

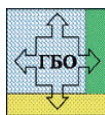
13-й СЪЕЗД ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА ПРИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

посвященный 300-летию Российской академии наук,
Десятилетию науки и технологий в России
и 5-летию Архангельского отделения ГБО при РАН

Тезисы докладов

16-20 сентября 2024 г.





13-й СЪЕЗД ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА ПРИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

*посвященный 300-летию Российской академии наук,
Десятилетию науки и технологий в России и
5-летию Архангельского отделения ГБО при РАН*

Тезисы докладов

16-20 сентября 2024 г.
г. Архангельск, Россия

Электронное научное издание

Архангельск

КИРА

2024

УДК 574.5(082)

ББК 28.082я431

Т 676

Редакционная коллегия:

А.П. Новосёлов, Ю.В. Беспалая, Е.Н. Имант, О.В. Аксёнова

13-й съезд Гидробиологического общества при Российской академии наук, посвященный 300-летию Российской академии наук, Десятилетию науки и технологий в России и 5-летию Архангельского отделения ГБО при РАН, 16–20 сентября 2024 г., г. Архангельск, Россия : тезисы докладов : электронное научное издание / ред.: А. П. Новосёлов [и др.]. – Архангельск : КИРА, 2024. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см.

ISBN 978-5-98450-865-0

В сборнике представлены тезисы докладов, которые посвящены основным направлениям гидробиологии: структура и функционирование водных экосистем, популяции и сообщества, биологические ресурсы морских и континентальных водоемов, биоразнообразие водных организмов и роль видов-вселенцев, симбиотические и паразитарные взаимоотношения в водных экосистемах, экология рыб, методы оценки антропогенной нагрузки и качества вод, водная экотоксикология.

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

The 13th Congress of the Hydrobiological Society of the Russian Academy of Sciences, dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences, the Decade of Science and Technology in Russia and the 5th anniversary of the Arkhangelsk Branch of the Hydrobiological Society of the Russian Academy of Sciences : abstracts, September 16-20, 2024, Arkhangelsk, Russia : electronic sci. publ. / ed. A.P. Novoselov [et al.]. – Arkhangelsk : KIRA, 2024. – 1 electron, optic. disc (CD-ROM); 12 см.

ISBN 978-5-98450-865-0

The book contains abstracts of reports that are devoted to the main areas of hydrobiology: the structure and functioning of aquatic ecosystems, populations and communities, biological resources of marine and continental reservoirs, biodiversity of aquatic organisms and the role of alien species, symbiotic and parasitic relationships in aquatic ecosystems, fish ecology, methods for assessing anthropogenic load and water quality, aquatic ecotoxicology.

The book is intended for specialists working in the field of hydrobiology, zoology, ecology, ichthyology, teachers, graduate students and students.

УДК 574.5(082)

ББК 28.082я431

ЭЛЕКТРОННОЕ НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

13-й съезд Гидробиологического общества при Российской академии наук : тезисы докладов, 16-20 сентября 2024 г.

Съезд проведен при финансовой поддержке ООО «Хеликон»

ISBN 978-5-98450-865-0

© Коллектив авторов, 2024

© ГБО при РАН, 2024

© ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, 2024

© Издательство «КИРА», 2024

СЕКЦИЯ 1. СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

ПРОСТОЕ ПОВЕДЕНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Адамович Б.В.

Белорусский государственный университет, г. Минск, belaqualab@gmail.com

Экологические системы являются сложными системами, т.к. им свойственно множество характеристик, присущих каноническим сложным системам (Kelly, 1992; Bradbury et al., 2000). Среди этих свойств для экологов, пожалуй, наиболее интересными и важными являются эмерджентность (несводимость свойств целого к сумме свойств его компонентов), а также особенности причинно-следственных связей, присущих сложной системе. Так, развитие биологических сообществ в конкретном водоеме обуславливается множеством биотических и абиотических факторов: климатическими параметрами, геоморфологией водоема и составом грунтов, содержанием и притоком биогенных элементов, гидрологией, взаимоотношениями с другими сообществами и т.д. Исследования, проведенные на Нарочанских озерах, выявили хаотическую динамику биомассы планктона (Medvinsky et al., 2015; Medvinsky et al., 2017). Хаотическая динамика, присущая экосистеме Нарочанских озер, затрудняет прогнозирование, т.к. ее свойством является чувствительность к начальным условиям, и незначительные изменения могут привести к сильному изменению динамики системы. Тем не менее, часть свойств экосистемы может быть описана как «грубая» динамическая система, т.е. целесообразным подходом может быть поиск простых – моментов, в которых сложная система ведет себя как простая. Таким «грубым» параметром, хорошо отражающим основные особенности водоема, является его трофический статус. Трофический статус – ключевая гидроэкологическая характеристика водных объектов. Современный трофический статус каждого конкретного водоема определяет исторически сложившаяся совокупность экологических факторов. Наши исследования на озерах Нарочанского региона (северо-запад Беларуси) в 2013–2023 годах показали прямую связь трофического статуса с рядом основных гидроэкологических параметров. Исследованные озера представляют собой водоемы в широком диапазоне трофности – от олиго-мезотрофных до высокоэвтрофных. Трофический статус водоемов оценивали по индексу трофического состояния Карлсона (Trophy State Index, TSI). Средневзвешенная для всей толщи воды валовая первичная продукция и деструкция планктона демонстрировали сильную и статистически значимую связь с TSI. Отмечена сильная связь содержания хлорофилла с концентрацией общего фосфора. Связь хлорофилла с концентрацией общего азота значительно слабее, т. е. в изученных озерах основным лимитирующим биогенным элементом для развития фитопланктона является фосфор. При этом крайне проблематично установить связь хлорофилла с биогенными элементами, включая общий фосфор, в рамках изучения одного озера в сезонной динамике или в динамике нескольких лет. Не отмечено никакой связи содержания хлорофилла и TSI со средней температурой, а также концентрацией растворенного кислорода в гипolimнионе. Повышение трофического статуса сопровождается увеличением в них численности гетеротрофного бактериопланктона (Adamovich et al., 2019). При этом установлена обратная зависимость между трофическим статусом и численностью и биомассой

макрозообентоса, т.е. для некоторых озер снижение трофического статуса приводит к увеличению обилия макробентоса, вероятно, из-за улучшения среды обитания донных животных (Adamovich et al., 2023). Фактором, способным отразиться на адекватности оценки трофического статуса, может быть интенсивное развитие макрофитов (Carlson, Simpson, 1996; Mikheyeva et al., 2018), которые конкурируют в водоеме за биогенные элементы с фитопланктоном. Характеристику состояния макрофитного сообщества в таком случае целесообразно приводить отдельно от оценки трофического статуса водоема. Оценка трофического статуса, а также четкое описание методики его оценки, должны быть обязательным элементом проведения любых лимнологических исследований с целью формирования объективного представления о состоянии водного объекта.

СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИНЕНАСЫЩЕННЫХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В ЗООБЕНТОСЕ РЕКИ ОБЬ И ЕЕ ПРИТОКОВ

Андрущенко С.В.^{1,2}

¹Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, sv.shelekhina@mail.ru

²Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск

Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК), в первую очередь эйкозапентаеновая (ЭПК) и докозагексаеновая кислоты (ДГК), являются ключевыми компонентами регуляции работы сердечно-сосудистой системы животных и человека. Основным источником ЭПК и ДГК для человека является рыба. В верхнем течении р. Обь значительную долю ихтиофауны составляют бентоядные рыбы, питающиеся как в основном русле реки, так и способные заходить для откорма в притоки первого порядка, к которым относятся реки Иня и Тула. Состав и содержание жирных кислот (ЖК) в рыбах во многом будет зависеть от ЖК состава кормовой базы – зообентоса, который в разных реках может отличаться и требует уточнения.

Отбор проб зообентоса проводили в августе 2023 г. в верхнем течении р. Обь в районе г. Новосибирск и в устьевых зонах рек Иня и Тула. Пробы брали круговым скребком Дулькейта с глубины 1 м. После разбора проб по общепринятым методикам, животных выдерживали в емкостях с холодной водой в течение суток, после взвешивали и фиксировали в растворе хлороформ:этанол (2:1). Анализ жирных кислот проводили на газовом хроматографе с масс-спектрометрическим детектором (6890/5975C; Agilent Technologies, Santa Clara, USA). Статистические расчеты (ANOVA, post-hoc Tukey) выполняли в среде R (4.3.3 for Windows).

Для анализа состава и содержания ЖК были отобраны доминирующие по численности и биомассе систематические группы зообентоса для каждой реки: хирономиды, брюхоногие и двустворчатые моллюски, стрекозы и пиявки для реки Обь; хирономиды, брюхоногие моллюски, пиявки и поденки для реки Иня; хирономиды, большекрылки, ручейники и гаммарусы для реки Тула. Во всех реках исследования по всем систематическим группам отмечается относительно высокий уровень ЭПК – в среднем около 15 % от суммы ЖК. Исключение составляют лишь двустворчатые моллюски в реке Обь, для которых отмечались низкие значения уровня ЭПК – порядка 3 %. Однако, у данных моллюсков зарегистрирован самый высокий уровень ДГК среди других систематических групп по реке Обь. Сравнительно высокий уровень ДГК так же отмечается и у брюхоногих моллюсков реки Иня, и у гаммарусов реки Тула. Стоит отметить так же высокие уровни α -линоленовой кислоты у ручейников (20 %) и

линолевой кислоты у большекрылок (19 %) реки Тула, превосходящие таковые у всех систематических групп исследования по всем рекам. Высокие уровни данных ЖК, возможно, свидетельствуют об относительно высоком вкладе зеленых водорослей и аллохтонного органического вещества в трофические цепи указанных животных.

БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ В ГРАДИЕНТЕ СОЛЕННОСТИ В ГИПЕРСОЛЕННЫХ ВОДАХ МИРА

Ануфриева Е.В., Шадрин Н.В.

*ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей
им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, lena_anufrieva@mail.ru*

Формирование видовой структуры в водоеме определяется в первую очередь возможностью попадания вида в водоем в результате расселения, а также биотическими и абиотическими фильтрами, которые «разрешают» или «не разрешают» виду укорениться в водоеме. Процессы расселения зависят от многих случайных факторов (скорость и направление ветра, состояние водоема-донора, миграция активных животных и т.д.), поэтому их действие мало предсказуемо. Биотический фильтр, сложившиеся отношения в сообществе, осуществляют подбор новых видов, которые могут «вписаться» в существующую систему отношений. Предсказуемость результатов действия этого фильтра зависит от того, в каком состоянии находится экосистема. Экосистемы имеют разную восприимчивость к вторжениям новых видов, их устойчивость к инвазиям экзотических видов предложено называть «экосистемным иммунитетом». Иммунитет экосистемы не является постоянным во времени, во многом он определяется стадией развития сообщества. В динамике экосистемы есть когерентные и некогерентные стадии. В когерентной стадии виды существуют в условиях сложившихся отношений, устойчивость к инвазиям высокая. При дестабилизации этих связей экосистема переходит в некогерентную стадию, когда виды в ней начинают меняться не согласовано. В этой стадии вероятность успешных инвазий высокая. В «нормальных» условиях биологические отношения – основной фильтр, обуславливающий распределение видов. В экстремальной среде основную фильтрационную роль играют значения фактора экстремальности. Рассмотрим это на примере гиперсоленых водоемов. При солености до 120 г/л распределение видов, в первую очередь, ограничивают хищничество, конкуренция, другие биотические факторы. Если соленость выше, то она сама становится основным экологическим фильтром. Суммируя собственные и литературные данные по самым различным группам гидробионтов, в докладе показано, как количественно меняется максимально возможное видовое богатство в зависимости от солености. Основное внимание уделено диатомовым водорослям, свободноживущим и паразитическим животным, для которых рассчитаны уравнения зависимости видового богатства от солености. В разных таксонах тип зависимости один и тот же, но ее параметры различаются. Чем выше соленость, тем меньше вариантов допустимых сочетаний видов, но выше предсказуемость возможной видовой структуры сообщества.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-66-00001.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ПРИЕМНЫХ ЕМКОСТЕЙ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ

Афанасьев Д.Ф., Кульба С.Н., Мирзоян А.В.

ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва, dafanas@mail.ru

В последние десятилетия значительную роль в воспроизводстве рыбных богатств по всему миру начинает играть искусственное воспроизводство, причем, как в морских, так и во внутренних водоёмах. Соответственно, очень остро встает вопрос о расчете приёмной ёмкости водных объектов и методах ее оценки в водоемах разных типов. Анализ литературы по проблеме определения приёмной емкости позволяет выделить три различные группы методических подходов: 1) Метод определения предельно допустимых объёмов выпуска водных биоресурсов по «оптимальной площади», 2) Метод определения предельно допустимых объёмов выпуска водных биоресурсов по ретроспективным (историческим) данным, 3) Гидробиологические методы.

Метод определения предельно допустимых объёмов выпуска водных биоресурсов по «оптимальной площади» очень прост, достаточно точен и оперирует лишь «оптимальной площадью», требуемой 1 особи рыбы для роста и развития. Сопоставлением общей площади фонда нерестово-выростных угодий и «оптимальной площади» находится расчётное количество разновозрастной молоди, необходимое для полного заселения водоема популяцией того или иного вида рыб (Студёнов, Торцев 2021).

