on mussels // Trends in Analytical Chemistry. V. 19. P. 1–9.

Zhulidov A.V., Pavlov D.F., Nalepa T.F., Scherbina G.H., Zhulidov D.A., Gurtovaya T.Yu., 2004. Relative Distributions of *Dreissena bugensis* and *Dreissena polymorpha* in the Lower Don River System, Russia // International Review of Hydrobiology. V. 89. № 3. P. 326–333.

### Структурные и функциональные свойства гемоцитов некоторых представителей класса *Bivalvia* в условиях осмотической нагрузки

**Резюме.** Изучение морфофизиологических показателей и особенностей функциональной активности гемоцитов позволяет оценить адаптационные возможности отдельных типов клеток и определить их роль в поддержании гомеостаза. Проведенные исследования позволили выявить адаптивные реакции гемоцитов представителей *Anodonta cygnea* и *Dreissena polymorpha*, связанные с поддержанием объема и выражающиеся в использовании мембранного резерва при осмотической нагрузке.

Исследования, опубликованные в доступных источниках, демонстрируют разное число клеточных типов в гемолимфе моллюсков – от двух до множества (Ракочий, Громик, 2009; Adamowicz, Bolaczek, 2003; Glinski, Jarosc, 1997). Разработано несколько однотипных классификаций, основанных, преимущественно, на морфологических и морфофизиологических критериях. Самыми очевидными представляются морфологические параметры, которые наблюдают визуально и измеряют у нативных клеток.

На основе осуществленных исследований составлена классификация гемоцитов представителей типа Mollusca. С использованием анализа морфофизиологических показателей идентифицировано 4 типа гемоцитов (Присный, Кулько, 2016): большой кинетофагоцит (БК), малый кинетофагоцит (МК), агрегатозит (АТ) и прогемоцит (ПЦ).

В экспериментах использовали представителей *Anodonta cygnea* и *Dreissena polymorpha*. Для проведения каждой серии эксперимента использовали гемолимфу 15 представителей каждого вида. Из системы циркуляции каждой исследованной особи отобрано и обработано не менее 100 клеток.

В первой серии экспериментов осуществляли исследование морфометрических показателей гемоцитов в аутологичной плазме. Во второй серии исследований изучали способность гемоцитов к фагоцитозу в аутологичной плазме, изотонических условиях, а также при проведении проб с осмотической нагрузкой *in vitro*. В третьей серии изучали осморегуляторные реакции гемоцитов при проведении осмотических тестов *in vitro*. Гемолимфу получали с использованием модифицированных стандартных методик (Присный, 2013). Гемолимфу не подвергали центрифугированию, в образцы не добавляли антикоагулянты. Осмотическую стойкость, осморегуляторные реакции клеток и использование ими мембранного резерва изучали при помощи проб с гипотоническими и гипертоническими нагрузками (Фёдорова, Левин, 1997). В качестве сред с измененной осмолярностью применяли растворы хлорида натрия – гипотонический и гипертонический. Теоретическая осмолярность растворов хлорида натрия, использовавшихся в эксперименте для клеток моллюсков, составила 136.8 мосмоль/л для изотонического раствора хлорида натрия (0.4% NaCl), 68.4 мосмоль/л для гипотонического раствора хлорида натрия (0.2% NaCl) и 273.7 мосмоль/л для гипертонического раствора хлорида натрия (0.8% NaCl).

У всех изученных представителей класса *Bivalvia* присутствуют четыре типа гемоцитов. Наиболее многочисленны кинетофагоциты – БК (58-63%) и МК (15-23%). ПЦ встречаются реже всех – 8-9% от общей численности гемоцитов.

В гипотонических условиях АТ *A. cygnea* не закрепляются на подложке и перемещаются с током жидкости. В гипертоническом растворе клетки незначительно уменьшают размеры, распластаются и теряют способность к перемещению. В условиях сниженного осмотического давления АТ *D. polymorpha* оседают на подложку.

При воздействии гиперосмотической нагрузки линейные размеры ПЦ *D. polymorpha* уменьшаются на 19%.

Линейные размеры гемоцитов моллюсков значительно варьируют в зависимости от размеров тела особи, при этом соотношение размеров между типами клеток остается постоянным – БК имеют самый большой размер у всех исследованных моллюсков, что обусловлено их специфической функцией – фагоцитозом инородных объектов, которые попадают в организм.

У *A. cygnea* БК способны захватывать больше объектов фагоцитоза, чем такие же гемоциты *D. Polymorpha*. При этом в процессе фагоцитоза задействовано меньшее количество клеток. Несмотря на наличие разницы в линейных размерах гемоцитов, в целом, процесс фагоцитоза проходит у изученных представителей класса *Bivalvia* аналогично.

При воздействии на амeboциты осмотической нагрузки достоверных изменений показателей фагоцитарной активности БК представителей типа *Mollusca* не зафиксировано.

В условиях гипоосмотической нагрузки объем МК *D. polymorpha* уменьшается в 2.5 раза.

Для выявления способности клеток адаптироваться в условиях осмотической нагрузки определяли значения относительного мембранного резерва и интенсивности использования мембранного резерва. Наибольшими значениями интенсивности использования относительного мембранного резерва характеризуются АТ *A. cygnea*. Установлено, что БК *A. cygnea*, МК *D. polymorpha*, а также ПЦ *A. cygnea* и *D. polymorpha* не задействуют мембранный резерв в условиях осмотической нагрузки.

В целом, значительных функциональных изменений у гемоцитов при воздействии разных типов осмотической нагрузки не установлено, что свидетельствует о высоком уровне резистентности системы циркуляции моллюсков и способности к сохранению функционального гомеостаза.

### Список литературы

Присный А.А., 2013. Практикум по физиологии беспозвоночных животных. Белгород: Изд-во БелГУ, 2013. 116 с.

Присный А.А., Кулько С.В., 2016. Сравнительно-физиологический анализ морфофункционального статуса гемоцитов моллюсков. Белгород: ООО «Эпицентр», 2016. 132 с.

Ракочий В.К., Громик О.А., 2009. Межпопуляционная изменчивость клеточного состава гемолимфы моллюсков рода *Helix L.* запада Украины // Экология, эволюция и систематика животных: Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Рязань. С. 122–123.

Фёдорова М.З., Левин В.Н., 1997. Метод комплексного исследования геометрии, площади поверхности, резервных возможностей мембраны и осморегуляции лейкоцитов крови // Клиническая лабораторная диагностика. № 11. С. 44–46.

Adamowicz A., Bolaczek M., 2003. Blood cells morphology of the snail *Helix aspersa maxima* (*Helicidae*) // *Zoologica Poloniae*. V. 48. P. 93–101.

Glinski Z., Jarosz J., 1997. Molluscan immune defenses // *Zjawiska odporności przeciwzaka.nej u bezkręgowców*. Lublin: Wyd. UMC. P. 90–100.

Ю.А. Лубяга<sup>1</sup>, М.С. Трифонова<sup>2</sup>, А.К. Николаева<sup>1</sup>, В.А. Емшанова<sup>1</sup>,  
Е.В. Мадьярова<sup>1</sup>, Д.В. Аксенов-Грибанов<sup>1,3</sup>, М.А. Тимофеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», НИИ биологии, г. Иркутск

<sup>2</sup> ФГБУН «Институт озероведения РАН», г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup> АНО «Байкальский исследовательский центр», г. Иркутск

e-mail: yuliya.a.lubyaga@gmail.com

### Влияние постепенного изменения температуры среды на анаэробные процессы у представителей различных популяций амфипод *Gmelinoides fasciatus* (Stebb., 1899)

**Резюме.** Целью настоящего исследования была оценка содержания продуктов анаэробного метаболизма у амфипод вида *Gmelinoides fasciatus* (Stebb., 1899) из литорали озера Байкал и Финского залива в условиях постепенного повышения температуры среды. Показано, что экспозиция представителей *G. fasciatus* из разных ареалов при постепенном повышении температуры не вызывает статистически значимого изменения содержания лактата. При этом у представителей популяции из Финского залива обнаружено повышение содержания лактата при температуре 33°C, что может косвенно свидетельствовать об увеличении доли анаэробного гликолиза в их энергетических процессах.

Повышение температуры среды является важным экологическим фактором, оказывающим глубокое влияние на интенсивность биохимических процессов, обуславливающих резистентность организма (Pörtner, Knust, 2007). Особому влиянию изменения температуры подвержены гидробионты, поскольку уровень их жизнедеятельности напрямую зависит от температурных условий среды обитания. Среди защитных систем гидробионтов к повышенным температурам среды важную роль играют неспецифические механизмы стресс-адаптации, включающие различные компоненты антиоксидантной системы и энергетического метаболизма.

Целью настоящего исследования была оценка содержания продуктов анаэробного метаболизма у амфипод вида *Gmelinoides fasciatus* (Stebb., 1899) из литорали озера Байкал и Финского залива в условиях постепенного повышения температуры среды. Индукцию анаэробных процессов определяли по содержанию лактата – продукта анаэробного гликолиза.

В работе использовали представителей двух популяций амфипод *G. fasciatus* выловленных из водоемов с различными гидрохимическими характеристиками: оз. Байкал и Финский залив. После акклимации к лабораторным условиям, амфипод из оз. Байкал и Финского залива экспонировали в условиях постепенного повышения температуры (1°C/ч) с 6°C до 31 и 33°C (температура гибели 100 % особей амфипод) соответственно.

Определение содержания лактата проводили с помощью набора реагентов «Лактат-витал» (Vital-Diagnostics Spb) энзиматическим колориметрическим методом. Количественный расчет концентрации проводили на мг сырого веса. Анализ выполняли на спектрофотометре UNICO 1200 при  $\lambda=505$  нм.

Согласно полученным данным, базальный уровень содержания лактата у представителей *G. fasciatus* из оз. Байкал составило  $0.21 \pm 0.045$  мкг/мг сыр.в. Базальный уровень содержания лактата у *G. fasciatus* из литорали Финского залива составило  $0.48 \pm 0.30$  мкг/мг сыр.в. В условиях эксперимента своих максимальных значений содержание лактата у группы из оз. Байкал произошло при достижении температуры 27°C и составило  $0.65 \pm 0.19$  мкг/мг сыр.в. При этом, тенденция к повышению уровня лактата сохранялась до конца эксперимента.

У представителей *G. fasciatus* из Финского залива наблюдали иную картину. Содержание лактата у данной группы оставалось в пределах контрольных значений до 32°C. По достижении температуры 33°C наблюдалось повышение содержания продуктов анаэробного гликолиза до  $1.31 \pm 0.57$  мкг/мг сыр.в.

Увеличение содержания лактата у представителей популяции *G. fasciatus* из Финского залива в экспериментальных условиях при температуре близкой к летальной, вероятно, связано с тем, что при нарушении работы дыхательной цепи снижается потребление пирувата, образующегося в результате гликолиза. В результате этого клетки организма вынуждены восстанавливать пируват в лактат, поскольку для непрерывного протекания гликолиза требуются окисленные переносчики протонов и электронов. Это может быть связано с особенностями гидрохимического состава вод Финского залива, таких как минерализация (0.185<sup>0/00</sup>) и низкое содержание кислорода.

Таким образом, можно заключить, что постепенное повышение температуры окружающей среды вызывает незначительные изменения содержания лактата, основного маркера анаэробного метаболизма у исследованного вида из оз. Байкал. Что подтверждает ранее полученные данные о устойчивости данного вида к высоким температурам (Тимофеев, 2010).

Работа выполнена при основной финансовой поддержке гранта РФФИ 14-14-00400, а также при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ 16-34-60060 мол\_а\_дк, 15-29-01003 офи\_м, баз. часть госзадания 1354–2014/51, 6.742.2016/ДААД, 6.734.2016/ДААД.

### Список литературы

Тимофеев М.А., 2010 Экологические и физиологические аспекты адаптации к абиотическим факторам среды эндемичных байкальских и палеарктических амфипод. Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. Томск: ТГУ, 2010. 384 с.

Pörtner H.O., Knust R., 2007. Climate change affects marine fishes through the oxygen limitation of thermal tolerance// Science. V. 315. P. 95–97.

УДК 547.1123+561.263

**О.Я. Лукашив, О.И. Боднар, Г.Б. Винярская, В.В. Грубинко**

Тернопольский национальный педагогический университет им. В. Гнатюка, г. Тернополь, Украина  
e-mail: lukashiv5@gmail.com

### Влияние селенита натрия и хлорида хрома (III) на содержание липидов у *Chlorella vulgaris* Viej. в аквакультуре

**Резюме.** При культивировании в течении семи суток *Chlorella vulgaris* в среде Фитцджеральда в модификации Цендера и Горхема, содержащей селенит натрия (10.0 мг Se(IV)/дм<sup>3</sup>) и хлорид хрома (5.0 мг Cr(III)/дм<sup>3</sup>), в клетках водоросли выявлено изменение соотношения липидов различных классов (%) – ТАГ:ДАГ:ФЛ:ЛФЛ:НЭЖК = 21:13:14:39:13 в контроле, 20:10:15:43:12 в присутствии селенита и хрома (III), а также уменьшение содержания 16:0 (с 60.21% в контроле до 42.3% в опытной культуре) и увеличение содержания 18:0 (с 15% до 17.3% соответственно) и 18:1 (с 22.18% до 40.4% соответственно) жирных кислот. При этом клетки накапливали 3.7 и 2.2 мг/г липидов Se и Cr соответственно. Установленные закономерности позволяют рассматривать выявленные условия как эффективные для накопления клетками хлореллы селена и хрома в составе их липидов, а также открывают перспективу для их использования селенхромлипидных комплексомодноклеточных водорослей как антиоксидантов.

Важной адаптивной особенностью метаболизма водорослей при действии неорганических ионов металлов и неметаллов является способность к изменению липидного состава их клеток. Воздействие большинства ионов металлов приводит к накоплению липидов и усилению биосинтеза отдельных их классов (Луцив, 2015). Наиболее лабильным компонентом липидов, как известно, являются жирные кислоты, состав которых может



изменяться в зависимости от условий среды. Увеличение количества ЖК свидетельствует об усилении катаболических процессов в организме и мобилизации жирнокислотных резервов как источника энергии, или же они используются в адаптивных перестройках метаболизма (Metzler, 2003). Воздействие большинства ионов металлов приводит к накоплению липидов, в том числе жирных кислот.

Значительный практический интерес представляют исследования влияния на содержание липидов и включение в их состав ионов металлов и селена, вследствие чего образуются биологически активные комплексы, способные стабилизировать антиоксидантную систему организма животных при их применении в качестве биодобавок (Винярская, 2016). Целью настоящего эксперимента было установить такие концентрации селенита и ионов хрома (III), которые могут активировать биосинтез биологически активных соединений липидного характера в клетках хлореллы, способных проявлять терапевтическую активность у экспериментальных животных.

*Материалы и методы.* Из *Chlorella vulgaris* Beij. при культивировании (7 суток) в среде Фитцджеральда в модификации Цендера и Горхема №11 при 22-25°C и освещении 2500 лк 16/8 ч с селенитом натрия (10.0 мг Se(IV)/дм<sup>3</sup>) и хлоридом хрома (5.0 мг Cr(III)/дм<sup>3</sup>) получен выделен биологически активный селен хромлипидный комплекс путем экстрагирования смесью хлороформ:метанол (2:1) по методу Фолча с последующим трехкратным промыванием 1% раствором KCl. Контролем служила культура, выращиваемая на среде без селенита натрия и хлорида хрома. Количество общих липидов определяли весовым методом после отгонки экстрагирующей смеси (Кейтс, 1975). Разделение липидов на фракции проводили методом восходящей одномерной тонкослойной хроматографии (Копылов, 1983). Содержание селена в липидном экстракте после его озонирования азотной кислотой (HNO<sub>3</sub>) в герметичных бюксах определяли спектрофотометрически с о-фенилендиамином при длине волны 335 нм (Дедков, Мусатов, 2002), а хрома – после его озонирования смесью азотной (HNO<sub>3</sub>) и сульфатной (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) кислот – при помощи хромазуrola S при длине волны 556 нм (Яцкив и др., 2009).

*Результаты исследования и их обсуждение.* Содержание селена и хрома в контроле (клетки, выращенные в отсутствие селенитанатрия и хлорида хрома) – 2.0 и 1.4 мг/г липидов соответственно. При добавлении в среду 10.0 мг Se(IV)/дм<sup>3</sup> и 5.0 мг Cr(III)/дм<sup>3</sup> содержание Se и Cr составляло 3.7 и 2.2 мг/г липидов соответственно. Соотношение липидов различных классов (%) – ТАГ:ДАГ:ФЛ:ЛФЛ:НЭЖК в контроле составляло 21:13:14:39:13 соответственно, при добавлении селенита натрия и хрома – 20:10:15:43:12. Внесение в среду культивирования хлореллы селенита натрия и ионов хрома обусловило уменьшение содержания 16:0 (с 60.21% в контроле до 42.3% в опытной культуре) и увеличение содержания 18:0 (с 15% до 17.3% соответственно) и 18:1 (с 22.18% до 40.4% соответственно) жирных кислот. Установленные закономерности позволяют рассматривать выявленные условия как эффективные для накопления клетками хлореллы селена и хрома. В наших исследованиях установлены оптимальные условия накопления селена и хрома клетками хлореллы в аквакультуре, биологически адекватным для получения биодобавок содержанием селена и хрома и составом липидов (Лукашив и др, 2016). При введении полученной субстанции в 1% растворе водно-крахмальной суспензии ежедневно на протяжении 14 суток в организме здоровых крыс снижались прооксидантные процессы и увеличивался антиоксидантный статус, а также сукцинатдегидрогеназная и цитохромоксидазная активности (Лукашив и др, 2016).

*Выводы.* Установленные закономерности позволяют рассматривать выявленные условия как эффективные для накопления клетками хлореллы селена и ионов хрома в составе их липидов, а также открывают перспективу для их использования селенхромлипидных комплексов одноклеточных водорослей как антиоксидантов.

### **Список литературы**

Винярская Г.Б., 2016. Накопление селена и его влияние на метаболизм у *Chlorella vulgaris* Beij. в культуре при действии селенита натрия и ионов металлов. Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Тернополь: Тернопольский государственный медицинский университет, 2016. 21 с.

Дедков Ю.М., Мусатов А.В., 2002. Селен: биологическая роль, химические свойства и методы определения // ВИНТИ по РЖ Химия № 1688–В2002.

Кейтс М., 1975. Техника липидологии. Выделение, анализ и идентификация липидов. М.: Мир, 1975. 32 с.

Копылов Ю.П., 1983. Новый вариант тонкослойной хроматографии липидов // Экология моря. Вып. 12. С. 76–80.

Луцив А.И., 2015. Регуляция биосинтеза липидов у *Chlorella vulgaris* Beij. ионами металлов и нефтепродуктами. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Тернополь: Тернопольский государственный медицинский университет, 2015. 24 с.

Лукашук О.Я., Боднар О.И., Винярская Г.Б., Грубинко В.В., 2016. Влияние селенхромлипидной субстанции из *Chlorella vulgaris* Beij. на окислительный статус крыс // Медична та клінічна хімія. Т. 18. № 2. С. 28–34.

Методы биохимических исследований (липидный и энергетический обмен): учебное пособие. Под ред. М.И. Прохоровой. Л.: ЛГУ, 1982. 273 с.

Яцкив О.С., Пацай И.О., 2009. Спектрофотометрическое определение Cr (III) с помощью хромазуrola S в присутствии Cr (VI) // Методи і об'єкти хімічного аналізу. Т. 4, № 1. С. 43–47.

Metzler D., 2003. Biochemistry: The Chemical Reactions of Living Cells. 2nd edition / NewYork-London: AcademicPress, 2003. 1973 pp.

УДК 639.371.7

Д.А. Мирошниченко, Е.А. Флёрова

ФГБОУ ВО «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия», г. Ярославль  
e-mail: butka91@mail.ru

### Особенности накопления показателей обмена веществ *Clarias batrachus* Южного Вьетнама

**Резюме.** Для *Clarias batrachus*, обитающего в водоеме тропических широт выявлены внутривидовые различия в содержании показателей обмена веществ. Особи с нижнего течения реки Кай превышают своих сородичей с верхнего течения реки Кай по количеству сухого вещества на 0.49%, белка на 1.07%, жира 0.71% и БЭВ на 0.01%.

В Южном Вьетнаме рыбы играют важную роль в рационе питания людей, как основной источник белка животного происхождения (Halwart, 2010). Для оценки качества добытой рыбной продукции рассматривают такие показатели как количество жира, белка, углеводов и минеральных веществ, в мышечной ткани рыб, которые в значительной мере определяют пищевую и питательную ценность рыбы и полученных из нее продуктов питания. Накопления этих веществ напрямую зависит от условий обитания рыбы (Байдалинова, 2011).

Одним из основных видов промыслового рыболовства Южного Вьетнама является ловля лягушкового клариевого сома *Clarias batrachus* (сем. Clariidae).

Цель работы – изучить химический состав мышечной ткани *Clarias batrachus* из Южного Вьетнама.

Рыба для анализа отлавливалась в сухой сезон 2008 года, пробы отбирались в верхнем (станция 1) и нижнем (станция 3) течении р. Кай.

Для исследования химического состава мышечной ткани *Clarias batrachus* были отобраны пробы от 25 экземпляров. Определяли с помощью стандартных методик количество воды и сухого вещества, минеральных веществ, белка с помощью метода Кельдаля, жира в

аппарате Сокслета и без азотистые экстрактивные вещества рассчитывали по формуле:  $100 - \sum_{\text{вода, Б, Ж, З}}$  (Флёрова, 2014).

Данные статистической обработки были получены с помощью программы Excel 2007 и представлены в виде средних значений и их ошибок ( $M \pm m$ ). Полученные экспериментальные данные были подвергнуты биометрической обработке с помощью достоверности различия групповых средних по  $t$ -критерию Стьюдента, с доверительной вероятностью 95% в программе MS Excel 2007.

Результаты исследования показали, что упитанность по Фультону у особей с нижнего течения *Clarias batrachus* составляет  $1.11 \pm 0.054$ , у особей с нижнего течения  $0.94 \pm 0.088$ . Рыбы, обитающие на нижнем течении реки Кай, имеют больший коэффициент упитанности, но данные различия не достоверны. Показано, что у представителей верхнего течения реки Кай количество общей влаги  $70.06 \pm 0.16\%$ , на долю сухого вещества приходится  $29.40 \pm 0.16\%$  в состав которого входит белок  $23.06 \pm 1.53\%$ ; зольные вещества  $1.55 \pm 0.041\%$ ; жир  $1.74 \pm 0.02\%$  и БЭВ  $2.64 \pm 1.14\%$ . У представителей нижнего течения реки Кай количество общей влаги  $70.16 \pm 0.02\%$ , сухого вещества  $29.89 \pm 0.02\%$  с состав которого входит белок  $24.13 \pm 0.054\%$ ; зольные вещества  $1.55 \pm 0.21\%$ ; жир  $2.45 \pm 0.48\%$  и БЭВ  $2.65 \pm 2.34\%$ . Выявлено, что особи, обитающие в нижнем течении реки Кай, достоверно превышают своих сородичей с верхнего течения реки Кай по содержанию в мышцах белка, кроме того обнаружено превышение по содержанию жира и БЭВ, но оно было недостоверным. Скорее всего, это связано с особенностями условий обитания видов. Река в верхнем участке отбора проб узкая, с высокой скоростью течения, каменистым дном и бедным рационом питания, в отличие от нижнего течения, где ширина реки достигает 400 м, течение слабое, дно песчаное, местами илистое, река образует многочисленные плесы и затоны, где скапливается большое количество потенциальных кормовых объектов (Лобус, 2011, 2016). Известно, что, накопление продуктов обмена веществ напрямую зависит от питания рыб (Байдалинова, 2011).

Можно предположить, что главными фактором различий в показателях обмена веществ у экологических групп вида является доступность пищи.

Авторы выражают глубокую благодарность Н.В. Лобусу, к.б.н., старшему научному сотруднику лаборатории химии океана Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН за помощь в сборе материала.

### Список литературы

- Байдалинова Л.С., 2011. Биохимия сырья водного происхождения. М.: Моркнига, 2011. 510 с., 34 ил
- Лобус Н.В., 2011. Содержание ртути в компонентах экосистемы водоёмов и водотоков провинции Кхань Хоа // Водные ресурсы. Т 38. № 6. С. 733–739.
- Лобус Н.В., 2016. Ртуть в мышечной ткани рыб Центрального и Южного Вьетнама // Биология внутренних вод. №3 (в печати).
- Флёрова Е.А., 2014. Физиолого-биохимические методы исследования рыб. Изд-во ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА», 2014. 40 с.
- Halwatt M., Soto D., Arthur J.R. (ed.), 2010. Садковая аквакультура – региональные обзоры и всемирное обозрение // Технический доклад ФАО по рыбному хозяйству. № 498. 274 с.

**Динамика физиолого-биохимических показателей сельди-черноспинки  
(*Alosa kessleri kessleri*) во время нерестового хода**

**Резюме.** Проведено изучение физиолого-биохимических показателей сельди-черноспинки (*Alosa kessleri kessleri*), обитающей в Волжско-Каспийском бассейне. Материал для физиолого-биохимического анализа (белые мышцы) отбирали у самок и самцов III; III-IV; IV-V; V СЗГ на тоневом участке «Балчуг» р. Волги, расположенном на 86 км выше г. Астрахань в весенний период 2012-2015 годов. Выборка исследованных рыб составила 131 экз.

В работе показана динамика среднего содержания общих липидов и водорастворимого белка в мышцах сельди-черноспинки во время миграции на нерест в р. Волгу. Дан сравнительный анализ полученных показателей проб белых мышц сельди-черноспинки, выловленной в последние четыре года. Проведено сравнение физиолого-биохимических показателей мышц сельди-черноспинки в весенний период во время миграции на нерест с литературными данными прошлых лет исследований. Для оценки физиолого-биохимического состояния сельди-черноспинки было изучено содержание общих липидов и водорастворимого белка в мышцах, главном хранилище липидов в организме. В исследуемых выборках рыб 2012-2015 годов выявлены сопоставимые линейно-весовые характеристики исследованных особей и отмечено относительно стабильное среднее содержание общих липидов (ОЛ) и водорастворимого белка (ВРБ) в пробах белых мышц, а в некоторых случаях наметилась положительная тенденция их увеличения. В выборке 2015 года, по сравнению с весенними показателями выборок 2012-2014 годов, среднее содержание общих липидов в мышцах увеличилось в 1.2-1.6 раза, среднее содержание водорастворимого белка в мышцах увеличилось в 1.3-1.5 раза. Анализ индивидуальной изменчивости выявил умеренную степень варьирования показателей водорастворимого белка и общих липидов, составивших 15 и 40% соответственно, что свидетельствовало об отсутствии тотальных растрат энергетических субстратов (липидов и белков) на процесс миграции рыб и созревание гонад. Степень варьирования линейно-весовых параметров (длина и масса) рыб была умеренной, составив 9 и 32% соответственно, что свидетельствовало об относительной однородности производителей сельди-черноспинки исследованных выборок. Ранние исследования сельди-черноспинки (Казанчев, 1981) во время весенней миграции на нерест выявили более высокое содержание липидов в мышцах – 11-18%, что в 1.3-2.2 раза превышает соответствующий показатель у изученной сельди-черноспинки весной 2015 года. В современных экологических условиях сельдь-черноспинка не набирает того предела резервных общих липидов, на которые способны особи этого вида (по приведенным данным литературы). Возможно, исследованный вид рыбы не накапливает энергетические вещества (белки и липиды) в мышцах, а расходует их на поиск пищи и выведение токсинов из организма.

Для оценки физиолого-биохимического состояния сельди-черноспинки (*Alosa kessleri kessleri*) было отобрано 131 экз. особей (♀ 118, ♂ 13) III; III-IV; IV-V; V СЗГ во время миграции рыб на нерест на тоневом участке «Балчуг» р. Волги, расположенном на 86 км выше г. Астрахани, в апреле-мае 2012-2015 годов.

Цель: изучить динамику физиолого-биохимических параметров сельди-черноспинки во время миграции рыб на нерест в апреле-мае 2012-2015 годов.

Материалом для физиолого-биохимического анализа служили пробы белых мышц, в которых исследовано содержание общих липидов (Zollner, Kirsch, 1962; Седов и др., 1972) и водорастворимого белка (Бродский и др., 1974).

Функциональное состояние организма рыбы и готовность к нересту зависит от количества запасных резервных субстратов (белков и липидов).

Выборки 2012-2015 годов характеризовались сопоставимыми линейно-весовыми показателями и зрелостью гонад. В выборке 2015 года коэффициент варибельности линейно-весовых показателей (длина и масса) низкий по длине (9%) и умеренный по массе (32%).

По результатам биохимического анализа отмечено ежегодное возрастание среднего количества общих липидов и водорастворимого белка в пробах мышц исследованных особей. В выборке 2015 года, по сравнению с выборками 2012-2014 годов, среднее содержание общих липидов в мышцах увеличилось в 1.6, 1.5 и 1.2 раза соответственно. Среднее содержание водорастворимого белка в мышцах увеличилось в 1.5, 1.4 и 1.3 соответственно.

Ранние исследования сельди-черноспинки (Казанчеев, 1981) во время весенней миграции на нерест выявили более высокое содержание липидов в мышцах – 11-18%, что в 1.3-2.2 раза превышает соответствующий показатель у сельди, исследованной весной 2015 года.

Анализ индивидуальной изменчивости выборки 2015 года выявил низкую степень варьирования показателя водорастворимого белка, составив 15%. Это свидетельствовало о небольшом расходе белковой составляющей мышц на процесс миграции производителей и созревание гонад. В то время как степень варьирования показателя общих липидов составила 40%, свидетельствуя об умеренных тратах общих липидов на процесс миграции рыб, что закономерно.

В 1960-2000 года у этого вида сельдей среднее содержание водорастворимого белка составляло 45-60 мг/г (Гераскин, Металлов, 2006) и было сопоставимо с показателями весенних выборок 2012-2014 годов. В выборке 2015 года наблюдали положительную тенденцию увеличения в 1.6-1.2 раза количества ВРБ в мышцах по сравнению с данными 1960-2000 годов.

В современных экологических условиях сельдь-черноспинка не накапливает возможного предела резервных общих липидов, на которые способны особи этого вида (по приведенным литературным данным), что, вероятно, связано с недостаточной кормовой базой, токсическими условиями среды обитания, дополнительным расходом энергии на поиск пищи и выведение токсинов из организма.

Таким образом, по результатам исследований физиолого-биохимического состояния сельди-черноспинки, выловленной на тонево-м участке «Балчуг», отмечена наметившаяся положительная тенденция увеличения показателей количества ОЛ и ВРБ в мышцах в выборках 2014-2015 годов.

### **Список литературы**

*Бродский В.Я., Гаузе Г.Г., Детлаф Т.А., 1974. Методы биологии развития. Экспериментально-эмбриологические, молекулярно-биологические и цитологические. М.: Изд-во «Наука», 1974. 619 с.*

*Гераскин П.П., Металлов Г.Ф., Журавлева Г.Ф., Аксенов В.П., Дубовская А.В., Шигапова А.В., Синицына Т.А., Григорьев В.А., Магзанова Д.К., Чухонкина Г.А., Покусаев В.А., 2006. Особенности физиологического состояния осетровых, сельдевых и карповых рыб в современных условиях загрязненности Каспийского моря // Рыбохозяйственные исследования на Каспии. Результаты НИР за 2004 г. Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 2006. 616 с.*

*Казанчеев Е.Н., 1981. Рыбы Каспийского моря. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 168с.*

*Седов С.И., Румянцев В.Д., Кривасова С.Б., Юсупов М.К., 1972. Некоторые особенности жирового и белкового обмена у каспийского тюленя в естественных условиях и при экспериментальном голодании // Энергетические аспекты роста и обмена водных животных. Киев: Наукова думка, 1972. С. 198–200.*

*Zollner N., Kirsch K., 1972. Colorimetric method for determination of total lipids // Zeitschrift fur die gesamte experimentelle Medizin. № 135. P. 545–550.*

### Оценка физиолого-биохимических показателей молодежи рыб при нагреве и акклимации к повышенной температуре

**Резюме.** Экспериментально определены значения критического термического максимума (КТМ) при различных скоростях нагрева у четырех видов рыб: от 0.08 до 46°C/ч у молодежи речного окуня и карпа и от 4 до 40°C/ч у серебряного карася и головешки-ротана. Для речного окуня и карпа определены активность фермента ацетилхолинэстеразы (АХЭ) и водорастворимой фракции белка (ВРБ). У серебряного карася и карпа исследованы гематологические показатели. Показатели АХЭ и ВРБ, а также гематологические показатели, характеризующие адаптационные возможности рыб, в перспективе могут быть использованы в качестве биологических маркеров теплового воздействия.

Физиолого-биохимические явления и процессы, происходящие непосредственно в зоне сублетальных значений температуры, обычно выше 30°C, у границы жизнедеятельности гидробионтов, во многом остаются малоизученными (Голованов, 2013). Сравнительно мало данных и о том, каким образом ферментные системы рыб реагируют на быстрое повышение температуры в диапазоне от оптимальной до летальной. Известно всего несколько работ, в которых исследовано влияние скорости нагрева воды на активность пищеварительных ферментов в разные сезоны года (Golovanova et al., 2013).

*Цель работы* – определить значение КТМ при различной скорости нагрева у 4-х видов рыб, при этом оценить активность фермента ацетилхолинэстеразы (АХЭ) и водорастворимой фракции белка (ВРБ) у речного окуня и карпа, а также выявить изменение гематологических показателей у серебряного карася и головешки-ротана.

Использованы стандартные методы исследования термоустойчивости рыб (Голованов, 2013), определения АХЭ и ВРБ (Чуйко, Козловская, 1989) и оценки показателей красной и белой крови рыб (Иванов, 2003).

Значения КТМ у двухлетков карпа при всех скоростях нагрева были выше, чем у остальных рыб. Самые низкие значения КТМ отмечены у речного окуня.

Характер зависимости активности АХЭ в мозге двух видов рыб (речной окунь, карп) от скорости нагрева в целом одинаков. С увеличением интенсивности нагрева активность фермента немного снижается (достоверно лишь у карпа) по сравнению с контролем, но в целом, в интервале 0.08–8°C/ч остается примерно на одном уровне. Начиная со скорости 16°C/ч, она достоверно выше в 1.5–2 раза контрольных значений, сохраняясь на этом уровне и при 32°C/ч, но при скорости 46°C/ч снова падает до уровня контроля. Характер изменений ВРБ у обоих видов также сходный: его значения сначала медленно, а затем заметно снижаются при скорости нагрева от 0.08 до 8°C/ч. При дальнейшем увеличении скорости нагрева содержание ВРБ растет и при скорости 32 и 46°C/ч становится достоверно выше контрольных значений примерно в 2 раза.

Исходя из данных по активности АХЭ и содержанию ВРБ, можно заключить, что в диапазоне скоростей нагрева до 8°C/ч организм рыб достаточно легко адаптируется к возрастающей температуре среды. При этом уровень активности фермента поддерживается за счет снижения синтеза белка. Однако дальнейшее повышение скорости нагрева приводит к усилению холинергических биосинтетических процессов в мозге рыб, что отражается на увеличении активности АХЭ и содержания белка. Прямая зависимость интенсивности синтеза белка в мозге карася (Lajtha, Shershen, 1975) и АХЭ в мозге окуня (Чуйко, Козловская, 1989) от температуры акклимации рыб были показаны ранее. Можно предположить, что возрастание значений обоих показателей при скорости нагрева 16 и 32°C/ч является стрессорной реакцией

рыб в ответ на изменение температуры среды, поскольку известно, что такие же изменения наблюдаются у окуня при стрессе, индуцированном адреналином (Pavlov et al., 1994).

В полученных данных при исследовании клеток белой и красной крови двух видов рыб (серебряного карася и головешки-ротана) обнаружены достоверно отличающиеся от контроля лимфопения (уменьшение относительного количества лимфоцитов) и нейтрофилия (увеличение долей незрелых нейтрофилов – миелоцитов и метамиелоцитов), тогда как изменения зрелых форм нейтрофилов – палочко- и сегментоядерных нейтрофилов не наблюдали. Выявленные изменения свидетельствуют о том, что клетки белой крови реагируют на резкое повышение температуры реакцией неспецифического стресса, как на действие любых неблагоприятных абиотических и биотических, в том числе антропогенных, факторов (Микряков, 2001). Следует отметить, что доли бластных форм клеток при наименьшей скорости нагрева незначительно повышаются относительно контроля, а потом резко падают. Это может быть связано с дозреванием клеток и выбросом их в кровяное русло при повышении температуры воды.