Метод определения предельно допустимых объёмов выпуска по ретроспективным (историческим) данным также прост в использовании и требует минимума исходных данных. Он позволяет определять количество молоди того или иного возрастного класса, необходимое для выпуска, с целью восстановления численности популяции до уровня, способного сформировать максимальный улов. При этом, сведения о максимальном улове берутся из литературных источников (Студёнов, Торцев 2021).

Гидробиологический подход объединяет группу методов разной сложности, отличающихся тем, что в каждом из них так или иначе используются данные по кормовой базе. Подход в России впервые применил А.И. Березовский (1927). П.Л. Пирожников (1932) разработал принципиальную схему гидробиологического подхода, которую до сих пор с разными модификациями применяют для определения приёмной емкости или предельно допустимых объёмов выпуска молоди. В разное время схема дополнялась с учетом работ Б.И. Черфаса (1934), Г.Д. Дулькейт с соавт. (1935), Г.С. Карзинкина (1952), Б.Г. Иоганзена (1955), О.А. Лойса (1973) и т.д. У подхода есть много разных вариантов той или иной степени сложности. В целом, почти все гидробиологические методы требуют знания очень многих параметров водного объекта и обитающих в нем популяций гидробионтов. К плюсам подхода можно отнести наукоемкость и точность, к минусам – сложность в реализации, требование к большому количеству и высокому качеству входных данных. В Азово-Черноморском филиале разработана компьютерная программа Приём 1.0 для оценки приёмной емкости акваторий в рамках гидробиологического подхода (Афанасьев и др., 2022).

ПЛАНКТОННЫЕ СООБЩЕСТВА ГЕОТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ

Афонина Е.Ю., Ташлыкова Н.А.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чума, kataf@mail.ru

Исследования фито- и зоопланктона проводились летом 2021–2023 гг. на техногенных водоемах горнорудных объектов Забайкальского края (Шерловогорское олово-полиметаллическое, Жипкошинское сурьмяное, Завитинское бериллий-литиевое, Орловское танталовое, Спокойнинское вольфрамовое, Малокулундинское редкометалльное месторождения, Балейское и Дарасунское золоторудные поля и вольфрамовые рудники Антонова Гора и Букука). Всего обследовано 29 водных объектов, значительно различающихся по морфометрическим и физико-химическим параметрам. По отношению к pH выделено шесть групп водоемов: от сильноокислых до щелочных.

В составе фитопланктона выявлено 103 таксона водорослей рангом ниже рода из 7 отделов: Cyanobacteria (13), Chrysophyta (6), Bacillariophyta (33), Dinophyta (4), Cryptophyta (3), Chlorophyta (36), Charophyta (3) и Euglenophyta (5). В сильноокислых водоемах выявлен 1 таксон водорослей, в кислых – 7, в слабоокислых – 8, в нейтральных – 32, в слабощелочных – 59 и в щелочных – 49. Значения численности и биомассы изменялись от $1,24 \pm 1,81$ (в сильноокислых) до $4819,70 \pm 9917,11$ тыс. кл./л (в щелочных) и от $0,33 \pm 0,39$ (в сильноокислых) до $2482,11 \pm 6,89$ мг/м³ (в слабощелочных). Высокое видовое разнообразие и полидоминантность сообществ отмечено для слабощелочных и щелочных водоемов. В кислых и слабоокислых средах развивались монодоминантные альгоценозы с крайне низким видовым разнообразием. Представители Bacillariophyta (преимущественно бентосные формы) в сильноокислых, кислых и слабоокислых водоемах отмечались единично, в нейтральных водоемах преобладали Bacillariophyta, Dinophyta и Cyanobacteria, в слабощелочных и щелочных – Cyanobacteria, Chlorophyta и Bacillariophyta. Изменения основных структурообразующих таксонов в градиенте pH в фитопланктоне происходят следующим образом: Bacillariophyta (*Nitzschia* sp.) – Bacillariophyta – Bacillariophyta (*Flagilaria crotonensis*) и Cyanobacteria (*Groecapsa crepidinum*) – Bacillariophyta и Cyanobacteria (*Anabaena*).

В зоопланктоне отмечено 98 таксонов (32 – Rotifera, 19 – Cladocera и 18 – Copepoda). В сильноокислых водоемах обнаружено 2 вида, в кислых – 5 таксонов, нейтральных – 32, слабощелочных – 29 и щелочных – 36. Численность и биомасса варьировали от $37,20 \pm 7,21$ тыс. экз./м³ и $42,16 \pm 19,21$ мг/м³ в кислых водах до $344,42 \pm 140,15$ тыс. экз./м³ и $602,61 \pm 196,56$ мг/м³ в щелочных. Зоопланктоценоз нейтральных и слабощелочных водоемов характеризовался высоким видовым разнообразием и выравненностью сообщества. При крайних значениях pH в сообществе развивался монодоминантный ротаториоценоз (*Brachionus sericus* и *Keratella quadrata*, соответственно). Доминирующий комплекс зоопланктона в разных условиях формировали *Asplanchna priodonta*, *Filinia longiseta*, *Hexarthra mira*, *Lecane luna*, *Euchlanis dilatata*, *Keratella quadrata*, *K. cochlearis*, *Kellicottia longispina*, *Synchaeta pectinata*, *Simocephalus vetulus*, *Daphnia longispina* s. lat., *D. curvirostris*, *Coronatella rectangula*, *Flavalona costata*, *Archodiptomus denticornis*, *Neutrodiptomus incongruens*, *Cyclops vicinus*, ювенильные Cyclopoida, *Atheyella nordenskioldii nordenskioldii*. Состав зоопланктона в градиенте pH изменяется следующим образом: Rotifera (*Brachionus sericus*) – Rotifera (*Keratella quadrata*) и Cyclopoida – Rotifera (*K. quadrata*, *Euchlanis dilatata*) и Crustacea (*Daphnia*, Cyclopoida, Calanoida) – Rotifera (*K. quadrata*).

Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда № 22-17-00035 “Экология и эволюция водных экосистем в условиях климатических флуктуаций и техногенной нагрузки”.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ОЗЕРА КЕНОН – ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ

Базарова Б.Б.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, balgit@mail.ru

Озеро Кенон – один из важных водных объектов Забайкалья, подверженных влиянию как природных, так и антропогенных факторов. С 1965 г. озеро используется в качестве водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1. За период эксплуатации, условия среды обитания гидробионтов в оз. Кенон претерпели существенные изменения. Изменился тип водного питания, термический режим, возросла минерализация, и сменился химический тип воды. Совокупность изменений экологических условий вызвала изменения в структурно-функциональной организации экосистемы озера, в том числе, в растительном покрове. Цель работы – анализ многолетней динамики растительного покрова оз. Кенон по оригинальным и литературным данным. Гидробиотические работы на оз. Кенон проводились в 2010–2015 гг. по общепринятой методике.

Материалы многолетних наблюдений за динамикой пространственного распределения макрофитной растительности оз. Кенон (водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1) показывают, что за ~50-летний период наблюдений (с 1965 по 2015 гг.) площадь зарастания озера варьировала в пределах 25–90 %. Основные площади во все годы исследований занимали Charophyta. На их долю приходилось от 62 до 89 % от площади зарослей. При этом в 70-е годы по площади лидировала *Nitella flexilis* (L.) C. Aqardh (33 %), в последние годы наблюдений возросла роль *Chara tomentosa* L. (до 39 %). Среди сосудистых растений сократились заросли *Potamogeton crispus* L. (с 32 % до менее 1 %), при этом возросла площадь, занимаемая *Stuckenia pectinata* (L.) Börner (8,6 %). Постоянным компонентом термальной зоны с 1965 г. является *Myriophyllum sibiricum* Kom. В прибрежной полосе наблюдается смена зарослей *Schoenoplectus tabernaemontani* (C.C.Gmel.) Palla на *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. К моменту исследований в озере сформировался сбалансированный растительный покров, который значительно отличается видовым и ценотическим составом макрофитов от исходного, однако способен поддерживать достаточно благополучное состояние экосистемы.

Основные причины изменений в растительности озера – совокупность антропогенных воздействий: регулировка уровня, тепловое воздействие, подкачка воды, вселение растительноядных рыб. В тоже время появление в озере представителя дальневосточной флоры *Potamogeton octandrus* Poig может быть следствием тенденции роста среднегодовых температур, наблюдаемой на территории Забайкалья с начала XXI века.

В целом, установлено, что за счет регулирования уровня воды, можно воздействовать на состояние экосистемы мелководного озера и изменение её функционирования с макрофитного типа на микрофитный (фитопланктонный). Прослежена обратная зависимость степени зарастания и уровня воды: при низких уровнях степень зарастания растет, а при высоких снижается. Поддержание уровня

воды в значении 653.5 м позволит сохранять функционирование экосистемы по макрофитному типу, который для озера наиболее благоприятен.

Работа выполнена в рамках проекта FUFР-2021-0006.

МАЛЫЕ ВОДОЁМЫ: КРИТЕРИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Башинский И.В.¹, Прокин А.А.²

¹*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва,
ivbash@mail.ru*

²*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок,
prokina@mail.ru*

Малыми водоёмами называют группу разнородных стоячих водных объектов, которые не подходят под определение озера. Они составляют 90 % всех водоёмов суши или треть акватории внутренних вод мира. Не существует единой классификации водоёмов по размерам, которая бы кроме озёр включала пруды и прочие искусственные водоёмы, болота, лужи и др. Британское прудовое сообщество (Pond Conservation Trust) сформулировало определение малого водоёма, как водоёма размером от 1 м² до 0,02 км², который не высыхает как минимум четыре месяца в году. С разными вариациями этого определения придерживаются в Европе и сейчас.

Многие исследователи в своих определениях учитывают особенности структуры и функционирования экосистем малых водоемов. Чаще всего обращают внимание на растительность и считают малым водоём, дно которого может полностью зарастать. Но существует множество огромных озёр, которые могут полностью зарастать, также есть глубокие, но небольшие карстовые водоёмы, на дне которых не хватает света для развития растительности. Для луж, наскальных ванн, искусственных резервуаров, и прочих временных водоемов, упоминать зарастание можно лишь гипотетически.

Самым понятным критерием разделения малых водоёмов и озёр можно считать преобладающий тип перемешивания водных слоев. В малых водоёмах термоклин обычно не образуется, ведущая роль в перемешивании водной массы принадлежит ветру. Воздействие ветра, однако, сильно зависит от окружения водоёма. Малые водоёмы в целом в большей степени, чем озёра, зависят от характера ландшафта. Это проявляется в химизме воды, соотношении форм различных минеральных и органических веществ. С уменьшением размера водоёма увеличивается роль аллохтонного вещества, по сравнению с автохтонным. Важно и то, что в отличие от крупных озёр, малые водоёмы значительно менее долговечны, срок их жизни никогда не измеряется миллионами и тысячами лет.

На основе литературного анализа мы попробовали сформулировать определение малого водоёма. Малый водоём – мелководный стоячий водный объект, существующий менее тысячи лет, в котором аллохтонное органическое вещество преобладает над автохтонным, ветровое перемешивание водных слоёв над температурным. Четкие размерные критерии являются предметом дискуссий, по последним сводкам к таким объектам можно относить водоемы площадью не более 5 га и глубиной до 5 м. Каждый критерий определения может иметь вариации (долголетние болотные водоёмы, или крупные мелководные озера с ветровым перемешиванием). В итоге уверенно утверждать, что водоём относится к малым, мы можем только при совпадении всех критериев: 1) размеры (площадь и глубина); 2) возраст; 3) зарастание; 4) баланс органического вещества; 5) преобладающий тип перемешивания водной толщи.

Каждый случай несоответствия хотя бы одного из них заслуживает дополнительного рассмотрения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект 23-24-00018.

МЕЛЬЧАЙШИЕ ПРОДУЦЕНТЫ КАРСКОГО МОРЯ: СОСТАВ, ОБИЛИЕ И ЭКОСИСТЕМНАЯ РОЛЬ

Белевич Т.А.¹, Воробьева О.В.^{1,2}, Демидов А.Б.³

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва,
3438083@list.ru

²ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва, olvorobieva@rambler.ru

³Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, demspa@rambler.ru

Карское море является типичным краевым арктическим водоемом, находящимся под влиянием самого мощного в Арктике пресноводного стока. Гидрофизические и гидрохимические условия в Карском море существенно варьируют по акватории моря и во многом определяют состав, распределение и функциональное состояние всех размерных фракций фитопланктона. К пикофитопланктону (ПФ) относят эукариотные водоросли и цианобактерии с размерами клеток менее 3 мкм. Эти мельчайшие фотоавтотрофы могут давать основной вклад в суммарную биомассу и продукцию фитопланктона, особенно в олиготрофных районах, а также и в более богатых водах в периоды низкого обилия микрофитопланктона. Изменения абиотических условий в Арктике под влиянием климатического тренда ведет к сдвигу размерной структуры фитопланктона в сторону преобладания мелкоклеточных водорослей, что влечет за собой трансформацию трофических цепей и потоков вещества в арктических экосистемах. Все это делает актуальной и важной с прогностической точки зрения оценку биомассы ПФ и роли пикофракции в фитопланктоне разных биотопов арктических морей.

По данным, собранным в ходе 4-х рейсов НИС «Академик Мстислав Келдыш» в июне 2021 г., июле 2019 г., августе и сентябре 2017 и 2018 гг., дана оценка биомассы ПФ, его вклада в общий хлорофилл и первичную продукцию в летний и раннеосенний период в центральной и западной частях Карского моря (таблица 1).

Таблица 1. Средние значения биомассы (B , мг C/m^3), концентрации суммарного хлорофилла «а» ($ХЛ_{сум}$, мг/ m^3) и $ХЛ$ пикофракции ($ХЛ_{пико}$, мг/ m^3) в фотическом слое, средние значения суммарной первичной продукции ($ПП_{сум}$, мг C/m^3 день) и первичной продукции пикофракции ($ПП_{пико}$, мг C/m^3 день) в поверхностном слое Карского моря.

Период	B , мг C/m^3	$ХЛ_{сум}$, мг/ m^3	$ХЛ_{пико}$, мг/ m^3	$ПП_{сум}$, мг C/m^3 день	$ПП_{пико}$, мг C/m^3 день
июнь	$0,87 \pm 0,42$	$2,13 \pm 1,52$	$0,12 \pm 0,07$	$52,3 \pm 35,8$	$1,2 \pm 0,8$
июль	$2,59 \pm 4,30$	$1,39 \pm 1,49$	$0,36 \pm 0,32$	$16,4 \pm 26,1$	$5,8 \pm 8,9$
август	$0,52 \pm 0,43$	$0,40 \pm 0,25$	$0,09 \pm 0,04$	$16,8 \pm 16,7$	$9,0 \pm 9,4$
сентябрь	$0,88 \pm 0,45$	$0,80 \pm 0,64$	$0,1 \pm 0,06$	$12,2 \pm 19,6$	$2,6 \pm 2,1$

В составе ПФ Карского моря преобладают эукариоты, вклад цианобактерий не превышает 10 %. Таксономический состав обеих групп ПФ – одноклеточных цианобактерий и пикозеукариот – исследован молекулярно-генетическими методами.

Цианобактерии были представлены несколькими филотипами, относящимися к роду *Synechococcus*, и ранее выявленными в фитопланктоне Берингова моря и в водах Северной Атлантики. Разнообразие фототрофных пикозукариот представлено более широко и включает представителей 13 классов водорослей, относящихся к 38 родам. Основной вклад вносят зеленая водоросль класса Mamiellophyceae *Micromonas polaris* и представители Dinophyceae.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 24-24-00022.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ЗООПЛАНКТОНА И МАКРОЗООБЕНТОСА ЛОКАЛЬНОГО УЧАСТКА АВАЧИНСКОЙ ГУБЫ (КАМЧАТКА) В 2023 Г.

Бонк Т.В., Блохин И.А.

Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Петропавловск-Камчатский,
bonk.t.v@kamniro.ru

В 2023 г. при обследовании акватории Авачинской губы в период с марта по сентябрь было выполнено 4 съемки на разрезе из трёх станций от причала (контрольные станции, глубина 14 и 18 м) – к открытой мористой части (фоновая станция – 20 м) в бухте Сероглазка. В результате было обнаружено в зоопланктоне 20 и макрозообентосе 36 таксонов животных разного систематического ранга. Отсутствие какого-либо таксона на одной или нескольких станциях может говорить лишь о неоднородности распределения вида на обследуемой акватории или о его малочисленности вследствие особенностей жизненного цикла и биологии.

Зоопланктон обследованной акватории формировали холодноводные широко распространенные и обычные в камчатских прибрежных водах виды. Организмы таких групп, как Rotifera, Copepoda, Chaetognatha, Mysidacea, Hydromedusae определены до вида; ранние стадии Polychaeta, Mollusca и Echinodermata – в пределах класса; Tunicata – в пределах рода. Численность и биомассу зоопланктона формировали организмы голопланктона – коловратки, копеподы, кладоцеры, щетинкочелюстные, оболочники и меропланктон: яйца, предличинки и личинки полихет, молодь двустворчатых моллюсков, книдарии, личинки морских звезд. Основной вклад в формирование численности и биомассы зоопланктона в исследуемый период вносили Polyhaeta и Copepoda. Ранней весной (март) преобладал меропланктон по численности от 54 и до 67 % на фоновой более глубоководной станции, по биомассе – 64 и 85 % соответственно, за счёт личинок полихет, науплиусов усногих раков и высших раков, а именно крупной мизиды *Xenacanthomysis pseudomacropsis*. Обилие голопланктона было отмечено с мая по сентябрь – от 45 до 79 % численности всего зоопланктона, наибольшая численность и биомасса были отмечены в июле. Средние количественные показатели зоопланктона за исследуемый период для контрольных станций сопоставимы с данными на фоновой станции.

Видовой состав макрозообентоса формировали эврибионтные виды. Наибольшим видовым разнообразием отличались: многощетинковые черви (Polychaeta) – 17 видов; отмечено 10 видов ракообразных (Crustacea) и 7 видов моллюсков (Mollusca). Кроме этого в пробах было обнаружено по одному виду морских ежей (Echinodermata) и приапулид (Priapulida). Основу биомассы макрозообентоса составляли двустворчатые моллюски, в частности *Macoma calcareae*, занимавшая на некоторых станциях до 96 % от общей биомассы бентоса. Наиболее богатыми по числу

видов были граничные станции (ближайшая к пирсу и фоновая станции). Также следует отметить, что осенью было зафиксировано наибольшее число видов, заселяющих обследованную акваторию.

ПОКАЗАТЕЛИ ОБИЛИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕЛАГИЧЕСКИХ БАКТЕРИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД

Ващенко А.В.

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, an_nastasiay@mail.ru

Северный Ледовитый океан с конца XX века претерпевает существенные климатические изменения, включая потепление, сокращение ледяного покрова и увеличение безледного периода. Эти процессы влияют на все компоненты морских экосистем, от микроорганизмов до китообразных. В Баренцевом море, являющимся ключевым для арктического региона, состояние экосистем зависит от притока тёплых атлантических вод и холодных вод из северных областей. Высокая пространственная и временная изменчивость абиотических и биотических факторов обуславливает вариативность функционирования микробных трофических сетей. Исследования бактериопланктона, в Баренцевоморском регионе, сосредоточены на весенне-летнем периоде, но для полного понимания сезонной динамики необходимы данные и за другие периоды. Исследования осеннего и зимнего состояния морских бактерий немногочисленны и касаются в основном прибрежных и центральных районов.

Цель работы – изучить особенности пространственного распределения бактериопланктона в северо-восточной части Баренцева моря в осенний период, провести анализ размерно-морфологического состава сообщества бактерий и выявить внешние факторы, влияющие на обилие бактериопланктона.

В работе представлены результаты экспедиции ММБИ РАН в район северо-восточной части Баренцева моря на НИС “Дальние Зеленцы”. Полученные результаты охватывают период первой декады октября 2020 г. На каждой станции анализировались сведения о температуре и солености воды, сведения о глубинах, а также выполнялся гидрохимический (содержание фосфатов, силикатов, нитритов, нитратов и концентрация растворенного кислорода) и микробиологический анализы, оценивалось содержание хлорофилла *a*.

В результате, впервые, изучено осеннее состояние бактериопланктона в северо-восточной части Баренцева моря. Были обнаружены тёплые трансформированные атлантические, холодные арктические, промежуточные и придонные воды. Верхний слой характеризовался низким содержанием минеральных биогенных элементов и кислорода, а максимальные концентрации биогенных элементов наблюдались в придонном слое. Численность бактерий находилась в диапазоне от 220 до 1068 тыс. кл./мл, биомасса – от 2,7 до 12,5 мг С/м³, а средний объём клеток составлял от 0,020 до 0,136 мкм³. Бактериопланктон в толще воды распределялся мозаично, при этом, вертикальное распределение характеризовалось снижением количества бактерий и увеличением размера их клеток с ростом глубины. Доминировали одиночные мелкие клетки. Общее количество и биомасса бактериопланктона, а также численность некоторых размерных групп бактерий обратно коррелировали с концентрацией биогенных элементов (нитраты, фосфаты, силикаты) и солёностью. Численность и биомасса бактерий имели слабую тенденцию к росту при повышении температуры

воды и содержания хлорофилла *a* в поверхностном слое. Сравнение полученных результатов показало, что численность и биомасса бактериопланктона были сопоставимы с таковыми в других районах Баренцева моря в осенний период. Отмечено, что распределение бактериопланктона определялось содержанием биогенных элементов в воде, а также структурой водных масс.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АЭРОФОТОСЪЕМКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИТОРАЛЬНЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В УСЛОВИЯХ МУРМАНА

Ващенко П.С.

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, vashenko@mmbi.info

Морские водоросли один из важных компонентов литоральных сообществ. Они, являются первичными продуцентами, служат пищей для ряда организмов, кроме того, выполняют средообразующую функцию, формируя среду обитания для ряда мелких животных. Также они служат сырьем для ряда отраслей промышленности, в первую очередь для химической и фармацевтической. Водоросли важный источник органических соединений йода, маннита и агара.

В этой связи, оценка запасов водорослей является важной задачей, как с точки зрения экосистемного мониторинга для оценки роли водорослей в потоках органического вещества и в общем энергетическом балансе экосистемы, так и для планирования хозяйственной деятельности, использующей водоросли в качестве сырья. При этом, распределение водорослей в литоральной зоне неравномерно и зависит от большого числа факторов, которые слабо поддаются прогнозированию. Особенностью Мурманского берега являются обширные песчаные и валунные пляжи, осушаемые во время отлива и обнажаемые на них заросли водорослей.

Оценка проективного покрытия с высоты человеческого роста, являющаяся основой классических полевых методов оценки запасов водорослей, сопряжена с визуальным искажением восприятия, вызванным перспективой. Кроме того, крупные валуны и перепады высот создают трудности для оценки запасов при использовании рамки и глазомера. Аэрофотосъемка и цифровая картография в значительной степени способствует проведению точных оценок проективного покрытия дна, занятого водорослями, и как следствие их запасов, и, что еще важнее, их межгодовой динамики.

Целью работы являлась разработка методических подходов применения аэрофотосъемки для быстрой и точной оценки запасов и распределения водорослей на литорали приливных морей.

В период с января 2021 по 2024 гг. была выполнены аэрофотосъемка ряда участков Мурманского берега Баренцева моря. Были выбраны участки литорали различной протяженности, рельефа и гидрохимических условий на Мурманском побережье: губы Вересова, Хлебная, Белокаменная, Ретинская (Кольский залив), и губы Зеленецкая и Порчниха (н.п. Дальние Зеленцы), губа Териберская. Полученный набор аэрофотоснимков подвергался дальнейшей обработке в программе Agisoft Metashape для построения ортофотопланов. Эти материалы анализировались в цифровой геоинформационной системе (ArcGIS), что позволило оценить ряд параметров литорали (ширина, уклон, площадь свободную от воды в конкретную фазу приливо-отливного цикла и т.д.) и проективное покрытие и границы пространственного распределения водорослей.

Была показана возможность и описан подход по оценке запасов и распределения водорослей на литорали. Рассмотрено влияние высоты съемки и детализации полученных снимков. Полученный уровень разрешения снимков позволил четко различать растительные ассоциации по характерному облику. На снимках с малых высот можно идентифицировать фукусковые и ламинариевые. Отмечено, что возможность определения типа сообщества водорослей, в значительной степени зависит от условий освещенности.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗООПЛАНКТОНА РАВНИННЫХ И ГОРНЫХ ОЗЕР

Вежновец В.В., Журавлев М.Д.

ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», г. Минск, vezhn47@mail.ru

Изучено дневное летнее вертикальное распределение зоопланктона: а) в 14-ти отличающихся по основным экологическим условиям и степени трофии стратифицированных озерах Беларуси; б) на 5-ти станциях разной глубины между берегом и максимальной глубиной в северной части озера Малый Севан (18.07.2022 г., Армения); в) 5-ти станциях различной глубины на всей акватории озера Телецкое (31.07–03.08.2023 г., Республика Алтай, РФ).

Для равнинных средне глубоких озерах Беларуси в летнее время установлены особенности формирования вертикальной структуры пелагического зоопланктона при разном сочетании прозрачности, температуры и содержания кислорода. Во всех исследованных озерах наблюдается концентрация организмов планктона в верхних слоях воды эпилимниона и металимниона, где интенсивно идут первичные продукционные процессы. Выделены 3 трофические группы озера, отличающиеся по вертикальному распределению численности и степени ее концентрации на определенных горизонтах. В мезотрофных озерах было более равномерное распределение зоопланктона по горизонтам с основным максимумом плотности в металимнионе и дополнительным в гипolimнионе или у дна. С ростом трофии наблюдается сокращение вертикального жизненного пространства за счет дефицита кислорода в гипolimнионе и придонных слоях воды, что приводит в эвтрофных озерах к перемещению максимума в эпилимнион и увеличению степени агрегации. При этом снижается прозрачность, уменьшается протяженность трофогенного слоя, что также может влиять на вертикальную пространственную структуру.