Среди показателей красной крови следует отметить исчезновение из периферического русла незрелых форм клеток. Данное явление также может быть связано с дозреванием эритроцитов или ускоренным выбросом зрелых клеток из «депо» в селезенке. Достоверное увеличение количества амитозов среди эритроцитов можно считать компенсаторной реакцией красной крови на дефицит кислорода при увеличении температуры воды. Подобное явление описано у карасей, обитающих в дефицитных по содержанию кислорода водоемах (Иванова, 1983). Увеличение количества поврежденных клеток на мазках крови указывает на уменьшение резистентности мембран клеток при резком повышении температуры. Отличия в развитии реакции у серебряного карася и головешки-ротана при разных температурах нагрева могут быть связаны с их различной чувствительностью к гипоксии при повышении температуры воды.

Таким образом, исследование активности АХЭ и содержания ВРБ, а также гематологические показатели у рыб при разной скорости нагрева воды позволяют по-новому оценить, как адаптационные возможности, так и физиолого-биохимические механизмы реакций водных животных в процессе температурных адаптаций.

### **Список литературы**

Голованов В.К., 2013. Температурные критерии жизнедеятельности пресноводных рыб. Москва: Полиграф-Плюс, 2013. 300 с.

Микряков В.Р., Балабанова Л.В., Заботкина Е.А., Лапирова Т.Б., Попов А.В., Силкина Н.И., 2001. Реакция иммунной системы рыб на загрязнение воды токсикантами и закисление среды. М.: Наука, 2001. 126 с.

Иванов А.А., 2003. Физиология рыб. М.: Мир, 2003. 284с.

Иванова Н.Т., 1983. Атлас клеток крови рыб. Сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 110 с.

Чуйко Г.М., Козловская В.И., 1989. Сезонные изменения активности ацетилхолинэстеразы мозга окуня (*Perca fluviatilis* L.) // Физиология и токсикология гидробионтов. Ярославль: ЯрГУ, 1989. С. 27–38.

Golovanova I.L., Golovanov V.K., Smirnov A.K., Pavlov D.D., 2013. Effect of ambient temperature increase on intestinal mucosa amylolytic activity in freshwater fish // Fish Physiology and Biochemistry. V. 39. Iss. 6. P. 1497–1504.

Lajtha A., Shershen H., 1975. Changes in the rates of protein synthesis in the brain of goldfish at various temperatures // Life Sciences. V. 1. P. 1861–1868.

Pavlov D.F., Chuiko G.M., Shabrova A.G., 1994. Adrenaline induced changes of acetylcholinesterase activity in the brain of perch (*Perca fluviatilis* L.) // Comparative Biochemistry & Physiology. V. 108C. № 1. P. 113–115.

### Влияние временного смещения суточной геомагнитной вариации на эмбрионы плотвы *Rutilus rutilus* L.

**Резюме.** Исследованы поведенческие реакции у личинок, мальков и сеголетков плотвы после экспозиции эмбрионов в естественном геомагнитном поле и в условиях смещения суточной вариации геомагнитного поля на 6 и 12 часов относительно смены дня и ночи. Отмечено увеличение двигательной активности рыб, раннее развитие которых походило в условиях смещения суточной вариации геомагнитного поля на 12 часов относительно смены дня и ночи.

Большое количество публикаций описывает биологические эффекты геомагнитных бурь. Одним из возможных механизмов влияния бурь на живые системы называют нарушение циркадных биологических ритмов, водителем для которых, по мнению некоторых исследователей, выступает регулярная суточная вариация геомагнитного поля. В рамках данной гипотезы геомагнитная буря воспринимается организмом как очень сильное возмущение суточной вариации геомагнитного поля в ряду регулярных суточных флуктуаций, не согласующееся с естественным циклом освещенности – другим синхронизатором циркадных биологических ритмов. Биологические эффекты геомагнитных бурь при этом возникают вследствие десинхронизации двух водителей ритма.

Если такой механизм действительно имеет место в живых системах, то биологические эффекты, должны также проявляться при смещении суточной геомагнитной вариации относительно смены дня и ночи. Для того, чтобы подтвердить или опровергнуть это предположение, мы экспонировали эмбрионы плотвы в смещениях суточной геомагнитной вариации относительно смены дня и ночи и, впоследствии, оценили поведенческие реакции личинок, мальков и сеголетков, развившихся из экспонированных эмбрионов, в крестообразном лабиринте.

Половые продукты были получены от 8 самок и 10 самцов плотвы из маточного стада, содержащегося на прудовой базе «Сунога» ИБВВ РАН. Осеменение проводилось сухим способом, после чего икру помещали в кристаллизаторы с речной водой (около 3 тыс. икринок в каждом варианте опыта), которую меняли дважды в сутки. Развитие эмбрионов проходило при температуре 15-19°C.

В качестве экспериментального воздействия использовали 2 варианта десинхронизации водителей циркадных биологических ритмов: 1) смещение суточной геомагнитной вариации на 6 часов относительно смены дня и ночи (ночные геомагнитные события происходят утром); 2) смещение суточной геомагнитной вариации на 12 часов относительно смены дня и ночи (ночные геомагнитные события происходят днём). Для этого в магнитоспокойный период непосредственно перед выполнением экспериментов (с 7 по 11 мая 2015 года) в лаборатории была проведена предварительная регистрация суточной геомагнитной вариации трехкомпонентным магнитометром НВ0302А (НПО «Энт», Россия). Затем флуктуации магнитного поля, соответствующие суточной геомагнитной вариации воспроизводили в установке для генерации и компенсации магнитных полей (Крылов и др., 2011). Зарегистрированный сигнал суточной геомагнитной вариации подавался по двум каналам цифро-аналогового преобразователя на отдельные системы колец Гельмгольца с задержкой 6 и 12 часов. При этом естественные суточные вариации геомагнитного поля внутри систем колец Гельмгольца были скомпенсированы в режиме реального времени. Экспозицию проводили с 12 по 19 мая 2015 года. Геомагнитная обстановка в это время была преимущественно спокойной: среднее значение k-индекса, регистрируемого Центром



прогнозов космической погоды ИЗМИ РАН (приблизительно в 260 километрах от места проведения экспериментов), составило 2.63 (стандартная ошибка 0.13, n=64).

Сразу после оплодотворения, два кристаллизатора с развивающимися эмбрионами помещали в рабочий объем двух систем колец Гельмгольца экспериментальной установки, где воспроизводились условия смещения суточной геомагнитной вариации на 6 и 12 часов относительно смены дня и ночи. В этих условиях эмбрионы плотвы развивались в течение 8 дней от оплодотворения до массового вылупления предличинок. Контрольный вариант находился в естественных условиях (суточная геомагнитная вариация не смещена относительно смены дня и ночи). Во время экспериментов естественный ход смены дня и ночи сохранялся не модифицированным. Освещенность в местах расположения кристаллизаторов была одинаковой.

Поведенческие реакции были исследованы в трёх возрастных группах *R. rutilus*, подвергавшихся воздействию смещения суточной геомагнитной вариации в эмбриогенезе. Сразу после экспозиции поведенческие тесты были проведены с личинками плотвы (11-12 день индивидуального развития). По 50 личинок из каждой группы поместили в отдельные аквариумы. Здесь они развивались в течение 30 дней, затем эта молодь плотвы была использована для поведенческих тестов. Кроме этого, по 500 личинок сразу после экспозиции поместили в пруды на стационаре «Сунога» на 4 месяца. После этого сеголетки из прудов также были использованы для поведенческих тестов.

Для поведенческих тестов использовали крестообразные лабиринты из белого пластика, размеры которых зависели от размеров исследуемых рыб. Коридоры лабиринта ориентировали по сторонам света. Лабиринт был скрыт от экспериментатора и внешних ориентиров ширмой из белого матового вспененного полиэтилена. Над лабиринтом размещался щит из белого пластика с отверстием для объектива видеокамеры, вырезанным в центре. Каждую рыбу помещали в лабиринт только один раз. Видеозапись передвижений личинок и молоди производили в течение 15 мин, сеголетков в течение 25 мин с помощью видеокамеры Panasonic-НС-Х900М (Япония). Считали, что рыба посетила коридор, если её голова пересекала условную черту, отделяющую его от центральной площадки. Перед проведением каждого теста, до посадки очередной рыбы, лабиринт поворачивали на 90° против часовой стрелки для устранения влияния возможных ориентиров внутри арены на получаемые результаты. После каждого теста воду в лабиринте заменяли.

При анализе видеозаписи передвижения рыб в лабиринте регистрировали общее число и частоту посещений каждого из четырех коридоров. Для оценки влияния исследуемых факторов на предпочтение посещать отдельные коридоры использовали дисперсионный анализ. Двигательную активность определяли как общее число посещений рыбой всех коридоров лабиринта.

Значимых различий между контролем и вариантами опыта в выживаемости эмбрионов от оплодотворения до начала вылупления обнаружено не было. Максимальная смертность во всех вариантах наблюдалась в первые сутки после оплодотворения, что типично для раннего развития карповых рыб. Со вторых суток доля живых икринок снижалась незначительно, составив к началу вылупления около 60%.

Личинки, молодь или сеголетки плотвы из контрольных и опытных вариантов не показали достоверного предпочтения отдельных коридоров в крестообразном лабиринте. Однако мы наблюдали достоверное увеличение двигательной активности у рыб из варианта 12-часового смещения суточной геомагнитной вариации по сравнению с контролем и вариантом 6-часового смещения во всех возрастных группах.

Следует сказать, что ранее, в экспериментах 2013 года, сеголетки плотвы, подвергавшиеся действию имитации умеренной геомагнитной бури в эмбриогенезе, также посещали коридоры крестообразного лабиринта в случайной последовательности (Осипова и др., 2016). Увеличение же двигательной активности у плотвы, подвергавшейся воздействию смещения суточной геомагнитной вариации на 12 часов относительно смены дня и ночи, согласуется с отмеченными ранее эффектами у другого представителя карповых рыб *Danio*

*rerio*. Данио, развившиеся из экспонированных в сильной магнитной буре эмбрионов, не отличались от контрольных рыб скоростью передвижений в кольцевом коридоре, но быстрее выходили из стартового отсека в аквариум (Романовский и др., 2014). Авторы предполагают, что экспозиция эмбрионов в буре повлияла на устойчивость к стрессу, вызванному новой обстановкой, и, как следствие, стимулировала исследовательскую активность (Романовский и др., 2014). Подобное повышение исследовательской активности, вероятно, могло быть причиной увеличения числа посещений коридоров лабиринта в данном исследовании. При этом следует отметить онтогенетическую устойчивость эффекта.

Таким образом, сравнение результатов, полученных в настоящем эксперименте, с имеющимися данными о влиянии имитации геомагнитных бурь на эмбрионы карповых рыб, позволяет говорить о сходстве наблюдаемых эффектов. При этом наиболее выраженные эффекты отмечались при максимальном 12 часовом смещении суточной геомагнитной вариации относительно смены дня и ночи. Полученные результаты могут быть рассмотрены в качестве подтверждения гипотезы о том, что геомагнитная буря воспринимается организмом как сильная вариация геомагнитного поля в ряду регулярных суточных флуктуаций, которая случилась в необычное время относительно первичного синхронизатора циркадных биологических ритмов – смены дня и ночи.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-34-00187-мол\_а.

### Список литературы

Крылов В.В., Зотов О.Д., Клайн Б.И., 2011. Устройство для генерации магнитных полей и компенсации локального низкочастотного магнитного поля (А.С. RU 108 640 U1, Россия) // Изобретения, полезные модели: Официальный бюллетень № 26.

Осипова Е.А., Непомнящих В.А., Крылов В.В., Чеботарева Ю.В., 2016. Исследовательское поведение молоди плотвы *Rutilus rutilus* (L.) (Teleostei: Cyprinidae) в лабиринте после различного магнитного воздействия на эмбрионы // Биология внутренних вод. № 3. С. 89–92.

Романовский А.В., Песня Д.С., Извеков Е.И., Крылов В.В., Непомнящих В.А., 2014. Поведение самцов *Danio rerio* Hamilton после воздействия имитации магнитной бури на их эмбрионы // Биофизика. Т. 59. № 6. С. 1151–1156.

УДК 597.554.3:574

**Н.А. Панкова**

ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН», пос. Борок, Ярославская область  
e-mail: stellaria1985@yandex.ru

### Организация поведения трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus* в крестообразном лабиринте

**Резюме.** Явление спонтанного чередования при исследовании радиального лабиринта характеризуется тем, что животное старается посетить тот коридор, в котором оно не было дольше всего. Это явление объясняют тем, что животное запоминает последовательность своих перемещений. Однако существует такая стратегия поведения как обходы по периметру лабиринта, когда, поворачивая всегда в одну и ту же сторону при выходе из очередного коридора, животное по очереди посещает все коридоры. Мы выяснили, что наличие спонтанного чередования у колюшки зависит от количества обходов лабиринта, и поэтому не всегда может объясняться памятью о последовательности перемещений, так как для обхода животному достаточно помнить лишь направление поворота.

При исследовании поведения животных в радиальных лабиринтах было замечено, что животное при обследовании лабиринта старается зайти в новый или не посещавшийся дольше всего коридор. Это явление было названо спонтанным чередованием. Оно отражает стремление животного к новизне, способствует более быстрому и полному изучению лабиринта. Считается, что животное запоминает свой путь и, при выходе из очередного коридора старается зайти в тот, который не посещала дольше всего. В этом случае при посещении четырех коридоров, вероятность того, что все эти 4 коридора будут разными, выше, чем при случайном порядке посещений коридоров. Спонтанное чередование обнаружено в поведении крыс (Hlíňák, Krejčí, 2006) и крабов (Ramey et al., 2009).

Существуют также простые стратегии, характерные для исследовательского поведения животных в лабиринте. Они сводятся к определенному порядку посещения коридоров, например, к обходу лабиринта по часовой стрелке или против нее, а также челночным перемещениям между одними и теми же двумя коридорами. Обходы характеризуются тем, что выйдя из очередного коридора, животное всегда поворачивает направо или налево и таким образом движется в одном направлении. Такой обход известен у грызунов (Dubreuil et al., 2003) и рыб (Roitblat et al., 1982). При челночных перемещениях животное всегда возвращается в предыдущий коридор. Челночные перемещения наблюдались у крыс (Hlíňák, Krejčí, 2006) и рыб (Непомнящих и др., 2016).

Во время обходов по периметру лабиринта животное поочередно посещает все коридоры. Логично предположить, что в этом случае будет наблюдаться явление спонтанного чередования. Однако во время обхода животному не обязательно помнить весь пройденный путь, достаточно всегда поворачивать в одну и ту же сторону. Цель нашей работы – проверить, может ли неслучайный уровень спонтанного чередования у трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus* являться лишь следствием реализации такой стратегии как обходы.

*Материал и методы.* Эксперименты проведены с пресноводной формой трехиглой колюшки в сентябре 2015 года. Экспериментальная установка представляла собой лабиринт с четырьмя слепыми коридорами, расходящимися от центра под прямым углом друг к другу. Каждую рыбу по отдельности помещали в центр лабиринта и вели видеозапись её передвижений в течение 25 мин. Уровень спонтанного чередования коридоров определяли с помощью метода, широко используемого разными авторами (Lennartz, 2008). Всю последовательность коридоров делили на перекрывающиеся пятерки, если в серии из 5 посещений рыба посетила все 4 коридора, то этой серии присваивалось значение 1, в противном случае – 0. Общее число пятерок равно числу всех посещений в ходе наблюдения минус четыре. Уровень чередования определяли, как отношение числа пятерок, в которых рыба зашла во все 4 коридора, к общему числу всех пятерок, умноженное на 100%. Полученную величину сравнивали с уровнем спонтанного чередования, ожидаемом при случайной последовательности посещений коридоров: 44,44% (Lennartz, 2008). Уровень спонтанного чередования для каждой рыбы вычисляли в двух вариантах: 1) для всей последовательности посещений; 2) только на тех участках последовательности, где не было обходов или челночных перемещений, а последовательность посещений коридоров выглядела беспорядочной.

Для определения количественного соотношения разных стратегий всю последовательность посещений коридоров разделяли на части, соответствующие обходам по периметру, челночным передвижениям, а также сериям посещений, в которых не было видимого порядка. Обход засчитывался, если рыба обходила по периметру не менее 4-х коридоров (1234 или 4321). Минимальным челночным перемещением считался переход между двумя коридорами, включающий не менее 4-х посещений (1212 или 2424). Долю той или иной стратегии определяли как отношение количества посещений коридоров при реализации стратегии к общему числу посещений всех коридоров в течение эксперимента.

*Результаты и обсуждение.* Исследовательское поведение колюшки организовано определенным образом. При обследовании лабиринта она чередует разные стратегии

поведения и большую часть времени (около 60%) занимают обходы по периметру лабиринта. Доля челночных перемещений существенно ниже.

Уровень спонтанного чередования у колюшек, вычисленный для всей последовательности посещений коридоров достоверно выше ожидаемого значения при случайном посещении (58%,  $p=0.002$ ). Однако, при рассмотрении серий беспорядочных перемещений, уровень спонтанного чередования в них хоть и остался выше случайного, однако уже значимо не отличался от него (47%,  $p>0.5$ ). Учитывая, что обходы по периметру занимали около 60% времени, проведенного рыбами в лабиринте, можно сделать вывод, что спонтанное чередование у колюшек объясняется не тем, что животное запоминает свой путь и старается выбрать незнакомый ей коридор, а большей долей обходов по периметру лабиринта. Рыба постоянно поворачивает в одну и ту же сторону и тем самым предостерегает себя от попадания в недавно посещенный коридор.

*Заключение.* Уровень спонтанного чередования у колюшек зависит от доли разных стратегий в поведении рыб. Чем больше обходов по периметру, тем выше уровень чередования, и соответственно, чем больше челночных перемещений, тем он ниже. Таким образом, высокий уровень спонтанного чередования не обязательно свидетельствует об использовании рыбами памяти о пройденном пути. Рыбе достаточно помнить направление поворота, чтобы каждый раз оказываться в новом коридоре или коридоре, который не посещала дольше всех.

### Список литературы

- Непомнящих В.А., Панкова Н.А., Осипова Е.А., Извеков Е.И., Крылов В.В., 2016.* Спонтанная организация поведения животных в незнакомой обстановке // XVIII Международная научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2016». Лекции по нейроинформатике. М.: НИЯУ МИФИ, 2016. С.171–192.
- Dubreuil D., Tixier C., Dutrieux G., Edeline J.M., 2003.* Does the radial arm maze necessarily test spatial memory? // *Neurobiology of learning and memory*. V. 79. № 1. P. 109–117.
- Hlíňák Z., Krejčí I., 2006.* Spontaneous alternation behaviour in rats: kynurenic acid attenuated deficits induced by MK-801 // *Behavioural Brain Research*. V. 168. №. 1. P. 144–149.
- Lennarz R.C., 2008.* The role of extramaze cues in spontaneous alternation in a plus-maze // *Learning and Behavior*. V. 36. № 2. P. 138–144.
- Ramey P. A., Teichman E., Oleksiak J., Balci F., 2009.* Spontaneous alternation in marine crabs: Invasive versus native species // *Behavioural Processes*. V. 82. № 1. P. 51–55.
- Roitblat H. L., Tham W., Golub L., 1982.* Performance of *Betta splendens* in a radial arm maze // *Animal Learning and Behavior*. V. 10. №. 1. P. 108–114.

УДК 639.21:597.556.331.1

**А.А. Паюта**

ФГБОУ ВО «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия», г. Ярославль  
e-mail: kostyleva@yarcx.ru

### Химический состав мышечной ткани леща *Abramis brama* (L.) Рыбинского водохранилища

**Резюме.** При изучении химического состава мышечной ткани леща Рыбинского водохранилища выявлено, что количество общей воды составляет 78.8%, сухого вещества 21.2%, из него белков – 17.1%, липидов – 1.5%, минеральных веществ – 1.2 %, БЭВ – 1.4%. При сравнении групп леща, отличающихся по полу, установлено, что изменения данных компонентов у самок и самцов незначительны. С повышением возраста лещей количество воды и белка в мышечной ткани уменьшается, сухое вещество, липиды и минеральные вещества увеличиваются.

Исследование химического состава мышечной ткани лещей имеет теоретическую и практическую значимость. Данный вид рыб является широко распространенным объектом исследований. Лещ занимает ведущее место по численности среди промысловых рыб Рыбинского водохранилища, а также подвергается влиянию антропогенной нагрузки, которая воздействует не только на состояние рыб, но и нарушает обменные процессы в их организме.

Материалом исследования служили лещи, отобранные в конце сентября – начале октября 2013 года со стандартных станций траления Рыбинского водохранилища, тралом экспедиционного судна «Академик Топчиев». Было исследовано 80 половозрелых, примерно одноразмерных особей. После поимки производилось определение длины и массы рыбы, зрелости гонад, массы порки. Мышцы рыб иссекали вдоль позвоночника, определяли их массу, замораживали и хранили при  $-8^{\circ}\text{C}$  до проведения анализов.

В мышечной ткани леща определяли количество воды, сухого вещества, жира, белка, золы, безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ). Количество воды и сухого вещества устанавливали с помощью двухступенчатого метода определения влаги; жира – по методу обезжиренного остатка в аппарате Сокслета; белка – методом Кьельдаля. Для определения зольных веществ использовали гравиметрический метод сжигания навески в муфельной печи при температуре  $550^{\circ}\text{C}$ . Количество БЭВ вычисляли по разнице между 100% и суммой процентов общей воды, сырого белка, жира, золы (Флёрова, 2014). Данные статистической обработки были получены с помощью программы Excel 2007 и представлены в виде средних значений и их ошибок ( $M \pm m$ ).

В результате химического анализа мышечной ткани всех исследованных особей наибольшее значение имеет содержание воды 78.79%, соответственно сухое вещество достигает 21.21%. Из среднего количества сухого вещества белок составляет 17.12%, жир – 1.50%, БЭВ – 1.38%, зольные вещества – 1.21%.

У групп рыб, отличающихся по полу, наибольшие различия химического состава выявлены в половых продуктах в процессе их созревания (Сидоров, 1977). Содержание показателей обмена веществ в мышцах самцов и самок леща оказалось близко (таблица 1).

Таблица 1. Химический состав мышечной ткани самцов и самок лещей

Половозрастная группа	Показатели обмена веществ, %					
	Общая вода	Сухое вещество	Белок	Жир	Минеральные вещества	БЭВ
Самцы половозрелые	78.7±0.21	21.3±0.21	17.15±0.27	1.52±0.08	1.16±0.06	1.52±0.20
Самки половозрелые	79.0±0.22	21.0±0.22	17.09±0.16	1.48±0.12	1.26±0.07	1.21±0.12

По количеству общей воды самки превосходят самцов на 0.3%, тогда как самцы содержат сухого вещества больше, чем особи женского пола. Количество белка и жира у групп отличается на сотые доли, тем не менее, содержание данных веществ в мышечной ткани самок меньше, чем у самцов. Зольных веществ в мышцах самцов леща на 0.1% меньше, чем у самок, а БЭВ на 0.31% больше. Достоверных отличий между показателями обмена веществ в мышцах самцов и самок выявлено не было.

Возрастные изменения накопления компонентов обмена веществ в мышечной ткани лещей Рыбинского водохранилища были выражены в большей степени (таблица 2).

Таблица 2. Химический состав мышечной ткани разных возрастных групп лещей

Возраст особей	Показатели обмена веществ, %					
	Общая вода	Сухое вещество	Белок	Жир	Минеральные вещества	БЭВ
5+	79.24±0.91	20.76±0.91	17.76±0.38	0.87±0.25	0.97±0,01	1.17±1.03
6+	79.95±0.18	20.05±0.18	16.96±0.39	0.80±0.17	1.02±0.03	1.28±0.33

7+	78.99±0.54	21.01±0.54	17.10±0.46	1.18±0.12	1.06±0.09	1.67±0.42
8+	78.63±0.28	21.37±0.28	17.45±0.33	1.35±0.10	1.17±0.09	1.39±0.21
9+	78.35±0.27	21.65±0.27	17.52±0.28	1.65±0.11	1.40±0.09	1.08±0.22
10+	78.73±0.25	21.27±0.25	16.77±0.31	1.83±0.18	1.18±0.08	1.50±0.08
11+	80.54±0.92	19.46±0.92	15.12±0.55	1.31±0.18	0.89±0.12	2.14±0.59

У лещей возраста 5+ количество общей воды составляет 79.24%, в возрасте 9+ этот показатель уменьшается до 78.35%, а с 10 лет содержание общей воды начинает увеличиваться. Соответственно количество сухого вещества до возраста 10+ увеличивается, а после наблюдается его снижение.

Максимальное значение белка в мышцах лещей достигается в возрасте 5+, минимальное – в 11+. За период от 5 до 11 лет у лещей наблюдается смена роста и понижения белка в мышечной ткани.

Никольским В.Г. (1963) было выявлено, что с возрастом у рыб возрастает количество жира в мышечной ткани. Нами установлено, что с 6 до 10 лет жир у лещей увеличивается, но в возрасте 11+ наблюдается резкое уменьшение данного показателя.

Изменения содержания минеральных веществ в мышцах лещей Рыбинского водохранилища схоже с накоплением жира: до возраста 10+ наблюдается их увеличение, а в возрасте 11+ происходит снижение данного показателя.

Зависимости БЭВ, представляющих углеводистую часть, от возраста рыбы у групп лещей, отличающихся по возрасту, выявлено не было.

Достоверных отличий в химическом составе мышечной ткани разных возрастных групп лещей также не обнаружено.

Обобщив результаты исследований, можно сделать следующие выводы:

1) Показатели обмена веществ в мышцах лещей Рыбинского водохранилища, отличающихся по полу, оказались близки. При сравнении данных величин в мышечной ткани самцов и самок, достоверной зависимости от пола рыб обнаружено не было.

3) С возрастом в мышечной ткани леща происходит уменьшение количества воды в мышцах рыб в связи с накоплением сухого вещества. С десятилетнего возраста происходит уменьшение количества сухого вещества, белка и минеральных веществ; в возрасте 11+ выявлено резкое сокращение жира в мышечной ткани леща.

### Список литературы

- Никольский Г.В.*, 1963. Экология рыб. М.: Высшая школа, 1963. 368 с.
- Сидоров В.С.*, 1977. Сравнительная биохимия рыб и их гельминтов. Липиды, ферменты, белки. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1977. 160 с.
- Флёрова Е.А.*, 2014. Физиолого-биохимические методы исследования рыб. Учебно-методическое пособие. Ярославль: Изд-во ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА», 2014. 40 с.

### Исследование влияния краткосрочного повышенной солености воды на биомаркеры окислительного стресса пресноводного двустворчатого моллюска *Anodonta cygnea*

**Резюме.** Проведено исследование биохимических маркеров пресноводного моллюска *Anodonta cygnea* в ответ на краткосрочное изменение солености воды (концентрация NaCl). Хлорид натрия не оказывает влияния на содержание белка при краткосрочном воздействии. Хлорид натрия увеличивает аккумуляцию ПОЛ в жабрах *Anodonta cygnea*, что указывает на то, что окислительный стресс – это один из механизмов токсичности NaCl у пресноводных моллюсков. Изменение активности ферментов АОС (GST, GR, CAT) и повышение концентрации антиоксиданта GSH в жабрах *Anodonta cygnea*, подтверждает их важную роль в защите пресноводного моллюска от NaCl-индуцированного стресса.

Использование биохимических маркеров – это перспективный метод оценки состояния пресноводных экосистем. Биомаркеры отражают биодоступность поллютантов в среде и эффекты от их воздействия на биоту. Биомаркеры окислительного стресса предоставляют более полную и биологически более релевантную информацию о воздействии токсичных поллютантов на здоровье организма (Faria et al., 2009).

За последние годы в литературе накоплено достаточно данных об особенностях окислительного стресса у многих видов двустворчатых моллюсков в условиях загрязнения. Однако, следует учитывать, что при оценке действия поллютантов в полевых условиях на окислительный стресс, может накладываться отпечаток (Faria et al., 2009) воздействие меняющихся абиотических и биологических факторов (сезонность, течения, соленость), что может приводить к разнонаправленной и многоуровневой ответной реакции системы антиоксидантной защиты и приносить определённые сложности в интерпретацию результатов полевых исследований. Как именно влияют абиотические факторы на биомаркеры окислительного стресса у двустворчатых моллюсков до сих пор не исследовано (Binelli et al, 2015).

*Цель данной работы* – исследование влияния изменения солености воды на динамику интенсивности образования продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и активность ферментов антиоксидантной системы (АОС) в жабрах пресноводных двустворчатых моллюсков.

*Материалы и методы.* Исследования проводились на взрослых особях двустворчатого пресноводного моллюска *Anodonta cygnea* Linn. обоего пола с длиной раковины 70-100 мм.

Эксперимент был проведен с использованием 36 моллюсков, выловленных в сентябре. В ходе экспериментов в аквариум вносили раствор NaCl (х.ч) на речной воде в концентрации 3 г/л.

В цельном гомогенате жабр определяли содержание малонового диальдегида (MDA) и восстановленного глутатиона (GSH). Супернатант использовался для определения активности каталазы, гулгатион-S-трансферазы (GST) и глутатионредуктазы (GR). Содержание белка определяли по методу Бредфорд (Морозов, 2011).

Биохимический анализ проводили на спектрофотометре Lamda 25 (Perkin Elmer, США). Каждый образец измерялся дважды.

*Выводы.* Краткосрочное изменение солености стимулировало образование ROS и усиление процессов ПОЛ у *Anodonta cygnea*. Это предполагает, что АОС не способна устранять избыток активных форм кислорода (АФК), что приводит к окислительным поражениям липидов. Но при этом окислительные процессы не настолько интенсивны, чтобы инактивировать антиоксидантные ферменты. Как следствие, произошли изменения в

функционировании системы антиоксидантной защиты (рост уровня GSH и GR), что является адаптивным компенсаторным механизмом на внесение NaCl в концентрации 3 г/л.

Биомаркеры окислительного стресса пресноводных двустворчатых моллюсков, на примере *Anodonta cygnea*, являются чувствительными показателями влияния абиотических факторов (солености) и рекомендуются нами для лабораторных токсикологических исследований.

### Список литературы

Морозов А.А., Юрченко В.В., 2011. Возможности использования биохимических маркеров для оценки влияния стойких органических загрязнителей на гидробионтов // Вода: химия и экология. № 11. С. 58–63.

Binelli C., Della Torre S., Magni M., Parolini M., 2015. Does zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) represent the freshwater counterpart of *Mytilus* in ecotoxicological studies? A critical review // Environmental Pollution. V. 196. P. 386–403.

Faria M., Carrasco L., Diez S., Riva M.C., Bayona J.M., Barata C., 2009. Multibiomarker responses in the freshwater mussel *Dreissena polymorpha* exposed to polychlorobiphenyls and metals // Comparative Biochemistry and Physiology. V. 149. P. 281–288.

УДК 594.14

А.С. Соколова

ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН», пос. Борок, Ярославская область  
e-mail: aleksandrasokol@rambler.ru

### Уровень окислительных процессов в тканях двустворчатого моллюска *Anodonta cygnea* (Linne, 1758) разных возрастных групп

**Резюме.** Представлены результаты изучения окислительных процессов в тканях (гепатопанкреас, жабры и нога) и гемолимфе двустворчатого моллюска *Anodonta cygnea* (Linne, 1798), обитающего в р. Сунога. Выявлена зависимость показателя перекисного окисления липидов (ПОЛ) от биологического возраста исследуемых особей.

Одним из основных механизмов регуляции метаболических процессов в любом организме является динамическое равновесие окислительно-восстановительного баланса, обеспечиваемое прооксидант-антиоксидантной системой (Барабой и др., 1992). При оптимальных условиях соотношение этих систем жизнеобеспечения поддерживается на стационарном минимальном уровне (Скулачев, 2009; Tian et al, 1998; Winston, 1991; Hole et al., 1995; Fiho, 1996). Антиокислительная защита осуществляется антиоксидантной системой. При воздействии негативных стресс-факторов происходит активация процессов окислительного стресса, которая связана с избыточным накоплением активных форм кислорода (АФК), и снижением активности ферментных и неферментных антиоксидантов. На морских двустворчатых моллюсках показано, что у возрастных особей снижается способность антиоксидантной системы инактивировать активные формы кислорода и уровень ферментных и неферментных антиоксидантов (Бельчева и др., 2014), но информации о возрастных изменениях у пресноводных видов отсутствует.

Цель работы – исследование уровня окислительных процессов в тканях и органах двустворчатого моллюска *Anodonta cygnea* разных возрастных групп.

Материалом для исследования послужили моллюски шести возрастных групп (4-9) собранные в декабре 2014 года на р. Сунога, протекающей на территории Ярославской области. Для биохимических исследований готовили гомогенаты тканей (жабры, мышцы и гепатопанкреас) на дистиллированной воде в соотношении 1:5 (вес к объему) и гемолимфу, полученную после центрифугирования при 600 г (3000 об./мин.) в течение 15 минут.



Интенсивность окислительных процессов в тканях оценивали по накоплению малонового диальдегида (МДА) – одного из конечных продуктов ПОЛ (Андреева и др., 1988).

Результаты исследования показали отличия уровня МДА как между разными возрастными группами, так и органами. С повышением возраста исследуемый показатель увеличивается в гемолимфе (от  $0.23 \pm 0.08$  до  $0.59 \pm 0.10$ ), жабрах (от  $2.49 \pm 0.37$  до  $4.27 \pm 1.15$ ) и гепатопанкреасе (от  $2.35 \pm 0.24$  до  $5.22 \pm 0.65$ ), а в мышцах – снижается (от  $5.23 \pm 1.64$  до  $2.91 \pm 0.77$ ). Самые низкие показатели МДА в гемолимфе, а высокие – в гепатопанкреасе и жабрах. Это обусловлено структурно-функциональными особенностями исследуемых органов. Гемолимфа двустворчатых моллюсков представляет собой защитно-транспортную циркуляторную систему в составе тканей внутренней среды, во многом отвечающую за поддержание гомеостаза (Анисимова, 2013; Cheng, 1988). Гепатопанкреас у моллюсков сочетает в себе свойства печени и поджелудочной железы, которые принимают участие в пищеварение, сопровождающееся активацией окислительно-восстановительных процессов и образованием активных кислородных метаболитов, нейтрализуют значительное количество токсических соединений. Жабры находятся в вентилирующей мантийной полости моллюска и непосредственно взаимодействуют с водной средой (Солдатов и др., 2007; Viarengo et al., 1988).

Проведенное исследование показало, что у пресноводных двустворчатых моллюсков, как и у морских с повышением возраста снижается уровень антиоксидантной защиты организма. В гепатопанкреасе и жабрах *A. sугnea* уровень МДА выше, чем в остальных органах, что связано функциональными особенностями тканей.

### Список литературы

Андреева Л.И., Кожемякин Н.А., Кишкун А.А., 1988. Модификация методов определения перекисей липидов в тесте с тиобарбитуровой кислотой // Лабораторное дело. № 11. С. 41–43.

Анисимова А.А., 2013. Морфофункциональные параметры гемоцитов в оценке физиологического состояния двустворчатых моллюсков // Биология моря. Т. 39. № 6. С. 389–399.

Барабой В.А., Брехман И.И., Голотин В.Г., Кудряшов Ю.Б., 1992. Перекисное окисление и стресс. СПб.: Изд-во Наука, 1992. 148 с.

Бельчева, Н.Н., Кудряшова, Ю.В., Истомина, А.А., Чижов, Т.Л., 2014. Возрастное изменение реакций антиоксидантных ферментов в жабрах приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* на окислительный стресс // Вопросы рыболовства. Т. 15. № 3. С. 306–313.

Скулачев В.П., 2009. Новые сведения о биохимическом механизме запрограммированного старения организма и антиоксидантной защите митохондрий // Биохимия. Т. 74. Вып. 12. С. 1718–1721.

Солдатов А.А., Гостюхина О.Л., Головина И.В., 2007. Антиокислительный ферментный комплекс тканей двустворчатого моллюска *Mytilus galloprovincialis* Lam. В норме и в условиях окислительного стресса (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. Т. 43. № 5. С. 621–628.

Cheng T.C., 1996. In vivo effects of heavy metals on cellular defense mechanisms of *Crassostrea virginica*: total and differential haemocyte counts // Journal of Invertebrate Pathology. V. 51. P. 207–214.

Fiho W.D., 1996. Fish antioxidant defences – A comparative approach // Brazilian Journal Medical and Biological Research. V. 29. № 12. P. 1735–1742.

Hole L.M., Moore M.N., Bellamy D., 1995. Age-related cellular and physiological reactions to hypoxia and hyperthermia in marine mussels // Ibid. V. 122. P. 173–178.

Tian L., Cai Q., Wei H., 1998. Alterations of antioxidant enzymes and oxidative damage to macromolecules in different organs of rats during aging // Free Radical Biology & Medicine. V. 24. № 9. P. 1477–1484.

Viarengo A., Pertica M., Canesi I., Biasi F., Cecchini G., Orunesu M., 1988. Effects of heavy metals on lipid peroxidation in mussel tissues // Marine Environmental Research. V. 24. № 1–4. P. 354–358.

Winston G.W., 1991. Oxidants and antioxidants in aquatic animals // Comparative Biochemistry and Physiology. V. 100. № 1–2. P. 173–176.

УДК 574.24

**Е.С. Соломонова**

ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь  
e-mail: solomonov83@mail.ru

### **Оценка жизнеспособности микроводорослей по вариабельности размерного спектра клеток при акклимации к различной температуре**

**Резюме.** Исследована вариабельность размерного спектра клеток накопительных культур морских водорослей на разных этапах их роста при акклимации к различной температуре. Отмечено, что изменение объёмов клеток водорослей не является существенным показателем, указывающим на деградацию культур или потерю их жизнеспособности. Коэффициент вариации клеточных размеров представляет собой более чувствительный параметр при рассмотрении гибели культур и может лежать в основе косвенного критерия, используемого для определения жизнеспособности микроорганизмов. Установлено, что высокие значения коэффициента вариации средних объёмов клеток исследуемых видов получены в стационарной фазе их роста и при низкой температуре, что свидетельствует о переходе водорослей из состояния гомеостаза в стресс и о возрастании количества мертвых и неактивных клеток.

Фотоавтотрофные микроорганизмы являются основным продуцирующим звеном водной среды, поэтому стабильность их функционирования и жизнеспособность будут в первую очередь определять устойчивость поведения всей экосистемы в целом. Маркерами жизнеспособности клеток водорослей могут выступать ее структурные и функциональные элементы, такие, как мембрана и мембранная проходимость, протеины (ферменты) и их активность, рибосомы и их функциональность, ферментативные реакции, накопление АТФ, морфологические признаки, а также изменение клеточных размеров. Стрессовые условия окружающей среды способствуют возрастанию мёртвых и неактивных клеток, что приводит к снижению жизнеспособности популяции в целом. Мертвые и неактивные клетки обладают отличными от живой клетки размерами: из-за деструктивных изменений в мембранах хлоропласта (слипание фотосинтетических мембран и увеличение интрамембранного пространства), таким клеткам свойственно разбухание пластид, прогрессирующая вакуолизация, результатом чего является деплазмолиз и изменение формы клеток (Попова и др., 2004). В связи с чем, вариабельность клеточного размера может косвенным путем указывать на изменение функционального состояния водорослей, что в сочетании с проточной цитометрией является быстрым и простым подходом в оценке их жизнеспособности.

Цель работы заключалась в определении вариабельности размерного спектра клеток водорослей, в зависимости от действия различной температуры.

В качестве объекта исследования были использованы альгологически чистые культуры диатомовой водоросли *P. tricornutum* (Bohlin, 1897) и *Chlorella vulgaris suboblonga* из коллекции отдела экологической физиологии водорослей ФГБУН ИМБИ. В ходе эксперимента водоросли культивировали на питательной среде F/2 при интенсивности света  $34.4 \text{ мкЕ} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  и температурах 10 и 20°C.

Пробы культур исследовали с помощью проточного цитометра Cytomics™ FC 500 (Beckman Coulter, США), оборудованного 488 нм однофазным аргоновым лазером, и

программным обеспечением СХР. Методика определения численности клеток на проточном цитометре опубликованы ранее (Соломонова, Муханов, 2010). Расчет объемов клеток водорослей производили в соответствии с калибровкой (Соломонова, Акимов, 2014).

Для оценки уровня изменчивости на основании коэффициента вариации использовали шкалу А.С. Мамаева (Мамаев, 1968). Достоверность результатов исследований определяли с помощью критерия Стьюдента (Лакин, 1990).

Во всех вариантах опыта временной ход увеличения концентрации клеток *Ch. vulgaris suboblonga* и *Ph. tricornutum* описывается типичной S-образной кривой. При температуре 20°C лаг-фаза была минимальной, при росте водорослей на 10°C период лаг-фазы составил восемь и семь суток для *Ch. vulgaris suboblonga* и *Ph. tricornutum* соответственно.

При акклимации *Ch. vulgaris suboblonga* к температуре 20°C не наблюдалось существенных различий в объемах клеток ( $V=45 \text{ мкм}^3$ ). Отмечалось небольшое уменьшение объемов клеток в стационарной фазе. Средние значения объемов клеток *Ch. vulgaris suboblonga* при адаптации к температуре 10°C были в 1.5 раза выше в лаг-фазе, что связано с задержкой клеточного деления роста микроводорослей. По мере роста культуры объем клеток оставался неизменным и соответствовал объему клеток культуры, адаптированной к 20°C.

Средние значения объемов клеток *Ph. tricornutum*, адаптированной к низкой температуре были в 2 раза выше, чем при температуре 20°C, что, возможно, также объясняется задержкой клеточного деления.

Метод проточной цитометрии позволяет определить дисперсию исследуемых групп водорослей, как по размерам (боковое рассеяние FS), так и по автофлуоресценции клеток (FL4). Об увеличении размеров клеток водорослей свидетельствуют сдвиги кластеров вправо в системе координат FS-FL4. О величине дисперсии исследуемых параметров можно судить по «вытянутости» кластера по осям абсцисс (FS) и ординат (FL4).

При оптимальной температуре в экспоненциальной фазе роста водорослей изменчивость клеточного объема, согласно шкале Мамаева (Мамаев, 1968), была невысокой, увеличение коэффициента вариации в два раза наблюдали при переходе культур в стационарное состояние. При акклимации *Ph. tricornutum* и *Ch. vulgaris suboblonga* к 10°C высокие значения CV (более 30%) получены на протяжении всего их роста. Высокая изменчивость объемов клеток при низкой температуре и в стационарной фазы роста исследуемых видов водорослей свидетельствует об изменении морфологии клеток водорослей и перестройках в метаболических процессах, вызванных низкой температурой. Полученные результаты дают возможность использовать коэффициент вариативности в качестве одного из маркеров жизнеспособности водорослей, так как подтверждает ранее полученные данные, что переход водорослей в стационарную фазу роста или рост в субоптимальных для них условиях способствуют физиологической неоднородности клеток, т.е. увеличению количества мертвых и неактивных клеток. Данный показатель жизнеспособности целесообразно использовать в качестве дополнения к основным методам исследования, однако, анализ размерной структуры оказывается более информативным, чем простой подсчет численности клеток водорослей, и его можно использовать как диагностический признак состояния популяций.

### Список литературы

Лакин Г.Ф., 1990. Биометрия. Учебное пособие для биол. спец. вузов, 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.

Мамаев С.А., 1975. Основные принципы методики исследования внутривидовой изменчивости древесных растений // Индивидуальная и эколого-географическая изменчивость растений. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1975. С. 3–14.

Попова А.Ф., Паршикова Т.В., Кемп Р., 2004. Влияние катамина на структурно-функциональные характеристики клеток *Chlamydomonas reinhardtii* Dang // Альгология. Т. 14. № 3. С. 229–239.

Соломонова Е.С., Акимов А.И., 2014. Соотношение мёртвой и живой компоненты взвеси в культурах микроводорослей в зависимости от стадии роста и освещённости // Морской экологический журнал. Т. 1. С.73–81.

Соломонова Е.С., Муханов В.С., 2011. Оценка доли физиологически активных клеток в накопительных культурах *Phaeodactylum tricorutum* и *Nitzschia sp.* помощью проточной цитометрии // Морской экологический журнал. Т. 10. № 4. С. 67–72.

УДК 574.23/24

Е.С. Соломонова, А.И. Акимов, Н.Ю. Шоман

ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН», Севастополь  
e-mail: solomonov83@mail.ru

### **Влияния света и температуры на коэффициент переменной флуоресценции и FDA активность, их сопоставление с ростовыми характеристиками, внутриклеточным содержанием хлорофилла на примере водоросли *Phaeodactylum tricorutum***

**Резюме.** Исследовано влияние света и температуры на коэффициент переменной флуоресценции, FDA<sub>п</sub> активность, удельную скорость роста и внутриклеточное содержание хлорофилла диатомовой водоросли *Phaeodactylum tricorutum* (Bohlin, 1897). Получено, что в широком диапазоне освещенности и температуры коэффициент переменной флуоресценции и FDA<sub>п</sub> активность сохраняли высокие значения, в этих пределах интенсивность света и температура не являются маскирующими или препятствующими факторами для применения методов в практике гидробиологических исследований. При экстремально высокой освещенности (выше 800 мкЕ м<sup>-2</sup>) и температуры (28°C) наблюдается падение показателей переменной флуоресценции FDA<sub>п</sub> активности, что связано со снижением функционального состояния исследуемых видов водорослей, остановки их роста, и непосредственной гибели клеток.

В морской гидробиологии, а также в исследованиях по интенсивному культивированию микроводорослей, все чаще начинают применяться экспресс методы оценки функционального состояния водорослей, их продукционного потенциала под влиянием внешних условий, в том числе, в связи с антропогенными факторами среды. Такими методами являются, в частности, применение коэффициента переменной флуоресценции (К), характеризующий эффективность переноса и утилизацию энергии в первичных фотохимических процессах (Маторин, Алексеев, 2013), и FDA анализ связанный с активностью ферментов группы эстераз, катализирующих реакции гидролиза сложноэфирных связей (Jochem, 1999). Данный параметр (FDA<sub>п</sub>) предложен нами ранее, как интегральный показатель метаболической активности клеток, реализуемый путем окраски суспензии клеток водорослей витальным красителем диацетат флуоресцеином (Соломонова, Акимов, 2012).

Вместе с тем реализация этих методов осуществляется на фоне различных уровней светового и температурного факторов, роль которых сама по себе велика.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния света и температуры на параметры коэффициента переменной флуоресценции (К) и FDA<sub>п</sub>, их сопоставление с ростовыми характеристиками, внутриклеточным содержанием хлорофилла на примере водоросли *Phaeodactylum tricorutum* в условиях обеспеченности биогенными элементами (среда f/2).

*Влияние световых условий.* В диапазоне интенсивностей от 0.7 до 200 мкЕ м<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup> (примерно 1.5 раза превышала насыщающую освещенность скорости роста *Phaeodactylum tricorutum*) наблюдались высокие устойчивые значения показателя переменной флуоресценции (0.63-0.7), которые были близки максимальным значениям этого параметра приводимого в литературе для фитопланктона (так и в культурах) вегетирующего в

оптимальных условиях (до 0.8).  $FDA_{fl}$  активность также не зависела от световых условий выращивания в этих пределах. Отношение  $C/X_{л}$  увеличивалось от 25 до 40. Повышение освещенности от 200 до 600  $мкЕ м^{-2} с^{-1}$  приводило к снижению значений коэффициента переменной флуоресценции до значений 0.45-0.55, повышению отношения  $C/X_{л}$  до 120, что однако не было сопряжено со значительным падением скорости роста и было полностью обратимым при уменьшении интенсивности света. Индекс ферментативной активности ( $FDA_{fl}$ ) оставался высоким (600-800 отн. ед.), не снижался до значений освещенности 800  $мкЕ м^{-2} с^{-1}$ . При освещенностях выше 800  $мкЕ м^{-2} с^{-1}$  наблюдалось быстрое снижение величины  $K$  до 0.2-0.3,  $FDA_{fl}$  активность падала в 2-3 раза. Отношение  $C/X_{л}$  резко возрастало до 300-500 (снижении внутриклеточной концентрации хлорофилла) при остановки роста. При пролонгированном воздействии интенсивности света выше 800  $мкЕ м^{-2} с^{-1}$  наблюдался лизис культуры.

*Влияние температурных условий.* Температурная зависимости скорости роста в диапазоне 5-22°C имела линейный характер, при коэффициенте связи температура – скорость роста водорослей 0.11  $μ/°C$ . Температурный оптимум для *Phaeodactylum tricornutum* составил 20-26°C. В этом температурном диапазоне сохранялись высокие значения коэффициента переменной флуоресценции и  $FDA_{fl}$  активности, низкотемпературное снижение внутриклеточного хлорофилла при 6 °C составляло около 30% относительно содержания при 20°C. Уменьшение температуры выращивания до 3°C приводило к остановке роста (меньше 0.05 дел.сут<sup>-1</sup>), снижению квантовой эффективности утилизации световой энергии, однако в течении 5 суток эти изменения имели обратимый характер. Отсутствие летальных последствий низкотемпературного ингибирования согласуется с высокими значениями  $FDA_{fl}$  активности, понижение которой, как было показано нами ранее для *Chlorella vulgaris suboblonga*, характеризует степень необратимой потери функциональной активности клеток и гибель культуры (Соломонова, Акимов, 2012).

При температурах больше 28°C происходило прогрессирующее уменьшение скорости роста, увеличение доли неактивных и разрушенных клеток. Используемый в работе цитофлуориметрический анализ позволил отследить динамику уменьшения жизнеспособных клеток, для которых, однако, удельная  $FDA_{fl}$  активность (на клетку) продолжала оставаться относительно высокой, в то время как интегральная падала. Величина параметра  $K$  также быстро снижалась до значений меньше 0.2, что также указывает на низкую долю фотосинтетически активных клеток.

Таким образом, в широком диапазоне световых и температурных условий коэффициент переменной флуоресценции и  $FDA_{fl}$  активность сохраняли стабильно высокие значения, характерные для нелимитированной, экспоненциально растущей культуры. В этих пределах свет и температура не являются маскирующими или мешающими факторами для применения методов в исследовательской практике или мониторинге в природных условиях. При экстремальных значениях света (выше 800  $мкЕ м^{-2}$ ) и температуры (28°C) наблюдается падение показателей  $K$  и  $FDA_{fl}$ , что является следствием общего ухудшения состояния водорослей, остановки роста, депигментации и гибели клеток водорослей в этих условиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-34-00388 мол\_а (Исследование особенностей метаболической и функциональной активности водорослей в условиях пограничных уровней светового и температурного факторов, на базе использования методов проточной цитометрии и переменной флуоресценции.)

### Список литературы

Маторин Д.Н., Алексеев А.А., 2013. Флуоресценция хлорофилла для биодиагностики растений. Москва-Яркутск: ООО «ПКЦ Альтекс», 2013. 364 с.

Соломонова Е.С., Акимов А.И. 2012. Оценка функционального состояния культуры *Chlorella vulgaris suboblonga* методами проточной цитометрии и переменной флуоресценции // Морской экологический журнал. № 4. С. 78–84

Jochem F.J., 1999. Dark survival strategies in marine phytoplankton assessed by cytometric measurement of metabolic activity with fluorescein diacetate // Marine biology. V. 135. № 4. P. 721–728.

УДК 597.583.1:595.121

**Т.В. Фролова**

ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова РАН», пос. Борок, Ярославская область  
e-mail: [bianka28061981@gmail.com](mailto:bianka28061981@gmail.com)

### **Влияние заражения цестодой *Proteocephalus cernuae* (Gmelin) на активность пищеварительных ферментов ерша *Gymnocephalus cernuus* (L.)**

**Резюме.** Установлено, что заражение ерша цестодами *P. cernuae* влияет на активность протеолитических ферментов его кишечника. Это влияние изменяется в зависимости от размеров цестод, населяющих кишечник. При малой суммарной длине паразитов активность протеиназ снижается, а при большой – повышается. Изменения затрагивают в основном сериновые протеиназы. Существенная доля активности представлена металлопротеиназами, что косвенно может свидетельствовать о большой роли микробиоты в пищеварении ерша. Небольшое изменение доли цистеиновых протеиназ как у не зараженных, так и зараженных цестодами рыб, возможно, указывает на незначительные повреждения кишечника прикрепительными аппаратами цестод.

Влияние цестод сем. Proteocephalidae на активность пищеварительных ферментов их хозяев не изучено, хотя представители этого обширного семейства паразитируют практически у всех видов пресноводных рыб, проявляя разную степень специфичности к хозяевам. Размеры тела этих цестод соответствуют размерам тела хозяев и могут быть как очень крупными (*Glanitaenia osculata*, 74 см, у сома), так и очень мелкими (*Proteocephalus gobiorum*, 3 см, у бычков) (Фрезе, 1965; Chambrier, Scholz, 2016). Паразиты подобных размеров могут оказывать существенное влияние на физиолого-биохимические показатели организма хозяев-рыб.

*Цель исследования* – изучение влияния цестоды *P. cernuae* на активность и спектр протеолитических ферментов ерша.

*Материалы и методы.* Для биохимических анализов была отобрана выборка из 23 ершей. В качестве критерия оценки влияния цестод на активность ферментов использовали суммарную длину червей, находившихся в кишечнике каждой отдельной рыбы. Рыб разделили на три группы: I – контроль, незараженные цестодами рыбы (n = 10); II – рыбы, зараженные цестодами с малой суммарной длиной (4.15±0.3 см; n = 6); III – рыбы, зараженные цестодами с большой суммарной длиной (11.11±1.58 см; n = 7). Для II и III групп рыб вычислен коэффициент ДЧ/ДК – отношение суммарной длины червей в каждой из зараженных рыб к длине соответствующего кишечника.

Активность протеиназ в гомогенате кишечника ерша (суммарная активность трипсина КФ 3.4.21.4, химотрипсина КФ 3.4.21.1 и дипептидаз КФ 3.4.13.18) определяли с использованием в качестве субстрата 0.3% азо-казеина, рН 7.5 (Alarcón et al., 2002). Для идентификации различных подклассов протеиназ в гомогенатах использовали следующие ингибиторы в объеме 50 мкл: 1) PMSF – ингибитор сериновых протеиназ; 2) EDTA – ингибитор металлопротеаз и 3) E-64 – ингибитор цистеиновых (тиоловых) протеиназ.

*Результаты и обсуждение.* В результате проведенных экспериментов установлено, что заражение ерша цестодой *P. cernuae* влияет на активность протеиназ кишечника хозяина. При малой суммарной длине паразитов (группа II) активность протеиназ в кишечнике ерша снижается, а при большой (группа III) – повышается. Снижение протеолитической активности у рыб II группы может быть связано с адсорбцией ферментов хозяина на поверхности цестод

и их ингибированием. В то время как у рыб III группы, у которых коэффициент ДЧ/ДК в 2.6 раза выше, чем у рыб II группы, возможно, в ответ на высокую паразитарную нагрузку включаются адаптационные механизмы хозяина, и повышается активность его пищеварительных ферментов. Это согласуется с высказанным ранее предположением о том, что зараженные хозяева компенсируют негативное воздействие кишечных паразитов увеличением пищевой активности (Bosi et al., 2005).

На основе полученных данных о влиянии ингибиторов на активность протеиназ вычислены доли различных подклассов протеиназ, функционирующих в кишечниках незараженных и зараженных ершей. Основную долю (от 46 до 71% в зависимости от зараженности) составляют сериновые протеиназы. При этом доля сериновых протеиназ у ершей II группы ниже, чем у рыб I и III групп. Доли металлопротеиназ у рыб трех исследованных групп значимо не различались и составляли 24–36% общей активности протеиназ. Доля цистеиновых протеиназ составила от 6 до 14% в зависимости от группы ершей и была выше у I группы рыб по сравнению со II.

Заражение цестодами изменяет спектр протеиназ. Изменение долей сериновых протеиназ у зараженных рыб – понижение во II и увеличение в III группе – подтверждает высказанное выше предположение об адсорбции протеиназ на поверхности цестод у первых и повышении их синтеза у вторых. Это же предположение подтверждается изменением долей цистеиновых протеиназ при заражении. Поскольку доля цистеиновых протеиназ в большой степени связана с лизосомальными ферментами, проявляющими активность, в частности, при повреждении слизистой кишечника прикрепительными аппаратами цестод (Высоцкая, Немова, 2008), незначительное изменение доли цистеиновых протеиназ у зараженных групп ершей свидетельствует об отсутствии серьезных повреждений кишечника при закреплении в нем *P. cernuae*. Значительная доля активности протеиназ кишечника ерша связана с металлопротеиназами, косвенно свидетельствуя о возможном вкладе микроорганизмов в пищеварение рыб.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что заражение ерша цестодами *P. cernuae* сказывается на активности протеолитических ферментов его кишечника. В зависимости от размеров, населяющих кишечник цестод, изменяется их влияние на активность протеиназ, функционирующих в кишечнике хозяина ерша. Активность протеиназ убывает при малой суммарной длине паразитов и возрастает при их большой длине. Изменения затрагивают в основном сериновые протеиназы. Существенная доля активности представлена металлопротеиназами, что косвенно может свидетельствовать о большой роли микробиоты в пищеварении ерша. Небольшая доля цистеиновых протеиназ как у незараженных, так и зараженных цестодами рыб, возможно, указывает на незначительные повреждения кишечника прикрепительными аппаратами цестод.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-04-02474).

### Список литературы

- Высоцкая Р.У., Немова Н.Н., 2008. Лизосомы и лизосомальные ферменты рыб. М.: Наука, 2008. 284 с.
- Фрезе В.И., 1965. Протеоцефалыты – ленточные гельминты рыб, амфибий и рептилий (Основы цестодологии. Т. 5). Ред. К. И. Скрябин. М.: Наука, 1965. 535 с.
- Alarcón F.J., Martínez T.F., Barranco P., Cabello T., Díaz M., Moyano F.J., 2002. Digestive proteases during development of larvae of red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790) (Coleoptera: Curculionidae) // Insect Biochemistry and Molecular Biology. V. 32. P. 265–274.
- Bosi G., Shinn A.P., Giari L., Simoni E., Pironi F., Dezfuli B.S., 2005. Changes in the neuromodulators of the diffuse endocrine system of the alimentary canal of farmed rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), naturally infected with *Eubothrium crassum* (Cestoda) // Journal of Fish Diseases. V. 28. P. 703–711.

Chambrier A., Scholz T., 2016. An emendation of the generic diagnosis of the monotypic *Glanitaenia* (Cestoda: Proteocephalidae), with notes on the geographical distribution of *G. osculata*, a parasite of invasive wels catfish // *Revue suisse de Zoologie*. V. 123 (1). P. 1–9.

УДК 582.273:577.1

**И.А. Харчук**

ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь  
e-mail: seaferm@yandex.ru

### **Выбор способа перевода в состояние ангидробиоза красной микроводоросли *Porphyridium purpureum***

**Резюме.** Красная морская микроводоросль *Porphyridium purpureum* была переведена в состояние анабиоза с помощью обезвоживания и замораживания. В данном состоянии клетки пребывали 2 года. Биохимический анализ показал, что при длительном хранении культур микроводорослей в обезвоженном состоянии при температуре 20–22°C и в морозильной камере при температуре -14°C, происходит изменение в содержании в биохимических компонентах клеток. Применение протекторов препятствует деградации биохимических веществ в клетке и способствует сохранению их жизнеспособности. Так, отмечено, что добавление в культуру водорослей сахаров (1% растворов сахарозы и глюкозы) перед обезвоживанием сокращает количество разрушающихся пигментов, РНК, липидов и белков. Экспериментальным путём установлено, что использование экзополисахаридов синтезируемых клетками *Porphyridium purpureum* в процессе их жизнедеятельности, в качестве криопротекторов, повышает сохранность пигментного комплекса, липидов и углеводов, белков и РНК, а использование 10% глицерина предохраняет от деструкции каротиноиды и РНК. Доля сохраняющихся биохимических компонентов в клетках водоросли позволяет им сберечь свою жизнеспособность в состоянии анабиоза, а при реактивации восстановить биосинтетические процессы в клетках и приступить к делению, и росту клеток.

Одним из методов сохранения микроводорослей является перевод клеток в состояние анабиоза. В это состояние клетки можно перевести путём их обезвоживания или замораживания. Оба способа максимально приближены к естественным, распространены в природе и являются экономически доступными. При соблюдении определённых условий обеспечивают долгосрочное хранение культур с поддержанием высокой жизнеспособности и без мутационных изменений. Цель работы – перевести клетки красной морской микроводоросли *Porphyridium purpureum* в состояние анабиоза путём обезвоживания и замораживания с использованием защитных веществ, и реактивировать их после продолжительного периода хранения.

Объектом исследования была культура *Porphyridium purpureum* (штамм IBSS–70), из коллекции отдела биотехнологии и фиторесурсов ИМБИ РАН. Микроводоросли культивировали в накопительном режиме, при постоянном круглосуточном освещении и автоматическом перемешивании с использованием насоса для удаления избытка кислорода из среды и равномерного прогрева всего слоя питательного раствора культуры. Интенсивность света на поверхности раствора составляла 8 кЛк. Температура среды колебалась в диапазоне 25–29°C. В качестве питательной среды для *P. purpureum* использовали среду Тренкеншу. Объём среды в культиваторах составлял 5 л, при высоте слоя раствора 45 см. На стационарной фазе роста культуру микроводорослей разделяли на две части. Первую половину водорослей обезвоживали в температурном диапазоне 35–45°C. Исследуемые образцы отличались друг от друга протекторами, добавленными к пасте микроводорослей перед дегидратацией. В первом варианте к клеткам добавляли 10% глицерин, который вносили в культуру за 24 часа до обезвоживания. Во втором варианте, клетки высушивали с добавлением раствора 1% глюкозы.



В третьем варианте – с добавлением раствора 1% сахарозы. В четвёртом варианте – без протекторов. Вторая половина водорослей подлежала замораживанию. Культуру клеток делили на три равные части. В первом варианте к клеткам добавляли 10% глицерин, который вносили в культуру за 24 часа до закладки в морозильную камеру. Во втором варианте, клетки замораживали с дополнительно внесёнными природными полисахаридами, которые микроводоросли синтезировали в процессе своего роста и были выделены при центрифугировании клеток. В третьем варианте, клетки, были заморожены без протекторов. Полученную пасту водорослей помещали в герметичные пластиковые боксы и ставили в морозильную камеру (-14°C). Перед закладкой на хранение проводили биохимические исследования. Срок пребывания клеток в обезвоженном и замороженном состоянии на момент исследования составлял 2 года.

Биохимический анализ клеток *P. purpureum* обезвоженных с разными веществами, добавленными в качестве протекторов, выявил, что низкомолекулярные соединения (сахароза, глюкоза и глицерин) при обработке ими клеток микроводорослей оказывают на них протекторное воздействие. Так в культуре, обезвоженной без протектора, отмечено низкое содержание хлорофилла в 2 раза и каротиноидов в 3 раза, по отношению к культурам дегидратированным с протекторами. Сравнительный анализ содержания биохимических компонентов в клетках *P. purpureum*, к которым был добавлен 10% глицерин, зарегистрировал низкое содержание пигментов: хлорофилла – в 3 раза и каротиноидов – в 2 раза, а так же структурных углеводов – в 2 раза по сравнению с культурами обезвоженными с растворами 1% глюкозы и 1% сахарозы. Доля липидов и РНК в клетках обезвоженных как без протектора, так с протекторами была постоянна и не зависела от вида протектора.

Анализ содержания биохимических компонентов культур помещённых в морозильную камеру, выявил, что в клетках водорослей замороженных без протекторов доля каротиноидов и РНК ниже, чем в клетках с предварительно внесённым 10% глицерином. Значения остальных показателей биохимического состава у сравниваемых образцов статистически не отличались. При сравнении с культурой замороженной с природными полисахаридами, отмечено снижение содержания хлорофилла *a*, каротиноидов, липидов, РНК, запасных и структурных углеводов. Сравнительный анализ содержания биохимических компонентов в культурах сохраняемых с полисахаридами и 10% глицерином показал, что в клетках замороженных с 10% глицерином ниже доля хлорофилла *a* (на 38%), каротиноидов (на 26%), липидов (на 53%), свободных нуклеотидов (на 14%) и структурных углеводов (29%), чем в клетках заложенных на хранение с дополнительно внесёнными полисахаридами. Отмечено, что во всех культурах независимо от добавленного протектора так и без него содержание ДНК и белков было статистически одинаково. Известно, что избежать образования льда можно снижением точки замерзания раствора путем накопления электролитов или спиртов типа глицерина, углеводов – сахаров. Глицерин – криопротектор проникающего действия, он препятствует формированию кристаллов за счёт образования водородных связей с молекулами воды. Полисахариды синтезируемые и выделяемые клетками *P. purpureum* в процессе их жизнедеятельности являются естественными криопротекторами, которые стабилизируют клеточные мембраны и содержимое клеток.

Во время реактивации микроводорослей обезвоженных и сохраняемых при температуре 20-22°C, а так же сохраняемых в морозильной камере при температуре -14°C, наблюдали рост и деление реактивированных клеток, что свидетельствует о восстановлении биосинтетических процессов. Ростовые характеристики реактивированных микроводорослей *P. purpureum* и контрольной культуры в различных фазах развития накопительной культуры были практически идентичны.

Таким образом, установлено, что растворы сахарозы и глюкозы проявляют протекторные свойства при обезвоживании *P. purpureum* и препятствуют разрушению пигментов, РНК, липидов и белков. Определено, что использование экзополисахаридов, синтезируемых микроводорослью *P. purpureum* в процессе роста, сокращает деградацию пигментного комплекса, липидов и структурных углеводов при замораживании. Доля

сохраняющихся биохимических компонентов в клетках водоросли позволяет им сберечь свою жизнеспособность в состоянии анабиоза, а при реактивации восстановить биосинтетические процессы в клетках и приступить к делению, и росту клеток.

УДК 574.24:594.124

Н.С. Челябинна<sup>1</sup>, Н.В. Поспелова<sup>1</sup>, М.А. Попов<sup>1</sup>,  
Л.Л. Смирнова<sup>2</sup>, И.А. Харчук<sup>1</sup>, В.И. Рябушко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

<sup>2</sup> Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», г. Севастополь

### Инверсия пола мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam., культивируемой у берегов Крыма (Чёрное море)

**Резюме.** В последние годы отмечается сдвиг половой структуры в популяции черноморской мидии *M. galloprovincialis*, как в сторону преобладания самцов, так и самок. Проведенные экспериментальные исследования в районе мидийно-устричной фермы (г. Севастополь) показали сдвиг соотношения полов у мидий в сторону преобладания самцов. Самки поменяли пол после весеннего нереста: в загрязнённой акватории доля самцов составила 75%, а в чистом открытом море 38%. Инверсия пола была связана с различными экологическими условиями. У самцов смены пола не произошло.

Для промышленного культивирования мидий большое значение имеют знания об их биологии, в т.ч. о сроках нереста и половой структуре. Мидии, как большинство двустворчатых моллюсков, являются раздельнополыми. Половая структура поселений мидий определяет не только количественные показатели популяции, но и качество продукции, производимой из этих моллюсков. Обычно соотношение полов у черноморской мидии во все сезоны года составляет 1:1 при 1-3% гермафродитов (Кудинский и др., 1985; Монин, Золотницкий, 1986; Пиркова и др., 1994; Иванов, 2007). Однако в последние годы появились публикации, где описывается сдвиг половой структуры поселений мидии, как в сторону преобладания самцов, так и самок (Шурова, 2001; Пиркова, 2006; Караванцева, 2009; Челябинна, 2015). Отмечено, что соотношение самцов и самок в популяции мидий зависит как от генетических механизмов формирования пола, так и от экологических условий среды (Lee, 2015). Объяснение генетических механизмов этого процесса противоречиво (Saavedra et al., 1997). Высказано предположение, что к экологическим факторам, влияющим на соотношение пола моллюсков, можно отнести солёность, расположение в друзе, интенсивность водообмена и т. д. (Шурова, 2001). Однако информация о смене пола в процессе онтогенеза у *M. galloprovincialis* практически отсутствует.

**Цель работы:** проанализировать соотношение полов у *M. galloprovincialis* и выявить факт смены пола у особей данного вида в период посленерестовой перестройки гонад.

Мидий (размером 40-60 мм) отбирали ежемесячно на ферме, расположенной на внешнем рейде г. Севастополя с экспериментального верёвочного коллектора (глубина 6 м), с марта 2015 по июнь 2016 года. Всего обработано 2800 мидий. Для исследования инверсии пола в период весеннего массового размножения проводили стимуляцию нереста в лабораторных условиях индивидуально для каждого моллюска (Пиркова, 1994). Для определения пола использовали методику визуального изучения мазков гонад под микроскопом. Отобранных самок и самцов (гермафродитов не учитывали) помещали в отдельные сетки (по 50 экз. в каждой) и вывешивали в загрязнённой акватории (станция 1), отделенной молом от открытой части моря, а также на ферме (станция 2). Пол моллюсков определяли через шесть месяцев.

При анализе половой структуры соотношение полов составляло 1:1.7 (♀:♂) в марте, а в августе 2015 года, по мере роста моллюсков на коллекторе, сдвиг в сторону преобладания

самцов достиг максимума 1:8 (♀:♂). Можно предположить, что это произошло в результате инверсии пола после весеннего нереста вследствие высокой плотности мидий в друзе, а, следовательно, сопутствующих этому процессу гипоксии и слабой доступности корма. После прореживания мидий на коллекторе в сентябре соотношение полов стабилизировалось с октября 2015 по март 2016 года на уровне 1:2 (♀:♂).

Повторные наблюдения подтвердили ранее полученные результаты: увеличение размеров, а соответственно и массы мидий, и оседание молоди вновь привело к максимальному сдвигу половой структуры к маю 2016 года – 1:7.5 (♀:♂).

Результаты экспериментов по инверсии пола показали, что у самцов через полгода экспозиции в акватории (ст. 1) и на ферме (ст. 2) смены пола не произошло. У части самок произошла смена пола, при этом на ст. 1 доля самцов была выше (75%), чем на ферме (38%). Различное процентное соотношение полов после смены пола, по-видимому, связано со степенью техногенной нагрузки в местах содержания мидий. Изменение половой структуры мидий на коллекторах можно объяснить инверсией пола у самок. Ранее был отмечен сдвиг половой структуры у *M. galloprovincialis*, культивируемой в районах с различной антропогенной нагрузкой, в сторону преобладания самцов (Мачкевский и др., 2011; Челядина, 2015), наиболее выраженный у мелких мидий. Можно предположить, что «маскулинизация популяции моллюсков, происходящая под воздействием загрязняющих веществ, становится причиной репрессии (или депрессии) части половых генов» (цит. по А.В. Пирковой, 1994). Однако механизмы процессов смены пола у *M. galloprovincialis* не ясны и требуют дальнейшего изучения.

### Список литературы

- Иванов В.Н. (ред.), 2007. Марикультура мидий на Чёрном море. НАН Украины, ИнБИОМ. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. 314 с.
- Караванцева Н.В., 2009. Половая структура мидий *Mytilus galloprovincialis* (Lam.), обитающих у берегов Крыма // Экология моря. Вып. 77. С. 57–61.
- Кудинский О.Ю., Мартынова Н.В., Столетова Т.В., 1985. Половое созревание мидий в современных условиях северо-западной части Чёрного моря // Биологические основы аквакультуры в морях европейской части СССР. М.: Наука, 1985. С. 169–180.
- Мачкевский В.К., Попов М.А., Ковригина Н.П., Лозовский В.Л., Козинцев А.Ф. 2011. Изменчивость параметров популяции мидий *Mytilus galloprovincialis* Lam. и её эндосимбионтов в районе Балаклавской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Вып. 25. Ч. 1. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. С. 417–428.
- Монин В.Л. Золотницкий А.П., 1986. Половая структура и величина индивидуальной плодовитости черноморских мидий (*Mytilus galloprovincialis*) и устриц (*Ostrea edulis*) // 4-я Всесоюзная конференция по промысловым беспозвоночным: тезисы докладов. Ч. 2. Севастополь, 1986. С. 261–262.
- Пиркова А.В., 1994. Размножение мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. и элементы биотехнологии её культивирования. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Севастополь, 1994. 25 с.
- Пиркова А.В., Столбова Н.Г., Ладыгина Л.В., 1994. Сезонная динамика нереста мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. в иловых поселениях разных районов Черного моря // Гидробиологический журнал. Т. 30. № 2. С. 22–27.
- Пиркова А.В., 2006. Возрастно-половая структура культивируемых мидий *Mytilus galloprovincialis* Lam. в Чёрном море // Международная научно-практическая экологическая конференция «Современные проблемы популяционной экологии»: материалы конференции. Белгород, 2006. С. 155–156.
- Шурова Н.М., 2001. Влияние солёности на структуру и состояние поселений двустворчатого моллюска *Mytilus galloprovincialis* // Биология моря. Т. 27. № 3. С. 187–191.

Челядина Н.С., 2015. Анализ фенотипической, половой структуры и стадий зрелости гонад коллекторной мидии *Mytilus galloprovincialis* (г. Севастополь, Чёрное море) // Международная научная конференция «Актуальные проблемы аквакультуры в современный период»: материалы конференции. Ростов-на-Дону: ФГБНУ «АзНИРХ», 2015. С. 190–193.

Le. J. S., 2015. Sex and Sex Reversal of Bivalves // The Korean Journal of Malacology. V. 31, Iss. 4. P. 315–322.

Saavedra C., Reyero M. I., Zouros E., 1997. Male-dependent doubly uniparental inheritance of mitochondrial DNA and female-dependent sex-ratio in the mussel *Mytilus galloprovincialis* // Genetics. V. 145. Iss. 4. P. 1073–1082.