Исследованные горные озера отличались от равнинных бедностью таксономического состава пелагиали, малым количеством видов ракообразных, что могло отразиться на вертикальной структуре. При анализе вертикального распределения зоопланктона озера Севан (прозрачность 3 м) установленные нами закономерности для этого горного водоема подтвердились. По полученным данным, вертикальное распределение численности зоопланктона соответствовало мезотрофным озерам с невысокими значениями концентрацией животных (≤ 20 %) в металимнионе.

Озеро Телецкое по таксономическому составу и численности пелагического зоопланктона относится по разным оценкам к олиготрофным или ультраолиготрофным водоемам. В летнее время зоопланктон на большинстве станций располагался в верхнем 5-ти метровом (эуфотном) слое воды эпилимниона при очень высокой концентрации (до 90 %), что характерно для высокотрофных равнинных озерах. В

металимнионе наблюдается постепенное снижение численности, а глубже встречаются только единичные особи некоторых видов.

При этом особенности распределения отдельных популяций сохраняются в равнинных и горных озерах. Выделяется тепловодный эпилимниальный комплекс видов, часть популяций, имеющих более широкий диапазон толерантности к температуре, располагается в металимниальной зоне, а некоторые предпочитают глубокие слои воды с низкой температурой и относятся к холодолюбивой фауне.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ, договор B23MC-001.

БАЛАНС УГЛЕРОДА НАРОЧАНСКИХ ОЗЕР (БЕЛАРУСЬ)

Верес Ю.К., Адамович Б.В.

Белорусский государственный университет, г. Минск, veres.julia.naroch@gmail.com

Круговорот углерода, как основного элемента органического вещества, является одним из ключевых факторов функционирования водных экосистем земного шара. Однако, несмотря на достаточно хорошую изученность отдельных звеньев углеродного цикла, углеродный баланс в лимнических системах разного геоморфологического и трофического типа является одним из главных вопросов на современном этапе развития лимнологии и гидроэкологии. Известно, что в отдельных континентальных областях, где озера составляют 10–20 % общей площади, углеродный обмен с гидросферой является значимым компонентом углеродного цикла региона. Озера Нарочанской группы располагаются на северо-западе республики Беларусь в Национальном парке «Нарочанский», где озера занимают 19 % территории и являются структурообразующим элементом региона. Входящие в состав группы озера Нарочь, Мястро и Баторино соединены между собой протоками, различаются по трофическому типу и имеют богатую историю гидробиологических наблюдений. Результаты этих наблюдений, а также специально выполненные исследования, легли в основу составления углеродного баланса озер, а также определения количественного вклада каждого элемента баланса в общий бюджет углерода водоемов. Озеро Нарочь – наименее трофное из изученных водоемов, по индексу Карлсона (TSI), рассчитанному за последние годы наблюдений и составившему в среднем $35,1 \pm 2,7$, его можно отнести к олиго-мезотрофному типу. Озеро Мястро – мезотрофный водоем, TSI в среднем составил $45,9 \pm 4,0$. Озеро Баторино – эвтрофный водоем (TSI составил в среднем $54,5 \pm 2,0$).

Основными источниками поступления углерода в экосистему озер являются: атмосферные осадки, ручьевого сток, продукция полупогруженных макрофитов, сток диоксида углерода из атмосферы. Вынос углерода из водоемов происходит за счет: вытекающих водотоков, эмиссии метана, а также в результате антропогенной деятельности – вылов рыбы, а для оз. Нарочь и изъятие макрофитов. Поступление углерода с листовым опадом, наземными животными, а также потери с выходом амфибиотических форм на сушу не учитывались, т.к. их значения, как правило, незначительны. Определение содержания углерода в природных водах проводили классическими гидрохимическими методами. Потоки углеродсодержащих газов выполнены методом закрытых камер. Продукция полупогруженных макрофитов была оценена по биомассе. Для расчетов также использовали гидрологические показатели, официальные данные землепользователей региона.

По проведенным нами оценкам, в оз. Нарочь приходная часть баланса углерода составляет 1812,4 т или 22,8 г С/м²·год, расходная часть – 464,21 т или 5,8 г С/м²·год. Объем аккумулированного за год углерода составляет 1348,2 т или 16,9 г С/м²·год, что соответствует 74 % внешнего поступления. В годовом цикле озеро Мястро аккумулирует углерод из внешней среды, объем накопления составляет 605,85 т С или 46,2 г С/м²·год, что составляет 76 % внешнего поступления. Приходная часть баланса водоема составляет 792,12 т или 60,5 г С/м²·год, расходная часть – 185,65 т или 14,2 г С/м²·год. В оз. Баторино поступает 492,20 т или 78,1 г С/м²·год, уходит из экосистемы – 233,24 т или 37,0 г С/м²·год. Объем аккумулированного за год углерода составляет 258,97 т или 41,1 г С/м²·год, что соответствует 52,6 % внешнего поступления.

Поглощение углерода из воздуха воздушно-водными растениями и последующее его попадание в водную толщу при отмирании побегов, является основным путем вноса углерода в экосистемы всех изученных озер.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗООПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА АВАЧИНСКОЙ ГУБЫ (КАМЧАТКА)

Вецлер Н.М., Шабуров А.Ю., Богданова К.В., Бонк Т.В.

*Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Петропавловск-Камчатский,
vetsler@kamniro.ru*

Авачинская бухта (Авачинская губа) расположена на юго-восточном побережье Камчатки и представляет собой обширный замкнутый залив округлой формы, соединяющийся с Тихим океаном сравнительно узким проливом. Площадь бухты составляет около 238 км², глубина – 27 м с максимумом в центральной части. Авачинская губа имеет важное рекреационное и рыбохозяйственное значение для жителей Камчатского края, 90 % которых проживает в городах и поселках, расположенных на ее берегах. На акватории этой бухты ведется промысел различных гидробионтов, проходят покатные и анадромные миграции популяций тихоокеанских лососей. Расположение Авачинской губы в самом густонаселенном районе Камчатки определяет ее экологическое состояние: бухта служит приемником сточных вод разного генезиса и в течение уже длительного времени испытывает антропогенное загрязнение. Изучение зоопланктонного сообщества Авачинской губы и его структурных и функциональных характеристик является составной частью эколого-рыбохозяйственного мониторинга этого водоема и служит для оценки современного состояния условий обитания гидробионтов на её акватории. Несмотря на очевидную важность этих исследований, непрерывные наблюдения за планктоном Авачинской губы в течение длительного периода отсутствовали и до недавнего времени, в основном, имели фрагментарный характер. В данной работе представлены результаты шестилетних исследований (2018–2023 гг.) зоопланктонного сообщества наиболее глубоководной части бухты. Сбор материала в течение всего исследуемого периода осуществляли по единой методике. Пробы зоопланктона отбирали один раз в месяц в центральной части пелагиали водоема с апреля (марта) по октябрь сетью Джели с диаметром входного отверстия 18 см (газ с размером ячеек 93 мкм), облавливая слой воды от дна до поверхности.

Основу зоопланктонного сообщества в 2018–2023 гг. составляли типичные представители холодноводной и умеренно-холодноводной тихоокеанской фауны. Среди гидробионтов присутствовали представители голопланктона: Ciliata, Radiolaria,

Rotifera, Appendicularia, Chaetognata, Copepoda, Cladocera и меропланктона: личинки Mollusca, Polychaeta, Echinodermata, Decapoda, Ostracoda, Amphipoda, Medusae и науплиусы Cirripedia. Ведущая роль в формировании численности зоопланктона принадлежала представителям голопланктона (73–90 %), причем доминантный комплекс во все годы исследований, в основном, формировали 2 таксона – Ciliata и Copepoda. Значение меропланктона возрастало в осенний период (от 21 до 27 %) за счет роста концентрации личинок Polychaeta. Межгодовые колебания численности зоопланктона происходили в пределах 13,4–112,7 тыс. экз./м³, биомасса варьировала от 0,29 до 1,26 г/м³. Основу биомассы преимущественно составляли Copepoda, Mollusca и Chaetognata, причем на долю веслоногих раков приходилось от 16 до 71 % среднегодовой биомассы зоопланктона. Благоприятные температурные условия в летний период обеспечили наибольшее обилие гидробионтов в 2020 г. Максимум биомассы пришелся на 2019 г., что связано с ростом численности моллюсков и веслоногих раков. В 2021–2023 гг. в центральной части Авачинской губы отмечено снижение общей численности и биомассы зоопланктона более чем два раза.

ИЗМЕНЕНИЯ В СТРУКТУРЕ ЗООПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ В БЕССТОЧНОМ ОЗЕРЕ ЧАНЫ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

Визер Л.С.

Новосибирский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Новосибирск, vizer51@mail.ru

Бессточное оз. Чаны – самый большой естественный водоем Западной Сибири. Размеры озера не постоянны и меняются в зависимости от климатических факторов и внутривековых циклов увлажнения. Аридизация климата в 20 веке и иссушение территории водосборного бассейна привела к снижению уровня воды в озере на 3 м.

В начале прошлого века озеро было полноводным слабо расчлененным водоемом, состояло из двух озер и 4-х плесов. В настоящее время площадь озера уменьшилась в 2 раза, изменилась его конфигурация и морфометрия, береговая линия сильно изрезана, один плес полностью высох, появилось множество заливов и островов.

В первой четверти прошлого века зоопланктон по видовому составу был четко разделен на две части – олигогалинную и мезогалинную. В оз. Малые Чаны, где соленость не превышала 0,5 г/л, наблюдались пресноводные виды. Руководящая роль принадлежала *Chydorus sphaericus* и *Daphnia cucullata*. На всей остальной акватории, где соленость в максимально удаленной зоне от источника пресной воды составляла 4,6 г/л, доминировали галофилы *Arctodiaptomus salinus*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Ceriodaphnia reticulata*, *Triarthra longiseta* (Зверева, 1927). Численность зоопланктона в летний период достигала 444,8 тыс. экз./м³. Биомасса зоопланктона характеризовала водоем как мезотрофный.

В конце прошлого века в водоеме сформировалась значительная изолированность отдельных участков, уменьшилась перемешиваемость водных масс, в результате этого появился градиент солености. В оз. Малые Чаны соленость составляла 2,5 г/л, в максимально удаленном от влияния опресненной воды Ярковском плесе она достигала в летний период 10 г/л. Зоопланктон при этом распределялся по акватории в соответствии с соленостью, т.е. по мере удаления от устьев рек, приносящих пресную воду, одни доминирующие виды постепенно заменялись другими. В видовом составе пресноводной части водоема доминировали *Daphnia longispina*, *Ch. sphaericus* и

Cyclops strenuus. В переходной зоне основную роль играли *A. salinus*, *D. brachyurum*, *C. reticulata*, в максимально осолоненной части – *A. salinus*, *Moina salina* и *Daphnia magna*. В начальной и конечной точке системы отмечено полное отсутствие в зоопланктоне сходства видовых составов. Численность зоопланктона достигала 1134 тыс. экз./м³. Средняя биомасса зоопланктона составляла от 13,7 до 15,3 г/м³. Водоем характеризовался как эвтрофный, отдельные его участки – как гипертрофные.

В начале нынешнего века видовой состав зоопланктона в водоеме продолжал меняться. Это в большей степени коснулось мезогалинной части озера. Здесь на смену *M. salina* и *D. magna*, которые развиваются в α-мезо- и полисапробных водах, пришли *Simocephalus vetulus* и *Sida cristallina*, обитающие в более чистых олиго- и β-мезосапробных водах. Смена видов произошла из-за снижения негативного воздействия хозяйственной деятельности на водосборную площадь озера: сокращение сельского населения и поголовья крупного рогатого скота, уменьшение количества коллективных сельскохозяйственных предприятий и машино-тракторного парка.

ВЛИЯНИЕ СЕЗОННОГО ПИКНОКЛИНА НА ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ КОМПОНЕНТОВ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Водопьянова В.В.

*Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск,
vodopyanova@mmbi.info*

Вертикальное распределение плотности морской воды играет важную роль в функционировании фитопланктонных сообществ. Одним из пусковых механизмов для начала вегетации фитопланктона в Баренцевом море может служить установление сезонного пикноклина (СП) в слое фотосинтеза. В северных районах моря СП начинает формироваться гораздо раньше, чем в центральных и южных, так как связан не с прогревом поверхности воды, а с опреснением при таянии льда. Основной пикноклин (ОП) и СП могут существовать одновременно один под другим. Затрудняя вертикальный обмен с нижележащими слоями, они ограничивают развитие фитопланктона трофогенным слоем определенной толщины, являясь своеобразной границей фитоценоза.

В апреле 2023 г. в прикромочной ледовой зоне Баренцева моря в условиях сформировавшегося СП были исследованы основные компоненты пелагических планктонных сообществ: фито- бактерио- вирио- и зоопланктон. Фитопланктонное сообщество находилось в стадии активного автотрофного продуцирования – весеннего “цветения”.

Распределение основных компонентов планктонных сообществ находилось под влиянием гидрологической обстановки. Используя концентрацию хлорофилла-а (Хл-а), отражающую обилие фотосинтезирующих организмов в морской воде, удалось изучить особенности вертикального распределения фитопланктона в ответ на изменения плотности морской воды. Концентрации Хл-а были максимальны в поверхностном опресненном слое (ПОС) и верхней части СП (выше линии максимального градиента плотности (МГП-СП)), в среднем достигая $6,84 \pm 1,16$ и $7,29 \pm 0,26$ мг/м³, соответственно. Ниже линии МГП-СП концентрации значительно снижались несмотря на то, что находились в фотическом слое (в среднем $0,81 \pm 0,48$ – $1,89 \pm 1,52$ мг/м³). При отсутствии СП максимальные концентрации Хл-а были отмечены выше линии МГП-ОП ($8,22$ –

9,53 мг/м³). Таким образом, наиболее значимым фактором в вертикальном распределении Хл-а являлась линия МГП, а не весь слой пикноклина. Установление СП ограничивало основную массу микроводорослей слоем, расположенным выше линии МГП.

Фитопланктонное сообщество в процессе фотосинтеза оказывало влияние на гидрохимический режим вод, на что указывает значительное снижение концентрации нитратов и увеличение концентрации растворенного кислорода выше линии МГП-СП и МГП-ОП. Микробное сообщество характеризовалось низкими количественными показателями на фоне повышенных концентраций Хл-а. Зоопланктон не оказывал значимого влияния на обилие фитопланктонных форм, что позволило наблюдать незамаскированное этим предиктором влияние гидрологической обстановки на фитопланктонное сообщество.

Таким образом, проведенное исследование показало, что основное влияние на вертикальное распределение фитопланктона в период наблюдений оказывал сезонный пикноклин, а при его отсутствии – основной пикноклин. Являясь значимыми природными физическими барьерами, линии максимальных градиентов плотности сезонного и основного пикноклинов определяли вертикальные границы биотопов фитопланктонных сообществ.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ СОЛЕННЫХ РЕК АРИДНОЙ ЗОНЫ ЮГА РОССИИ

Головатюк Л.В.^{1,2}, Зинченко Т.Д.¹, Канапацкий Т.А.³, Уманская М.В.¹

¹*Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, zinchenko.tdz@yandex.ru, mvumansk67@gmail.com*

²*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, gollarisa@mail.ru*

³*Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, г. Москва, timkanap_inmi@mail.ru*

Вопрос о том, как организмы разных трофических уровней принимают участие в балансе энергии и химических элементов в экосистемах, является одним из важнейших в экологии (Frost et al., 2002; Sterner, Elser, 2002).

Многолетние (август 2008–2014, 2017–2019) исследования продукционных показателей макрозообентоса выполнены на 6 малых соленых реках – притоках гипергалинного оз. Эльтон полупустынного региона Приэльтонье (Волгоградская обл.). Донные беспозвоночные, питаются фитопланктоном, бактериями и детритом, являются конечным трофическим звеном водных пищевых цепей соленых рек и, в свою очередь, активно потребляются аборигенными и перелетными водоплавающими птицами.

Оценку продукции планктонных альгобактериальных сообществ проводили в августе 2017, 2018 гг., продукции бактериобентоса - в августе 2018, 2019 гг. Анализ данных выявил значительный размах (2,6–2214 мг С/м² сут) величин продукции макрозообентоса как в мезогалинных (рр. Хара, Ланцуг, Большая Саморода), так и в полигалинных (рр. Чернавка, Солянка) реках. В среднем течении мезогалинных рек продукция макрозообентоса в пересчете на углерод изменялась от 2,6 до 787 мг С/м² сут, в устьевых участках – от 10 до 2214 мг С/м² сут. В среднем течении полигалинных рек продукция находилась в диапазоне 1,7–348 мг С/м² сут, в устье – 2,5–1809 мг С/м² сут. Продукция в гипергалинной р. Малая Саморода не превышала 121 мг С/м² сут.

Большой разброс величин объясняется разной продолжительностью циклов развития эвригалинных и галофильных амфибиотических насекомых *Chironomus salinarius*, *Cricotopus salinophilus*, *Tanytarsus kharaensis*, *Microchironomus deribae*, *Sphaeromias pictus*, *Palpomyia schmidtii*, *Ephydra* sp., резко снижающих биомассу водных стадий в период массовых вылетов. Было установлено, что суточные величины продукции макрозообентоса соленых водотоков в отдельные годы превышают величины годовой продукции пресноводных рек. Среднемноголетние показатели продукции в среднем течении мезогалинных и полигалинных рек были в 2–3 раза ниже, чем в устьевых участках. Биомасса планктонных сообществ р. Чернавка, оцененная по количеству хлорофилла «а», возрастала от 26–46 мг/м³ в среднем течении до 223–233 мг/м³ – в нижнем течении, соответствуя гипертрофному уровню.

Показатели первичной продукции планктонных альгобактериальных сообществ в среднем течении реки находились в пределах 0,682–17,64 мг С/л сут, в нижнем течении – 7,54–59,76 мг С/л сут. Максимальные значения первичной продукции в воде наблюдались во время активного развития зеленых или диатомовых водорослей. Суточная продукция бактериобентоса в нижнем течении исследованных рек (Хара, Ланцуг, Чернавка) изменялась от 101 мг С/м² сут до 740 мг С/м² сут.

Таким образом, высокая первичная продукция в гипертрофных водах соленых рек обуславливает высокие величины продукции макрозообентоса, что особенно характерно для устьевых участков. В устьях происходят активные процессы осаждения органического вещества, поступающего как из верховьев и среднего течения рек, так и из оз. Эльтон в результате нагонных явлений.

Исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-27-00262.

ВЛИЯНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА СТРУКТУРУ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА

Голубков М.С.

Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург, MikhailGolubkov@zin.ru

Строительство новых портовых сооружений и намыв новых территорий являются неизбежными следствиями быстрого роста населения на побережье морей, что существенно влияет на экосистемы прибрежных вод. Несмотря на частую реализацию подобных крупных инженерных проектов в этих районах, их воздействие на различные компоненты водных экосистем, включая фитопланктон, до сих пор остается мало изученным. Целью данного исследования было оценить влияние масштабного строительства новых портовых сооружений в акватории эстуария реки Невы в 2000-х годах на структуру и функционирование сообщества фитопланктона. Исследование показало, что выемка и перемещение больших объемов донных отложений в процессе строительства приводили к значительному увеличению концентрации взвешенных веществ в водах эстуария. Это сопровождалось повышением содержания биогенных элементов, поступающих в воду из взмученных донных отложений, и уменьшением прозрачности воды в эстуарии. Концентрация общего фосфора в водах эстуария во время строительства достоверно коррелировала с концентрацией взвешенных веществ. Однако, увеличение количества питательных веществ оказалось менее важным для развития фитопланктона, чем ожидалось. Дисперсионный анализ и множественный регрессионный анализ показали, что

ключевым предиктором первичной продукции планктона в периоды строительства была прозрачность воды. Валовая первичная продукция планктона значительно сокращалась во время проведения гидротехнических работ. В отличие от краткосрочных последствий взмучивания донных отложений из-за ветровых явлений, которые часто стимулируют развитие фитопланктона, долгосрочные работы по строительству новых портовых сооружений и длительные периоды высокой мутности отрицательно влияли на продуктивность и видовое богатство фитопланктона. Тем не менее, анализ бета-разнообразия не выявил существенных изменений в структуре сообщества фитопланктона в периоды строительства и периоды отсутствия работ. Изменения коснулись преимущественно редких видов, и в меньшей степени затронули встречаемость и биомассу доминирующих и субдоминантных видов. Распространенные в эстуариях виды фитопланктона, вероятно, благодаря различным приспособлениям, способны выживать в условиях длительного затенения и успешно конкурировать с видами, неспособными длительное время переносить недостаток света. В периоды гидротехнических работ в эстуарии р. Невы в сообществе фитопланктона доминировали виды, способные к миксотрофии и фаготрофии, и виды, обладающие способностью увеличивать содержание хлорофилла и других пигментов в своих клетках. Кроме того, среди доминирующих видов были те, которые могли активно мигрировать в менее глубокие слои воды с более высоким уровнем освещенности, используя для этого жгутики или газовые вакуоли. В целом, проведенное исследование показало, что для корректного учета воздействия строительства новых портовых сооружений на сообщество фитопланктона и возможной минимизации этого воздействия необходимо дополнительное изучение экологии отдельных видов, их взаимоотношений и физиологических реакций на различные факторы окружающей среды.

РОЛЬ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ КАК ИСТОЧНИКА ОМЕГА-3 ПОЛИНЕНАСЫЩЕННЫХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ДЛЯ КОНСУМЕНТОВ, ОБИТАЮЩИХ В ОКОЛОВОДНЫХ БИОТОПАХ

Дименко О.С., Рудченко А.Е., Борисова Е.В.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, odimenko@sfu-kras.ru

Водные экосистемы являются основным источником ряда важных биохимических веществ для биосферы. Так, только некоторые микроводоросли могут синтезировать в большом количестве омега-3 длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК), такие как эйкозапентаеновая кислота (ЭПК) и докозагексаеновая кислота (ДГК). Эти жирные кислоты (ЖК) выполняют различные физиологические и метаболические функции в организме большинства животных. Однако в наземных экосистемах практически отсутствуют источники этих ЖК. Синтезированные в водных экосистемах ЖК выносятся в наземные экосистемы амфибионтными насекомыми, которые питаются на личиночных стадиях в пищевых сетях водных экосистем. По этой причине околотоводные биотопы могут стать горячей точкой в получении и распространении ЭПК и ДГК наземными консументами.

Целью данной работы было выявить роль околотоводных биотопов в распространении ЖК водного происхождения среди наземных консументов. Пробы амфибионтных насекомых (Diptera) и наземных консументов, которые могли их потреблять (пауки (Aranei) и прыткая ящерица (*Lacerta agilis*)), отлавливали в

околоводном биотопе (оз. Шира, Июско-Ширинская степь, Республика Хакасия) в период активного вылета амфибионтных насекомых (июнь–июль). Для анализа отбирали особей беспозвоночных животных целиком и мышечную ткань ящериц. Экстракцию липидов проводили по методу Фолча. Для проведения хроматографического анализа экстрактов липидов получали метиловые эфиры жирных кислот (МЭЖК). Анализ МЭЖК проводили на газовом хроматографе с масс-спектрометрическим детектором (модель 6890/5975С, “AgilentTechnologies”, США) с колонкой HP-FFAP.

В ЖК составе амфибионтных насекомых, которые были представлены комарами – звонцами (р. *Glyptotendipes* и *Chironomus*) было отмечено ЭПК до 20 % ЭПК, тогда как ДГК в их биомассе обнаружено не было. Таким образом, вылетающие имаго комаров – звонцов могут стать важным источником ЭПК для наземных консументов, но не ДГК. Одними из потребителей вылетающих амфибионтных насекомых являются пауки. В ЖК составе пауков семейства Lycosidae также доля ЭПК была довольно значительна – до 10 %. Источником этой ЖК, вероятно, могли стать амфибионтные насекомые, поскольку животные крайне слабо способны к синтезу ЭПК. В мышечной ткани ящериц был установлен высокий процент ЭПК (до 12 %) и также некоторая доля ДГК (до 4 %). Источником ЭПК могли стать как комары-звонцы, так и пауки, которые были обнаружены в желудках ящериц. Однако, ДГК не была обнаружена в биомассе беспозвоночных животных. Возможно, при наличии значительного уровня ЖК – предшественников синтеза ДГК, ящерицы способны сами синтезировать определенную долю ДГК.

Таким образом, было показано, что околоводный биотоп может стать источником прежде всего ЭПК для наземных консументов.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Дмитриева О.А.^{1,2,3}, Семенова А.С.^{1,3,4}

¹Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Калининград, a.s.semenowa@mail.ru

²Институт океанологии им П.П. Ширшова РАН, г. Москва, phytob@yandex.ru

³Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

⁴Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок

Для определения таксономической структуры и особенностей вертикального распределения количественных параметров планктонных сообществ пробы отбирали с марта по декабрь 2021–2022 гг. в юго-восточной части Балтийского моря в районе Гданьской впадины на горизонтах 0; 2,5; 5; 7,5; 10; 15; 20; 25 м, а также дополнительно – над термо- и галоклином, у дна и на горизонте дно+4 м. Всего проанализировано 207 проб фитопланктона и 207 проб зоопланктона.

Фитопланктон на исследуемой станции был представлен в 2021 г. 105, а в 2022 г. – 148 таксонами из 8 систематических отделов и группы Cercozoa. Наибольшее видовое разнообразие имели отделы диатомовых, динофитовых, синезеленых и зеленых водорослей, представители этих отделов доминировали также по численности и биомассе. В целом на исследуемой станции численность водорослей в 2021 г. варьировала на горизонтах в диапазоне 215–33075 млн орг/м³, составляя в среднем 7558 млн. орг/м³. Биомасса варьировала от 0,29 до 20,22 г/м³, составляя в среднем 4,30 г/м³. В 2022 г. численность водорослей варьировала на горизонтах в диапазоне

136–2145 млн. орг./м³, составляя в среднем 979 млн. орг./м³. Биомасса варьировала от 0,12 до 1,20 г/м³, составляя в среднем 0,47 г/м³.