УДК 574.2, 574.5

Ю.А. Широкова<sup>1</sup>, Д.В. Аксенов-Грибанов<sup>1,2</sup>, В.А. Емшанова<sup>1</sup>,  
Д.В. Лозовой<sup>1</sup>, Ж.М. Шатилина<sup>1,2</sup>, М.А. Тимофеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», НИИ биологии, г. Иркутск

<sup>2</sup> АНО «Байкальский исследовательский центр», г. Иркутск

e-mail: m.a.timofeyev@gmail.com

### Влияние различных типов кормления на неспецифические механизмы стресс-резистенции байкальских эндемичных амфипод при длительной лабораторной акклимации

**Резюме.** В настоящем исследовании проведена оценка влияния трех часто используемых при лабораторной акклимации типов кормов на активность ферментов антиоксидантной системы у трех видов байкальских эндемичных амфипод. Выявлено, что в зависимости от выбранного типа корма наблюдаются различия в ферментативной активности ферментов антиоксидантной системы, на основании чего сделаны выводы об оптимальных условиях лабораторной акклимации байкальских эндемичных амфипод.

Целью нашего исследования являлась оценка влияния некоторых типов кормов, используемых при лабораторной акклимации на активность ферментов антиоксидантной системы (АОС) у байкальских эндемичных гаммарид и разработка наиболее оптимальной модели лабораторной акклимации. Особи трех видов амфипод: *Eulimnogammarus verrucosus*, *Eulimnogammarus cyaneus* и *Gmelinoides fasciatus* были отобраны для проведения настоящего исследования в районе поселка Большие Коты в литоральной зоне оз. Байкал на глубинах 0–1.5 м. Температура пробоотборов и экспериментальных акклимационных условий составила  $6 \pm 0.5^\circ\text{C}$ . В ходе трехмесячных лабораторных экспериментов представителей *E. verrucosus*, *E. cyaneus* и *G. fasciatus* содержали раздельно по видам и по типу кормления. Были выбраны следующие типы кормов: коммерческий корм TetraMin для ракообразных (Германия); смесь очищенных овощей (картофель-морковь) и корм «Байкальская кормовая смесь» (БКС), содержащий в своем составе высушенных амфипод, гастропод, водные растения и прочие органические материалы с места пробоотбора.

Для измерения активности ферментов АОС использовали спектрофотометрические методики Н. Аebi (1984), Drotar et al. (1985), W. Habig с модификациями (Timofeyev et al., 2009). Была измерена активность пероксидазы, каталазы и глутатион S-трансферазы. Результаты, полученные в ходе исследования, представлены в таблице 1.

*Таблица 1.* Направление реакций изменения активности ферментов АОС у представителей эндемичных амфипод оз. Байкал.

		Пероксидаза	Каталаза	Глутатион S-трансфераза
<i>Eulimnogammarus cyaneus</i>	БКС	-	-	-
	Тетрамин	-	-	↓ через 2 нед.; ↓ через 2 мес.; ↑ через 3 мес.
	Овощная смесь	X через 1 мес.	X через 1 мес.	↓ через 1 мес.; X через 1 мес.
<i>Eulimnogammarus verrucosus</i>	БКС	↑ через 2 нед.; ↓ через 1 мес. до уровня контроля	-	↓ через 2 мес.; ↑ через 3 мес. до уровня контроля
	Тетрамин	-	-	↓ через 1 мес.
	Овощная смесь	X через 1 мес.	X через 1 мес.	↓ через 2 нед.; X через 1 мес.
<i>Gmelinoides fasciatus</i>	БКС	↓ через 2 мес.	↓ через 2 нед.; ↑ через 1 мес. до уровня контроля	↓ через 2 нед.; ↑ через 1 мес. до уровня контроля
	Тетрамин	↑ через 2 нед.; ↓ через 1 мес. до уровня контроля	↓ через 2 нед.; ↓ через 3 мес.	↓ через 1 мес.
	Овощная смесь	X через 2 нед.	X через 2 нед.	X через 2 нед.

Обозначения: «-» – отсутствие изменений, «↑» – повышение активности, «↓» – понижение активности, «X» – гибель объекта.

На основании полученных данных показано, что спектр питания амфипод во время лабораторной акклимации оказывает прямой эффект на состояние ферментов АОС. Выявлено, что преобладающей реакцией на акклимацию и различные кормы было снижение активности ферментов на разных сроках экспозиции. Показано, что наиболее подходящим типом корма для байкальских амфипод при проведении краткосрочных экспериментов является корм Tetramin, а для долгосрочных – байкальская кормовая смесь. Оптимальный срок лабораторной акклимации при этом видоспецифичен.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФ 14-14-00400, грантов РФФИ 16-34-60060 мол\_а\_дк, 15-29-01003 офи\_м, тем Госзадания 1354–2014/51, 6.742.2016/ДААД, 6.734.2016/ДААД, 6.731.2016 ДААД.

### Список литературы

Timofeev M.A., 2009. Thermal stress defense in freshwater amphipods from contrasting habitats with emphasis on small heat shock proteins (sHSPs) // Journal of Thermal Biology. V. 34. № 6. P. 281–285.

## Секция 5. Экологический мониторинг и охрана водных ресурсов (оценка качества вод, водная токсикология, биомониторинг)

УДК 577.15:597+574.64

А.И. Аминов

ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова РАН», пос. Борок, Ярославская область  
e-mail: alexsis89@rambler.ru

### Влияние гербицида Раундап на гликозидазы рыб и объектов их питания

**Резюме.** Впервые показано, что Раундап в широком диапазоне концентраций в условиях *in vitro* изменяет активность гликозидаз в кишечнике рыб и в организме объектов их питания. Эффекты Раундапа в значительной мере зависят от температуры и pH инкубационной среды. Различные экологические факторы (температура, магнитное поле, органические загрязнители, степень антропогенного загрязнения) изменяют чувствительность пищеварительных гликозидаз рыб к *in vitro* действию Раундапа.

Загрязнение водной среды является одной из наиболее важных экологических проблем. Возросшие масштабы использования пестицидов приводят к трансформации водных экосистем, негативно влияют на состояние водных животных и представляет угрозу здоровью человека. Раундап, созданный на основе изопропиламиновой соли глифосата [N-(phosphonomethyl) glycine], один из самых известных неспецифических гербицидов широкого спектра действия. Его широко используют для уничтожения сорной растительности на сельскохозяйственных полях и приусадебных участках, а также в коллекторно-дренажных каналах, оросительных системах и прудах. Поступая в организм с водой и пищей, Раундап может оказывать прямое и опосредованное влияние на активность пищеварительных ферментов и многочисленных лизосомальных гидролаз гидробионтов. Однако действие Раундапа на активность гликозидаз, осуществляющих гидролиз углеводов, у рыб и объектов их питания до начала нашей работы было изучено крайне слабо (Папченкова и др., 2009; Голованова, Папченкова, 2009). При этом влияние важнейших абиотических и антропогенных факторов среды на чувствительность гликозидаз к действию Раундапа практически не исследовано.

*Цель работы:* изучить действие гербицида Раундап на активность гликозидаз у рыб и объектов их питания в зависимости от ряда факторов среды. В качестве консументов исследовано 13 видов пресноводных костистых рыб: тюлька *Clupeonella cultriventris* (Nord.), щука *Esox lucius* L., густера *Blicca bjoerkna* (L.), лещ *Abramis brama* (L.), плотва *Rutilus rutilus* (L.), чехонь *Pelecus cultratus* (L.), язь *Leuciscus idus* (L.), карп *Cyprinus carpio* (L.), налим *Lota lota* (L.), окунь *Perca fluviatilis* L., судак *Sander lucioperca* (L.), сом *Silurus glanis* L., головешка-ротан *Perccottus glenii* (Dyb). В качестве объектов питания ихтиофагов исследована молодь тюльки, плотвы, карпа, карася серебряного *Carassius auratus* (L.), окуня, судака и ротана, объектов питания рыб бенто- и планктофагов – дафния *Daphnia magna* (Straus), личинки хирономид *Chironomus plumosus* (L.), дрейссена полиморфная *Dreissena polymorpha* (Pall), прудовик большой *Limnea stagnalis* (L.), катушка роговая *Planorbis corneus* (L.) и суммарные пробы рачкового зоопланктона. Активность гликозидаз: амилолитическую активность (АА), отражающую суммарную активность ферментов, гидролизующих крахмал, а также мальтазы и сахаразы определяли в гомогенатах слизистой оболочки кишечника или химуса у консументов и в целом организме жертвы. Установлено, что гликозидазы слизистой оболочки кишечника рыб более чувствительны к действию Раундапа, чем гликозидазы химуса или организма потенциальной жертвы. У молоди рыб наибольший эффект Раундапа отмечен в слизистой оболочке кишечника: АА, как правило, снижается, активность мембранных ферментов мальтазы и сахаразы, в ряде случаев, растет. В кишечном химусе аналогичные эффекты отмечены лишь у карпа. Снижение температуры с 20°C до 0°C уменьшает

тормозящий эффект Раундапа при рН 7.4, при щелочных и кислых рН – увеличивает его. Снижение рН до 5.0, как правило, увеличивает тормозящий эффект Раундапа. Активность гликозидаз в кишечнике взрослых рыб, как правило, ниже, чем у молоди. Гликозидазы, расщепляющие полисахарид крахмал, в кишечнике плотвы наиболее чувствительны к действию Раундапа в широком диапазоне исследованных концентраций, чем у тюльки, щуки, сома и судака. Направленность эффектов в присутствии Раундапа в слизистой оболочке кишечника и химусе у одного вида рыб может быть одинаковой (торможение АА у плотвы и язя), либо может различаться (АА в слизистой оболочке у налима возрастает, а в химусе снижается). Также как и у молоди, снижение температуры и рН, как правило, увеличивает тормозящий эффект Раундапа. При этом снижение температуры оказывает больший тормозящий эффект на гликозидазы слизистой оболочки, а изменение рН – на гликозидазы химуса. Максимальное снижение АА до 98% отмечено при совместном действии трех факторов (0°C, рН 5.0, Раундап 25 мкг/л) по сравнению с контролем (20°C, рН 7.4, в отсутствие Раундапа). Зависимость величины эффекта от концентрации Раундапа как у молоди, так и у взрослых рыб носит нелинейный характер. Сила и направленность эффекта зависит от вида и возраста рыб, типа гидролизующих связей, концентрации гербицида, а также температуры и рН. Активность гликозидаз в организме беспозвоночных в присутствии Раундапа в большинстве случаев повышается, наибольший стимулирующий эффект отмечен для мальтазы и сахаразы. В то же время торможение АА в тканях зоопланктона и дрейссены может составлять 12–34%. Усиление тормозящего эффекта Раундапа при кислых рН отмечено лишь при температуре 10 и 20°C у зоопланктона, хирономид и катушки. Максимальное снижение активности гликозидаз выявлено при совместном действии температуры 0°C, рН 5.0 или 8.3, и Раундапа, однако, вклад гербицида в этот эффект незначителен. В организме молоди рыб в присутствии Раундапа выявлены разнонаправленные эффекты, наибольшее повышение активности отмечено для мальтазы, особенно у карпа и плотвы. Сравнительный анализ влияния Раундапа на активность гликозидаз в организме беспозвоночных и химусе молоди рыб, а также в химусе взрослых рыб и целом организме молоди выявил сходные эффекты. Наибольшее снижение АА в присутствии Раундапа выявлено в химусе взрослых щук при всех значениях температуры и рН. В тканях реальной жертвы (плотвы, извлеченной из желудка щуки), Раундап снижает АА во всем диапазоне исследованных концентраций, в то время как у потенциальной жертвы (плотвы из водоема) повышает её. По всей вероятности, это обусловлено активизацией лизосомальных гликозидаз жертвы в условиях кислой среды желудка консумента и большей их чувствительностью к действию Раундапа. Кроме того, показано, что сверхмалые концентрации Раундапа (менее 0.01 мкг/л) и концентрации, отличающиеся на 3–16 порядков, могут вызывать тормозящий эффект. Разные экологические факторы могут изменять чувствительность гликозидаз рыб к действию Раундапа. Увеличение чувствительности гликозидаз к действию гербицида отмечено у рыб из районов с повышенной антропогенной нагрузкой, у получавших с пищей ПХБ, у подвергнутых действию магнитной бури в период раннего эмбриогенеза, а также при резком повышении температуры воды. При этом хроническая 30-сут. экспозиция к гербициду снижает чувствительность гликозидаз к действию Раундапа *in vitro*. Несмотря на то, что Раундап в водной среде весьма нестабилен и его попадание в водоемы носит импульсный характер, токсическое действие на водные организмы может проявиться еще до его полного распада. Поскольку действие экологических факторов может усиливать эффекты Раундапа на гликозидазы рыб и объектов их питания изучение физиолого-биохимических показателей необходимо для ранней диагностики состояния здоровья гидробионтов в современных экологических условиях.

### Список литературы

Голованова И.Л., Папченкова Г.А., 2009. Влияние гербицида Раундап на активность карбогидраз рачкового зоопланктона и молоди плотвы // Токсикологический Вестник. 2009. № 4. С. 32–35.

Папченкова Г.А., Голованова И.Л., Ушакова Н.В., 2009. Репродуктивные показатели, размеры и активность гидролаз у *Daphnia magna* в ряду поколений при действии гербицида «Раундап» // Биология внутренних вод. 2009. № 3. С. 105–110.

УДК 574.583

**Е.Л. Воронцова**

ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет»,  
Институт физико-математических и естественных наук, г. Кострома  
e-mail: elena-woroncowa@yandex.ru

### Структура и динамика зоопланктона мелководных озёр Костромской области

**Резюме.** Зоопланктон является важным компонентом водных экосистем, его структурные показатели характеризуют экологическое состояние водоёмов. Зоопланктон озёр Костромской области, его динамика и структурные характеристики изучены недостаточно. Необходимы дальнейшие исследования и мониторинг водных объектов региона.

Озёра Галичское и Чухломское Костромской области расположены в восточной части глубокой аллювиальной ложбины Унже-Костромского междуречья. Озера относятся к бассейну верхней Волги.

Озеро Галичское по площади занимает одно из первых мест среди озёр центральной России. Самое крупное озеро в Костромской области. Площадь озера 7.2 тыс. га, область занятая глубинами до 2 м составляет 70% (Кордэ, Уломский, 1959). В озеро впадает несколько крупных рек и множество мелких речек и ручьёв, вытекает одна река Векса (Галичская).

Озеро Чухломское второе по размерам в Костромской области, площадью около 4.8 тыс. га. Область, занятая глубинами до 2.7 м составляет более 80%. Притоки Чухломского озера небольшие реки и ручьи. Вытекает одна река – Векса (Чухломская), на которой имеется шандорная переливная плотина, служащая для поддержания и регулирования уровня воды в озере.

Сбор материала производился в период с декабря 2014 по октябрь 2015 года.

Большую роль в теплообмене мелководных озёр играют мощные иловые отложения на дне, богатые органическими остатками, которые обладают высокой теплоотдачей (Ривьер, 2012). В среднем температура воды в Галичском озере в первой половине зимы составляет 1.9°C, во второй половине 0.4°C, в Чухломском озере 2.3°C и 0.6°C соответственно. Кислородный режим озёр в подлёдный период отличается крайне низкими показателями. Для второй половины зимы характерен дефицит кислорода. В течение зимнего периода содержание кислорода на озере Галичском в среднем снижается в 8.9 раз, средние показатели содержания кислорода в воде в первой половине зимы составили 10.1 мг/л, во второй половине зимы 1.1 мг/л. В Чухломском озере средние показатели содержания кислорода в воде в первой половине зимы составили 6.1 мг/л, во второй половине зимы 0.5 мг/л.

В зимнем зоопланктоне озера Чухломского по численности и биомассе преобладают коловратки. В декабре они составляют 84.96% от численности всего зоопланктона, а в феврале 95.6%, относительная биомасса коловраток также увеличивается от 59.9% в декабре до 92.7% в феврале. Среди них доминируют: *Keratella quadrata* (O.F. Müller, 1786) и хищная *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850), имеющие индекс встречаемости 100%. Численность и видовое разнообразие рачкового планктона в течение зимы очень низкое, в конце зимы многие виды полностью исчезают. Кладоцеры представлены 3 видами, с массовым *Bosmina longirostris* (O.F. Müller, 1785) (ИВ в начале зимы 87%, в конце февраля 100%), *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller, 1785) (87% в начале зимы, в конце отсутствует). Из веслоногих рачков в пробах в начале зимы встречены *Cyclops kolensis* (Lilljeborg, 1901) (ИВ 100%) и *Eurytemora lacustris* (Poppe, 1887) (ИВ 50%). В конце февраля *E. lacustris* полностью исчезает, а *C. kolensis* встречается в 50%



случаях. Средняя численность и биомасса зоопланктона в течение зимнего периода снижается от 96370 экз./м<sup>3</sup> до 78043 экз./м<sup>3</sup> и 0.709 г/м<sup>3</sup> до 0.368 г/м<sup>3</sup> соответственно.

В зимнем зоопланктоне озёра Галичского по численности доминируют коловратки, среди них *Keratella cochlearis* (Gosse, 1850), имеющая в первой половине зимы ИВ 100%, во второй 60%. Группа ветвистоусых рачков в первой половине зимы представлена 6 видами, из них по численности и биомассе превосходит *B. longirostris* (ИВ 100%), на втором месте *Ch. sphaericus* (ИВ 80%), в конце февраля происходит обеднение видового состава и значительное уменьшение численности массовых видов – *B. longirostris* (ИВ 40%), *Ch. sphaericus* (ИВ 10%). Веслоногие доминируют по биомассе, оба обнаруженных вида – *Cyclops strenuus* (Fischer, 1851) и *Cyclops kolensis* достаточно неравномерно распределены в озере, к марту их численность заметно сокращается. Средняя численность и биомасса зоопланктона в течение зимнего периода снижается от 62579 экз./м<sup>3</sup> до 11224 экз./м<sup>3</sup> и 0.686 г/м<sup>3</sup> до 0.077 г/м<sup>3</sup> соответственно.

В летний период (по открытой воде) температура воды в озёрах соответствует средним летним показателям, содержание растворённого кислорода за летний период исследований отмечено в Чухломском озере 7.3-8.7 мг/л, на Галичском 5.9-8.5 мг/л.

В зоопланктоне в начале летнего периода на озере Чухломском происходит смена зимнего комплекса. Максимальной численности и биомассы достигают ветвистоусые рачки – с пиком в середине июля. К этому времени: *B. longirostris* практически исчезает (ИВ 20%), на смену ей приходят теплолюбивые виды, доминирующие по численности и биомассе: *Daphnia cucullata* (Sars, 1862) и *Ch. sphaericus* (ИВ 100%). Веслоногие рачки представлены 5 видами, с доминирующим по численности и биомассе *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857) (ИВ 100%). Роль коловраточного зоопланктона заметно снижается: в пробах отсутствует доминирующая в зимний период хищная *Asplanchna priodonta*, но появляются виды родов *Brachionus* и *Trichocerca*. Средняя численность и биомасса зоопланктона в летний период составляет 637743 экз./м<sup>3</sup> (максимум в июле 1142701 экз./м<sup>3</sup>) и 5.208 г/м<sup>3</sup> (максимум в июле 11.734 г/м<sup>3</sup>) соответственно.

Пик развития зоопланктона озера Галичского отмечен в начале июня, достигая максимальных значений биомассы – 17.18 г/м<sup>3</sup> и численности 3505257 экз./м<sup>3</sup>. В структуре зоопланктона этого периода ведущим по биомассе и численности является ветвистоусый рачёк *B. longirostris* (ИВ 100%). Веслоногие рачки представлены 5 видами, с доминирующим по численности и биомассе – *Cyclops strenuus* (ИВ 100%), субдоминантой к нему выступает *M. leuckarti* (ИВ 100%). Роль коловраток по-прежнему сохраняется высокой, среди них доминирующими видами выступают *Brachionus diversicornis homoceros* (Wierzejski, 1891), *K. quadrata*. В пробах в середине июля отмечаются серьёзные структурные изменения: ветвистоусые рачки в отдельных пробах полностью отсутствуют, а их численность и биомасса незначительна. Доминирующим видом в зоопланктоне в это время является *M. leuckarti*. За многолетний период исследований (начиная с 1967 г.) в озере существенно изменилось соотношение основных таксономических групп зоопланктона по численности и биомассе (Андроникова, Смелская, 1994).

Для зоопланктона мелководных озёр Костромской области характерны сезонные структурные изменения. В зимний период развитие зимнего зоопланктона происходит в первую половину зимы. Во вторую половину, в связи с возникновением дефицита кислорода, наблюдается снижение численности и биомассы зоопланктона. В летний период численность, биомасса и видовое разнообразие достигает максимума: в Чухломском озере в середине июля, в Галичском в начале июня.

### Список литературы

Андроникова И.Н., Смелская М.В., 1994. Оценка трофического статуса оз. Галичского по показателям зоопланктона // Водные ресурсы. Т. 21. № 6. С. 680–683.

Кордэ Н.В., Уломский С.Н., 1959. Краткая характеристика гидрологического режима и микровкопического водного населения озера Галичского // Труды лаборатории сапропелевых отложений. Вып. 7. С. 68-88.

Ривьер И.К., 2012. Холодноводный зоопланктон озёр бассейна Верхней Волги. Ижевск: Издатель Пермьяков С.А., 2012. 390 с.

УДК 574.5

О.В. Гладкова, Н.И. Ходоровская

ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», г. Челябинск  
e-mail: gladkovaolechka@mail.ru

### Структура и динамика развития альгоценоза Шершневского водохранилища в 2014-2015 годах

**Резюме.** В работе изучены структурные и количественные характеристики фитопланктона Шершневского водохранилища, проведена оценка влияния температурного режима на развитие фитопланктона в летний период в 2014-2015 годов, дано сравнение с данными 2008-2009 годов.

Шершневское водохранилище – искусственный пресный водоем, расположенный на главной водной артерии Челябинской области – р. Миасс. Необходимость постоянных наблюдений за динамикой экологического состояния Шершневского водохранилища связана с его исключительным значением для крупного областного центра Южного Урала. Водоем до настоящего времени является единственным источником питьевого водоснабжения г. Челябинска и целого ряда населенных пунктов, расположенных в его окрестностях (Ходоровская и др., 2011).

Качество воды водоема зависит от ряда гидрохимических и гидробиологических факторов. Приоритетное значение среди гидробиологических показателей отводится фитопланктону как первичному звену трофической цепи, во многом определяющему структуру и функционирование водной экосистемы в целом. Фитопланктон является не только основным продуцентом органического вещества в водоемах, но и важным фактором формирования качества воды.

В работе проведен структурный и количественный анализ проб фитопланктона за летний период 2014-2015 годов. Для оценки изменения структуры альгоценоза приведены данные за 2008-2009 года. За летний период 2014-2015 годов идентифицировано 90 видов, относящихся к 7 отделам, 12 классам, 24 порядкам, 35 семействам и 55 родам. К доминирующим относятся отделы Cyanophyta, Bacillariophyta, Chlorophyta.

Структура летнего альгоценоза за летний период 2014-2015 годов: отдел Cyanophyta 19 видов (21%), отдел Bacillariophyta – 21 вид (23%), отдел Chlorophyta – 41 вид (46%), другие отделы – 9 видов (10%).

Среди доминирующих видов в отделе Cyanophyta выступают представители родов *Aphanizomenon* Morr. ex Born. et Flah, *Anabaena* Bory. ex Born. et Flah, *Microcystis* (Kutz.) Elenk. Наиболее многочисленными являются виды *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Breb. f. *flos-aquae* и *Microcystis pulverea* (Wood) Forti emend Elenk f. *pulverea*. Доминантами среди отдела Bacillariophyta – *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim f. *granulata*, *Cyclotella*+*Stephanodiscus*, *Asterionella formosa* Hass., среди отдела Chlorophyta – *Monoraphidium irregulare* (G.M. Smith) Kom.-Legn., *Dictyosphaerium eehrenbergianum* Naeg.

Летом 2008-2009 годов было идентифицировано 126 видов, относящихся к 7 отделам, 12 классам, 26 порядкам, 39 семействам, 68 родам. Отдел Cyanophyta представлен 15 видами (12%), отдел Bacillariophyta – 26 видами (21%), отдел Chlorophyta – 61 видом (48%), представители других отделов составляют 24 вида (19%).

Доминирующими видами в отделе Cyanophyta являются представители родов: *Aphanizomenon* Morr. ex Born. et Flah, *Anabaena* Bory. ex Born. et Flah, *Microcystis* (Kutz.) Elenk. Наиболее многочисленными являются виды *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Anabaena*

*flos-aquae* (Lyngb.) Breb. f. *flos-aquae*. Доминантами среди отдела Bacillariophyta – *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim f. *granulata*, *Cyclotella*+*Stephanodiscus*, среди отдела Chlorophyta доминирующим видом остается только *Monoraphidium irregulare* (G.M. Smith) Kom.-Legn (Ярушина и др., 2004, Снитко и др., 2003).

В работе было изучено влияние температуры на численность фитопланктона в летний период 2008-2009 и 2014-2015 годов.

Температура воды – важнейший фактор общего географического распределения фитопланктона и их сезонных циклов, но действует этот фактор во многих случаях косвенно.

Исследование показало, что действие температуры из года в год не оказывает прямого влияния на развитие фитопланктона. Но при анализе среднегодовых показателей численности за изучаемый период было выяснено, что в связи с более высокой среднелетней температурой воды в 2014-2015 годах по сравнению с 2008-2009 годами наблюдается увеличение общей численности в 2014-2015 годах до 60958 тыс. кл/дм<sup>3</sup> по сравнению с 2008-2009 годами – 40477 тыс. кл/дм<sup>3</sup>.

Полученные данные не позволяют сделать однозначный вывод о непосредственном влиянии температуры на фитопланктон, потому что на его развитие кроме температуры оказывает влияние большой спектр условий: освещенность, прозрачность, динамические условия в водоеме, биогенные вещества и т.д. Степень влияния комплекса этих факторов будет изучена в дальнейших исследованиях.

Таким образом, в работе была изучена структура фитопланктона Шершневского водохранилища в летний период 2008-2009 и 2014-2015 годов. Показано, что общее число видов уменьшилось с 126 до 90, при этом число видов отдела Суанophyta возросло с 15 до 19. Суммарная численность фитопланктона увеличилась с 40477 тыс. кл/дм<sup>3</sup> до 60958 тыс. кл/дм<sup>3</sup>. Полученные результаты исследований фитопланктона Шершневского водохранилища позволяют уточнить трофический статус и тенденции эвтрофирования водоема.

### Список литературы

Снитко Л.В., Сергеева Р.М., 2003. Водоросли разнотипных водоемов восточной части Южного Урала // Миасс: ИГЗ Уро РАН, 2003. 166 с.

Ходоровская Н.И., Еремкина Т.В., Антипов В.А., 2011. Современное состояние Шершневского водохранилища в условиях антропогенного эвтрофирования // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы: материалы IV Всероссийской конференции по водной экотоксикологии. Ч. 2. Борок. С. 177–181.

Ярушина М.И., Танаева Г.В., Еремкина Т.В., 2004. Флора водорослей водоемов Челябинской области // Екатеринбург: Уро РАН, 2004. 308 с.

**Сезонная динамика численности форменных элементов крови лейкоцитарного ряда серебряного карася, *Carassius gibelio* (Bloch, 1782), в условиях гидроценоза озера Каменик (Костромская область)**

**Резюме.** Гидроценоз озера Каменик Костромской области подвергся серьёзному воздействию из-за нестабильного режима воды, что существенно отразилось на здоровье гидробионтов, в частности карася серебряного. Помимо этого, на популяцию карася влияет дефицит кислорода, который образовался как следствие высокой трофности водоёма. Определение гематологических показателей и их динамики позволит оценить степень воздействия этих факторов на популяцию и их частоту.

В современном мире практически не осталось водоёмов, к условиям жизни в которых человек не имел бы какого-либо отношения. Хозяйственная деятельность человека напрямую связана с перестраиванием, а иногда и с инверсией условий окружающей среды. Изменение условий существования в водоёме влияют на физиологические и биохимические процессы в организме гидробионтов. Рыбы являются доминирующим по численности классом позвоночных животных, заселяющих водоём, и потому могут быть использованы в качестве индикатора при оценке состояния окружающей среды. При воздействии стресс-факторов на рыб в первую очередь реагируют гематологические показатели, изменяется количественное соотношение форменных элементов крови по лейкоцитарному пулу. Данные клетки крови характеризуются быстрой продукцией и специфичностью воздействия, что позволяет судить об интенсивности воздействующего стресс фактора.

Основной целью исследования являлась оценка состояния популяции карася серебряного в озере Каменик Костромской области по гематологическим показателям. Озеро Каменик – третье по величине озеро в области, образовалось в результате строительства Нижегородской ГЭС и затопления части Костромской низины (Сиротина, Мурадова, 2014). Доминирующим видом рыб в озере является карась серебряный *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) – неприхотливый вид, способный достигать большой численности, если условия водоема благоприятны для его жизни. Скорость роста серебряного карася зависит от экологических характеристик водоема, его кормности и степени облова (Грищенко, Акбаев, 2013). Было изучено 40 экземпляров вида карась серебряный, выловленных в озере в разные сезоны года. Для определения гематологических показателей использовались общепринятые методики с последующим изготовлением мазков и подсчета всех форменных элементов крови. Забор крови производился из хвостовой вены, брался мазок с селезенки и головной почки (Иванова, 1983). Содержание лимфоцитов в среднем было на 37% выше физиологической нормы и находилось в пределах от 74.1% (головная почка) до 84.5% (селезёнка). Самый высокий показатель содержания лимфоцитов (86.7%) был отмечен весной, что указывает на напряженное состояние иммунной системы в этот период. Лимфоциты постоянно «патрулируют» организм рыбы в целях иммунологического надзора (Аминева, Яржомбек, 1984). Очевидно, что их высокое количество свидетельствует о постоянном воздействии на организм карася как стресс-фактора, который имеет постоянное и однородное влияние. Причиной могут служить кормовая база карася серебряного и фотопериодизм (колебания количества лимфоцитов в течение суток могут достигать 10%) (Ручин, 2008). Помимо этого, лимфоциты сохраняют генетическое постоянство организма (Пищенко, 2002). В условиях озера Каменик в популяции карася серебряного наблюдается явление гиногенеза. Популяция представлена только особями женского пола, поэтому активация яйцеклетки к делению производится при помощи видов из семейства карповых. Лимфоциты обладают иммунной

памятью, поэтому их большое количество в крови связано с сохранением специфических для карася серебряного защитных функций в условиях данного способа размножения.

В весенний период содержание моноцитов приближалось к норме и составило 2.8%. В летний и осенний период отмечалось незначительное увеличение количества моноцитов до 4.12% и 3.54% соответственно. Наибольшее значение этого показателя было в зимний период, оно составило – 5.01%. Функции фагоцитирования, переноса антител и катализования активируются у нейтрофилов только в зрелом возрасте и только в кровотоке, поэтому их количество у рыб должно находиться на отметке от 5% до 8%. Остальные нейтрофилы в незрелом состоянии находятся в ожидании активации, к которой может привести изменение внутреннего постоянства организма. В результате исследования было установлено, что в летний период количество нейтрофилов значительно превышало норму и составило 17.1% от общего количества элементов крови. В остальные периоды уровень нейтрофилов был в пределах нормы. Высокая степень эвтрофированности водоёма характеризуется большим количеством сине-зеленых водорослей, который оседают на дно и образуют среду для обитания аэробных бактерий, что существенно уменьшает количество кислорода в воде и повышает токсичность водной среды. Снижение количества кислорода в воде может являться сигналом для иммунного ответа (Аминева, Яржомбек, 1984). Этим объясняется летний пик продукции фагоцитирующих лейкоцитов.

Таким образом, изучение сезонной динамики форменных элементов крови выявило повышенное содержание в лейкоцитарной формуле лимфоцитов, моноцитов и нейтрофилов, что можно связать с комплексным воздействием условий обитания, которыми может являться эвтрофированность водоёма, световой режим и кормовая база.

#### **Список литературы**

*Аминева В.А., Яржомбек А.А., 1984. Физиология рыб. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 200 с.*

*Грищенко Л.И., Акбаев М.Ш., 2013. Болезни рыб с основами рыбоводства: учебник и учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М.: Колос, 2013. 479 с.*

*Иванова Н.Т., 1983. Атлас клеток крови рыб: справочное пособие. М.: Легкая промышленность, 1983. 181 с.*

*Пищенко Е.В., 2002. Гематология пресноводной рыбы: Учебное пособие. Новосибирский государственный аграрный институт. Новосибирск, 2002. 48 с.*

*Ручин А.Б., 2008. Изменение гематологических показателей молоди рыб под влиянием цвета освещения // Материалы международной конференции «Биология: теория, практика, эксперимент». Саранск, 2008. Т. 1. С. 189–190.*

*Сиротина М.В., Мурадова Л.В., 2014. Оценка состояния популяции карася серебряного в условиях мелководного озера // Вестник КГУ. № 2. С. 20–23.*

### Сравнительная оценка меристических и некоторых иммунобиохимических показателей карася серебряного (*Carassius gibelio*) озера Каменик Костромской области и карася золотого (*Carassius carassius*) Рыбинского водохранилища

**Резюме.** В работе представлены результаты многолетних исследований по изучению ихтиофауны озера Каменик Костромской области. Приведены данные меристических и некоторых иммунобиохимических показателей карася серебряного *Carassius gibelio*, как доминирующего вида озера Каменик и карася золотого *Carassius carassius* Рыбинского водохранилища за несколько сезонов. С помощью методов биоиндикации по ихтиофауне установлено, что озеро Каменик содержит хорошую кормовую базу и является благоприятной средой для жизни карася серебряного. Рыбинское водохранилище имеет среднюю степень загрязнения, а состояние здоровья карася золотого говорит о действии на него стрессовых факторов.

Антропогенное воздействие вносит существенные изменения в биотические и абиотические элементы водной экосистемы, в результате ухудшается экологическое состояние водоемов, снижается биоразнообразие и количество особей. Поэтому выявление, контроль, оздоровление и охрана водных экосистем являются наиболее актуальными проблемами (Григорьева, 2015; Сиротина и др., 2015).

Целью работы являлось оценить меристические и некоторые иммунобиохимические показатели карася серебряного (*Carassius gibelio*) озера Каменик Костромской области и карася золотого (*Carassius carassius*) Рыбинского водохранилища.

Исследования проводились в течение 2013-2016 гг. на базе лаборатории гидробиологии и ихтиологии кафедры биологии и экологии КГУ им. Н.А. Некрасова (г. Кострома) и лаборатории иммунологии ИБВВ им. И.Д. Папанина РАН (пос. Борок, Ярославская область). Отбор материала для исследования проводился на озере Каменик Костромской области. Для оценки состояния окружающей среды была использована методика оценки стабильности развития популяции по показателям флуктуирующей асимметрии. Анализ иммунологических и биохимических показателей осуществлялся по данным соматических индексов органов, содержанию циркулирующих иммунных комплексов, интенсивности перекисного окисления липидов и содержанию антиоксидантов в тканях.

В ходе исследований установлено, что карась серебряный является доминирующим видом в озере Каменик. Морфофизиологические показатели, индексы и наполняемость кишечника свидетельствуют о хорошей кормовой базе карася в озере Каменик. Средняя масса кишечника карася – 9.2 г, средняя длина кишечника – 97.6 см, наполняемость – 1.9 балла. Средняя плодовитость карася серебряного озера Каменик близка к максимальному значению и составляет 191 тыс. икринок, относительная плодовитость – 469.5 шт./г. Средняя плодовитость карася золотого Рыбинского водохранилища ниже и составляет 141 тыс. икринок, относительная плодовитость 846.8 шт./г. При оценке состояния иммунной системы установлено, что показатели малонового диальдегида у карася серебряного озера Каменик были выше в летний период (17.9 нмоль/г), содержание циркулирующих иммунных комплексов зимой (7.7 усл. ед.). У карася золотого повышенное содержание малонового диальдегида (26.1 нмоль/г) в летний период свидетельствует о сильной антропогенной нагрузке в Рыбинском водохранилище. Снижение общей антиоксидантной активности свидетельствует об интенсификации процессов, вызванных действием стрессующего фактора (Микряков и др., 2001). Частота асимметричного проявления признака у карася серебряного озера Каменик равна II баллам, что свидетельствует о

незначительных (начальных) отклонениях от нормы в развитии популяции и характеризует озеро как экологически чистую, благоприятную среду. Частота асимметричного проявления признака карася золотого Рыбинского водохранилища равна III баллам – средний уровень отклонения от нормы стабильности развития популяции, что характеризует водохранилище как среду со средним уровнем загрязнения (Захаров и др., 2000).

Таким образом, систематические наблюдения за состоянием популяций рыб необходимы для прогнозирования и предупреждения негативных последствий деятельности человека на водные экосистемы.