В 2021 г. зоопланктон в районе исследований был представлен 29, в 2022 г. – 32 видами и таксонами более высокого ранга. Наибольшее видовое разнообразие во все сезоны было отмечено в поверхностных и средних горизонтах, к придонным горизонтам оно снижалось. Наиболее массовыми видами во все сезоны были веслоногие ракообразные *Acartia* spp. (в основном *A. longiremis*), *Temora longicornis*, *Centropages hamatus*, *Pseudocalanus elongatus* и их науплии, локальные вспышки развития весной и осенью давали *Synchaeta baltica*, *Evadne nordmanni*, *Fritillaria borealis*, летом – *Keratella quadrata* и *Bosmina (Eubosmina) coregoni*. В зоопланктоне района исследований в поверхностных горизонтах были отмечены виды, которые приносились с пресноводным стоком из Вислинского залива, в придонных горизонтах – вид-индикатор затока вод из Северного моря – *Oithona similis*, в летний период при максимальном прогреве воды – виды-вселенцы *Cercopagis pengoi* и *Evadne anonyx*. В 2021 г. максимальные значения численности и биомассы были отмечены в апреле, затем численность резко снижалась к концу июня, а биомасса оставалась примерно на том же уровне вплоть до августа, когда она также снижалась, минимальные значения численности и биомассы были отмечены в конце ноября, в 2022 г. численность и биомасса зоопланктона возрастали от марта к началу июня, когда были отмечены их максимальные за сезон значения, а затем снижались вплоть до декабря. Численность зоопланктона в 2021 г. варьировала на горизонтах в диапазоне от 1 до 466 тыс. экз./м³, биомасса – от 6 до 2949 мг/м³, в среднем составляя 70,8 тыс. экз./м³ и 566 мг/м³; в 2022 г. от 1 до 110 и от 16 до 1830, в среднем – 20,4 тыс. экз./м³ и 323 мг/м³. Средняя для слоя 0–25 м доля мертвых особей в 2021 г. колебалась в пределах 5–8 %, в 2022 г. от 5–7 до 11–12 %, максимальные доли мертвых особей, как правило, были отменены у дна (до 100 %). В 2022 г. были отмечены более напряженные трофические отношения между фито- и зоопланктоном по сравнению с 2021 г.

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ФИТО- И ЗООПЛАНКТОНА В ОЗЕРЕ С ВЕТРОВЫМИ ТЕЧЕНИЯМИ

Дубовская О.П.^{1,2}, Толмеев А.П.^{1,2}, Кравчук Е.С.¹,
Анищенко О.В.¹, Дроботов А.В.¹

¹Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, dubovskaya@ibp.krasn.ru

²Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

В пелагиали солоноватого меромиктического озера Шира (Хакасия, Россия) проведена проверка гипотезы возникновения горизонтальных неоднородностей зоопланктона и фитопланктона в условиях регулярных суточных изменений ветровых течений. Горизонтальные неоднородности формируются на основе сочетания малоамплитудной вертикальной миграции зоопланктона и ветровых течений эпилимниона: поверхностных, в дневное время приносящих обедненную зоопланктоном воду к подветренному берегу (куда дует ветер), и компенсационных надтермоклинных, приносящих обогащенную зоопланктоном воду к наветренному берегу (откуда дует ветер). Горизонтальные неоднородности эпилимниона оценивали по сетке из 11 станций, где измеряли биологические и физические показатели погружным зондом-флуориметром и планктонной сетью, а динамику скорости и

направления ветра регистрировали с помощью метеостанции на южном берегу озера. Различия в величинах первичной продукции, деструкции планктона и интенсивности выедания фитопланктона зоопланктоном у наветренного и подветренного берегов оценивали в 3-х экспериментах скляночным методом. В экспериментах концентрация хлорофилла а, валовая и чистая первичная продукция фитопланктона были выше у южного берега (днем чаще подветренного, а ночью – наветренного), а биомасса сетного зоопланктона и скорость дыхания планктонного сообщества – у северо-восточного (наветренного днем и подветренного ночью). Это совпадает с картиной распределения по озеру фито- и зоопланктона по результатам съемки в аналогичных метеорологических условиях. Биомасса зоопланктона была выше у северо-восточного берега, чем у южного, а распределение по этим берегам фитопланктона было обратным. Смещение основной массы зоопланктона к северо-восточному берегу очевидно усиливает там пресс выедания фитопланктона, о чем свидетельствует большее суммарное выедание, но меньшая интенсивность питания зоопланктона у этого берега по сравнению с южным.

Проверенную экспериментами и съемкой гипотезу о механизме возникновения пространственных неоднородностей планктона в эпилимнионе оз. Шира под влиянием ветровых течений можно откорректировать следующим образом: сочетание перемещения поверхностного слоя под воздействием ветра и малоамплитудной дневной вертикальной миграции зоопланктона вниз и ночной вверх способно создавать устойчивые горизонтальные неоднородности распределения планктона в эпилимнионе пелагиали, особенно при смене направления дневного и ночного ветра на противоположное, что регулярно бывает. Данные обсчета проб с одной точки (участка, берега) нельзя распространять на весь открытый ветрам водоем, недооценивая влияние ветровых течений на распределение и функционирование планктона.

Работа поддержана грантом РФФИ 19-04-00362-а и частично – государственным заданием Министерства науки и высшего образования РФ № 0287-2021-0019.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЗООПЛАНКТОНА НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ РЕКИ ОБЬ

Ермолаева Н.И.¹, Феттер Г.В.^{1,2}

¹*Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Новосибирск, hore413@mail.ru*

²*Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск*

Сезонные изменения условий окружающей среды обуславливают периодичность развития зоопланктона. Изменение расходов воды, температуры, гидрохимических и трофических условий контролируют динамику речных сообществ. А антропогенные изменения стока могут быть причинами принципиальных различий в динамике развития сообществ на различных участках одной и той же реки.

Целью исследования было изучение сезонной динамики зоопланктона реки Оби в зоне влияния Новосибирской ГЭС и в среднем течении реки в створе гидропоста Никольское (Томская область ниже устья р. Томь).

На участке в районе с. Никольское динамика зоопланктона в исследованные годы продемонстрировала классическую двувершинную кривую. Зимой зоопланктон представлен единичными коловратками и циклопами. Весенний или раннелетний пик численности зоопланктона, как правило, наблюдается на спаде волны половодья и при

прогреве воды выше 14 °С. Он обусловлен массовым развитием коловраток и выметом молоди у ряда видов веслоногих раков. Затем следует «фаза чистой воды», которая обусловлена и гидродинамическими особенностями речного потока, и сезонными особенностями развития отдельных видов зоопланктона, и трофическими связями: фитопланктон выедается зоопланктоном, а зоопланктон, в свою очередь, активно потребляется молодью рыб, которые именно в эти сроки находятся в стадии планктоноядного малька. Второй пик численности зоопланктона приходится на конец июля–начало августа (время максимального прогрева воды и максимального развития фитопланктона). В это время в зоопланктонном сообществе, как правило, наблюдается максимальное развитие Cladocera.

Весенний и летний пики численности зоопланктона обеспечены в основном коловратками, однако, видовой состав сообщества в эти периоды значительно различается. Весенний пик, как правило, обеспечен массовым развитием представителей р. *Keratella* и р. *Synchaeta*. В июле–августе доминируют по численности виды р. *Brachionus* и р. *Polyarthra*.

На участке ниже плотины ГЭС наблюдается, по сути, одновершинная кривая. Весенне-летний пик совпадает с попусками воды в нижний бьеф, обусловленными пропуском половодья. Летний пик развития зоопланктона «срезается» за счет конструктивных особенностей забора воды на турбины ГЭС. В июле–августе вода в водохранилище, как правило, находится на отметках нормального подпорного уровня (НПУ), который составляет 113,5 м (балтийская система), а забор воды на турбины происходит с глубин от 91,5 до 104,0 м, то есть на 9 м ниже поверхности воды в верхнем бьефе. А в летние месяцы основная масса зоопланктона Новосибирского водохранилища сосредоточена в слое от 0 до 4 м глубины. То есть в нижний бьеф происходит сброс водных масс, обедненных зоопланктоном. Кроме того, происходит разрушение крупных ракообразных в турбинах за счет процессов кавитации.

Следует учитывать, что множество факторов, влияющих на зоопланктонный ценоз, такие как объем стока, уровни воды, количество атмосферных осадков, температура и т.д. меняются по годам, в связи с чем, численные показатели зоопланктона и сроки активного развития как отдельных видов, так и сообщества в целом также значительно варьируют по годам.

СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА МОЖАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ЕЕ СВЯЗЬ С ФАКТОРАМИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Жихарев В.С.¹, Воденеева Е.Л.¹, Терешина М.А.²,
Соколов Д.И.², Ерина О.Н.²

¹Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, zhiharev@ibbm.unn.ru

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва,
erina.oxn@gmail.com

Проблема пространственного распределения сообществ зоопланктона и формирования их видовой структуры под воздействием различных природных и антропогенных факторов является актуальной и важной в современной гидроэкологии. Можайское водохранилище является типичным димиктическим водохранилищем долинного типа, которое служит для водоснабжения г. Москвы и многолетнего регулирования стока р. Москвы. Полный объем водохранилища 235,0 млн м³, площадь

водного зеркала при НПУ 30,68 км². Длина 28,0 км, средняя глубина 7,6 м (максимальная 22,5 м), средний годовой коэффициент условного водообмена 1,8 год⁻¹.

Исследования были проведены с мая по сентябрь 2019 г. В каждый месяц на пяти станциях, которые расположены вдоль русла водохранилища (от речной зоны до приплотинного участка), отбирали пробы зоопланктона и фиксировали ряд абиотических факторов среды. Для оценки взаимосвязи зоопланктона и биотической составляющей отбирали пробы фитопланктона и определяли его биомассу.

В общей сложности в период исследования было идентифицировано 82 вида зоопланктона (Rotifera – 34, Cladocera – 33, Copepoda – 15). Анализ избыточности (RDA) позволил определить распределение зоопланктона как в пространственном, так и во временном аспектах. Полная модель была статистически значима ($p\text{-value} \leq 0,001$) и объясняла 52,2 % общей дисперсии видовой структуры. По отношению к периоду исследования, все собранные пробы разделились на две группы: пробы, собранные в мае, августе и сентябре и пробы, собранные в июне и июле. Ось RDA1, вдоль которой расположились эти пробы, объясняла 30,7 % дисперсии. Основными факторами, определяющими внутрисезонную структурную организацию сообществ зоопланктона, являются биомасса пенистых диатомей (11,3 %), биомасса зеленых коккоидных (10,8 %) и нитчатых (7,8 %) водорослей, а также температура воды (7,2 %). Расположение проб зоопланктона вдоль оси RDA2 (11,8 %) характеризовало пространственное распределение зоопланктона. Все пробы разделились на три группы: пробы, собранные в речной зоне водохранилища; пробы, собранные в переходной зоне (экотон); и собранные в озерной части водохранилища. Основными факторами, определяющими пространственное распределение зоопланктона водохранилища, являются биомасса центральных колониальных диатомей (7,5 %), цветность (14,9 %) и электропроводность (10,4 %) воды. Все исследованные факторы были разделены на абиотические и биотические. Наибольший вклад в структурную организацию сообществ зоопланктона Можайского водохранилища вносят биотические факторы (18,5 %), в данном случае – биомасса фитопланктона; абиотические факторы объясняли 12,1 %. Взаимодействие биотических и абиотических факторов объясняло 6,6 % изменчивости видовой структуры сообществ зоопланктона. Анализ диаграмм размаха показал, что в переходной зоне/экотоне статистически значимо выше численность, биомасса, видовое и функциональное богатство, а также таксономическое разнообразие зоопланктона.

При поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

МЕТАБАРКОДИНГОВЫЙ И МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЛАНКТОННЫХ РАКОВИННЫХ АМЕБ ОЗЕР ЛЕСОБОЛОТНОЙ И ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОН ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

**Загумённая О.Н.^{1,2}, Загумённый Д.Г.^{1,2}, Герасимова Е.А.²,
Тихоненков Д.В.^{1,2}**

¹*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок,
zagumelga@gmail.com*

²*Тюменский государственный университет, г. Тюмень*

В настоящее время актуальны исследования, позволяющие прогнозировать изменения видового состава свободноживущих и патогенных планктонных организмов

при потеплении климата и касающиеся вопросов биобезопасности и аквакультуры. Раковинные амёбы используются в качестве биоиндикаторов благодаря высокой чувствительности к незначительным изменениям факторов внешней среды и уникальному строению раковинок каждого вида. Однако, планктонные раковинные амёбы наименее изучены по сравнению с бентосными, сфагнобионтными и почвенными. Сравнительные исследования их сообществ в озерах разных природных зон с разными климатическими параметрами пока не проводились. Основным методом изучения видового состава раковинных амёб является таксономический анализ на основе световой и электронной микроскопии, который требует большого количества времени. Современные молекулярные исследования раковинных амёб, такие как метабаркодирование ДНК, ускоряют процесс идентификации таксонов, выявляет их скрытое разнообразие и расширяет диапазон филогенетического разнообразия протистов практически на каждом таксономическом уровне.