### Список литературы

Григорьева К.А., 2015. Биоиндикация некоторых водоемов Костромской области по ихтиофауне // Тезисы межрегиональной студенческой научно-практической конференции «Ступени роста – 2015» Кострома: КГУ им. Н.А. Некрасова. С. 37.

Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубинишвили А.Т., 2000. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.

Микряков В.Р., Балабанова Л.В., Заботкина Е.А., Лапирова Т.Б., Попов А.В, Силкина Н.И., 2001. Реакция иммунной системы рыб на загрязнения воды токсикантами и закисление среды. М.: Наука, 2001. 126с.

Сиротина М.В., Мурадова Л.В., Мурадов С.А., Кульмач П.Н., Григорьева К.А., 2015. Биомониторинг некоторых водоемов Костромской области по ихтиофауне // Материалы VI Всероссийской конференции с международным участием «Принципы и способы сохранения биоразнообразия». Йошкар-Ола, 2015. С. 289–291.

УДК 574.583

**В.Н. Катанский, А.С. Семенова**

*ФГБНУ «Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»,  
г. Калининград  
e-mail: polarkld39@gmail.com*

### **Зоопланктон – индикатор экологического состояния рек Калининградской области**

**Резюме.** Возрастающее антропогенное воздействие на природу Калининградской области, ставит задачу оценки качества воды. С помощью методов биоиндикации можно учесть влияние всей совокупности факторов на протяжении длительного времени. Одним из наиболее удобных индикаторных сообществ является зоопланктон. В целях мониторинга можно использовать такие его показатели как численность, биомасса, показатель трофии (Е/О) и коэффициент трофности (Е), сапробность, индекс Шеннона. Согласно показателям зоопланктона в период исследований наиболее загрязнены и эвтрофированы были наиболее крупные реки Калининградской области Неман и Преголя, а также ряд малых рек, впадающих в Балтийское море.

Территория Калининградской области покрыта густой сетью водотоков – в среднем 1 км водотоков на 1 км<sup>2</sup> площади. Большинство рек относится к категории малых, 6 рек имеют длину более 100 км. Под водоёмами различного типа занято 230 тыс. га. Реки принадлежат бассейну Балтийского моря. Самые длинные реки на территории Калининградской области Преголя (123 км) и Неман (115 км в пределах области) объединены системой каналов. Многие реки спрямлены и зарегулированы, судоходны.

Целью работы был количественный и качественный учёт зоопланктона рек Калининградской области.

Пробы зоопланктона отбирали весной, летом и осенью в рипали рек, процеживая 50 л речной воды через сеть Апштейна с размером ячеек 100  $\mu\text{m}$ , после чего фиксировали 40% формалином с добавлением сахарозы (Haney, Hall, 1973). Камеральную обработку проб проводили по общепринятой методике счетным методом Гензена (Салазкин и др., 1984). Подсчет организмов осуществлялся в счетной камере Богорова. При камеральной обработке каждый из встреченных зоопланктонных организмов определялся до вида, а также измерялась его длина по общепринятой методике. Расчет массы организмов зоопланктона проводили используя зависимость массы от длины тела (Балушкина, Винберг, 1979). К доминирующим относили виды, составляющие более 5% от общей численности или биомассы зоопланктона. На протяжении периода исследований был изучен зоопланктон таких рек как Преголя, Инструч, Писса, Красная, Шешупе, Неман, Дейма, Светлогорка и Прохладная.

Зоопланктон изученных рек Калининградской области в весенний, летний и осенний периоды был представлен 66 видами и подвидами, относящимися к трем таксономическим группам: коловраткам (Rotifera), ветвистоусым (Cladocera) и веслоногим (Copepoda) ракообразным. Наибольшее число видов было встречено в более крупных реках Инструч, Преголя, Неман и Дейма, меньшее число видов было отмечено в реках Писса, Шешупе, Прохладная и Светлогорка, минимальное число видов, за весь период исследования – в реке Красная.

Среди доминирующих видов были отмечены такие виды-индикаторы эвтрофных условий (Андроникова, 1996) как *Brachionus calyciflorus* Pall., *Keratella quadrata* (Mull.), *Ceriodaphnia pulchella* G.O. Sars, *Chydorus sphaericus* (O.F. Muller), *Daphnia cucullata* G.O. Sars и *Bosmina longirostris* (O.F. Muller), наибольшего развития они достигали в реках Дейма, Преголя, Светлогорка и Неман, что говорит об их более высоком трофическом статусе по сравнению с другими изученными реками.

Практически во всех изученных реках в целом для периода исследований по численности и биомассе доминировал рачковый зоопланктон (Cladocera, Copepoda), только в реке Неман коловратки (Rotifera) доминировали по численности, а в реке Светлогорка – как по численности, так и по биомассе. При этом коловратки в большей степени были развиты во всех реках в весенний период, тогда как ракообразные в летне-осенний период.

Максимальные значения численности зоопланктона были отмечены в весенний период в реках Неман, Преголя, Инструч, в летний период – в реках Дейма, Преголя, Неман. Максимальные значения биомассы зоопланктона были отмечены в весенний период в реках Неман и Прохладная, в летний период – в реках Дейма и Преголя, в осенний период в реке Преголя за счет массового развития в ней крупноразмерного зоопланктона. В целом за период исследований, наибольшие численность и биомасса зоопланктона были отмечены в реках Преголя (53580 экз./м<sup>2</sup> и 386.63 мг/м<sup>3</sup>), Неман (66000 экз./м<sup>2</sup> и 257.54 мг/м<sup>3</sup>) и Дейма (49540 экз./м<sup>2</sup> и 582.69 мг/м<sup>3</sup>), в реках Инструч и Светлогорка количественное развитие зоопланктона было на среднем уровне, минимальные значения численности и биомассы зоопланктона были отмечены в реке Красная (1960 экз./м<sup>2</sup> и 2.69 мг/м<sup>3</sup>).

Индекс видового разнообразия Шеннона колебался от 0.21 до 2.86 бит/экз., был минимален в реке Красной, максимальное значение принимал в крупных реках Преголя, Писса и Неман.

В реках Преголя, Инструч, Шешупе, Прохладная показатель трофии (E/O) и коэффициент трофности (E) уменьшается от весеннего периода к осеннему, что может говорить об эвтрофикации водоёмов в весенний период в результате смылов с полей. В реках Писса, Красная, Неман, Дейма и Светлогорка эти показатели были максимальны в летний период и это может быть следствием их большего эвтрофирования в летний период в результате массового развития фитопланктона.

По индексу сапробности все реки можно охарактеризовать как бетамезосапробные, максимальные индексы сапробности были отмечены в реках Преголя и Неман в весенний период.



В целом видовой состав, соотношение таксономических групп в численности и биомассе зоопланктона, а также его количественное развитие было характерно для рек средней полосы России (Крылов, 2005).

Если рассматривать реки по их величине, то очевидно, что качество воды ухудшается в более крупных реках в связи с тем, что происходит накопление загрязняющих веществ. Река Неман протекает через территорию трех государств – Белоруссии, Литвы и Российской Федерации, на всем протяжении в реку поступают промышленные и хозяйственно-бытовые стоки, что приводит к тому, что р. Неман является наиболее загрязнённой и имеет высокий трофический статус, что подтверждается большинством показателей зоопланктона.

### **Список литературы**

*Андроникова И.Н.*, 1996. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.

*Балушкина Е.В., Винберг Г.Г.*, 1979. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологической продуктивности озер. Л., 1979. С. 58–72.

*Крылов А.В.*, 2005. Зоопланктон равнинных малых рек. М.: Наука, 2005. 263 с.

*Салазкин А.А., Иванова М.Б., Огородников В.А.*, 1984. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 33 с.

*Haney J.F., Hall D.J.*, 1973 Sugar-coated Daphnia: A preservation technique for Cladocera // Limnology and Oceanography. V. 18. № 2. P.331–333.

УДК 581.526.325

**Н.В. Коновалова**

*ФГБНУ «Сахалинский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»,  
г. Южно-Сахалинск, Сахалинская область  
e-mail: odontella@mail.ru*

### **Зимний фитопланктон юго-западной части Татарского пролива (о. Сахалин) в условиях крушения нефтеналивного судна**

**Резюме.** 28 ноября 2015 года в районе порта г. Невельск (юго-западное побережье Сахалина) выбросило на мель нефтеналивное судно «Надежда», в результате аварии произошла утечка нефтепродуктов и была загрязнена значительная часть побережья морского порта Невельск и, возможно, части Татарского пролива Японского моря. По этой причине возникла необходимость проведения комплексных исследований в данном районе. В результате исследований фитопланктона в декабре 2015 года был обнаружен 171 вид и внутривидовых таксонов микроводорослей из шести отделов. Средняя численность составляла 2.153 тыс. кл/л, средняя биомасса – 6.331 мг/м<sup>3</sup>.

Во время шторма ночью 28 ноября 2015 года танкер «Надежда», перевозивший около 800 тонн мазута и дизельного топлива, сел на мель в районе порта г. Невельск. В результате аварии танкер получил повреждения, вследствие чего произошла утечка нефтепродуктов и была загрязнена значительная часть побережья морского порта Невельск и, возможно, части Татарского пролива Японского моря. В районе крушения танкера в прибрежной зоне сотрудники СахНИРО регулярно отбирали гидробиологические и гидрохимические пробы. Кроме этого, в декабре 2015 года была организована морская экспедиция в юго-западную часть Татарского пролива, цель которой заключалась в оценке пространственного распространения и возможного влияния нефтепродуктов на гидробионты в данной части Татарского пролива. В

данной работе отражены краткие результаты исследования фитопланктона именно этой экспедиции.

Пробы отбирали с помощью батометра типа Нискина на 23 станциях с двух горизонтов (поверхностный и придонный), фиксировали раствором Утермеля. Расстояние от ближайших станций данной съемки до места крушения танкера составляло от 12 км. Всего было отобрано 46 проб объемом 1.3-1.5 л. Концентрировали их с помощью воронки обратной фильтрации через нуклеопоровые лавсановые фильтры диаметром пор 3 мкм (Федоров, 1979). Объем концентрата составлял 1-3 мл. Биомассу клеток рассчитывали, приравнивая их к определенным геометрическим фигурам (Кольцова, 1970; Макарова, Пичкилы, 1970). Доминирующими считали виды, численность и биомасса которых составляла не менее 20% от общей численности и не менее 20% от общей биомассы микроводорослей.

В результате в декабре 2015 года был обнаружен 171 вид и внутривидовых таксонов микроводорослей из шести отделов: диатомовые (Bacillariophyta), динофитовые (Dinophyta), зеленые (Chlorophyta), золотистые (Chrysophyta), криптофитовые (Cryptophyta) и эвгленовые (Euglenophyta). Богатством видов отличались динофитовые (84 вида и внутривидовых таксона) и диатомовые водоросли (73). Зеленые включали шесть видов, криптофитовые – четыре, золотистые – три, эвгленовые – один.

Было выявлено два ведущих рода, принадлежащих отделу динофитовые – *Gymnodinium* (17 таксонов) и *Prorocentrum* (10).

Экологический анализ был проведен для 102 видов и внутривидовых таксонов. Преобладали неритические виды (61% от общего числа видов с известной экологической характеристикой). На долю панталассных приходилось 27%, океанических – 12%.

Фитогеографический анализ был проведен для 86 видов. В результате было выявлено 10 групп видов с известным фитогеографическим ареалом, среди которых преобладали космополиты (38% от общего числа видов с известной экологической принадлежностью к типу ареала) и бореальные виды (19%). Немалую долю в формирование видового состава вносили виды тропическо-бореального (16%). На долю остальных группировок (аркто-бореальной, бореально-арктической, тропическо-бореально-арктической, аркто-бореально-тропической, арктической, бореально-тропической и тропической) приходилось от 1 до 9%.

Среди видов наибольшей частотой встречаемости отличались *Plagioselmis prolonga* Butcher ex G. Novarino, I.A.N. Lucas et S.Morrall и *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschowsky. Они же являлись и основными доминирующими видами по численности.

В районе исследований численность колебалась в пределах 0.027-11.729 тыс. кл/л, биомасса – 0.173-31.698 мг/м<sup>3</sup>. Средняя численность составляла 2.153 тыс. кл/л, средняя биомасса – 6.331 мг/м<sup>3</sup>.

Что касается воздействия нефтепродуктов на сообщество фитопланктона, то оно неоднозначно. При низких концентрациях происходит стимуляция фотосинтеза и скорости деления клеток, при высоких – ингибирование (Хромов, 1977; Патин, 2001). В естественных популяциях фитопланктона Баренцева моря отрицательное влияние специфических нефтепродуктов (машинное масло, дизельное топливо, мазут) может проявляться даже при концентрациях, равных санитарному ПДК (0.05 мг/л) (Хромов, 1977). Концентрация нефти в воде 1.0 мг/л и более вызывает уже токсический пролонгированный эффект в виде снижения обилия фитопланктона (уменьшение количества клеток фитопланктона, в основном за счет гибели диатомовых). В лабораторных опытах после часовой экспозиции при такой концентрации нефтепродуктов происходит отмирание планктонных клеток через три дня (Нельсон-Смит, 1977). На ответную реакцию фитопланктона влияют химический состав нефти, способ диспергирования, температура, длительность воздействия, видовая чувствительность водорослей и т.д. При различной остроте реакции разных видов водорослей на воздействие нефтепродуктов очевидна общая тенденция к снижению биомассы и первичной продукции растительных клеток (Макаревич, 2013).

В наших исследованиях явных признаков угнетения фитопланктона в юго-западной части Татарского пролива на период декабрь 2015 года выявлено не было. При концентрации

проб лавсановые фильтры нефтяной пленкой не покрывались, запах нефтепродуктов не ощущался, клетки фитопланктона имели обычную форму. Значения численности и биомассы были низкими, но т.к. в литературе нет современных адекватных данных о состоянии зимнего фитопланктона в этом районе Татарского пролива, то мы не можем утверждать, что столь низкие показатели количественных характеристик – результат воздействия нефтепродуктов. Дальнейшие исследования этих вод, а также сопоставление с данными о состоянии сообществ зоо-, ихтиопланктона, бентоса позволят в более полной мере оценить результат воздействия нефтепродуктов на биоту данного региона.

### **Список литературы**

*Кольцова Т.И.*, 1970. Определение объема и поверхности клеток фитопланктона // Биологические науки. № 6. С. 75–78.

*Макаревич П.Р.*, 2013. Воздействие разработки объектов морского нефтегазового комплекса на пелагические фитоценозы Баренцева моря // Вестник МГТУ. Т. 16. № 3. С. 478–485.

*Макарова И.В., Пичкилы Л.О.*, 1970. К некоторым вопросам методики вычисления биомассы фитопланктона // Ботанический журнал. Т. 55. № 10. С. 1488–1494.

*Нельсон-Смит А.*, 1977. Нефть и экология моря. М.: Прогресс, 1977. 303 с.

*Патин С.А.*, 2001. Нефть и экология континентального шельфа. М.: Изд-во ВНИРО, 2001. 249 с.

*Федоров В.Д.*, 1979. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: Изд-во МГУ, 1979. 166 с.

*Хромов В.М.*, 1977. Влияние нефтепродуктов на планктонное сообщество // Проблемы изучения действия загрязнителей на экосистемы северных морей. Апатиты, КФ АН СССР, 1977. С. 44–56.

УДК 556.51:528.8

**А.В. Кутузов**

*ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова РАН», пос. Борок, Ярославская область  
e-mail: kutuzov-st@yandex.ru*

### **Метод оперативного спутникового мониторинга скоплений планктонных водорослей**

**Резюме.** Описаны результаты количественной оценки биомассы фитопланктона («цветение» воды) на основе данных оперативной спутниковой съёмки – спутники Aqua/Terra (MODIS), в интересах наземных служб мониторинга. Данные нового спутника – Landsat-8 (OLI) – с более высоким пространственным разрешением (до 15-30 м/пиксель) использовались как вспомогательные, при организации оперативных подспутниковых (судовых) измерений показателей качества воды. Исследования проводились на Ладожском и Псковско-Чудском озерах, и в восточной части Финского залива. При разработке и апробации алгоритма оперативного определения фитопланктона использовались также архивные материалы спутниковой и подспутниковых измерений. По результатам обработки имеющихся данных, показан высокий уровень корреляции спутниковых данных высокого и низкого пространственного разрешения, что позволяет использовать последние в суточном мониторинге фитопланктона. Разработанные предложения по системе оперативного дистанционного мониторинга, позволяют значительно снизить необходимость трудоёмких контактных (судовых) измерений в допустимых погодных условиях для спутниковой фотосъёмки.

*Цель проведенного исследования – разработка и апробация алгоритма оперативного мониторинга масштабных скоплений планктонных водорослей – «фитопланктонных облаков»*

и методов количественной оценки их плотности, на основе данных спутниковой съёмки. Определялись оптимальные характеристики спутниковых данных, для оперативного обнаружения фитопланктона (свободно распространяемые). Были использованы снимки аппаратуры MODIS (спутники Aqua/Terra) – для оперативного мониторинга: не менее чем 1 снимок/сутки; аппаратуры OLI (спутник Landsat-8) – дополнительно и для апробации метода количественной оценки биомассы фитопланктона. Разработан и обоснован метод получения количественных данных о плотности и распределении масс планктонных водорослей, определен алгоритм выбора оптимальных дат и участков подспутниковых измерений (т.е. синхронизированных со спутниковой съёмкой), с учётом сроков прохождения спутников над местом съёмки.

В настоящем исследовании, описаны данные подспутниковых (судовых) измерений концентрации фитопланктона по материалам многолетних наблюдений оз. Ладога и на Псковском и Чудском озерах, а также в Финском заливе (восточная часть). Самые распространённые массовые виды планктонных водорослей исследуемых водоёмов относятся к эврибионтной группе – криптофитовые водоросли (криptomonеды). Внутри этой группы определение видов не проводилось. Биомасса водорослей, оценивалась по концентрации хлорофилла: полевые (судовые) измерения и дистанционно по спутниковым данным. При обработке спутниковых данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) применялся метод оценки «индекса цвета» (Ерлов, 1980; Буканова и др., 2011). Для определения «индекса цвета» воды были выбраны отношения каналов спутниковых снимков B10/B12 (и близкие B9/B11) каналов, спектрорадиометра MODIS, соответствующие спектральным диапазонам B10=483-493 нм и B12=546-556 нм. Для Landsat-8 (спектрорадиометр OLI) использовались данные 2х спектральных каналов: 2-й (450-515 нм) и 3-й (525-600 нм). Индексы рассчитывались здесь как отношение спектральных яркостей каналов B2/B3.

Данные спектрорадиометра MODIS используются для оперативного мониторинга (до 4 раз в сутки), а данные спектрорадиометра OLI – для детального сопоставления с результатами подспутниковых измерений и как дополнительный источник данных. После проведения тематической обработки все полученные результаты, включая судовые измерения, экспортировались в единый ГИС проект «Планктон», в котором проходил дальнейший анализ совмещённых подспутниковых и спутниковых данных.

Массовые скопления фитопланктона характерны для мелководий, вблизи побережий с активным сбросом сточных вод. Такие мелководья могут быть отнесены к аквальному блоку экотона «вода-суша», активно взаимодействующему с побережьем (Balyuk at al., 2007; Woźniak at al., 2008). Спутниковый мониторинг зоны экотонной системы «вода-суша», её аквального блока позволяет оценивать масштабы и пространственное распределение «цветения воды» (Кутузов, 2007; Лаврова и др., 2014).

*Результаты исследований.* Общий ход (градиент) величин, непосредственно измеренной концентрации хлорофилла "а" и полученных дистанционно, значений индекса цвета хорошо совпадает – высокий уровень корреляции. В результате обработки данных ДЗЗ рассчитывается индекс цвета воды, который в свою очередь коррелирует с концентрацией фитопланктона. На основе оценки зависимости между индексом цвета и концентрацией фитопланктона данные ДЗЗ можно использовать для оперативного контроля состояния водоема. Разработанный метод количественной оценки универсален для всех рассмотренных водоёмов, с различным гидрологическим режимом.

### **Список литературы**

- Буканова Т.В., Вазюля С.В., Копелевич О.В., Буренков В.И., Григорьев А.В., Храпко А.Н., Шеберстов С.В., Александров С.В., 2011. Региональные алгоритмы оценки концентрации хлорофилла и взвеси в юго-восточной Балтике по данным спутниковых сканеров цвета // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 8. № 2. С. 64–73.
- Ерлов Н.Г., 1980. Оптика моря. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 242 с.

Кутузов А.В., 2007. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга систем «вода–суша» на равнинных водохранилищах (на примере Цимлянского водохранилища) // Исследование Земли из космоса. № 6. С. 64–72.

Лаврова О.Ю., Соловьев Д.М., Строчков А.Я., Шендрик В.Д., 2007. Спутниковый мониторинг интенсивного цветения водорослей в Рыбинском водохранилище // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 11. № 3. С. 54–72.

Balyuk T.V., Kutuzov A.V., Nazarenko O.G., 2007. Ecotone system of the southeastern coast of the Tsimlyansk Reservoir // Water Resources. V. 34. № 1. P. 95–102.

Woźniak B., Krężel A., Darecki M., Woźniak S.B., Majchrowski R., Ostrowska M., Kozłowski Ł., Ficek D., Olszewski J., Dera J., 2008. Algorithm for the remote sensing of the Baltic ecosystem (DESAMBEM) // Oceanologia. V. 50 (4). Part 1: Mathematical apparatus. P. 451–508.

УДК 574.632

**Р.А. Ложкина, Е.И. Головкина**

ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова РАН», пос. Борок, Ярославская область  
e-mail: lozhkina.roza@yandex.ru

### **Влияние солей редкоземельных элементов на гидробионтов различной систематической принадлежности**

**Резюме.** Изучено влияние растворов солей редкоземельных элементов на биологические параметры пресноводных гидробионтов (*Ceriodaphnia affinis*, *Daphnia magna* и *Danio rerio*). Наиболее чувствительный из использованных тест-объектов – ветвистоусый рачок *C. affinis*, наименее – аквариумная рыбка *D. rerio*.

Интенсивное развитие новых технологий на основе использования редкоземельных элементов (РЗЭ) и все более возрастающая потребность в них привели в последнее время к заметному расширению масштабов их производства, а также расширению ассортимента содержащей их продукции и областей её применения. РЗЭ используются в различных отраслях техники: радиоэлектронике, приборостроении, машиностроении, химической промышленности, металлургии, сельском хозяйстве и др. (Баренбойм и др., 2014). В связи с возрастающим масштабом поступления РЗЭ в окружающую среду в первую очередь в водоемы (Pavlov et al., 2005), многие авторы обращают огромное внимание на токсическое действие РЗЭ на водные организмы (Lürlinga, Tolmana, 2010), но информации об их токсичности для водных организмов недостаточно (Barry, Meehan, 2000; Jin et al., 2009; Sun et al., 1997).

*Цель работы* – экспериментальная оценка токсического воздействия редкоземельных элементов на гидробионтов различной систематической принадлежности.

В работе использовались следующие соли РЗЭ: лантан сернокислый 8-водный  $\text{La}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , нитрат гадолия 5-водный  $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , хлорид церия 7-водный  $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , нитрат церия 6-водный  $\text{CeNO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и церий сернокислый 8-водный  $\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ . Исследуемые концентрации в опытах получали путем последовательного разведения отстоянной водопроводной водой.

Содержание РЗЭ в исходных растворах измеряли при помощи масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой (Taylor, 2001).

Токсическое действие солей РЗЭ исследовали по стандартным методикам на лабораторных культурах цериодафний *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, 1862 (Методика определения токсичности, 2007) и дафний *Daphnia magna* Straus, 1826 (Методика определения токсичности, 2007а), а также икротечущей аквариумной рыбке *Danio rerio* Hamilton-Buchanan, 1822 (Методы испытаний химической продукции, 2014).

Летальные концентрации РЗЭ определяли в остром опыте при экспозиции 48 ч в 3-х кратной повторности (табл.1). Среднюю летальную концентрацию LC<sub>50</sub> по элементу устанавливали графическим способом.

Таблица 1. Острая токсичность РЗЭ LC<sub>50-48</sub> (мкг РЗЭ/л) на гидробионтов.

Анион	Катион	<i>Ceriodaphnia affinis</i>	<i>Daphnia magna</i>	<i>Danio rerio</i>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	La <sup>2+</sup>	64.27	84.73	169.05
	Ce <sup>3+</sup>	34	60.46	137.87
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ce <sup>3+</sup>	17.58	10.12	133.4
	Gd <sup>3+</sup>	17.03	0.78	150.09
Cl <sup>-</sup>	Ce <sup>3+</sup>	13.28	31.5	171.1

Таким образом, по экспериментальным данным *C. affinis* оказались более чувствительны к растворам лантана и церия сернокислого, а также к хлориду церия. *D. magna* – к нитрату церия и гадолиния. Наименее чувствительный тест-объект *D. rerio*. Установлено, что токсичность РЗЭ зависит не только от катиона РЗЭ, но и от связанного с ним аниона.

### Список литературы

Баренбойм Г.М., Авандеева О.П., Коркина Д.А., 2014. Редкоземельные элементы в водных объектах (экологические аспекты) // Вода: химия и экология. № 5. С. 42–56.

Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. 2007. Федеральный реестр (ФР). ФР.1.39.2007.03222. М., АКВАРОС. 41 с.

Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости цериодафний. 2007. Федеральный реестр (ФР). ФР.1.39.2007.03221. М., АКВАРОС. 56 с.

Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Краткосрочное испытание токсичности на эмбрионах и предличинках рыб. Межгосударственный стандарт ГОСТ 32541-2013. М., Стандартинформ, 2014. 20 с.

Barry M.J., Meehan B.J., 2000. The acute and chronic toxicity of lanthanum to *Daphnia carinata* // Chemosphere. V. 41. P. 1669–1674.

Jin X., Chu Z., Yan F., Zen Q., 2009. Effects of lanthanum(III) and EDTA on the growth and competition of *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus quadricauda* // Limnologia. V. 39. P. 86–93.

Lürling M., Tolmana Y., 2010. Effects of lanthanum and lanthanum-modified clay on growth, survival and reproduction of *Daphnia magna* // Water Research. V 44. № 1. P. 309–319.

Pavlov D.F., Frontasyeva M.V., Pavlov S.S., Pancratova Yu., 2005. Distribution of trace elements in freshwater ecosystem compartments of man-made Rybinsk Reservoir (Central Russia) using epithermal neutron activation analysis // Ovidius University Annals of Chemistry. V. 16. № 1. P. 72–75.

Sun H., Wang X.-R., Wang L.-S., 1997. Bioconcentration of rare earth elements lanthanum, gadolinium and yttrium in algae *Chlorella vulgaris* Beijerinck: influence of chemical species // Chemosphere. V. 34. P. 1753–1760.

Taylor H.E., 2001. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. Practices and Techniques. San Diego: Academic Press, 2001. 294 pp.

**Изучение фитопланктонных сообществ малых рек Черная и Сеха ГПЗ «Кологривский Лес» (Костромская область) с учетом аспектов сезонной и межгодовой динамики**

**Резюме.** Данная работа посвящена исследованию сообществ фитопланктона малых рек ГПЗ «Кологривский лес» им. М.Г. Синицына (Костромская область) с учетом сезонных и межгодовых изменений. При этом нами были определены основные качественные (определение родовой принадлежности, индекс разнообразия Менхиника) и количественные (плотность клеток фитопланктона в 1 л) показатели фитопланктонных сообществ малых рек Черная и Сеха, согласно которым можно проводить мониторинг экологического статуса исследуемых рек.

На территории заповедника «Кологривский лес» имеется большое количество малых рек, исследованиями которых практически никто не занимался. Это, прежде всего, связано с тем, что заповедник образовался сравнительно недавно. В качестве объекта изучения нами был выбран фитопланктон как начальное звено трофической цепи водной экосистемы (Марамохин, Малахова, 2014). Комплексное изучение фитопланктона также позволяет получить анализ степени загрязненности водоема. Особенное значение это имеет для тех биотопов, которые подвергались ранее или подвергаются на данный момент времени антропогенной нагрузке (Малахова, Марамохин, 2014). В частности, к первому случаю относится территория заповедника «Кологривский лес», расположенный на территории Костромской области. Удобным объектом для изучения экологии данного участка является фитопланктон: его сообщества быстро реагируют на изменения в окружающей среде.

Изучение фитопланктонных сообществ проводилось нами в период 2014-2015 годов в течение весеннего, летнего и осеннего периодов. Для исследования были выбраны две малые реки кологривского участка ГПЗ «Кологривский лес», являющиеся правыми притоками реки Унжи: Черная и Сеха. Необходимо учесть некоторые гидробиологические аспекты указанных рек, которые влияют на структуру и состав сообществ. Река Черная – среднетекучая река (0.12 м/с) с глубиной 0.2-0.8 м, шириной 1.5-2 м и прозрачностью 0.5-0.7 м. Колебания температуры в весенне-летний период составляет 13-18°C, в осенний период 5-7°C, присутствует активная деятельность животных в виде сооружения бобровых плотин вдоль русла реки. Река Сеха – медленнотекущая река (0.07 м/с) с глубиной 0.3-1.5 м, шириной 4-6 м, прозрачностью 0.70-0.85 м. Колебания температуры воды в весенне-летний период составлял 14-19°C, в осенний период 6-8°C. С различных станций вышеперечисленных рек нами были взяты качественные и количественные пробы фитопланктона; сбор проб производился при помощи планктонной сети. Впоследствии пробы были зафиксированы раствором формалина.

За весь период исследования нами были обнаружены следующие отделы фитопланктонных организмов: диатомовые (Забелина и др., 1951), зеленые (Мошкова, Голлербах, 1986), синезеленые (Голлербах, 1953), желтозеленые (Дедусенко-Щеголева, Голлербах, 1962), эвгленовые (Попова, 1955), золотистые водоросли (Храмцов, 2004). В частности, в реке Черная были обнаружены следующие рода диатомовых водорослей (*Achnanthes*, *Amphipleura*, *Amphora*, *Asterionella*, *Bacillaria*, *Brachysira*, *Caloneis*, *Cymatopleura*, *Eunotia*, *Fragillaria*, *Gomphonema*, *Gyrosigma*, *Luticola*, *Melosira*, *Meridion*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Stauroneis*, *Placoneis*, *Sellaphora*, *Pinnularia*, *Synedra*, *Tabellaria*), зеленых (*Ceratium*, *Cladophora*, *Closterium*, *Desmococcus*, *Microspora*, *Mougeotia*, *Volvox*, *Palmodiction*, *Sphaeroplea*, *Spirogyra*, *Spirulina*, *Ulotrix*, *Netrium*), синезеленых (*Anabena*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Spirulina*), эвгленовых (*Euglena*), золотистых (*Uroglena*) и желтозеленых (*Vaucheria*). В реке Сеха обнаружены следующие рода диатомовых водорослей (*Achnanthes*, *Actinastrum*, *Amphipleura*, *Amphora*, *Aneumastus*, *Asterionella*, *Bacillaria*, *Brachysira*, *Caloneis*, *Cocconeis*, *Cymatopleura*,

*Cymbella, Diatoma, Epithemia, Eunotia, Fragillaria, Frustulia, Gomphonema, Gyrosigma, Melosira, Meridion, Navicula, Nitzschia, Pinnularia, Stauroneis, Synedra, Tabellaria*), зеленых (*Chlorococcum, Cladophora, Closterium, Cosmarium, Desmococcus, Gonium, Mougeotia, Palmodiction, Spirogyra, Spirulina, Ulotrix, Volvox, Zygnema*), синезеленых (*Anabena, Gloeocapsa, Lyngbya, Merismopedia, Microcystis, Oscillatoria, Phormidium*), золотистых (*Dinobryon*), желтозеленых (*Tribonema, Vaucheria, Xanthonema*) и эвгленовых (*Euglena*). При сравнении данных относительно качественного состава фитопланктонных сообществ показывает, что большее разнообразие родов фитопланктона наблюдается в течение 2015 года. Колебания численности клеток фитопланктонных организмов на один литр воды в весенне-летне-осенний период 2014 года составляли для реки Черная 1220-455-8217 кл/л, для реки Сеха 1620-58252-11518 кл/л. В течение летнего и осеннего периодов 2015 года происходили следующие колебания плотности фитопланктона: для реки Черная 1709.4-3498 кл/л, для реки Сеха 2772-7154.4 кл/л. Таким образом, мы можем заметить, что в среднем максимальная плотность клеток фитопланктона наблюдается в реке Сеха, так как ее гидрологический режим способствует активному росту и размножению фитопланктонных организмов. Индекс Менхиника в весенне-летне-осенний период 2014 года составляет: в реке Черная 0,6-1,25-0,34; в реке Сеха 0,7-0,5-0,1. В течение летнего и осеннего периодов 2015 года происходили следующие колебания данного показателя: для реки Черная 1.87-1.89, для реки Сеха 2.41-1.81. Исходя из полученных данных, индекс разнообразия фитопланктона в 2015 году значительно возрос, что свидетельствует о постепенном восстановлении водной экосистемы от воздействия антропогенной нагрузки (Садчиков, 2003).

За время исследования 2014-2015 годов были обнаружены 6 отделов фитопланктонных организмов, что отражает значительное биологическое разнообразие сообществ. В осенний период обоих годов исследования отмечается рост плотности клеток фитопланктона, что может быть связано с поддержанием благоприятных для роста и размножения фитопланктона погодных условий. Увеличение индекса Менхиника свидетельствует об успешном восстановлении водной экосистемы.

### Список литературы

- Голлербах М.М., Коссинская Е.К., Полянский В.И., 1953. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. Синезеленые водоросли. М.: Советская наука, 1953. 654 с.
- Дедусенко-Щеголева Н.Т., Голлербах М.М., 1962. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 5. Желтозеленые водоросли. М.: Советская наука, 1962. 272 с.
- Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С., 1951. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли. М.: Советская наука, 1951. 619 с.
- Малахова К.В., Марамохин Э.В., 2014. Анализ качественного и количественного состава фитопланктона малых рек Черной и Сехи заповедника «Кологривский лес» в сезонной динамике // Молодой ученый. №12. С. 358–360.
- Марамохин Э.В., Малахова К.В., 2014. Качественный и количественный анализ фитопланктона рек Понги и Лондушки заповедника «Кологривский лес» // Молодой ученый. №12. С. 360–363.
- Мошкова Н.А., Голлербах М.М., 1986. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 10 (1). Зеленые водоросли. Класс Улотриксомые. Л.: Наука, 1986. 360 с.
- Попова Т.Г., 1955. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 7. Эвгленовые водоросли. М.: Советская наука, 1955. 284 с.
- Садчиков А.П., 2003. Методы изучения пресноводного фитопланктона. М.: Университет и школа, 2003. 157 с.
- Храмцов А.К., 2004. Краткое руководство по определению родов пресноводных водорослей. Минск: БГУ, 2004. 49 с.



**Некоторые показатели сезонных и межгодовых изменений  
фитопланктонных сообществ малых рек Понги и Лондушки  
(ГПЗ «Кологривский Лес», Костромская область)**

**Резюме.** В текущей работе исследованы некоторые качественные и количественные показатели относительно фитопланктонных сообществ малых рек Понги и Лондушки (ГПЗ «Кологривский лес» им. М.Г. Синицына, Костромская область). В частности, были изучены такие показатели как родовое разнообразие фитопланктона, индекс разнообразия Менгиника, плотность клеток фитопланктона в 1 л исследуемой жидкости.

Водоросли оказывают большое влияние на окружающие их организмы. Они являются пищей планктонных и бентосных животных, занимая тем самым значительное место в биотическом круговороте. Развитие фитопланктона определяет уровень биологической продуктивности водоема (Садчиков, 2003). Комплексное изучение фитопланктона позволяет получить анализ степени загрязненности водоема и его сапробности. Особенно большое значение это имеет для тех биотопов, которые подвергались ранее или подвергаются на данный момент времени антропогенной нагрузке. В частности, к первому случаю относится заповедник «Кологривский лес», расположенный на территории Костромской области (Малахова, Марамохин, 2014).

Изучение фитопланктонных сообществ проводилось в 2014-2015 гг. Для исследования фитопланктона были взяты малые реки Кологривского заповедника: река Понга и река Лондушка. С целью наиболее объективного изучения фитопланктонных сообществ желательнее учесть некоторые гидробиологические особенности указанных рек, влияющие на состав сообществ. Река Понга – быстротекущая река (0.6 м/с) с глубиной 0.2-1.5 м, шириной 8-10 м, высокой прозрачностью (0.8 м). Колебания температуры воды в весенне-летний период составляли 14-19°C, а в осенний период 6-8°C, отмечена активная жизнедеятельность животных в пределах реки в виде сооружения бобровых плотин. Река Лондушка – среднетекучая река (0.13 м/с) с глубиной 0.2-1.1 м, шириной 3-5 м, прозрачностью 0.8 м. Колебания температуры в весенне-летний период 14.5-20°C, в осенний период 7-9°C. С нескольких станций указанных рек нами были взяты качественные и количественные пробы фитопланктона при помощи планктонной сети, которые впоследствии были зафиксированы раствором формалина (Марамохин, Малахова, 2014).