Целью настоящей работы являлся сравнительный анализ планктонных раковинных амёб из озёр, различающихся по минерализации и другим гидрохимическим характеристикам, расположенных в разных климатических зонах (лесоболотной и лесостепной) Западной Сибири, с использованием микроскопического метода и метабаркодирования региона V4 гена 18S рРНК.

Пробы планктона из двадцати озёр, по десять в каждой природной зоне, были собраны в июне 2022 г. В каждом озере пробы отбирались в пелагиали, в открытой литорали и в литорали, заросшей высшими водными растениями.

В результате проведенной работы в озерах лесоболотной и лесостепной природных зон методом световой микроскопии выявлено 40 видов из 20 родов планктонных раковинных амёб, принадлежащих к супергруппам Rhizaria и Amoebozoa. Планктонные раковинные амёбы обнаружены во всех озерах, от 2 до 13 видов на озеро. В то же время, метабаркодирование выявило 20 ASV (amplicon sequence variants, варианты последовательности ампликона), принадлежащих только Rhizaria. ASV раковинных амёб были обнаружены в 75 % исследованных озёр, от 2 до 5 ASV на озеро. В планктоне озёр, при движении с севера на юг от лесоболотной к лесостепной зоне, выявлялись эвригалинные виды, например *Campascus interstitialis* Golemansky, 1981 (по данным микроскопии) и два представителя семейства Paulinellidae (по данным метабаркодирования). В то же время, в озерах лесостепной зоны не выявлены сфагнобионтные раковинные амёбы, типичные для заболоченных местообитаний и присутствующие в изученных озерах лесоболотной зоны. Частота обнаружения планктонных ASV раковинных амёб в лесостепных озерах была в 1,5 раза выше, чем в лесоболотных. Наиболее минерализованное озеро (оз. Соленое), расположенное в лесостепном регионе, выделялось среди других исследованных озёр по видовому составу по результатам кластерного и канонического корреляционного анализа. По данным микроскопии, по мере продвижения от лесоболотной зоны к лесостепной, в 2 раза увеличивались численность и встречаемость филовых видов раковинных амёб. По данным метабаркодинга идентифицировано четыре ASV раковинных амёб, которые могут содержать патогенные бактерии. В озерах лесостепной зоны присутствуют все четыре типа ASV, принадлежащие к несущим патогены родам *Rhogostoma* Belar, 1921 и *Fisculla* Dumack, Mausbach et Bonkowski, 2016, тогда как в озерах лесоболотной зоны встречаются только два типа ASV рода *Rhogostoma*.

Работа выполнена при поддержке Правительства Тюменской области в рамках проекта Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра № 89-ДОН (2) и в рамках государственного задания № 121051100102-2.

ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ МАКРОФИТОВ В АБАКАНСКОЙ ПРОТОКЕ Р. ЕНИСЕЙ

Иванова Е.А., Вразовская Е.И., Морозова И.И.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, elenivalg@mail.ru

Высшие водные растения (макрофиты) представляют начальное звено в круговороте веществ и энергии, они играют огромную роль в поддержании сложившегося естественного равновесия в водоемах и в природных ландшафтах в целом. Определение первичной продукции автотрофов, в том числе макрофитов, – одна из приоритетных задач изучения водоемов в современной гидробиологии (Алимов, 1979). Абаканская протока р. Енисей, расположенная в черте г. Красноярска в 35 км ниже Красноярской ГЭС, является важным рекреационным водоемом. Она подвержена нескольким типам антропогенного воздействия (зарегулирование дамбой, поступление ливневых и теплых вод, наличие садкового рыбоводного хозяйства), что ухудшает ее рекреационные свойства из-за чрезмерного зарастания макрофитами и скоплений метабитона нитчатой водоросли рода *Spirogyra* (Дубовская и др., 2023).

Целью работы было определение валовой первичной продукции (ВПП) макрофитов в Абаканской протоке реки Енисей (2018–2019 гг.). ВПП макрофитов определяли двумя методами: по максимальной биомассе (Катанская, 1981) и на основе флуоресценции хлорофилла *a* на флуориметре JUNIOR-PAM (WALZ, Германия). Параметры, необходимые для расчета валовой первичной продукции, определяли по световой кривой «rapid light curve» фотосинтетического транспорта электронов (ETR) (Genty, 1989).

В результате исследований установлено, что в Абаканской протоке встречено 4 вида высших водных растений, формирующих экосистему протоки. На верхнем участке, после зарегулирования протоки дамбой, выявлены сообщества макрофитов с доминированием *Myriophyllum sp.*; на среднем участке, куда поступают подогретые воды с ТЭЦ-2, ливневые воды и расположено садковое рыбное хозяйство, преобладали сообщества с преобладанием *Ceratophyllum demersum L.*, *Myriophyllum sp.* и *Elodea canadensis Michx.*; ниже по течению на выходе Абаканской протоки, где влияет весь комплекс антропогенной нагрузки, в сообщество макрофитов входили все выявленные виды с добавлением *Potamogeton perfoliatus L.* К концу лета в нижней части протоки формировался, мат из макрофитов и спирогиры, плавающий посреди водоема, что резко ухудшало рекреационные возможности протоки.

ВПП макрофитов, рассчитанной на основе биомассы, имела неравномерное пространственно-временное распределение: высокие значения ВПП отмечены в июле 2018–2019 гг. и выявлены в нижней части протоки (191,30–671,85 г/м²·месяц). В другие месяцы вегетационного периода величины ВПП были ниже. Методом РАМ-флуоресценции установлены пределы валовой первичной продукции высших водных растений: для *Elodea canadensis* средние пределы колебаний составили от 76,22 до 201,23 гС/час·м²; для *Myriophyllum sp.* – от 190,29 до 869,12 гС/час·м²; для *Ceratophyllum demersum* – от 218,83 до 449,87 гС/час·м²; для *Potamogeton perfoliatus* – от 317,22 до 1159,24 гС/час·м².

РАЙОНИРОВАНИЕ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА ПО ДИНАМИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ГИДРОБИОЦЕНОЗОВ

Исакова К.В.

*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН,
г. Петрозаводск, Ksusha_isakova@mail.ru*

Онежское озеро – гетерогенный водоем, имеющий большие перепады глубин, изрезанность береговой линии и испытывающий разную степень антропогенного воздействия. Все это обеспечивает сильную неоднородность в гидрологическом и гидробиологическом отношении. Для выявления гетерогенности районов, и в дальнейшем эффективного изучения и прогнозирования состояния экосистемы Онежского озера, необходимо выполнить районирование его акватории. Накопленные данные в лаборатории гидробиологии ИВПС КарНЦ РАН по сезонной динамике разных групп гидробионтов показывают, что каждый район озера имеет свою специфику, эти данные и были положены в основу районирования.

Целью настоящей работы стало установить отличия динамических характеристик отдельных гидробиоценозов в разных частях Онежского озера.

Для анализа использовали зарегистрированные базы данных лаборатории гидробиологии ИВПС КарНЦ РАН за период с 1982 по 2022 гг. Все исходные данные были нанесены на созданный ГИС-слой, состоящий из 142 ячеек размером 8*8 км, которые покрывали всю акваторию Онежского озера. Для оценки сезонной динамики были рассчитаны коэффициенты линейных трендов всех показателей для трех периодов: весны (май–июнь), раннего лета (июнь–июль), лета (июль–август).

Для выявления главных отличий между частями акватории использовались три метода интеграции данных: метод главных компонент, метрическое шкалирование и автоассоциативная нейронная сеть. Для выявления сходных по динамике ячеек использовали метод кластеризации по K-средним (задано $K=7$). Работа с картами выполнялась в среде QGIS. Расчеты и моделирование производились в среде R.

Вначале с помощью методов интеграции данных были получены расчетные индексы: значения пяти первых главных компонент, значения пяти первых главных координат и значения пяти нейронных шкал. Разные подходы дали в целом сходные результаты отличий между частями акватории Онежского озера. Корреляция между результирующими индексами и входными данными была высокой ($r=0,69$). Далее все обобщенные расчетные характеристики каждой ячейки акватории озера были использованы для их кластеризации. Основываясь на географической разобщенности разных частей акватории озера и внутренней гомогенности выявленных кластеров, были выделены 11 отдельных зон на акватории Онежского озера.

Специфика каждой зоны состоит в следующем: сезонное развитие биоты в Центральной части Онежского озера происходит медленно, а количественные показатели малы, за счет больших глубин и медленного прогревания воды. Северные заливы, в отличие от центральной части, характеризуются высокими показателями фитопланктона и хлорофилла *a* за счет быстрого прогревания вод и их эвтрофирования. Южная часть озера не испытывает на себе большого антропогенного воздействия и имеет меньшие количества планктонных организмов.

Таким образом, выделенные зоны имеют довольно высокое соответствие протекающих в них гидрологических и гидробиологических процессов и могут рассматриваться как относительно обособленные гидробиоценозы единой экосистемы Онежского озера.

РЕАКЦИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА НА МНОГОФАКТОРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ: ЭВТРОФИРОВАНИЕ, ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА, БИОИНВАЗИИ

Калинкина Н.М., Исакова К.В., Коновалов Д.С., Макарова Е.М., Сидорова А.И.,
Сластина Ю.Л., Смирнова В.С., Сярки М.Т., Теканова Е.В.

*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН,
г. Петрозаводск, cerioda@mail.ru*

Онежское озеро является вторым по величине крупнейшим водоемом северо-западного региона России. Наибольшее загрязнение испытывает Кондопожская губа Онежского озера в связи с поступлением сточных вод ЦБК и отходов форелевых ферм. Механизм быстрого эвтрофирования этого северо-западного залива связан с интенсивным развитием весеннего фитопланктона в условиях высокой турбулентности водных масс, его оседанием на дно и последующим разложением с участием бактериопланктона. Установлено, что весенние концентрации хлорофилла в районе форелевых хозяйств в последние годы кратно превышали летние концентрации пигментов фитопланктона. Это доказывает, что основная роль в процессах эвтрофирования Кондопожской губы принадлежит весеннему диатомовому фитопланктону. В последние годы, в условиях потепления климата, отмечается ускорение антропогенного эвтрофирования Кондопожской губы. Так, весной 2020 г. прохождение фронта термического бара и установление плотностной температурной стратификации в различных районах Онежского озера отмечались на 10–15 дней раньше среднемноголетних сроков. В июне 2020 г. температура поверхностного слоя воды была на 5–8 °С выше среднемноголетних значений. Увеличение температуры воды наиболее критично сказалось на развитии фитопланктона Кондопожской губы. В июне 2020 г. трофический статус Кондопожской губы Онежского озера впервые достиг α -эвтрофного уровня (Калинкина и др., 2021). На фоне локальных изменений в северо-западных заливах, основная акватория Онежского озера сохраняет олиготрофный статус. В зимний и весенний сезоны центральный глубоководный плес озера характеризуется низкими показателями развития и малой фотосинтетической активностью фитопланктона. В весенний период количественные показатели фитопланктона в глубоководных районах Онежского озера лимитируют большая глубина перемешанного слоя, ухудшающая световые условия, а также низкое содержание биогенных веществ. Результаты зимних и весенних исследований, свидетельствующие о благополучной экологической ситуации в глубоководном плесе Онежского озера, подтверждаются данными по состоянию озера в летний сезон. Анализ результатов многолетних наблюдений за 30-летний период (1992–2023 гг.) показал, что природное состояние и высокое качество воды на основной акватории Онежского озера, оцениваемые по содержанию хлорофилла *a* и количеству сапрофитных бактерий, сохраняются неизменными. Это свидетельствует о больших потенциальных возможностях самоочищения экосистемы озера, во-первых, за счет холодноводности, препятствующей быстрому нарастанию биомассы планктона, во-вторых, за счет большого объема водных масс. Последствия для экосистемы Онежского озера вселения байкальского рачка *Gmelinoides fasciatus* Stebbing проявляются как значительное увеличение продуктивности литоральной зоны и включение инвазивного вида в трофические цепи водоема как кормового объекта многих видов рыб.

ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭСТУАРНОЙ ИХТИОФАУНЫ КАМЧАТКИ

Коваль М.В.

*Камчатский филиал ФБГНУ «ВНИРО», г. Петропавловск-Камчатский,
godzira@inbox.ru*

По материалам собственных исследований, выполненных в 2010–2023 гг. (20 полевых экспедиций), а также в результате анализа всей доступной информации (литературной, архивной, опросной, промысловой и т.п.), впервые описан видовой состав и выяснены основные экологические факторы формирования ихтиофауны эстуариев Камчатки в региональном масштабе.

Установлено, что за всю историю исследований, в эстуариях этого региона было зарегистрировано ~100 видов рыб, из которых только 1 вид круглоротых и 60 видов рыб (относящиеся к 45 родам и 23 семействам) можно считать представителями собственно эстуарной ихтиофауны. Именно эти виды, в той или иной степени, являются эвригалинными и поэтому могут использовать отдельные камчатские эстуарии в качестве местообитаний на разных этапах жизненного цикла. Остальных рыб (порядка 40 видов, главным образом, морских) следует считать для эстуариев случайными видами.