За период исследования 2014-2015 гг нами были выявлены следующие отделы фитопланктонных организмов: диатомовые (Забелина и др., 1951), зеленые (Мошкова, Голлербах, 1986), синезеленые (Голлербах и др., 1953), желтозеленые (Дедусенко-Щеголева, Голлербах, 1962), эвгленовые (Попова, 1955), золотистые и красные водоросли (Храмцов, 2004). В реке Понге были обнаружены следующие рода диатомовых водорослей (*Achnanthes*, *Actinastrum*, *Amphipleura*, *Amphora*, *Asterionella*, *Bacillaria*, *Brachysira*, *Cocconeis*, *Cymbella*, *Diatoma*, *Eunotia*, *Gomphonema*, *Gyrosigma*, *Melosira*, *Navicula*, *Pinnularia*, *Surirella*, *Synedra*, *Tabellaria*), зеленых (*Cladophora*, *Closterium*, *Hydrodictyon*, *Mougeotia*, *Scenedesmus*, *Spirogyra*, *Staurastrum*, *Ulotrix*, *Volvox*), синезеленых (*Anabena*, *Microcystis*, *Oscillatoria*), золотистых (*Uroglena*), желтозеленых (*Bambusina*, *Botrydium*, *Tribonema*, *Vaucheria*), эвгленовых (*Euglena*) и красных (*Batrachospermum*) водорослей. В реке Лондушке обнаружены следующие рода диатомовых (*Actinastrum*, *Amphora*, *Asterionella*, *Brachysira*, *Cymatopleura*, *Cymbella*, *Diatoma*, *Eunotia*, *Gomphonema*, *Gyrosigma*, *Melosira*, *Meridion*, *Navicula*, *Pinnularia*, *Synedra*, *Tabellaria*) водорослей, зеленых (*Ceratium*, *Chlorococcum*, *Cladophora*, *Closterium*, *Microspora*, *Mougeotia*, *Spirogyra*, *Spirotaenia*, *Spirulina*, *Tetmemorus*, *Ulotrix*, *Zygnema*, *Volvox*), синезеленых (*Anabena*,

*Oscillatoria*), золотистые (*Uroglena*) и желтозеленых (*Bambusina*, *Characiopsis*, *Tribonema*, *Vaucheria*, *Xanthonema*) водорослей. Исходя из данных наблюдений можно сделать вывод о том, что разнообразие фитопланктонных организмов было наиболее богато в 2015 году. Колебания численности клеток фитопланктонных организмов на один литр воды в весенне-летне-осенний период 2014 года составляли для реки Понги 732-11088-19523 кл/л, для реки Лондушки 237-2198-33482 кл/л. В течение летнего и осеннего периодов 2015 года происходили следующие колебания плотности фитопланктона: для реки Понги 3055.8-2752.2 кл/л, для реки Лондушки 6682.5-8573.4 кл/л. В среднем максимальная плотность клеток фитопланктона наблюдается в реке Лондушке (14379.6 кл/л и 9799.9 кл/л соответственно), так как ее гидрологический режим способствует размножению фитопланктона. Индекс разнообразия Менхиника в весенне-летне-осенний период 2014 года составляет: в реке Понге 1.7-0.9-0.1; в реке Лондушке 1-0.9-0.07 (Садчиков, 2003). В течение летнего и осеннего периодов 2015 года происходили следующие колебания данного показателя: для реки Понги 2.34-1.98, для реки Лондушки 1.73-2.01. Индекс разнообразия фитопланктона в 2015 году по сравнению с 2014 возрос, что отражает постепенное восстановление водной экосистемы от влияния человеческого фактора.

За период исследования 2014-2015 гг в малых реках Понга и Лондушка нами были обнаружены 7 отделов фитопланктонных организмов, что представляет значительное биологическое разнообразие. В осенний сезон периода исследования наблюдается увеличение плотности клеток фитопланктона, что может быть связано с благоприятными погодными условиями. Возрастание индекса Менхиника свидетельствует о восстановлении водной экосистемы.

### Список литературы

- Голлербах М.М., Коссинская Е.К., Полянский В.И., 1953. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. Синезеленые водоросли. М.: Советская наука, 1953. 654 с.
- Дедусенко-Щеголева Н.Т., Голлербах М.М., 1962. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 5. Желтозеленые водоросли. М.: Советская наука, 1962. 272 с.
- Забелина М.М., Киселёв И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С., 1951. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли. М.: Советская наука, 1951. 619 с.
- Малахова К.В., Марамохин Э.В., 2014. Анализ качественного и количественного состава фитопланктона малых рек Черной и Сехи заповедника «Кологривский лес» в сезонной динамике // Молодой ученый. №12. С. 358–360.
- Марамохин Э.В., Малахова К.В., 2014. Качественный и количественный анализ фитопланктона рек Понги и Лондушки заповедника «Кологривский лес» // Молодой ученый. №12. С. 360–363.
- Мошкова Н.А., Голлербах М.М., 1986. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 10 (1). Зеленые водоросли. Класс Улотриксковые. Л.: Наука, 1986. 360 с.
- Попова Т.Г., 1955. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 7. Эвгленовые водоросли. М.: Советская наука, 1955. 284 с.
- Садчиков А.П., 2003. Методы изучения пресноводного фитопланктона. М.: Университет и школа, 2003. 157 с.
- Храмцов А.К., 2004. Краткое руководство по определению родов пресноводных водорослей. Минск: БГУ, 2004. 49 с.

## Оценка действия меди на фотосинтетический аппарат микроводоросли по содержанию фотосинтетических пигментов и показателям лазерно-индуцированной флуоресценции

**Резюме.** При концентрациях меди 0.05 и 0.1 мг/л через 24 ч у микроводоросли *Porphyridium purpureum* содержание хлорофилла *a* и каротиноидов; лазерно-индуцированная флуоресценция (ЛИФ) хлорофилла *a* и фикоэритрина равнялись контрольным. Через 96 ч содержание пигментов было ниже в присутствии меди, чем в контроле. Показатели ЛИФ хлорофилла *a* при содержании 0.05 мг/л не отклонялись от контрольных, в то время как ЛИФ фикоэритрина уменьшалась. При 0.1 мг/л ЛИФ пигментов снижалась.

Медь необходима для жизнедеятельности растений, в том числе для функционирования фотосинтетического аппарата. Однако при избыточном содержании ее в среде у растительного организма происходит повреждение ультраструктуры хлоропластов, деградация фотосинтетических пигментов, нарушение конформации ферментов, участвующих в цикле Кальвина, и разобщение электрон-транспортной цепи (Nowicka et al., 2016). Показатели лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛИФ) хлорофилла *a* используются как индикаторы стресса при котором изменяется утилизация поглощенной энергии света (Voznesenskiy et al., 2016). Среди небольшого количества одноклеточных красных водорослей, введенных в культуру, *Porphyridium purpureum*, привлекает внимание исследователей как модельный объект для изучения физиологии микроводорослей (Ефимова и др., 2014). В связи с вышеизложенным целью настоящей работы заключалась в оценке действия меди в концентрациях 0.05 и 0.1 мг/л на фотосинтетический аппарат микроводоросли *P. purpureum* в остром опыте. Оценку проводили по изменению следующих показателей: содержание хлорофилла *a* и каротиноидов; ЛИФ хлорофилла *a* и фикоэритрина.

Объектом исследования служила одноклеточная водоросль *P. purpureum* (Bory de Saint-Vincent, 1797) Drew et Ross, 1956 (Rhodophyta) из коллекции микроводорослей ИБМ ДВО РАН. Водоросль выращивали на среде *f* (Guillard, Ryther, 1962), приготовленной на основе стерилизованной морской воды, при температуре 20°C, интенсивности освещения 70 мкмоль·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> в области видимого света и свето-темновым периодом 12 ч свет : 12 ч темнота. Продолжительность опытов – 96 часов. Определение исследованных показателей проводили через 24 и 96 часов. Медь добавляли в виде CuSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O, концентрации меди составляли 0.05 и 0.1 мг/л. ПДК меди в морской среде – 0.005 мг/л; в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования 1 мг/л. Все опыты проводили в трех повторах. Содержание хлорофилла *a* и каротиноидов определяли стандартным методом экстракции из клеток ацетоном с последующим измерением на спектрофотометре Shimadzu-UV 2550. Расчет концентраций данных пигментов производили по известным формулам (ГОСТ 17.1.4.02-90). Возбуждение ЛИФ осуществлялось диодным лазером (MellesGriot) с непрерывным лазерным излучением с длиной волны 445 нм мощностью 38 мВт. Спектры ЛИФ фитопланктона измерялись спектрометром Shamrock 303i компании AndorTechnology (США) с EMCCD камерой Newton 970.

Начальное содержание хлорофилла *a* составляло 67±6,3 мкг/л, каротиноидов – 42±3.4 мкг/л. Содержание хлорофилла *a* через 24 ч опыта при концентрациях меди 0.05 и 1 мг/л было незначительно выше чем в контроле (67±2.1 мкг/л) – 74±1.4 и 79±5.9 мкг/л соответственно. Содержание каротиноидов в контроле составляло 53±1.9 мкг/л, а при 0.5 и 0.1 мг/л токсиканта 49±5.0 и 48±2.6 мкг/л соответственно. Через 96 ч содержание хлорофилла *a* в контроле

достигло  $199 \pm 19.5$  мкг/л, а в с медью было ниже уровня контроля:  $148 \pm 22.5$  мкг/л и  $109 \pm 7.8$  мкг/л при 0.05 и 0.1 мг/л токсиканта соответственно. Содержание каротиноидов 0.05 и 0.1 мг/л вещества также было ниже контрольного уровня ( $121 \pm 12.7$  мкг/л):  $83 \pm 10.0$  мкг/л и  $57 \pm 3.3$  мкг/л соответственно.

Показатели ЛИФ хлорофилла *a* отображают реакцию пигментного аппарата на воздействие меди. Начальные показатели ЛИФ составляли  $2.9 \pm 0.12$  усл. ед. для контроля;  $3.1 \pm 0.08$  усл. ед. для 50;  $3.1 \pm 0.06$  усл. ед. для 0.1 мг/л. Через 24 ч при 0.05 мг/л по сравнению с контролем не обнаружено изменение интенсивности ЛИФ, которая составила для контроля  $2.9 \pm 0.18$  усл. ед.; для 0.05 мг/л –  $3.09 \pm 0.16$  усл. ед.; для 0.1 мг/л –  $3.6 \pm 0.21$  усл. ед. Через 96 ч показатели ЛИФ для контроля и 0.05 мг/л выросли соответственно до  $8.7 \pm 0.2$  усл. ед. и  $8.8 \pm 0.16$  усл. ед., а при 0.1 мг/л интенсивность ЛИФ увеличилась только до  $4.9 \pm 0.1$  усл. ед.

Важным критерием для наблюдения, кроме ЛИФ хлорофилла *a*, является ЛИФ фикоэритрина, дополнительного флуоресцентного пигмента. Так в начале опыта интенсивность ЛИФ фикоэритрина была  $0.5 \pm 0.02$  усл. ед. для контроля,  $0.5 \pm 0.01$  усл. ед. для 0.05 мг/л и  $0.6 \pm 0.004$  усл. ед. для 0.1 мг/л. Через 24 ч составляла  $0.8 \pm 0.14$  усл. ед. для контроля,  $0.6 \pm 0.04$  усл. ед. для 0.05 мг/л и  $0.6 \pm 0.006$  усл. ед. для 0.1 мг/л. Через 96 ч в контроле –  $2.5 \pm 0.54$  усл. ед.; при 0.05 мг/л –  $1.1 \pm 0.03$  усл. ед. и при 0.1 мг/л  $0.7 \pm 0.03$  усл. ед. То есть в среде без меди ЛИФ фикоэритрина растет на много быстрее, чем в ее присутствии.

Таким образом, медь в концентрации 0.05 мг/л оказывает слабое воздействие на фотосинтетический аппарат *P. purpureum*, которое проявляется только через 96 ч экспозиции, выражающееся в снижении содержания фотосинтетических пигментов и интенсивности ЛИФ, особенно ЛИФ фикоэритрина – в 2.2 раза. Добавление 0.1 мг/л вызывает более негативный эффект: содержание хлорофилла *a* уменьшается в 1.5; каротиноидов – в 2 раза. Показатели ЛИФ при данной концентрации снижаются в 1.8 раз для хлорофилла *a*, для фикоэритрина в 3.6.

Наиболее чувствительным к меди показателем является ЛИФ фикоэритрина, по этому мы рекомендуем данный показатель для оценки загрязнения морской воды медью.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-34-00257 «Особенности влияния меди на физиологию и ультраструктуру морских микроводорослей из разных таксономических групп».

### Список литературы

ГОСТ 17.1.4.02-90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a* // Гос. стандарт СССР. Гос. ком. СССР по охране природы. М.: Изд-во стандартов. 1990. 15 с.

Ефимова К.В., Крещеновская М.А., Айздайчер Н.А., Орлова Т.Ю., 2014. Генетическое и ультраструктурное исследование трех клонов *Porphyridium purpureum* (Bory de Saint-Vincent, 1797) Drew et Ross, 1956 (Rhodophyta) из коллекции морских микроводорослей Института биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН // Биология моря. Т.40. № 5. С. 373–383.

Guillard R.R.L., Ryther J.H., 1962. Studies of marine planktonic diatoms. 1. *Cyclotella nana* Hustedt, and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. // Canadian Journal of Microbiology. V. 8. P. 229–239.

Nowicka B., Plusinski B., Kuczynska P., Kruk J., 2016. Physiological characterization of *Chlamydomonas reinhardtii* acclimated to chronic stress induced by Ag, Cd, Cr, Cu and Hg ions // Ecotoxicology and Environmental Safety. V. 130. P. 133–145.

Voznesenskiy S.S., Popik A.Yu., Gamayunov E.L., Markina Zh.V., Orlova T.Yu., 2016. The dependence of phytoplankton fluorescence on the thermal stress factor // Biophysics. V. 61. P. 73–77.

### Оценка качества вод озера Изумрудное по показателям зообентоса (г. Казань)

**Резюме.** По результатам проведенных в 2015 году исследований для озера Изумрудное (г. Казань) была дана оценка его экологического состояния по показателям зообентоса. В результате по большинству индексов, рассматриваемых в работе, мелководные участки озера были отнесены к 3 классу качества вод, что соответствует «умеренно загрязненным». Таким образом, в последние годы наблюдается снижение качества вод, по сравнению с данными 1999 года (Экология..., 2005), когда водоем считался «чистым». Одной из основных причин данного процесса стало увеличение рекреационной нагрузки на водоем.

Озеро Изумрудное находится в лесопарке Залесный (55°49'21"N и 48°55'26"E) Кировского района города Казани. Озеро относится к водоемам с искусственным происхождением (обводненный карьер). Оно было образовано в конце 1980-х годов в результате поступления воды в песчаный карьер из палеовой долины реки Волги. Объем озера составляет 2054 тыс. м<sup>3</sup>, площадь – 25.5 га, средняя глубина – 8.3 м (максимальная – 18.0-20.5 м) (Экология..., 2005; Курлянов, Мусин, 2015). Грунт в основном представлен песком и слабозаиленным песком. Вода в озере маломинерализованная (186-231 мг/дм<sup>3</sup>) с жесткостью 2.4-3.0 ммоль/дм<sup>3</sup>, относящаяся к гидрокарбонатно-магниевому типу и имеет изумрудно-голубой цвет, в результате чего озеро и получило свое название. По трофности соответствует ультраолиготрофным озерам (Галеева, Мингазова, 2010; Курлянов, Мусин, 2015).

Озеро испытывает существенную рекреационную нагрузку, так как является одним из самых популярных и любимых мест летнего отдыха местного населения и гостей города Казани. Все это, несомненно, сказывается на его экологическом состоянии. Таким образом, изучение его современного состояния является актуальным, так как последние исследования в литературе датируются 1999 годом. На тот период экологическое состояние водоема оценивалось как благополучное, так вода в озере относилась к олигосапробному типу и характеризовалась 2 классом качества – «чистые» (индекс сапробности составил 1.28). Однако зообентос был представлен лишь четырьмя таксонами (*Hydrachnida* sp., *Palpomyia* sp., *Chironomus dorsalis* и *Pentapedilum sordens*), численность и биомасса которых составили 400 экз./м<sup>2</sup> и 2.2 г/м<sup>2</sup> соответственно (Экология..., 2005).

Отбор проб зообентоса проводился с апреля по октябрь 2015 года на литорали и сублиторали озера по общепринятым и стандартным методам в гидробиологии (Frost et al., 1972; Методика..., 1975; Методические..., 1984). За указанный период была отобрана 21 проба с использованием ручного сачка/скребка (сеть с размером ячеей 0.5 мм, размеры прямоугольной рамки 260\*360 мм) с определенной площади с последующим перерасчетом на 1 м<sup>2</sup>. Большая часть выявленных организмов зообентоса определены до вида или рода, за исключением нематод, гидракарин и мокрецов.

В результате исследований, проведенных в 2015 году, фауна донных беспозвоночных была представлена 72 таксономическими группами водных беспозвоночных: Nematoda (1), Oligochaeta (5), Hirudinea (4), Gastropoda (9), Bivalvia (1), Hydracarina (1), Collembola (1), Odonata (7), Ephemeroptera (4), Hemiptera (2), Coleoptera (6), Trichoptera (5) и Diptera (25). Существенный вклад в разнообразие двукрылых насекомых вносили хирономиды (18 таксонов), которые были представлены в озере четырьмя подсемействами: Diamesinae (1 вид), Tanypodinae (2), Orthoclaadiinae (4) и Chironominae (11: Tanytarsini – 2, Chironomini – 9). В целом все выявленные виды гидробионтов являются обычными представителями Палеарктики и Голарктики.

Средняя численность и биомасса всего зообентоса в 2015 году составила  $3063 \pm 757$  экз./м<sup>2</sup> и  $2.75 \pm 0.48$  г/м<sup>2</sup> соответственно. Основной вклад в количественные показатели зообентоса вносили двукрылые насекомые (40.4% по численности и 34.9% по биомассе), главным образом за счет семейства Chironomidae (36.8 и 33.3% соответственно). На втором месте по вкладу в общие показатели численности находились водяные клещи (37.6%), а по биомассе – поденки (23.6%).

Для оценки качества воды в водоеме были использованы индекс видового разнообразия Шеннона (рассчитанного по численности и по биомассе), индекс сапробности Пантле и Букка в модификации Сладечека, биотический индекс Вудивисса и хирономидный индекс Е.В. Балускиной.

Индекс Шеннона, рассчитанные по численности, в период исследования колебался в пределах от 0.7369 (на открытом участке) и до 3.4502 бит/экз. (в зарослях макрофитов). В результате его средние значения составили  $1.9668 \pm 0.1436$  бит/экз., а медиана – 2.0203. Средние значения индекса, рассчитанного по биомассе, составили  $2.0827 \pm 0.1186$  бит/г (1.1278–2.8923 бит/г), а медиана – 2.1085. Таким образом, качество воды в озере по данным индекса в целом соответствовало «умеренно загрязненным».

Из 39 видов и форм зообентоса, для которых указаны индивидуальные значения сапробности (Wegl, 1983), 18 относились к  $\beta$ -мезосапробным организмам. В результате полученных средних значений индекса сапробности ( $2.23 \pm 0.03$ ) и его медианы (2.22), воды на рассматриваемом участке озера соответствовали  $\beta$ -мезосапробной зоны загрязнения и 3 классу качества вод («умеренно загрязненные»).

Средние значения биотического индекса Вудивисса составили  $7.8 \pm 0.3$ , а медиана равнялась 8.0. Таким образом, воды исследуемого участка водоема по данному индексу согласно классификации качества воды водоемов и водотоков по гидробиологическим показателям (Методические ..., 1984) можно отнести ко 2 классу, что характеризует их как «чистые».

По данным хирономидного индекса Балускиной, средние значения которого равнялись  $3.82 \pm 0.48$  (медиана – 3.24), данный водоем можно отнести к умеренно загрязненному классу качества вод.

Таким образом, по большинству рассматриваемых в работе индексов мелководные участки озера Изумрудное соответствуют «умеренно загрязненным», что относит данный водоем к 3 классу качества вод. Следовательно, за прошедший период произошли значительные изменения в экосистеме озера, в результате которого не только значительно увеличилось видовое разнообразие зообентоса и их количественные показатели, но и снизилось качество воды по сравнению с данными 1999 года. Одной из основных причин изменения экологического состояния озера является увеличение рекреационной нагрузки на водоем.

### Список литературы

Галеева А.И. Мингазова Н.М., 2010. Использование универсальной лимно-экологической классификации для региональной типизации и инвентаризации озерного фонда на примере г. Казани // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 12. № 1 (4). С. 925–929.

Куриянов Н.А., Мусин Р.Х., 2015. Вертикальная гидрохимическая зональность озер Среднего Поволжья. В сборнике: Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии Материалы Всероссийской конференции с международным участием с элементами научной школы. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск, С. 517–521.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.

Методические указания по принципам организации системы наблюдений и контроля за качеством воды водоемов и водотоков на сети Госкомгидромета в рамках ОГСНК. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 40 с.

- Экология города Казани. Казань: Изд-во «Фэн» Академии наук РТ, 2005. 576 с.  
Frost S., Huni A., Kershaw W.E., 1972. Evaluation of a kicking technique for sampling stream bottom fauna // Canadian Journal Zoology. V. 49. P. 167–173.  
Wegl R., 1983. Index fur Limnosaprobitat // Journal Wasser und Abwasser. V. 26. S. 175.

УДК 574.64+575.155

Д.О. Мухина<sup>1</sup>, Г.М. Чуйко<sup>2</sup>, М.И. Ковалева<sup>1</sup>, И.М. Прохорова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», г. Ярославль

<sup>2</sup> ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН», пос. Борок, Ярославская область  
e-mail: domukhina@gmail.com

### Оценка генотоксичности донных отложений Рыбинского водохранилища методом «Allium test»

**Резюме.** Загрязнение водных объектов в настоящее время носит глобальный характер и оказывается опасным не только для человека, но и для всех организмов. Рыбинское водохранилище, являясь значимым для Ярославской области, представляет особый интерес и исследуется регулярно. Для оценки загрязнения водоема мутагенами использовался классический вариант метода «Allium test» (Grant, 1982; Fiskesjo, 1985) и его модификации. Оценка генотоксического эффекта производилась с помощью ана-телофазного метода учета частоты хромосомных аберраций и отставаний хромосом. Было выявлено, что в донных отложениях всех изученных участков водохранилища содержатся мутагены, наибольшая активность которых характерна для грунтов Шекснинского плеса. Установлено, что наилучшим тест-объектом являются луковичи *Allium cepa*.

Оценка генотоксичности компонентов окружающей водной среды – актуальная задача современной экотоксикологии (Барабанова, 2012). Рыбинское водохранилище – крупнейший водный объект в Верхневолжском бассейне, являющийся источником формирования и сохранения биоразнообразия гидробионтов и имеющий большое значение для рыбохозяйственного, рекреационного и хозяйственно-питьевого водопользования в регионе. Шекснинский плес водохранилища находится под сильным антропогенным влиянием, исходящим от Череповецкого промышленно-коммунального комплекса.

Донные отложения (ДО) – наиболее консервативный элемент водной экосистемы и один из наиболее объективных показателей её загрязнения. В отличие от воды, являющейся наиболее динамичным компонентом водного объекта и отражающей его сиюминутное состояние, ДО представляют собой показатель пролонгированной антропогенной нагрузки.

В 2010-2013 годах была изучена генотоксичность водных и гексано-спиртовых вытяжек и цельных ДО Рыбинского водохранилища на 9 станциях из районов с различной антропогенной нагрузкой, что позволило разделить наличие водорастворимых и нерастворимых мутагенов. Применялся классический вариант Allium теста и его модификации на семенах и луковичах, подсчет хромосомных перестроек осуществлялся ана-телофазным методом, позволяющим учитывать отставания хромосом и хромосомные аберрации. В ходе исследования зарегистрированы следующие типы нарушений: отставания хромосом, фрагменты хромосом и мосты.

Проведено сравнительное изучение мутагенной активности водных вытяжек ДО на двух тест-объектах: семенах и луковичах *Allium cepa*. Показано, что луковичи обладают большей чувствительностью к действию генотоксикантов, чем семена и могут быть рекомендованы для использования при эколого-генетическом мониторинге.

Установлено, что мутагены присутствуют в ДО на всех исследованных участках водохранилища. На одних станциях мутагенная активность обусловлена преимущественно водонерастворимыми, а на других – водорастворимыми генотоксическими веществами.

Характер распределения загрязнения генотоксикантами неравномерен, наблюдается тенденция понижения уровня мутагенной активности по мере удаления вниз по течению от г. Череповца. Максимальный уровень загрязнения мутагенами регистрируется в ДО Шекснинского плеса при использовании спиртовых вытяжек, что указывает на присутствие в них гидрофобных генотоксикантов. Выявлена прямая корреляция между генотоксичностью ДО и содержанием в них полихлорированных бифенилов (ПХБ). Максимальный уровень суммарного содержания ПХБ в ДО на исследованных станциях отмечается в черте г. Череповца, где он достигает 2867 мкг/кг сухой массы. Здесь же зарегистрирована и наиболее выраженная мутагенная активность водонерастворимой фракции ДО. Поскольку ПХБ являются сильно гидрофобными соединениями и выраженными мутагенами, то высока вероятность, что они вносят существенный вклад в формирование генотоксичности этих ДО.

Наиболее благополучная токсико-генетическая ситуация зарегистрирована в Центральном и Волжском плесах, наименее – в Шекснинском плесе. Выявленные различия хорошо согласуются с установленным ранее характером пространственного распределения загрязняющих веществ в ДО водохранилища (Козловская, Герман, 1997; Флеров и др., 2000; Герман и др., 2010; Чуйко и др., 2010; Siddall et al., 1994).

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №№ 08-05-00805, 10-05-10058, 10-05-00593 и 12-05-00572.

### Список литературы

- Барабанова Л.В.*, 2012. Антропогенная генотоксичность: вода вокруг нас // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. Т. 7. Вып. 2. С. 809.
- Герман А.В., Законнов В.В., Мамонтов А.А.*, 2010. Хлорорганические соединения в донных отложениях, бентосе и рыбе Волжского плеса Рыбинского водохранилища // Водные ресурсы. Т. 37. №1. С. 84–88.
- Козловская В.И., Герман А.В.*, 1997. Полихлорированные бифенилы и полиароматические углеводороды в экосистеме Рыбинского водохранилища // Водные ресурсы. Т. 24. № 5. С. 563–569.
- Флеров Б.А., Томилина И.И., Кливленд Л., Баканов А.И., Ганеева М.В.*, 2000. Комплексная оценка состояния донных отложений Рыбинского водохранилища // Биология внутренних вод. № 2. С.148–155.
- Чуйко Г.М., Законнов В.В., Морозов А.А., Бродский Е.С., Шелепчиков А.А., Фешин Д.Б.*, 2010. Пространственное распределение и качественный состав полихлорированных бифенилов (ПХБ) и хлорорганических пестицидов (ХОП) в донных отложениях и леще (*Abramis brama* L.) Рыбинского водохранилища // Биология внутренних вод. № 2. С. 98–108.
- Fiskesjo G.*, 1985. The Allium test as a standard in environmental monitoring // Hereditas. V. 102. P. 99–112.
- Grant W.*, 1982. Chromosome aberration assays in Allium // Mutation Research. V. 99. P. 273–279.
- Siddall R, Robotham P.W.J., Gill R.A., Pavlov D.F., Chuiko G.M.*, 1994. Relationship between polycyclic hydrocarbon (PAH) concentrations in bottom sediments and liver tissue of bream (*Abramis brama*) in Rybinsk reservoir, Russia // Chemosphere. V. 29. № 7. P. 1467–1476.



### Сравнительная токсикочувствительность культур беспозвоночных и рыб в зависимости от срока адаптации к лабораторным условиям

**Резюме.** В результате работы для беспозвоночных и рыб была выявлена связь чувствительности к стандартному токсиканту бихромату калия и срока адаптации к лабораторным условиям. Выявлено, что с увеличением срока адаптации токсикочувствительность исследованных тест-объектов повышается. Взятые из природных источников тест-организмы менее чувствительны к токсическому воздействию, чем организмы, адаптированные к условиям лаборатории в течение продолжительного периода времени. Линия рыб, полученная из природного источника, характеризовалась более высокой смертностью (48%) во время периода адаптации по сравнению с гибридными линиями, содержащимися в лабораторных условиях (2-8%).

Гидробионты, полученные из различных природных источников и/или обитающие в лаборатории на протяжении разного времени, даже при использовании рекомендаций сертифицированных методов по акклиматизации культур, могут существенно отличаться друг от друга по значениям интегральных параметров жизнедеятельности, что может привести к снижению воспроизводимости и существенному различию результатов, полученных в разных лабораториях. В связи с этим, целью работы служило сравнение токсикочувствительности и морфо-функциональных параметров двух линий планктонных ракообразных и трех линий рыб, имеющих разный срок адаптации к условиям лаборатории.

В качестве тест-объектов были использованы две линии ветвистоусых ракообразных *Daphnia pulex* Leydig, и три линии пресноводных рыб *Poecilia reticulata* Peters, как стандартные тест-объекты, рекомендованные для биотестирования (ГОСТ 32473-2013; Methods..., 2002). Линии *D. pulex* были адаптированы к условиям лаборатории в течение 9 (F<sub>9</sub>) и 33 (F<sub>33</sub>) поколений, что соответствует 4 и 15 месяцам. Для сравнительной оценки чувствительности культур определяли токсичность бихромата калия в концентрациях 0.01-0.3 мг/л (0.0035-0.105 мг Cr/l) за 21 сутки. Диапазон концентраций был выбран с учетом того, что ПДК шестивалентного хрома в воде рыбохозяйственных водоемов составляет 0.02 мг/л (Приказ..., 2010). Учитывали выживаемость, фактическую плодовитость и линейные размеры тела на 21 день эксперимента (Филленко, Соколова, 1998), а также трофическую активность (ТА) на 2 и 7 сутки (Matorin et al., 2009). Также сравнивали чувствительность двух гибридных и одной дикой линии *P. reticulata* после адаптации к лабораторным условиям в течение 10 и 20 суток. Линия 1 была получена из московской аквариумной культуры, линия 2 – из культуры немецкого разведения «Black» и линия 3 – из р. Москвы в районе выхода вод с очистных сооружений «Южное Бутово». Определяли полумлетальную концентрацию (ЛК<sub>50</sub>) по выживаемости молоди рыб в возрасте 1-2 суток за 96 часов при воздействии бихромата калия в концентрациях 20, 40 и 60 мг/л. Молодь была получена в условиях лаборатории в соответствии с принятой методикой биотестирования (Кузьмич и др., 2002).

При сравнении морфо-функциональных параметров двух линий дафний были выявлены статистически значимые различия между культурами в контрольных наблюдениях. Так, особи F<sub>33</sub> обладали большими размерами тела и трофической активностью по сравнению с F<sub>9</sub>, тогда как разница в плодовитости оказалась статистически недостоверной. Различной оказалась и чувствительность дафний к действию бихромата калия. Культура, длительное время адаптированная к условиям лаборатории, показала большую чувствительность к действию токсиканта в исследованном диапазоне концентраций. По показателям

выживаемости и плодовитости обе культуры проявили чувствительность к наименьшей из исследованных концентраций 0.01 мг/л (в пересчете на ион хрома 0.0035 мг/л, что ниже ПДКр-х в 5.7 раз). Изменение размеров тела к моменту наступления половой зрелости выявило эффект воздействия токсиканта у культуры F<sub>33</sub>, при концентрациях 0.01 и 0.03 мг/л у культуры F<sub>9</sub>. Чувствительным оказался и показатель изменения трофической активности, достоверно снижающийся при воздействии 0.03 мг/л бихромата калия (что в два раза ниже ПДКр-х).

После периода адаптации популяции в 10 суток показатели ЛК<sub>50</sub><sup>96</sup> для молоди рыб линий 1, 2 и 3 составили 49, 57 и 45 мг/л бихромата калия, соответственно. При 20-суточном адаптационном периоде популяций рыб линий 1, 2 и 3 показатели ЛК<sub>50</sub><sup>96</sup> составили 50, 55 и 38, соответственно. Общая смертность рыб в исходных популяциях линий 1 и 2 не превышала 8%, а для дикой линии рыб составляла до 48%, что говорит о необходимости увеличения периода их адаптации.

Таким образом, продолжительность периода адаптации для рыб, взятых из природных источников должна быть значительно выше, чем для рыб из культурных линий, и составлять более 20 суток. Для лабораторных линий достоверных отличий в чувствительности к стандартному токсиканту выявлено не было, что говорит о стабильности чувствительности лабораторных культур рыб.

Несмотря на стандартизацию внешних факторов среды обитания, морфо-функциональные показатели ракообразных в лабораторной культуре характеризуются значительной вариабельностью (Воробьева и др., 2013), которая может быть объяснена как изменением неконтролируемых фенологических факторов, так и генетически запрограммированным изменением физиологического состояния культур ракообразных. Проведение подобных исследований с двумя линиями *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, полученных из разных источников и культивировавшихся в условиях лаборатории на протяжении различного времени, дало сходные результаты (Воробьева, Гершкович, 2015). Поскольку обе культуры *D. pulex* были взяты из одного источника, что снижает вероятность существенных генетических различий, полученные данные позволяют сделать вывод о возможном влиянии на чувствительность и морфо-функциональные параметры организмов времени адаптации к лабораторным условиям.

### Список литературы

Воробьева О.В., Гершкович Д.М., 2015. Изменение трофической активности ветвистоусых ракообразных как показатель токсического действия // Механизмы устойчивости и адаптации биологических систем к природным и техногенным факторам: сборник материалов Всероссийской научной конференции. Киров: ООО «ВЕСИ», 2015. С. 48–51.

Воробьева О.В., Филенко О.Ф., Исакова Е.Ф., 2013. Изменения плодовитости лабораторной культуры *Daphnia magna* // Перспективы науки. № 9. С. 11–14.

ГОСТ 32473-2013 Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение острой токсичности для рыб. М.: Стандартинформ. 2014. 11 с.

Кузьмич В.Н., Соколова С.А., Крайнюкова А.Н., 2002. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. М.: РЭФИА, НИА-Природа, 2002. 118 с.

Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 09.02.2010 № 16326) // «Российская Газета». 05.03.2010. № 5125 (46).

Филенко О.Ф., Соколова С.А. (ред.), 1998. Методические указания по установлению эколого-рыбохозяйственных нормативов (ПДК и ОБУВ) загрязняющих веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: Изд-во ВНИРО, 1998. 145 с.

Matorin D.N., Bratkovskaya L.B., Yakovleva O.V., Venediktov P.S., 2009. Biotesting of water toxicity according to the ratio to microalgae consumption by daphnia detected with chlorophyll fluorescence // Moscow University Biological Sciences Bulletin. V. 64. №. 3. P. 115–120.

Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms // U.S. EPA. 2002. P. 1–275.

УДК 574.58:661.718.1(477.84)

**Е.И. Прокопчук**

Тернопольский национальный педагогический университет им. В. Гнатюка, г. Тернополь, Украина  
e-mail: olenka13pro@mail.ru

## **Поглощение фосфора высшими водными растениями из водной среды в эксперименте**

**Резюме.** Приведены результаты исследований накопительной способности фосфатов высшими водными растениями из реки Серет (г. Тернополь, Украина) в модельном эксперименте. В ходе исследования изучено содержание фосфатов в воде, а также интенсивность накопления фосфора растениями из воды. Установлено, что *M. palustris* обладает наибольшей способностью аккумулировать фосфаты из воды, что позволяет считать ее наиболее эффективным водным растением для уменьшения загрязнения водоемов.

Проблема качественной водной среды является на сегодня актуальной, поэтому чрезвычайно важно внедрение технологий профилактики загрязнения и очистки природных и сточных вод (Gerard et al., 2014). В последнее десятилетие все больше применяются биологические методы очистки, главным образом, очистка водоемов так называемым методом биосорбции. Суть последнего сводится к изъятию опасных веществ и улучшения состояния водоемов с помощью водных организмов, в частности, растений (Yu et al., 2013). Фосфор является одним из важнейших биогенных элементов в водных экосистемах, существенно влияет на многообразие и продуктивность водоемов, прежде всего, водорослей и высших водных растений (Ruttenberg, 2003). Последние связывают его с разной интенсивностью, играя при этом роль биологических фильтраторов и очистителей водных экосистем от загрязнения (Henares and Camargo, 2014). Таким образом, фитобиота, потребляя фосфаты из воды и твердых субстратов, влияет на их содержание в гидроэкосистеме и участвует в поддержании баланса фосфорных соединений, вместе с тем, обеспечивая биомассу и продуктивность водоема (Costa et al., 2016; Pasichnaja et al., 2015). Несмотря на многообразие проведенных исследований в области биосорбции, нами исследована способность аккумулировать фосфорные соединения высшими водными растениями *Glyceria maxima* (C. Hartm.) Holmb.), *Nasturtium officinale* R. Br., *Myosotis palustris* (L.) L.) в модельных условиях.

Для проведения исследования были отобраны образцы воды и растений (*G. maxima*, *N. officinale*, *M. palustris* из реки Серет в окрестностях города Тернополя (Украина). Растения были помещены в простерилизованные стеклянные банки емкостью 3 л с водой из р. Серет (контрольные пробы) и отстоянной водопроводной водой с добавлением натрия фосфата с конечной концентрацией фосфора 3.5 мг/дм<sup>3</sup> (опытные пробы), которые культивировали в модельных условиях в течение четырех месяцев. В воде определяли содержание фосфатов (P) (Методика., 2001), а в растениях содержание общего фосфора согласно методике (Городній, 1972).

Сравнивая аккумуляцию фосфора исследуемыми растениями, выявлено, что наиболее аккумулирующей фосфор частью растения в *G. maxima* является корень, а в *N. officinale* и *M. palustris* – стебель. Объяснением этому может быть произрастание *G. maxima* на прибрежной почве без прямого контакта с водой, а *N. officinale* и *M. palustris* – в воде, со значительным погружением в нее стеблевой части растения.

У исследованных водных растений уменьшение накопительной способности фосфора в частях растения происходило по-разному. Так, в *G. maxima* 44.9% в контрольных пробах и 41.1% опытных пробах фосфора аккумулировано в корне, 31% и 35% соответственно, в листьях, и 23.6% и 24.3% в стебле. У *N. officinale* 42.3% в контрольных пробах и 44.2% в опытных пробах фосфора аккумулировано в стебле, 32.9% и 32.4% – в корне, и 25.2% и 23.2% – в листьях. У *M. palustris* 47.0% в контрольных пробах и 50.1% в опытных пробах фосфора аккумулировано в стебле, 31.0% и 30.5% – в листьях, и 23.6% и 19.4% – в корне.

Таким образом, у *M. palustris* наилучше происходит стебле-листовая аккумуляция фосфора, у *N. officinale* – корнево-стеблевая, а у *G. maxima* – корневая.

Согласно нашим исследованиям коэффициент аккумуляции фосфора растениями из воды можно представить рядами:

*G. maxima*: 1-й месяц – корень> стебель> листья; 2-й месяц – корень> листья> стебель; 3-й месяц – корень> листья> стебель; 4-й месяц – корень> стебель> листья.

*N. officinale*: 1-й месяц – стебель> корень> листья; 2-й месяц – стебель> корень> листья; 3-й месяц – корень> стебель> листья; 4-й месяц – корень> стебель> листья.

*M. palustris*: 1-й месяц - стебель> листья> корень; 2-й месяц - стебель> листья> корень; 3-й месяц - стебель> корень> листья; 4-й месяц - стебель> листья> корень.

*M. palustris* характеризуется при этом наивысшим коэффициентом аккумуляции фосфора из воды (25.9% в контрольных и 27.8% опытных пробах), *G. maxima* – 14.1% и 9.5% соответственно, *N. officinale* – 6.5% и 5.1% соответственно. В связи с преобладанием корневого пути питания в *G. maxima* и, частично, *N. officinale* ими возможно изъятие фосфорных соединений с почвенного слоя и ила. *M. palustris* и, частично, *N. officinale* хорошо фильтруют фосфор из воды. Поэтому, для извлечения фосфатов из почвы и ила водоемов можно предложить культивировать *G. maxima*, а для уменьшения эвтрофикации водоемов – *M. palustris* и *N. officinale*.

В ходе эксперимента установлено, что все исследуемые растения (*G. maxima*, *N. officinale*, *M. palustris*) могут быть эффективными очистителями водоемов от фосфатов, однако *M. palustris* имеет наивысший коэффициент аккумуляции фосфора из воды, что позволяет считать ее наиболее эффективным водным растением для уменьшения загрязнения водоемов соединениями фосфора.

### Список литературы

Городній М.М., 1972. Агрохімічний аналіз: навчальний посібник. К.: Вища школа, 1972. 267 с.

Методика виконання вимірювань «Поверхневі та очищені стічні води. Методика виконання вимірювань масової концентрації розчинених ортофосфатів фотометричним методом». МВВ 081/12-0005-01 від 16.11.2001 року. 17 с.

Costa, A., Rolim, M., Bonfim-Silva, E., Neto, D., Pedrosa, E., Silva, E., 2016. Accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium in sugarcane cultivated under different types of water management and doses of nitrogen // Australian Journal Crop Science. V. 10 (3). P. 362–369.

Gerard, J., Brion, N., Triest, L., 2014. Effect of water column phosphorus reduction on competitive outcome and traits of *Ludwigia grandiflora* and *L. peploides*, invasive species in Europe // Aquatic Invasions. V. 9 (2). P. 157–166.

Henares, M., Camargo, A., 2014. Estimating nitrogen and phosphorus saturation point for *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Salvinia molesta* Mitchell in mesocosms used to treating aquaculture effluent // Acta Limnologica Brasiliensia. V. 26 (4). P. 420–428.

Ruttenberg, K., 2003. The Global Phosphorus Cycle // Treatise on Geochemistry. V. 8. P. 585–633.

Yu, X., Li, Z., Zhao, S., Li, K., 2013. Biomass Accumulation and Water Purification of Water Spinach Planted on Water Surface by Floating Beds for Treating Biogas Slurry // Journal Environment. Protection. V. 4. P. 1230–1235.

## Современные данные по динамике байкальского зоопланктона глубоководной зоны

**Резюме.** Представлены современные данные (2010-2014 годов) по динамике байкальского зоопланктона глубоководной зоны, которые составляют часть долгосрочного биомониторинга, проводимого Научно-исследовательским институтом биологии «ИГУ» с 1946 года. В результате анализа установлено, что, несмотря на резкие межгодовые изменения качественного и количественного состава зоопланктона, основу биомассы так же, как и ранее, составляет эндемичный вид – эпишура.

Зоопланктон глубоководной зоны играет важную роль в трансформации органического вещества в оз. Байкал. Его основу составляет эндемичный фитофаг эпишура – *Epischura baicalensis* G.O. Sars, 1900 (Copepoda, Calanoida) и холодолюбивый необлигатный хищник циклоп – *Cyclops kolensis* Lilljeborg, 1901 (Copepoda, Cyclopoidea). Представители ветвистоусых ракообразных встречаются в период с августа до ноября не ежегодно, а коловратки, как постоянный компонент байкальского зоопланктона, в его биомассе имеют подчиненное значение (Кожов, 1962).

Материалом послужили еженедельные (исключая время становления и вскрытия озера ото льда) сборы проб сетного зоопланктона (сеть Джели, размер ячеек 100 мкм) в Южном Байкале на расстоянии 2.7 км от берега над глубиной 800 м против пос. Большие Коты. Этот район является типичным участком открытого Байкала, где сезонная и годовая динамика зоопланктона характерна для планктона Южного Байкала в целом (Кожов, 1962). Зоопланктон в слое 0-50 м (447 проб) исследовали по стандартной методике (Кожова, Мельник, 1978).

За исследуемый период в зоопланктоне глубоководной зоны отмечено 23 вида, из них ежегодно встречаются 12, три из которых относятся к ракообразным (*E. baicalensis*, *C. kolensis*, *Bosmina longirostris* O.F. Müller, 1785), а остальные – к коловраткам (*Kellicottia longispina* Kellicott, 1879, *Keratella quadrata* O.F. Müller, 1786, *Keratella cochlearis* Gosse, 1851, *Filinia terminalis* Plate, 1886, *Notholca grandis* Voronkov, 1917, *Synchaeta pachypoda* Jaschnov, 1922, *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850 и *Conochilus unicornis* Rousselet, 1829, а также представители рода *Synchaeta*, не определенные до вида). В разные годы число видов изменяется, пополняясь ветвистоусыми *Bosmina longispina* O.F. Müller, 1785, *Daphnia longispina* O.F. Müller, 1785 и коловратками *Notholca intermedia* Voronkov, 1917, *Asplanchna herricki* Guerne, 1888 и др. Наиболее разнообразным видовой состав зоопланктона был в 2014 году (23 вида), когда в пробах присутствовали *Euchlanis dilatata* Ehrenberg, 1832, *Synchaeta pachypoda* Kutikova et Vassiljeva, 1982, *Synchaeta stylata* Wierzejski, 1893, а также представители родов *Collotheca* и *Polyarthra*, которые не встречались в 2010-2013 годах.

Таблица 1. Распределение среднегодовых значений численности (тыс. экз./м<sup>2</sup>) в слое 0-50 м за 2010-2014 года.

Год	<i>E. baicalensis</i>	<i>C. kolensis</i>	Cladocera	Rotifera	Сумма
2010	386.3±96.7	3.2±1.4	1.0±0.4	8.7±2.6	399.3±97.5
2011	100.0±16.4	1.4±0.5	1.4±0.6	5.2±1.3	108.0±17.2
2012	189.7±33.1	2.5±1.3	4.6±1.9	4.8±3.0	198.8±33.0
2013	47.5±8.6	0.9±0.1	1.6±0.7	4.5±1.5	54.5±8.1
2014	233.7±35.3	4.2±2.0	6.8±1.5	296.0±67.0	541.3±85.8
Среднее	191.4±58.7	2.4±0.6	3.1±1.2	63.4±58.3	260.4±91.6

Среднегодовая суммарная численность зоопланктона за 2010-2014 года изменялась от минимальной  $54.5 \pm 8.1$  до максимальной  $541.3 \pm 85.8$  со средним значением  $260.4 \pm 91.6$  тыс. экз./м<sup>2</sup>, что ~ в 3 раза меньше среднемноголетнего –  $827.8 \pm 69.2$  тыс. экз./м<sup>2</sup> (1981-2007 года). За период исследования средняя численность эпишуры была ниже среднемноголетнего ~ в 3 раза, циклопа – ~ в 30 раз, клadoцер – в 25 раз, коловраток – ~ в 2 раза (Пислегина, 2010). В 2010-2013 годах доминирует эпишура, составляя в разные годы 94-97 % численности суммарного зоопланктона. Известно, что доминируя по численности эпишура безусловно доминирует по биомассе (Кожов, 1962). В 2014 году больший процент численности зафиксирован у коловраток – 55.2% против 43.5% у эпишуры. Увеличение коловраток в 2014 году происходит в летне-осенний период за счет вспышки численности видов круглогодичного комплекса ( $241.0$  из  $296.0$  тыс. экз./м<sup>2</sup>). По классификации Г.И. Помазковой динамика круглогодичных коловраток соответствует их второму типу сезонных сукцессий, который характеризуется одновершинной кривой численности с летне-весенним максимумом за счет развития видов круглогодичной группы (Помазкова, Кузеванова, 1990). Для данных 2014 года был сделан подсчет биомассы, чтобы определить ключевые виды зоопланктона, формирующих кормовую базу глубоководной зоны. Согласно нашим данным, доля биомассы коловраток составила 13% против 87% суммы ракообразных, где 84% составила эпишура.

Таким образом, за исследуемый период основу биомассы зоопланктона глубоководной зоны оз. Байкал так же, как и ранее, составляет эпишура, несмотря на резкие меж- и внутригодовые изменения его численности.

### Список литературы

Кожова О.М., Мельник Н.Г., 1978. Инструкция по обработке проб зоопланктона счетным методом. Иркутск: Изд-во Иркутского университета, 1978. 51 с.

Кожов М.М., 1962. Биология озера Байкал. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 315 с.

Пислегина Е.В., 2010. Многолетняя (1981-2007 гг.) динамика зоопланктона в пелагиали Южного Байкала // Известия Иркутского университета. Серия «Биология. Экология». Т. 3, № 3. С. 92–94.

Помазкова Г.И., Кузеванова Е.Н., 1990. Динамика численности и структура планктонных коловраток озера Байкал по многолетним данным (1946–1985 гг.) // Коловратки: Материалы Третьего Всесоюзного симпозиума. Л., 1990. С. 88–92.

УДК 574.5 (470.51) (045)

**В.Н. Саламатова**

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет» Институт естественных наук,  
г. Ижевск, Удмуртская Республика  
e-mail: valensiya145salamatova@yandex.ru

### **Биоиндикация загрязнения Чемошурского и Молдаванского прудов города Ижевска по организмам макрозообентоса**

**Резюме.** В окрестностях города Ижевска были исследованы Чемошурский и Молдаванский пруды, на которых было выявлено 84 вида макрозообентоса из 43 семейств и 14 отрядов. Проведена биоиндикация загрязнения водоемов по организмам макрозообентоса, выявлены участки с неблагоприятным экологическим состоянием.

Малые водоемы города Ижевска и прилегающих территорий испытывают сильный антропогенный пресс, принимая городские, промышленные стоки и воздействие большого числа отдыхающих в летний период. Как правило, в ответ на комплексное загрязнение малые водоемы достаточно быстро реагируют изменением структуры планктонных и бентосных сообществ. Для оценки степени загрязнения водоемов города Ижевска были выбраны

организмы макрозообентоса, так как они удобны для сбора и обработки, отражают комплексные и длительные загрязнения водосбора.

*Цель работы* – оценить экологическое состояние малых прудов методами биоиндикации по организмам макрозообентоса.

*Задачи:* (1) Определить качественный и количественный состав организмов макрозообентоса; (2) Провести биоиндикацию вод по организмам макрозообентоса (3) Выявить участки прудов с неблагоприятным экологическим состоянием.

Чемошурский пруд – искусственный водоем, образованный на реке Чемошурка, в восточной части города Ижевска в 70-х годах прошлого века. Длина пруда около 1 км, средняя ширина 0.1-0.2 км, площадь зеркала около 15 га. Средняя глубина 1.5 м.

Цель формирования данного водоема – задержать основной объем химических загрязнений, попадающих в реку Чемошурку и ее притоки в результате смылов талыми и дождевыми водами с поверхности городских территорий жилой застройки, гаражных кооперативов, автодорог, пригородных сельскохозяйственных территорий, а также со стоками некоторых промышленных предприятий (Котегов, 2002).

Молдаванский пруд расположен в селе Завьялово. В основном он используется для рекреационных целей. Длина пруда составляет примерно около 1.15 км, средняя ширина – 0.14 км, площадь зеркала – около 16 га, средняя глубина – 2.5 м.

*Методика и материалы.* Сбор макрозообентоса проводился в летне-осенний период 2015 года. За время исследования на Чемошурском пруду и на реке Чемошурка было взято 16 проб макрозообентоса, из них 8 количественных и 8 качественных, на Молдаванском пруду и в том числе на его притоке – 18 проб, 9 количественных и 9 качественных. Кроме того, на каждой станции отбирали донные отложения для определения доли органических веществ.

Сборы проб бентоса проводили с помощью гидробиологического скребка.

Отобранный грунт промывался в сите. Организмы фиксировались 70% спиртом, сразу после выборки из грунта. Идентификация беспозвоночных проводилась по доступным определителям пресноводных беспозвоночных.

Биомассу отдельных групп бентоса определяли взвешиванием на торсионных весах ВТ-500 после обсушивания на фильтровальной бумаге до исчезновения мокрых пятен.

Для определения загрязнения воды нами были рассчитаны индексы Шеннона-Уивера, показатель выровненности по Пиелу, биотический индекс Вудивисса, сапробности Пантле-Букка. Определена численность макрозообентоса на 1 м<sup>2</sup> и биомасса в мг/м<sup>2</sup>.

За период исследования на Чемошурском и Молдаванском прудах выявлено 84 вида макрозообентоса из 43 семейств и 14 отрядов. По числу видов доминируют представители класса Gastropoda (18%), отрядов Diptera – 15%, Coleoptera – 12%, Odonata – 12%. Преобладание брюхоногих моллюсков, личинок двукрылых и стрекоз характерно для прибрежной зоны малых стоячих водоемов.

Максимальная численность и биомасса бентоса в Чемошурском пруду была выявлена на сильно заиленных участках (759.62 экз./м<sup>2</sup> и 13586.67 мг/м<sup>2</sup>). Низкой плотностью и биомассой отличался участок с бетонированным дном (10.53 экз./м<sup>2</sup> и 384.21 мг/м<sup>2</sup>), и песчаный участок реки выше пруда (166.66 экз./м<sup>2</sup> и 433.33 мг/м<sup>2</sup>).

В Молдаванском пруду максимальные значения численности и биомассы были выявлены вдоль залесенных берегов (от 100 до 162.5 экз./м<sup>2</sup>, от 2019 до 4209.09 мг/м<sup>2</sup>), минимальные – на песчаном пляже (от 33.33 до 63.63 экз./м<sup>2</sup>, 227.27 мг/м<sup>2</sup>).

Информационный индекс Шеннона-Уивера достигает максимальных значений на Чемошурском пруду в местах с заиленным грунтом (до 2.1 бит/экз.), минимальные значения – на пляже (0.72 бит/экз.). На Молдаванском пруду данный индекс имеет максимальные значения у правого берега с глинисто-песчаным (1.71 бит/экз.) и глинисто-илистым грунтом (2.03 бит/экз.); минимальные – возле левого берега, с песчаным типом грунта (до 1.13 бит/экз.). Песчаный грунт является менее благоприятным для обитания макрозообентоса.

По вычисленным значениям индекса сапробности все станции Молдаванского пруда и р. Молдаванки характеризуются как умеренно загрязненные (1.94-2.3). Наибольшее

количество органических веществ присутствовало в донных отложениях, отобранных возле плотины, что характерно для малых прудов. На Чемошурском пруду по индексу сапробности воды почти всех станций характеризуются как умеренно загрязненные (2-2.51) и лишь на реке Чемошурке ниже плотины – как загрязненные (3.45), что связано в первую очередь с накоплением органических веществ в пруду и уменьшении концентрации растворенного кислорода.

По биотическому индексу Вудивисса в двух станциях отбора проб воды Молдаванского пруда умеренно загрязнены (3) (склон берега с высокой рекреационной нагрузкой и станция на реке Молдаванка), во всех остальных – чистые (6-7). Воды Чемошурского пруда на всех станциях характеризуются как чистые (5-7).

Таким образом, можно сделать следующие выводы: (1) За период исследования были зарегистрированы особи 84 вида, из 43 семейств и 14 отрядов. Доминирующими группами по числу видов были брюхоногие моллюски, двукрылые, стрекозы и водяные жуки; (2) С помощью различных гидробиологических индексов (Шеннона-Уивера, выровненности по Пиелу, Вудивисса, индекс сапробности) была проведена биоиндикация Молдаванского и Чемошурского пруда. Воды данных прудов характеризуются как умеренно-загрязненные; (3) В результате обработки данных с помощью выше перечисленных индексов на Чемошурском и Молдаванском прудах были выявлены такие участки с неблагоприятным экологическим состоянием как пляжи и притоки. На пляжах лимитирующим фактором развития макрзообентоса служит интенсивная рекреационная нагрузка, на притоках – механический состав грунта и, в случае с рекой Чемошуркой, загрязненные стоки с городских территорий.

### **Список литературы**

*Котегов Б.Г., 2002. Морфологические особенности плотвы антропогенных водоемов Удмуртской Республики. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. С. 27–28.*

УДК 504.064.36:574.583

**А.С. Семенова, В.Н. Катанский**

*ФГБНУ «Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»,  
г. Калининград  
e-mail: a.s.semenowa@gmail.com*

### **Использование различных показателей зоопланктона при мониторинге экологического состояния Куршского и Вислинского заливов**

**Резюме.** В 2007-2015 годах в Куршском и Вислинском заливах были изучены различные показатели зоопланктона (видовой состав, соотношение таксономических групп, количественным показателем, различные индексы, рассчитанные по структурным показателям зоопланктона, доля мертвых особей), в результате был охарактеризован их трофический статус и экологическое состояние. Наиболее информативные показатели зоопланктона, отражающие как качество воды, так и степень эвтрофирования заливов это показатель трофии (E/O) и коэффициент трофии (E), доля численности крупных Cladocera в общей численности Cladocera (КК) и доля мертвых особей в зоопланктоне. По показателям зоопланктона Куршский залив во все годы исследований может быть оценен как гипертрофный водоем, качество воды в нем как «плохое». Трофический статус Вислинского залива соответствует переходному между эвтрофным и гипертрофным, качество воды в нем оценивается как «посредственное».

Индикаторная роль зоопланктона в процессах загрязнения и эвтрофирования водоемов показана в ряде работ отечественных и зарубежных ученых, в современный период разработан ряд как отечественных, так и зарубежных классификаций с использованием показателей этого



сообщества, которые могут быть использованы для оценки качества воды и степени эвтрофирования водоемов. Куршский и Вислинский заливы – крупнейшие лагуны Балтийского моря, имеющие важное рыбохозяйственное значение, оба водоема испытывают значительную антропогенную нагрузку. Целью настоящей работы было оценить экологическое состояние Куршского и Вислинского заливов по различным показателям зоопланктона.

Пробы зоопланктона отбирали ежемесячно с апреля по октябрь 2007-15 годов на 5-10 стандартных станциях в каждом заливе, после отбора пробы окрашивали анилиновым голубым красителем (Seepersad, Strippen, 1978; Дубовская, 2008). Было рассчитано более 20 показателей зоопланктона приводящихся в российских и зарубежных классификациях (Андроникова, 1996; Karabin, 1985; Moss et al., 2003; Семенченко, Разлуцкий, 2011), отражающих качество воды и степень эвтрофирования водоемов.

Из всех изученных показателей зоопланктона наиболее информативными отражающими как качество воды, так и степень эвтрофирования заливов оказались показатель трофии (E/O) и коэффициент трофии (E), доля численности крупных Cladocera в общей численности Cladocera (КК) и доля мертвых особей в зоопланктоне. По показателям зоопланктона Куршский залив во все годы исследований может быть оценен как гипертрофный водоем, качество воды в нем как «плохое». Трофический статус Вислинского залива соответствует переходному между эвтрофным и гипертрофным, качество воды в нем оценивается как «посредственное».

Доля мертвых особей в зоопланктоне Куршского залива составляла от 0.2 до 76.2% от численности и от 0.1 до 62.4% от биомассы зоопланктона. Высокие значения доли мертвых особей от суммарной численности и биомассы зоопланктона наблюдались в период массового развития цианобактерий и сразу после него с августа по октябрь (до 20-28%). Минимальные доли мертвых особей были обнаружены на станции, расположенной в центральной зоне водоема и менее других подверженной процессам эвтрофирования и «цветения воды». С помощью показателей смертности удалось выявить неодинаковую чувствительность различных видов и таксономических групп зоопланктона к «цветению» цианобактерий и органическому загрязнению, она возрастает в ряду Cyclopoidea→Calanoida→Rotifera→Cladocera. Средняя за вегетационный период доля мертвых особей значительно изменялась от года к году и составляла 2.6-16.1% от численности и 2.3-12.8% от биомассы зоопланктона. Минимальные средние доли мертвых особей в зоопланктоне были отмечены в 2007 и 2013 годах – 2.6-4.2%, когда развитие фитопланктона было на низком уровне, максимальные доли мертвых особей – в 2010-11 и 2014-15 годах – 8.5-16.1%, когда было отмечено «гиперцветение» воды и массовое развитие токсичных цианобактерий. Доля мертвых особей в зоопланктоне Вислинского залива составляла от 0.6 до 68.6 % от численности и от 1.3 до 80.6 % от биомассы зоопланктона. Сезонная динамика доли мертвых особей в зоопланктоне была неодинаковой в разные годы исследований. На станциях расположенных вблизи от пролива, соединяющего Вислинский залив с открытым Балтийским морем, доля мертвого зоопланктона от численности и биомассы возрастала в 1.5-4.0 раза. Была получена высокая положительная корреляция между долей мертвых особей и соленостью ( $r=0.5-0.9$ ). В среднем за вегетационный период доля мертвых особей в зоопланктоне Вислинского залива была высокой и составляла 11-22% от численности и 8-19% от биомассы зоопланктона. В Вислинском заливе в последние годы (2011-15 года) наблюдается тенденция к улучшению качества воды, которая прослеживается как в уменьшении доли мертвых особей в зоопланктоне, так и по индексам, отражающим качество воды, вероятно, отмеченная тенденция связана с вселением и успешной натурализацией в водоеме двустворчатого моллюска *Rangia cuneata*, фильтрационная деятельность которого способствует улучшению качества воды залива. В Куршском заливе тенденции к улучшению качества воды не отмечается, наблюдаемая вариабельность показателей зоопланктона определяется температурным режимом и степенью развития фитопланктона.

Таким образом, показатели зоопланктона могут успешно применяться для характеристики экологического состояния Куршского и Вислинского заливов. Наиболее

информативные показатели зоопланктона это показатель трофии (Е/О) и коэффициент трофии (Е), доля численности крупных Cladocera в общей численности Cladocera (КК) и доля мертвых особей в зоопланктоне. Другие показатели зоопланктона зачастую неоднозначны и могут применяться только в комплексе с другими показателями, в том числе гидрохимическими, что позволит исключить неверную оценку состояния изучаемых водных экосистем.

### Список литературы

Андроникова И.Н., 1996. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.

Дубовская О.П., 2008. Оценка количества мертвых особей рачкового зоопланктона в водоеме с помощью окрашивания проб анилиновым голубым: методические аспекты применения // Журнал Сибирского Федерального университета. Серия Биология. № 2. С. 145–161.

Семенченко В.П., Разлуцкий В.И., 2011. Экологическое качество поверхностных вод. Минск: Беларуська навука, 2011. 329 с.

Karabin A., 1985. Pelagic zooplankton (Rotatoria + Crustacea) variation in the process of lake eutrophication. I. Structural and quantitative features // Ekologia Polska. V. 33. № 4. P. 567–616.

Moss B., Stephen D., Alvarez C., et al., 2003. The determination of ecological status in shallow lakes a tested system (ECOFAME) for implementation of the European Water Framework Directive // Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. V. 13. № 6. P. 507–549.

Seepersad B., Crippen R.W., 1978. Use of aniline blue for distinguishing between live and dead freshwater zooplankton // Journal of the Fisheries Research Board of Canada. V. 35. № 10. P. 1363–1366.

УДК 597.554.3:591.132.05:547.56

А.Ф. Тарлева

ГОУ ВПО «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко», г. Тирасполь, Молдова  
e-mail: kobka\_85@mail.ru

### Влияние антропогенных факторов различной химической природы на активность протеаз, функционирующих в кишечнике рыб

**Резюме.** Показано, что фенол и гербицид раундап в условиях *in vitro*, как правило, оказывают ингибирующий эффект на активность протеаз слизистой оболочки кишечника у разных видов рыб. Устойчивость протеаз к исследуемым токсикантам видоспецифична.

В последние годы большое внимание уделяется изучению последствий антропогенного воздействия на гидросферу, которое значительно влияет на физиологические процессы у рыб и других гидробионтов.

Цель настоящей работы, изучение влияния различных токсикантов, фенола и гербицида Раундап на активность протеаз слизистой оболочки кишечника у рыб разных видов в условиях *in vitro*.

Объекты исследования: бентофаг густера *Blicca bjoerkna* (L.) массой 375±54 г. и ихтиофаг щука *Esox lucius* (L.) массой 650±34 г. выловленные в Рыбинском водохранилище. Рыб после поимки в течение 1 ч доставляли в лабораторию. Сразу проводили биоанализ, изымали пищеварительный тракт и замораживали. Для получения ферментативно активных препаратов кишечник рыб помещали на ледяную баню, очищали от жира, разрезали вдоль, изымали содержимое и специальным скребком снимали слизистую оболочку среднего отдела кишечника. Слизистую и содержимое (химус) тщательно перемешивали. Затем отбирали требуемое количество материала для приготовления исходного гомогената. Для оценки влияния фенола и Раундапа на активность протеаз пищеварительного тракта рыб.

Предварительно, 0.25 мл гомогената и 0.25 мл одного из токсикантов инкубировали в течение 1 ч. Затем добавляли 0.5 мл субстрата и инкубировали смесь в течение 30 мин. Протеолитическую активность оценивали по увеличению концентрации тирозина методом Ансона (Anson, 1938) в некоторой модификации. В качестве субстрата использовали 1% раствор казеина (рН 7.4).

Данные, касающиеся влияния фенола и Раундапа на активность протеаз слизистой оболочки кишечника рыб, свидетельствуют о зависимости эффекта от концентрации токсикантов (табл. 1). Однако у щуки активность протеаз под влиянием Раундапа в концентрации 0.1, 1.0 и 25 мг/л возрастает. Аналогичный эффект был отмечен при исследовании влияния Раундапа на активность сахаразы слизистой оболочки молоди плотвы *Rutilus rutilus* и окуня *Perca fluviatilis*: у первого вида активность достоверно повышалась на 43-62% в диапазоне концентраций 10-50 мг/л, у второго – на 37-92% в диапазоне концентраций 1-50 мг/л (Голованова и др., 2011).

Таблица 1. Влияние различных концентраций фенола и Раундапа на протеолитическую активность слизистой оболочки кишечника представителей бенто- и ихтиофагов, мкмоль/(г.мин).

Концентрация, ммоль/л	Виды рыб	
	Густера	Щука
	Фенол	
0	$6.5 \pm 0.1$ 100	$3.8 \pm 0.2$ 100
0.06 (5.64 мг/л)	$5.8 \pm 0.1^b$ -10.8	$3.0 \pm 0.1^b$ -21.1
0.13 (12.22 мг/л)	$4.7 \pm 0.1^b$ -27.7	$2.3 \pm 0.3^b$ -39.5
0.25 (23.3 мг/л)	$4.8 \pm 0.1^b$ -26.2	$2.3 \pm 0.1^b$ -39.5
0.5 (47.1 мг/л)	$4.9 \pm 0.1^b$ -24.7	$0.8 \pm 0.1^b$ -78.4
	Раундап	
0	$8.27 \pm 0.11$ 100	$2.99 \pm 0.21$ 100
0.1 (0.0006 ммоль/л)	$7.59 \pm 0.23^a$ -8.2	$3.72 \pm 0.09^a$ +24.4
1 (0.006 ммоль/л)	$6.92 \pm 0.11^b$ -16.3	$3.43 \pm 0.11$ +14.7
10 (0.06 ммоль/л)	$5.67 \pm 0.06^b$ -31.4	$2.99 \pm 0.17$ 0
25 (0.15 ммоль/л)	$5.56 \pm 0.11^b$ -32.8	$3.23 \pm 0.08$ +8.3
50 (0.3 ммоль/л)	$5.3 \pm 0.16^b$ -35.9	$2.50 \pm 0.30$ -16.4
100 (0.6 ммоль/л)	$4 \pm 0.11^b$ -51.6	–

При обсуждении полученных результатов также следует отметить, что активность казеинлитических протеаз у исследованных видов рыб сопоставима с таковой более ранних работ (Кузьмина и др., 2015). Под влиянием фенола у густеры максимальное снижение ферментативной активности наблюдается при концентрации 0.13 ммоль/л (на 27.7%). Раундап в концентрации 0.6 ммоль/л снижает активность протеаз на 51.6%. У щуки максимальное

снижение активности наблюдается при концентрации фенола 0.5 ммоль/л и составляет 78.4%, Раундапа – 0.3 ммоль/л и 16.4% соответственно. Кроме того, важно отметить, что под влиянием Раундапа в концентрации 0.1 мг/л у щуки наблюдается достоверное увеличение активности протеаз (на 24.4%).

В результате полученных данных, возможно сделать следующие выводы. В условиях *in vitro* фенол значительно снижает активность протеаз, особенно у щуки. Негативное воздействие раундапа, напротив, сильнее выражено у густеры. У щуки в большинстве случаев Раундап вызывает достоверное увеличение уровня ферментативной активности и лишь в концентрации 50 мг/л – снижение. Снижение активности казеинлитических протеаз кишечника может негативно влиять на эффективность начальных этапов ассимиляции белковых компонентов пищи у исследованных и, по-видимому, других видов рыб.

### Список литературы

Голованова И.Л., Филиппов А.А., Аминов А.И., 2011. Влияние гербицида Раундап *in vitro* на активность карбогидраз молоди рыб // Токсикологический вестник. № 5. С. 31–35.

Кузьмина В.В., Грачева Е.Л., Тарлева А.Ф., 2015. Влияние фенола и его производных на активность пептидаз слизистой оболочки и химуса у рыб // Проблемы биологии продуктивных животных. № 3. С. 59–67.

Anson M., 1938. The estimation of pepsin, trypsin, papain and cathepsin with hemoglobin // Journal of General Physiology. V. 22. P. 79–83.

УДК 574.64:595.324:632.95

**Е.А. Федорова**

ФГБНУ «Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства», г. Ростов-на-Дону  
e-mail: elena\_viva@mail.ru

### Сравнительная оценка потенциальной опасности азоловых пестицидов для ветвистоусых ракообразных

**Резюме.** Дана сравнительная оценка потенциальной опасности азоловых пестицидов для *Daphnia magna* Straus, 1820. Выявлено дозозависимое снижение выживаемости и биологических параметров клadoцер. Полученные данные хронического эксперимента позволили определить недействующие и пороговые концентрации исследованных веществ. Установлено, что при одинаковом содержании действующего вещества (метсульфурон-метила) Зингер проявил большую токсичность, которая обуславливается наличием в смеси более токсичных компонентов. Сделан вывод, что в данном случае, более рациональным и безопасным для окружающей среды является использование гербицида Ларен.

Среди экотоксикологических факторов, влияющих на функционирование водных экосистем, важная роль принадлежит ксенобиотикам, количество которых увеличивается с ростом уровня антропогенного загрязнения (Панченкова и др., 2009). Для современного этапа разработки пестицидов характерен поиск препаратов, обладающих высокой активностью в низких нормах расхода (граммы на га). Это, прежде всего, пестициды с новыми механизмами действия. Требованиями к ним является слабая подвижность в окружающей среде, разрушаемость до нетоксичных остатков в течение одного вегетационного периода (менее 90–150 сут.), безопасность для нецелевых объектов, связанная с высокой избирательной токсичностью, что позволит снизить химическую нагрузку на окружающую среду (Захаренко, 2000).

К пестицидам будущего относят гетероциклические азоловые пестициды (Грапов, 1995; Plimmer, 1996). Объем работ по их синтезу непрерывно растет, они успешно конкурируют по эффективности с применяемыми ранее пестицидами. В существующей литературе

практически нет сведений о механизмах токсического действия этих пестицидов для гидробионтов, не налажена на должном уровне система мониторинга этих соединений в воде рыбохозяйственных водоемов. Тем не менее, в связи с увеличением их производства и использования, эти химические соединения могут попадать в рыбохозяйственные водоемы, что порождает необходимость выявления и оценки их потенциальной опасности для водных сообществ. Поэтому целью работы являлось сравнительная оценка потенциальной опасности азоловых пестицидов для ветвистоусых ракообразных – дафний (*Daphnia magna* Straus, 1820).

В качестве материалов исследования были использованы водные растворы азоловых гербицидов – Ларен, СП (60 % метсульфурон-метила) и Зингер, СП (60 % метсульфурон-метила). Биологические показатели жизнедеятельности дафний – выживаемость, скорость полового созревания, плодовитость, численность, биомасса и возрастной состав популяции исследовались в течение 30-ти суток. Диапазон концентраций Ларена составил 10.0-1000.0 мг/л, Зингера – 15.0-240.0 мг/л.

Исследование воздействия гербицидов на выживаемость дафний в острых (4 суток) опытах позволило определить среднелетальные концентрации пестицидов и установить, что Ларен и Зингер отличались по интенсивности развития токсического эффекта, что сопровождалось существенными различиями в параметрах токсичности.

Наиболее токсичным оказался Зингер, по рассчитанным среднелетальным концентрация острых опытов его можно отнести к группе малотоксичных пестицидов для дафний ( $50.0 \text{ мг/л} < \text{ЛК}_{50} < 500.0 \text{ мг/л}$ ). В свою очередь Ларен по степени острой токсичности для дафний относится к группе очень слаботоксичных соединений ( $\text{ЛК}_{50} > 500.0 \text{ мг/л}$ ).

Дафнии являются организмами с коротким биологическим циклом развития, что дало возможность определить воздействие различных концентраций азолов в течение 30-ти суток на ряд поколений и определить накопление их отрицательного влияния в трех генерациях рачков. Хроническая интоксикация может изменить рождаемость дафний либо путем снижения плодовитости или снижения выживаемости яиц и молоди, либо в связи с действием указанных факторов одновременно. Анализ исследованных биологических показателей жизнедеятельности дафний показал, что с увеличением концентраций гербицидов усиливалось их негативное воздействие на дафний.

Общее количество народившейся жизнеспособной молоди от одной самки отражает величину реальной плодовитости дафний. Эта величина, в конечном итоге, определяет сохранность вида и играет решающую роль при оценке токсичности. Отмечено дозозависимое снижение реальной плодовитости особей в исходном и трех последующих поколениях при действии ксенобиотиков. Снижение плодовитости происходило за счет увеличения времени созревания и уменьшения количества пометов. Одновременно с увеличением концентраций азоловых пестицидов происходило снижение численности и биомассы популяции дафний. Гербициды не оказывали существенного влияния на соотношение возрастных групп в популяциях дафний во всех исследованных растворах. Ювенильные особи по численности доминировали над половозрелыми рачками.

В результате статистической обработки данных установлены недействующие (NOEC) и пороговые (LOEC) концентрации гербицидов для ветвистоусых ракообразных по изученным показателям в хроническом эксперименте, которые составили: Ларен – NOEC-100.0 мг/л, LOEC-250.0 мг/л; Зингер – NOEC-15.0 мг/л, LOEC-30.0 мг/л.

В результате эксперимента установлено, что при одинаковом содержании действующего вещества (метсульфурон-метила) Зингер проявил большую токсичность, которая обуславливается наличием в смеси более токсичных компонентов. Следовательно, что в условиях широкого выбора пестицидов одного спектра действия и равных нормах расхода необходимо руководствоваться степенью токсичности. В данном случае, более рациональным и безопасным для окружающей среды является использование гербицида Ларен, как менее опасного для изученных гидробионтов.

### Список литературы

Грапов А.Ф., 1995. Пестициды: новые препараты, механизм действия, метаболизм (по материалам VIII Международного конгресса по химии пестицидов) // *Агрохимия*. № 3. С. 84–100.

Захаренко В.А., 2000. Защита растений в третьем тысячелетии (Материалы XIV Международного конгресса по защите растений) // *Агрохимия*. № 4. С. 75–93.

Панченкова Г.А., Голованова И.Л., Ушакова Н.В., 2009. Репродуктивные показатели, размеры и активность гидролаз у *Daphnia magna* Straus в ряду поколений при действии гербицида «фраундап» // *Биология внутренних вод*. № 3. С. 105–110.

Plimmer J.R., 1996. Analytical chemistry and the future of pesticides // *Environmental Science and Health*. V. 31 (4). P. 645–670.

УДК 574.632

**К.П. Хазанова, Д.В. Ростанец, А.Ю. Акулова**

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», г. Москва  
e-mail: avilon.9@yandex.ru

### Изменение содержания минеральных форм азота и фосфора как показатель уровня техногенной нагрузки на р. Москва

**Резюме.** Проведен анализ содержания нитритов, нитратов, фосфатов и ионов аммония в р. Москве на участке от нижнего бьефа Можайского водохранилища до устья у г. Коломна. Всего обследовано 46 станций по тракту реки. Биогенная нагрузка в верховье р. Москвы стабильно невысокая, зафиксировано превышение ПДК по аммонии на уровне 1.2 ПДК ниже впадения загрязненного притока – реки Ведомки, по остальным показателям превышения нормативов не зафиксировано. В черте г. Москвы и в низовье реки динамика содержания нитратов и нитритов довольно сходная – резкие увеличения концентрации наблюдаются в районах поступления сточных вод Курьяновской и Люберецкой станций аэрации (КСА и ЛСА соответственно) и в районах гидроузлов «Софьино», «Фаустово» и «Марчуги». Концентрация аммония резко увеличивается после выпусков КСА (до 9.1 ПДК), а затем постепенно снижается на участке от ст. Братеево до г. Жуковский, самоочищение завершается к району Софьинского гидроузла. Содержание фосфатов в р. Москве не выходит за пределы установленных нормативов, резкое увеличение концентрации минерального фосфора отмечено в районах поступления сточных вод КСА и ЛСА, а также в районе впадения р. Ведомка. При изучении закономерностей изменения структуры сообществ гидробионтов под влиянием техногенной нагрузки, воздействие высоких концентраций биогенных элементов целесообразно изучать в районах выпусков КСА и ЛСА и на участке реки от гидроузла «Софьино» до г. Воскресенск, верховье реки для работ такого плана не показательно.

В настоящее время все водные объекты фактически являются природно-техногенными системами и прямо или опосредованно подвергаются антропогенному воздействию (Горюнова и др., 2002). Зачастую воздействие на гидробионтов происходит через абиотические факторы, поскольку под влиянием техногенной нагрузки изменяются параметры среды обитания организмов. Изменение значений химических показателей может быть зафиксировано при проведении гидрохимического анализа воды и использовано как показатель уровня техногенной нагрузки.

В рамках Проекта РФФИ по изучению закономерностей изменения структуры сообщества бентосных диатомовых водорослей под воздействием техногенной нагрузки, в качестве модельного объекта была выбрана р. Москва – основной водоток мегаполиса, подверженный техногенным воздействиям различного характера и интенсивности. В настоящей статье представлены промежуточные результаты по выделению станций с

интенсивной биогенной нагрузкой на основании данных гидрохимического анализа, на них будут проводиться дальнейшие полевые работы. Для выявления станций с наиболее интенсивной биогенной нагрузкой, по тракту р. Москвы было взято 46 станций от нижнего бьефа Можайского водохранилища до устья у г. Коломна. Полевые работы были проведены в июле 2016 года, пробы воды отобраны и зафиксированы в соответствии с ГОСТ 31861-2012. Измерение содержания нитрат-ионов, нитрит-ионов, ионов аммония и фосфат-ионов в воде проводили по аттестованным методикам ФР.1.31.2012.13740, ФР.1.31.2012.13739, ФР.1.31.2012.13738 и ФР.1.31.2011.09217 с использованием фотоколориметра Экотест-2020. Значения ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования приведены в соответствии с ГН 2.1.5.1315-03.

Содержание ионов аммония на участке р. Москвы от Можайского водохранилища до устья изменялось от 0.33 мг/л (район Печатники, территория г. Москва) до 17.5 мг/л (ниже выпусков Курьяновской станции аэрации - КСА). Из 46 станций превышение ПДК было зафиксировано на 10, из них только одна располагалась в верховье реки (ст. Ниже впадения р. Ведомки, содержание аммония на уровне 1.2 ПДК), остальные станции расположены на участке от выпусков КСА до г. Жуковский. Ниже выпусков КСА содержание ионов аммония было на уровне 9.1 ПДК, к району Братеево снижалось до 2.8 ПДК и на участке от ст. Беседы до г. Жуковский варьировало от 1.6 до 2.9 ПДК. От района гидроузла «Софьино» до устья концентрация ионов аммония не превышала ПДК. Таким образом, можно заключить, что основное поступление ионов аммония в р. Москву происходит со сточными водами КСА и самоочищение водных масс до уровня, не превышающего ПДК, заканчивается к району гидроузла «Софьино».

Концентрация нитратов в р. Москве изменялась от 0.2 мг/л в районе Рублевской станции водоподготовки до 127 мг/л в районе гидроузла «Софьино». Превышение ПДК было зафиксировано на 12 станциях из 46, из них одна станция располагалась на территории г. Москвы (ниже выпусков КСА – 1.5 ПДК), остальные на участке от выпусков Люберецкой станции аэрации (ЛСА) до шлюза «Северка». Наибольшие значения концентрации нитратов зафиксированы в районах гидроузлов «Софьино» и «Фаустово», а также в районе г. Бронницы (от 2.6 до 2.8 ПДК). Водосборная площадь на указанном участке используется для сельскохозяйственных нужд, поэтому можно заключить, что поступление нитратов в р. Москву происходит со сточными водами очистных сооружений (превышение ПДК в районе КСА и ЛСА на уровне 1.5 и 1.3 ПДК соответственно), но основная биогенная нагрузка по нитратам (до 2.8 ПДК) связана с поверхностным стоком с полей, на которых вносятся азотные удобрения.

Содержание нитритов в р. Москве изменялось от 0.028 мг/л в районе нижнего бьефа Можайского водохранилища до 9.7 мг/л в районе г. Бронницы. В районе выпусков сточных вод КСА содержание нитритов было в пределах нормы и составляло 0.8 ПДК, ниже выпусков ЛСА – 0.7 ПДК. Содержание нитритов резко возрастало в районе гидроузла «Софьино» (до 2.5 ПДК), достигало максимума в районе г. Бронницы (2.9 ПДК), а затем на участке от гидроузла «Фаустово» до гидроузла «Марчуги» постепенно снижалось, и от района г. Воскресенск до устья не превышало установленных нормативов. Пространственная динамика содержания нитритов в целом сходна с динамикой содержания нитратов, однако, поступление нитрит-ионов со сточными водами г. Москвы и других населенных пунктов в районах КСА и ЛСА не приводило к превышению ПДК, а основные превышения ПДК зафиксированы в районах расположения агропромышленных комплексов.

Пространственная динамика содержания фосфатов по тракту р. Москвы в июле 2016 года была неоднородна, однако ни на одной станции концентрация минерального фосфора не превышала ПДК. Минимальная концентрация зафиксирована ниже канала им. Москвы (0.29 мг/л), максимальная – ниже выпусков ЛСА (3.34 мг/л). В верховье реки повышение содержания фосфатов отмечено после впадения р. Ведомки (с 0.61 до 2.05 мг/л). Следующий локальный пик содержания фосфатов зафиксирован уже в черте города Москва в районе КСА (3.04 мг/л), далее концентрация фосфатов снижалась до 0.7 мг/л и вновь резко возрастала в

районе выпусков ЛСА (до 3.34 мг/л), затем последовательно снижалась вниз по течению реки и вновь возрастала до 3.1-3.2 мг/л к устью (район гидроузла «Северка» и г. Коломны). Не смотря на отсутствие четкой пространственной динамики, отмеченной для минеральных форм азота, можно заключить, что основное поступление фосфора в р. Москву связано со сточными водами очистных сооружений.

Работа была выполнена в рамках Государственного задания Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (тема № АААА-А16-116021660054-4) и гранта РФФИ (Проект 16-34-00485).

### **Список литературы**

ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб.

Горюнова С.В., Попов А.В., Суздалева А.Л., Безносков В.Н., 2002. Чрезвычайные экологические и биологические ситуации в техногенных водных экосистемах // Вестник РУДН, серия «Сельскохозяйственные науки. Агронимия». № 8. С.10–16.

УДК 592

**А.М. Шевченко**

*ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», г. Уфа, Республика Башкортостан  
e-mail: amsh84@yandex.ru*

### **Оценка экологического состояния оз. Новая Старица (Республика Башкортостан) по организмам зоофитоса**

**Резюме.** Изученное оз. Новая Старица характеризуется средними показателями видового разнообразия и количественного обилия беспозвоночных. Согласно результатам исследования эколого-фаунистических характеристик зарослевой фауны, исследуемое озеро следует отнести к категории загрязнённых водоёмов. Наблюдается устойчивое накопление органических веществ в водоёме, что постепенно приводит к ухудшению условий обитания гидробионтов.

Для гидробиологического анализа качества вод могут быть использованы практически все группы водных организмов, каждая из которых в качестве биоиндикатора имеет свои преимущества и недостатки, определяющие границы ее использования при решении задач биомониторинга (Баканов, 2000; Каплин, 2001). При этом если такие компоненты гидрофауны как зоопланктон, зообентос, ихтиофауна в большей или меньшей степени затронуты исследованиями соответствующих специалистов, то фауна фитофильных беспозвоночных, особенно в малых озёрах, остаётся изученной недостаточно. Между тем зарослевая фауна, или зоофитос, является важным компонентом экосистемы озера, играет существенную роль в трофике водоемов, в процессах самоочищения вод, а также в поддержании биоразнообразия в водных экосистемах. Фитофильные беспозвоночные служат удобным объектом популяционного и биоценологического исследования благодаря достаточно чёткой приуроченности к фитоценозам макрофитов (Каменев и др., 2005).

Целью работы явилось изучение зарослевой фауны пойменного озера Новая Старица (г. Уфа, микрорайон Инорс), а также оценка экологического состояния данного водоёма по организмам зоофитоса. Озера являются важными элементами экосистемы поймы крупных рек и служат резерватами, которые обеспечивают биоразнообразие гидробионтов, в том числе и в самой реке (Каменев, 2004). Пойменным озёрам принадлежит немалая доля среди озёр Республики Башкортостан. Фитофильная макрофауна в Башкортостане исследовалась большей частью в процессе изучения бентофауны. Практически отсутствуют работы, посвящённые зарослевой фауне водоёмов Республики, как отдельной экологической группе,



имеющей свои особенности. Почти нет данных, позволяющих судить о состоянии водоёмов по характерным для них сообществам фитофильных беспозвоночных.

Исследуемое озеро находится в левобережной пойме р. Уфа, в 1.5 км южнее микрорайона Инорс, расположенного в северной части г. Уфы. Имеет типичную для пойменного водоёма подковообразную форму. Площадь водного зеркала составляет ~8-9 га. Средняя глубина ~2-2.5 м, максимальная ~4 м. Мелководные участки расположены в концах озера, вдоль берегов же тянутся лишь узкой полосой. Вода в озере летом прогревается до 21-23°C. В летний период высшей водной растительностью зарастает до 50 % акватории озера.

Материалом для данной работы послужили пробы зарослевых беспозвоночных, собранные в летний период 2014 года. В составе зоофитоса озера обнаружено 30 видов беспозвоночных из четырёх типов и шести классов животного мира. Наибольшим видовым разнообразием и количественным обилием беспозвоночных характеризуется погруженная растительность (30 видов), а наименьшим – растительность с плавающими листьями, где обнаружено всего 9 видов. Средняя общая численность беспозвоночных колебалась от 832.0 до 1211.2 экз./м<sup>2</sup> в прибрежно-водной растительности, от 838.4 до 1788.0 экз./м<sup>2</sup> в погружённой растительности в различные месяцы сбора материала. Наиболее сходными между собой по видовому составу являются заросли прибрежно-водной и погружённой растительности, наименее сходными – заросли погружённой растительности и растительности с плавающими листьями. Примечательно, что все виды беспозвоночных, обитающие в растительности с плавающими листьями, присутствуют и в двух других биотопах. Данный вид зарослей в исследуемом озере представлен главным образом кубышкой жёлтой. Среди прочих биотопов её заросли характеризуются наименьшей густотой и развитием листовой поверхности (Зимбалевская, 1981), здесь часто обитают виды, не являющиеся облигатными обитателями зарослей, которые могут быть встречены также в бентосе. Наблюдаемая картина является типичной для зарослевой фауны пойменных озёр (Каменев и др., 2005). Следует отметить полное отсутствие в растительности с плавающими листьями таких групп, как волосатики, двустворчатые моллюски, стрекозы, подёнки и жуки.

По количеству видов во всех трёх исследованных биотопах преобладают брюхоногие моллюски и пиявки, т.е. в зарослевой фауне озера сформировалось пиявково-моллюсковое сообщество, что характерно для загрязнённых озёр (Каплин, 2001).

Согласно системе сапробности Кольквитца-Марсона, большая часть обнаруженных нами видов зоофитоса относятся к  $\alpha$ -мезосапробным, а также к видам, не имеющим индикаторной значимости. Что характерно, доминирование этих групп можно проследить во всех трёх биотопах. Исходя из этого, оз. Новая Старица можно также отнести к загрязнённым, или  $\alpha$ -мезосапробным водоёмам.

Следует также отметить, что в течение лета наблюдается снижение видового разнообразия на фоне сохранения доминирования указанных выше индикаторных групп, а в погружённой растительности к концу лета полностью выпадают из состава сообщества олигосапробы, т.е. виды, характерные для чистых местообитаний. Таким образом, наблюдается увеличение индекса сапробности, что может быть связано как с накоплением органических веществ, так и с вылетом некоторой части видов.

Трофическая структура сообществ зоофитоса оз. Новая Старица в целом довольно разнообразна, в ней представлено достаточное количество видов-фитофагов, зоофагов, имеются также детритофаги. Но вместе с тем, в её составе большую долю занимают виды, питающиеся не дифференцированно, что может также говорить о накоплении в водоёме органических веществ.

Значение индекса Майера, подсчитанное для озера в целом, составило 19, что соответствует 2-му классу качества. Однако необходимо отметить, что индекс Майера всегда даёт несколько завышенные результаты по классу качества вод, поскольку он основан не на индивидуальной, а на групповой представленности беспозвоночных (Каплин, 2001).

### Список литературы

- Баканов А.И., 2000. Использование зообентоса для мониторинга пресных вод // Биология внутренних вод. № 1. С. 108–111.
- Зимбалева Л.Н., 1981. Фитофильные беспозвоночные равнинных рек и водохранилищ. Киев: Наукова думка, 1981. 216 с.
- Каменев А.Г., 2004. Биоразнообразие и биопродуктивность сообществ макрозообентоса озер левобережного Присурья. Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2004. 116 с.
- Каменев А.Г., Тимралева З.А., Вельямкина А.Н., 2005. Зооперифитон малых озер левобережного Присурья. Фитофильные беспозвоночные. Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2005. 108 с.
- Каплин В.Г., 2001. Биоиндикация состояния экосистем. Самара: Самарская ГСХА, 2001. 143 с.

УДК 595.324:599.322.3

Н.С. Шевченко

ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова РАН», пос. Борок, Ярославская область  
e-mail: nataliaschewchenko@yandex.ru

### Реакция планктонных ветвистоусых (*Ceriodaphnia dubia* Richard, *Daphnia magna* Straus) на продукты жизнедеятельности бобра (*Castor fiber*): экспериментальные исследования

**Резюме.** Эксперименты проведены на фоновом и зарегулированном бобрами участках малой реки в микрокосмах, куда в разных начальных соотношениях были помещены особи двух разноразмерных видов Cladocera. Делается заключение о том, что формирование в бобровых прудах зоопланктона, отличающегося специфическими параметрами за счет крупных Cladocera, происходит благодаря изменениям количественных и качественных характеристик их кормовой базы. Это благоприятствует массовому развитию крупного вида *Daphnia magna* и его успешной конкуренции с мелким – *Ceriodaphnia dubia*. Результаты биотестирования указывают на то, что угнетение плодовитости *C. dubia* также может происходить посредством химических коммуникаций с продуктами жизнедеятельности *D. magna*.

Показано, что одним из ведущих факторов, определяющих экологическое состояние малых рек, является жизнедеятельность околотовных позвоночных животных. На зарегулированных и активно эксплуатируемых бобрами участках рек численность и биомасса зоопланктона достигают значительных величин благодаря преобладанию 1-2 видов крупных видов Cladocera. Одна из основных причин преобразования зоопланктона – изменение гидрологического режима реки. Однако, средняя бобровая семья, выделяя в течение года в воду > 500 кг мочи и экскрементов, обогащает ее различными биогенными, минеральными и органическими веществами (Ставровский и др., 1986).

Для изучения механизмов, способствующих развитию крупных видов Cladocera в бобровых прудах, были проведены эксперименты в природных условиях. Эксперимент проводили с июня по октябрь 2015 года в микрокосмах объемом 5 л, размещенных на фоновом (не зарегулированном) участке и в бобровом пруду р. Латка (Ярославская обл., Некоузский р-н). Микрокосмы были затянuty газом и имели связь с водой реки. Особи ветвистоусых ракообразных (*C. dubia* – 0.3-0.6 мм, *D. magna* – 0.5-1.0 мм) в июне рассаживались в микрокосмы в различных начальных соотношениях: вариант I – 30 экз. *C. dubia*; II – 30 экз. *D. magna*; III – 25 экз. *C. dubia* и 5 экз. *D. magna*; IV – 5 экз. *C. dubia* и 25 экз. *D. magna*. Для определения численности ракообразных один раз в месяц из каждого микрокосма мерным сосудом объемом 0.1 л собирали 1 л воды, которую процеживали через планктонную сеть с

ячеей 64 мкм и далее использовали для биотестирования на *C. dubia* и определения концентрации общего азота и фосфора (использованы стандартные методики).

Результаты эксперимента показали, что в микрокосмах на зарегулированном бобрами участке реки как при одиночном, так и совместном обитании наиболее значимо увеличивается численность крупного вида – *D. magna*. Известно, что стимуляция крупных видов наблюдается при увеличении содержания фосфора в воде и объектах их питания (Толмеев, 2006). В воде из микрокосмов из бобрового пруда, наблюдались достоверно большее содержание фосфора в воде и значимо меньшие величины соотношения азота и фосфора (N/P), чем это отмечалось в воде из микрокосмов, размещенных на фоновом участке реки. Такой же эффект отмечен и при добавлении экскрементов бобров в микрокосмы при проведении лабораторных экспериментов (Крылов и др., 2016). Следовательно, массовое развитие крупного вида ракообразных в бобровом пруду может быть обусловлено увеличением содержания фосфора в воде и объектах питания.

Известно, что суточное потребление пищи взрослой *D. magna* может достигать 600% от массы ее тела (Ивлева, 1969) и в условиях богатой кормовой базы крупные виды (*Daphnia pulex* Leydig, *D. magna*) успешно конкурируют с мелкими (*Ceriodaphnia reticulata* (Jurine), *Diaphanosoma brachyurum* s. lat.) (Фенева и др., 2010). Следовательно, снижение количественных показателей развития мелкого вида ветвистоусых рачков – *C. dubia* – в микрокосмах в бобровом пруду при массовом развитии *D. magna* могло определяться их прямой конкуренцией за пищевой ресурс.

Однако результаты биотестирования воды с использованием в качестве тест-объекта *C. dubia* позволяют предположить наличие еще одного механизма влияния. Среднее количество потомства цериодафний по сравнению с контролем (водопроводная вода) увеличивалось лишь в условиях ее монокультуры. При этом различия между водой с фонового и водой с зарегулированного участков не были достоверными. Достоверно меньшее количество потомства тест-объекта отмечено в воде из микрокосмов, где обитала только *D. magna*. При совместном обитании двух видов ветвистоусых ракообразных в воде из микрокосмов бобрового пруда, где наибольшего количества достигала *D. magna*, среднее количество потомства *C. dubia* было значимо меньше, чем в воде из микрокосмов фонового участка реки. Эти данные подтвердили результаты лабораторных исследований, проведенных при высокой концентрации экскрементов *Castor fiber* (Крылов и др., 2016), когда значимое снижение среднего количества молодежи, отрожденной одной самкой *C. dubia*, наблюдалось лишь в воде из микрокосмов с добавлением экскрементов бобров, в которых численность *D. magna* достигала максимальных значений. Следовательно, еще одной причиной снижения плодовитости *C. dubia* может быть влияние продуктов жизнедеятельности *D. magna*. (Задереев, 2002).

Таким образом, преобладание крупных видов ветвистоусых ракообразных в бобровых прудах обуславливается поступлением экскрементов бобров, которые при зарегулировании стока способствуют увеличению содержания фосфора и уменьшению соотношения N/P в воде. Механизм влияния крупных видов дафний на представителей мелкоразмерных видов того же трофического уровня, обитающих в бобровых прудах, заключается в большей конкурентоспособности первых в условиях количественно и качественно богатой кормовой базы. Определенную роль играют и топические связи. Популяция крупной дафнии изменяет условия среды для мелкой цериодафнии в неблагоприятную сторону, что приводит к угнетению ее плодовитости.

Начатые исследования продолжаются с целью накопления данных о прудах, различающихся по возрасту, морфометрии, водообмену и количеству обитающих в них бобров. Это в дальнейшем позволит определить минимальные величины фосфора и соотношения N/P, стимулирующие развитие дафний, а также плотность *D. magna*, при которой возникает средообразующий эффект от ее жизнедеятельности.

## Список литературы

- Задереев Е.С., 2002. Химические взаимодействия среди планктонных ракообразных // Журнал общей биологии. № 2. С. 149–157.
- Ивлева И.В., 1969. Биологические основы и методы массового культивирования кормовых беспозвоночных. М.: Наука, 1969. 170 с.
- Крылов А.В., Чалова И.В., Ланеева Н.С., Цельмович О.Л., Романенко А.В., Лавров В.Л., 2016. Влияние продуктов жизнедеятельности бобров (*Castor fiber* L.) на формирование специфической структуры зоопланктона: изменения количества двух разноразмерных видов *Cladocera* (лабораторный эксперимент) // Сибирский экологический журнал. № 4. С. 600–610.
- Ставровский Д.Д., Ставровская Л.А., Филиппов В.А., 1986. Влияние деятельности бобра на окружающую среду // Проблемы охраны генофонда и управления экосистемами в заповедниках лесной зоны: Тезисы докладов Всесоюзного совещания, Березинский заповедник, 23-25 сентября 1986 г. Ч. II. М.: Изд-во АН СССР, 1986. С. 205–207.
- Толмеев А.П., 2006. Концепция “экологической стехиометрии” в водных экосистемах: литературный обзор // Сибирский экологический журнал. № 1. С. 13–19.
- Фенева И.Ю., Палаш А.Л., Будаев С.В., 2010. Влияние обилия пищи и биотических отношений на успех вселения крупных и мелких видов ветвистоусых ракообразных в экспериментальных условиях // Зоологический журнал. Т. 89. № 4. С. 416–423.

УДК 574.524

Е.П. Шапова<sup>1</sup>, А.Н. Гурков<sup>1</sup>, И.А. Белоусова<sup>1,2</sup>,  
Е.В. Борвинская<sup>1,3</sup>, Б.К. Бадуев<sup>1</sup>, М.А. Тимофеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», НИИ биологии, г. Иркутск

<sup>2</sup> ФГБУН «Институт систематики и экологии животных СО РАН», г. Новосибирск

<sup>3</sup> ФГБУН «Институт биологии Карельского научного центра РАН», г. Петрозаводск, Республика Карелия  
e-mail: shchapova.katerina@gmail.com

### Оценка стресс-реакции личинок эндемичного вида ручейников *Baicalina thamastoides* на инъекции инкапсулированного флуоресцентного сенсора SNARF-1

**Резюме.** Перспективным инструментом для прижизненной оценки стрессовых состояний организма являются инкапсулированные в микрокапсулы флуоресцентные сенсоры, чей спектр флуоресценции реагирует на такие параметры как pH или ионный состав. В работе впервые продемонстрирована возможность развития стресс-ответа у личинок массового эндемичного вида ручейников *Baicalina thamastoides* (Martynov, 1914), населяющих литоральную зону озера Байкал, после введения инкапсулированных сенсоров, содержащих pH-чувствительный краситель SNARF-1. В качестве стресс-маркеров были использованы показатели активности трёх ферментов, играющих ключевую роль в функционировании защитных систем организма: супероксиддисмутазы, неспецифических эстераз и глутатион-S-трансферазы. Результаты работы свидетельствуют об отсутствии токсичности и выраженного стресс-ответа антиоксидантной и детоксицирующей систем у личинок *B. thamastoides* как на инъекции пустых микрокапсул, так и на инъекции инкапсулированного pH-сенсора SNARF-1. Этот результат открывает новые возможности для применения методов прижизненной диагностики в экологическом мониторинге.

На сегодняшний день антропогенное загрязнение окружающей среды и глобальное изменение климата могут привести к резкому ухудшению экологической ситуации во многих водоёмах, существенному снижению качества питьевой воды и темпов производства в различных отраслях народного хозяйства (Deutsch et al., 2015). Сложившаяся ситуация обуславливает необходимость разработки новых эффективных методов оценки

физиологического состояния гидробионтов с целью интенсификации и ускорения работ при проведении экологического мониторинга и биотестирования.

В настоящее время всё большую популярность набирают методы прижизненного исследования физиологических параметров живого организма, предполагающие введение в организм микроскопических оптических сенсоров (Ruckh, Clark, 2014). Преимущество таких методов заключается в возможности с высокой скоростью и в реальном времени исследовать изменения в организме. Одним из наиболее перспективных типов сенсоров являются инкапсулированные флуоресцентные красители, спектры которых чувствительны к различным химическим и физическим характеристикам растворов. Благодаря полупроницаемости оболочки краситель не может выйти за её пределы и оказать токсический эффект на организм, но в то же время остаётся чувствительным к изменению его физиологических параметров (Sadovoy et al., 2013).

Озеро Байкал является одним из уникальных природных объектов, флора и фауна которого отличаются высокой степенью эндемизма и биоразнообразия. В последние годы мониторинг состояния экосистемы озера Байкал особенно актуален в свете развития непрямой эвтрофикации его прибрежной зоны (Tsydenov et al., 2015) наблюдаемой в акватории озера Байкал в последние годы. Это обуславливает необходимость развития и улучшения существующих программ мониторинга экосистемы Байкала. Особого внимания заслуживает бентосная зона озера, в которой сосредоточена основная часть эндемичного биоразнообразия Байкала (Timoshkin et al., 2015). Одной из групп, формирующих значительную долю биомассы бентосной зоны Байкала, являются эндемичные ручейники (Trichoptera), обильно представленные в литорали личиночными стадиями. Личинки ручейников обладают сравнительно низкой устойчивостью к стрессовым факторам среды и поэтому могут использоваться в качестве высокочувствительных тест-объектов для токсикометрической оценки и в экологическом мониторинге водоёмов (Gurkov et al., 2016).

В данном исследовании оценивали возможность развития стресс-ответа организма личинки ручейника при инъекции инкапсулированных сенсоров. В качестве стресс-маркера были использованы показатели активности трёх ферментов, играющих ключевую роль в функционировании защитных систем организма: супероксиддисмутазы (СОД), неспецифических эстераз (НЭ) и глутатион-S-трансферазы (ГСТ). Активность ферментов оценивали через сутки в ответ на инъекции пустых микрокапсул и микрокапсул, содержащих флуоресцентный рН-сенсор SNARF-1. Также проводили оценку в ответ на инъекции физиологического раствора и раствора флуоресцентного сенсора.

Результаты нашего исследования свидетельствуют об отсутствии выраженного стресс-ответа антиоксидантной и детоксицирующей систем у личинок *B. thamastoides* как на инъекции микрокапсул и, так и на инъекции инкапсулированного рН-сенсора SNARF-1. Необходимо отметить возможность отложенных хронических эффектов на организм при длительном применении инкапсулированных сенсоров, что требует дальнейшего изучения. Полученный результат открывает широкие перспективы дальнейшего развития данной технологии для её применения в экофизиологических и экотоксикологических исследованиях на примере байкальских ручейников, а впоследствии – для разработки более эффективных методов экологического мониторинга озера Байкал.

Данная работа была поддержана грантами РФФ №15-14-10008 и РФФИ №15-29-01003.

### Список литературы

Deutsch C., Ferrel A., Seibel B., H. Pörtner, Huey R.B., 2015. Climate change tightens a metabolic constraint on marine habitats // *Science*. V. 348. P. 1132–1135.

Gurkov A.N., Belousova I.A., Shchapova E.P., Baduev B.K., Vereshchagina K.P., Timofeyev M.A., 2016. Injections of Encapsulated pH Sensor SNARF-1 do not Induce Apparent Stress Reaction in Larvae of Endemic Baikal Caddisflies *Baicalina thamastoides* // *Journal of stress physiology & biochemistry*. V. 12. №. 1. P. 52–59.

Ruckh T.T., Clark H.A., 2014. Implantable Nanosensors: Toward Continuous Physiologic Monitoring // Analytical Chemistry. V. 86 (3). P. 1314–1323.

Sadovoy A.V., Lomova M.V., Antipina M.N., Braun N.A., Sukhorukov G.B., Kiryukhin M.V., 2013. Layer-by-Layer Assembled Multilayer Shells for Encapsulation and Release of Fragrance // ACS Applied Materials & Interfaces. V. 5 (18). P. 8948–8954.

Tsydenov B.O. Kay A., Starchenko A.V., 2015. Numerical Modelling of Pollutant Propagation in Lake Baikal during the Spring Thermal Bar // Procedia Computer Science. V. 51. P. 2658–2662.

Timoshkin O.A., Bondarenko N.A., Volkova Y A., Tomberg I.V., Vishnyakov V.S., Malnik V V., 2015. Mass Development of Green Filamentous Algae of the Genera *Spirogyra* and *Stigeoclonium* (Chlorophyta) in the Littoral Zone of the Southern Part of Lake Baikal // Hydrobiological Journal. V. 51(1). P. 13–23.

УДК 574.583

**Е.А. Яшнева, М.В. Сиротина**

ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», г. Кострома  
e-mail: elenayashneva1811@mail.ru

### **Индикация экологического состояния озера Каменик и реки Узакса (Костромская область) по показателям зоопланктона**

**Резюме.** В статье изложены результаты исследования экологического состояния озера Каменик и реки Узакса по показателям сообщества зоопланктона. Оцениваются видовой состав и разнообразие сообщества, наличие индикаторных видов, количественные показатели, трофический статус водоёма, сапробность.

Озеро Каменик располагается на территории Костромской низины, является третьим по величине озером в Костромской области и связано протокой с рекой Узакса. Целью исследования было оценить экологическое состояние озера Каменик и реки Узакса по структурным и функциональным показателям зоопланктона. Исследование проводилось в период с 2014 по 2015 год в весенний, летний и осенний период. Пробы зоопланктона отбирались с лодки, на озере Каменик, материал собран на 5 станциях, равномерно расположенных по акватории водоёма, на реке Узакса пробы отбирались на 3 станциях в верхнем, среднем и нижнем течении. Отбор проб проводился путем процеживания 50 л воды через планктонную сеть Апштейна с последующей фиксацией 4% формалином, обработка проб проводилась по общепринятым методикам (Винберг, Лавреньева, 1982). При исследовании таксономической структуры озера Каменик в водоеме обнаружено 58 видов зоопланктеров: Cladocera – 15 (25%) видов, Copepoda – 12 (22%), Rotifera – 31 (53%). Зоопланктон реки Узакса представлен 38 видами: Cladocera – 12 (32%) видов, Copepoda – 11 (29%), Rotifera – 15 (39%). Большинство видов исследуемых водоемов являются индикаторами β-мезосапробных условий. Показатели численности и биомассы зоопланктеров озера Каменик и реки Узакса различны в разных точках отбора проб и зависят от сезона сбора. Наблюдается тенденция увеличения показателей численности и биомассы озера Каменик в ряду лет от 2013 к 2015 году (по биомассе от 6.1 г/м<sup>3</sup> в среднем в 2013 году (Сиротина, Субботина, 2014), до 24.1 г/м<sup>3</sup> в 2015 году, по численности от 395000 экз/м<sup>3</sup> в среднем в 2013 году, до 1708300 экз/м<sup>3</sup> в 2015 году, что говорит о восстановлении экосистемы озера после стабилизации, ранее нарушенного, урванного режима. Зоопланктон распределяется по акватории озера неравномерно, образуя скопления в литоральной зоне и агрегации в зонах развития макрофитов. Численность и биомасса зоопланктона в реке Узакса уменьшается от истока к устью. Это связано со снижением трофности и уменьшением влияния озёрного планктона при продвижении от истока к устью реки. Максимальные значения индекса сапробности по Пантле и Букку в озере Каменик достигались в весенний и летний период и соответствовали β-

мезосапробным условиям. Величина индекса сапробности в верхнем течении реки Узакса выше, чем в среднем и нижнем течении и в 2015 году достигает 1.8, что соответствует  $\beta$ -мезосапробным условиям. В среднем и нижнем течении реки в большинство сезонов индекс сапробности указывает на олигосапробные условия. Индекс видового разнообразия по Шеннону-Уиверу, характеризует исследуемые водоем и водоток, как загрязненный и очень грязный (в основном, по содержанию в воде органических веществ). Коэффициент трофии по Мязметсу характеризует озеро Каменик в большинство сезонов 2014-2015 гг. как эвтрофный водоем, исключение составляет лето 2015 года, когда коэффициент трофии достиг значения 4.9, что характерно для гипертрофных водоёмов. Река Узакса в 2014 году характеризуется как мезотрофный водоток, в 2015 как эвтрофный. Индекс Е/О (по Хаккари) на обоих исследованных водоёмах соответствует эвтрофным условиям. В целом озеро Каменик – высококормный водоём, богатый органикой и благоприятный для развития ихтиофауны. Река Узакса – это водоток с замедленным течением, на который большое влияние оказывает лимнопланктон озера Каменик.

### **Список литературы**

*Винберг Г.Г., Лавреньтьева Г.М., 1982. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоёмах. Зоопланктон и его продукция. Л.: Изд-во ГосНИОРХ, 1982. 33 с.*

*Сиротина М.В., Субботина О.В., 2014. Биоиндикация экологического состояния озера Каменик по показателям зоопланктона // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А.Некрасова. Т. 20. № 2. С. 23–26.*

## ДЛЯ ЗАМЕТОК



Научное издание

Материалы  
Всероссийской молодежной  
гидробиологической конференции  
«ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ  
СОВРЕМЕННОЙ ГИДРОБИОЛОГИИ»

Материалы печатаются в авторской редакции.

Верстка: Турбанов И.С. (ИБВВ им. И.Д. Папанина РАН, пос. Борок, Ярославская область)

Подписано в печать 19.10.16. Формат 60x90 1/8.  
Усл. печ. л. 32. Тираж 100 экз. Заказ № 16263.

Отпечатано в ООО «Филигрань» с оригинал-макета.  
150049, г. Ярославль, ул. Свободы, 91.  
pechataet@bk.ru