Основу биологического разнообразия эстуарной ихтиофауны Камчатки формируют морские рыбы (как минимум 34 вида, ~55 %), вторыми по значимости являются анадромные виды (1 вид круглоротых и 14 видов рыб, 25 %), минимальный вклад принадлежит пресноводным жилым рыбам (12 видов, 20 %), которые встречаются в эстуариях рек, расположенных в основном в северной части региона. Рыбы, которых можно отнести к экологической группировке «собственно эстуарных» (т.е. таких, полный жизненный цикл которых проходит в эстуариях) на Камчатке, по всей видимости, отсутствуют. Современная ихтиофауна эстуариев Камчатки сформирована преимущественно нативными рыбами, из них только два пресноводных вида (карась и сазан) являются инвазивными. Эти рыбы попали в регион в результате акклиматизации во второй половине XX в. и к настоящему моменту сформировали дикие популяции только в отдельных речных бассейнах южной и центральной частей п-ова Камчатка.

Сообщества рыб в большинстве эстуариев Камчатки в современных условиях формируются под действием природных процессов, среди которых ключевыми внешними факторами являются: 1) морфологическое строение и специфика гидрологического режима в эстуариях различных типов, которые создают внешние условия, необходимые для образования и существования биологических сообществ (в том числе эстуарных ихтиоценов); 2) локальные особенности биологического разнообразия ихтиофауны, от которого зависит состав и структура сообщества рыб в отдельно взятом эстуарии или на отдельном участке побережья. Максимальное видовое богатство ихтиоценов наблюдается в крупных камчатских эстуариях, которые, в значительной степени открыты со стороны моря, или в речных бассейнах которых имеется разнообразная пресноводная ихтиофауна. Условия среды в таких эстуариях более благоприятны для проникновения и обитания морских видов рыб (главным образом, прибрежного ихтиокомплекса). В то же время, все проходные или некоторые пресноводные эвригалинные виды, также могут использовать эти же эстуарии в качестве временных местообитаний на отдельных этапах жизненного цикла. В целом

сходные закономерности формирования ихтиофауны эстуариев были отмечены ранее в других регионах мира.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЗООПЛАНКТОНА КОНДОПОЖСКОГО ЗАЛИВА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Коновалов Д.С., Сярки М.Т.

*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН,
г. Петрозаводск, konovalov.daniil1998@gmail.com*

Уникальность Онежского озера, второго по величине Великого озера Европы, обусловлена его значением как источника чистой пресной воды для Российской Федерации. Экосистема сохраняет свое естественное олиготрофное состояние при современном уровне загрязнения, сосредоточенного, в основном, в крупных заливах.

Особые условия функционирования планктона сложились в Кондопожском заливе Онежского озера – одном из крупнейших и наиболее эвтрофированном. Здесь экосистема испытывает многофакторное воздействие: сточные воды Кондопожского ЦБК (Теканова и др., 2019), климатические изменения (Фомина, Сярки, 2018) и новый фактор эвтрофирования – форелевые хозяйства (Галахина, Зобков, 2022). Изолированность Кондопожского залива от основного плеса определяет локальность загрязнения, которое пока не поступает в открытую часть озера (Калинкина и др., 2017). Описанное для Онежского озера увеличение продолжительности «биологического лета» влияет на сезонные фазы развития зоопланктона (Калинкина и др., 2016).

Зоопланктон является центральным звеном трофической сети и может служить индикатором изменений в водных экосистемах. Зоопланктон в Кондопожском заливе функционирует в особых трофических условиях (градиент трофии от вершины к открытому плесу, связанный с поступлением сточных вод ЦБК), а также различаются глубины и термический режим, которые влияют на сезонную динамику таксономических и трофических групп зоопланктона (Калинкина и др., 2011; Сярки, Фомина, 2019).

Материалами для изучения сезонной динамики послужили накопленные в лаборатории гидробиологии ИВПС КарНЦ РАН многолетние (1970–2021 гг.) количественные данные пелагического зоопланктона Онежского озера, включенные в базу данных (Зоопланктон Онежского озера: база данных, 2012). Зоопланктон отбирался сетным ловом. Модели среднемноголетней динамики обилия зоопланктона были построены с помощью методов сглаживания и аппроксимации. Сезонные фазы развития зоопланктона достоверно выделены с использованием дискриминантного анализа.

Выявлены основные закономерности сезонного развития зоопланктона, его основных трофических и таксономических групп; определены фазы годового цикла зоопланктона, сроки их начала, продолжительность и характерные особенности.

Общие закономерности сезонной динамики зоопланктона в Кондопожском заливе аналогичны таковым в других районах озера. На сезонную динамику зоопланктона Кондопожского залива влияют различные по силе и масштабу факторы. Общие закономерности развития в годовом цикле определяются климатическими и трофическими факторами. Высокая вариабельность данных обусловлена межгодовой

изменчивостью факторов и случайными явлениями: синоптической ситуацией на озере (шторма, штили), скоплением организмов в стаи, течениями и т.п.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФЛОРО – И ЦЕНОГЕНЕЗА ФИТОПЛАНКТОНА КРУПНЫХ РАВНИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ БАСЕЙНА ВОЛГИ ПРИ ЭВТРОФИРОВАНИИ И ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА

Корнева Л.Г.

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, korneva@ibiw.ru

Река Волга – самая большая по водности, площади бассейна и длине в Европе, представляет цепочку крупнейших равнинных водохранилищ мира, расположенных в различных географических зонах (лесной, степной, полупустыни), соединенных стоком и каналами с бассейнами Каспийского и Балтийского морей. Антропогенная трансформация волжской геосистемы в результате гидростроительства привела к увеличению в водохранилищах минерализации, хлоридов, сульфатов и щелочно-земельных металлов, перераспределению соотношения минерального азота и фосфора. На основании 70-летних исследований водохранилищ, начиная с 50-х годов XX в., выявлены основные закономерности флоро- и ценогенеза фитопланктона Волги. Наибольшее число таксонов водорослей рангом ниже рода обнаружено в фитопланктоне Куйбышевского (~1400) и Рыбинского (~1200) водохранилищ, обладающих наибольшими площадями акваторий и мелководий, сложной морфометрией и принимающих воды крупных притоков Волги: Мологи, Камы и Шексны. Установлена сопряженность богатства локальных флор с морфометрическими показателями водоемов: площадью акваторий и мелководий, а также морфометрическим коэффициентом. Согласно географической зональности в направлении от Верхней к Нижней Волге по мере увеличения минерализации, прозрачности и снижения цветности воды наблюдается снижение ценотического, удельного, альфа- и бета-разнообразия фитопланктона, разнообразия и биомассы зеленых водорослей и фитофлагеллят, численности и биомассы диатомовых цианобактерий и увеличение относительного богатства диатомей, числа галофилов и мезогалофилов и обилия неазотфиксирующих цианей. Установлено, что многолетнее (1953–2018 гг.) варьирование биомассы фитопланктона Рыбинского водохранилища сопряжено с изменением гидроклиматических параметров: температурой и уровнем воды, скоростью ветра, циклическим колебанием северо-атлантической осцилляции. В структуре доминирующих комплексов фитопланктона прослеживается трансформация его размерной структуры в сторону увеличения доли мелкоразмерных быстрорастущих видов (г стратегов), снижение соотношения минимальной и максимальной биомассы и ценотического разнообразия (индекса Шеннона), как мер устойчивости водных экосистем, увеличение пропорции биомассы цианобактерий и миксотрофных фитофлагеллят, снижение разнообразия диатомовых и увеличение численности безгетероцистных цианобактерий. Ценогенез фитопланктона Волги представляет собой смену адаптивных стратегий видов, характерных для мезотрофных, хорошо перемешиваемых водоемов, на ансамбль видов, ассоциированных с водами высокой трофии, толерантных к световому дефициту, повышению минерализации и способных к фаготрофии. Последнее способствует более эффективному переносу энергии с меньшим отвлечением на детритный путь. Изменения физико-химических свойств воды в водохранилищах, вызванные зарегулированием стока, ростом трофии и

изменением климата, стало триггером распространения и натурализации эвригалинных термофильных инвазийных видов диатомовых и динофитовых водорослей. Их появление совпадало со снижением общего богатства фитопланктона, что способствовало увеличению его уязвимости к проникновению аллохтонных видов.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ И ПЕРВИЧНОГО ПРОДУЦИРОВАНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В РУСЛОВЫХ И ПОЙМЕННЫХ ВОДАХ ВЕРХНЕЙ ОБИ

Котовщиков А.В., Ширинина М.К., Сафонова М.А., Парадосский В.Л.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, kotovschik@iwep.ru

Изучена сезонная динамика физико-химических параметров, содержания биогенных элементов, обилия фитопланктона и скорости его фотосинтеза в основном русле и пойменных водах Верхней Оби. Сравнительная характеристика сезонных циклов выявила существенные различия разнотипных вод.

В пойменных водных объектах (протока, старица, озеро) вода прогревается до максимальных величин (24 °С) уже в начале лета. Тогда как в русле она достигает 20 °С только к началу июля. Минерализация пойменных вод в период зимней межени значительно повышается (до 0,56 г/дм³), по сравнению с руслом (0,20 г/дм³). Наибольшие в течение года значения водородного показателя летом во всех водах обусловлены увеличением фотосинтеза растений. Максимальные значения рН (9,5–10,5) отмечаются в озере с обильным развитием высшей водной растительности. Уже в начале зимней межени в пойменных озерных водах возникает дефицит кислорода (6–10 %), что создает восстановительные условия в воде (Eh–95 мВ). Это обусловлено разложением обильных растительных остатков в озере при крайне малой глубине. В этот период достигают максимума концентрации органического углерода (61–63 мг/дм³), суммарного минерального азота (7 мгN/дм³) и общего фосфора (1,4 мгP/дм³).

Обилие фитопланктона (по концентрации Хл *a*) в пойменных водах значительно превышает таковое в русле при похожей сезонной динамике с максимумом в летний период. В пойменном водоеме старичного типа, в котором отсутствует высшая водная растительность, может возникать чрезмерное развитие фитопланктона (91 мг Хл/м³), вызванное цветением цианопрокариот (27000 кл./см³). Своеобразная сезонная динамика характерна для пойменного озера макрофитного типа. Максимум содержания Хл *a* здесь возникает в подледный период (25–48 мг/м³), а также в весенне-летний периоды (30–50 мг/м³). Последний максимум обусловлен отсутствием в этот период обильной высшей водной растительности, которая в период своего массового развития может угнетать рост фитопланктона. Отличие первичного продуцирования фитопланктона пойменных вод, от такового в русле, заключается в том, что высокая скорость фотосинтеза наблюдается уже весной, даже до схода льда (до 1,8 мгO₂/дм³·сут.), увеличиваясь в начале весеннего подъема уровней до 2,5 мгO₂/дм³·сут. В русле Оби показатель в этот период не превышает 0,2–0,5 мгO₂/дм³·сут. Максимальный фотосинтез в пойменных водах достигает 5,8 мгO₂/дм³·сут. по сравнению с максимумом в русле – 3,2 мгO₂/дм³·сут.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН.

ФИТО- И ЗООПЛАНКТОН ОЗЕР ПОЛУОСТРОВА ТАЙМЫР В УСЛОВИЯХ ГУАНОТРОФИКАЦИИ

Крылов А.В.¹, Шаров А.Н.¹, Сабитова Р.З.¹, Гладышев М.И.^{2,3}

¹Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, krylov@ibiw.ru

²Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск

³Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Наиболее распространенный и заметный биогенный (естественный, природный) источник поступления питательных веществ в водоемы – жизнедеятельность гидрофильных птиц – “гуанотрофикация” (Leentvaar, 1967; Brandvold et al., 1976; Don, Donovan, 2002). Результаты многочисленных исследований гуанотрофикации на качество воды и сообщества гидробионтов пресноводных экосистем крайне неоднозначны (Gremillion, Malone, 1986; Manny et al., 1994; Post et al., 1998; van Geest et al., 2007; Michelutti et al., 2009; Chaichana et al., 2010). Однако показано, что снижение качества воды в отдельных водоемах связано с высокой плотностью птиц, намного превышающей оптимальную – более 250 особей/га (Крылов и др., 2012). Большое значение имеет также начальный трофический статус водоема, степень его зарастания, время поступления продуктов жизнедеятельности птиц, их видовой состав, состав пищи, скорость переваривания и т.д. (Крылов и др., 2012; Adhurya et al., 2020, 2021).

Значительное количество водоемов и водотоков арктической и субарктической зон подвержено антропогенному эвтрофированию и загрязнению. Одновременно имеются олиготрофные водные объекты, для которых актуально повышение трофического статуса с целью увеличения биоресурсного потенциала. Перспективным методом повышения их кормности при условии сохранения биологического разнообразия всего комплекса гидробионтов, мы считаем зоогенное эвтрофирование (гуанотрофикацию). С этой целью исследовано влияние продуктов жизнедеятельности гусеобразных птиц на качественные и количественный состав, структуру фито- и зоопланктона двух озер п-ова Таймыр.

Полученные данные свидетельствуют о более высоком трофическом статусе водоема, испытывающего нагрузку со стороны гидрофильных птиц. По сравнению с фоновым водоемом здесь зарегистрированы статистически значимо большие численность фитопланктона, биомасса зоопланктона, биомасса коловраток, которые входили в состав доминантов, а также индекс сапробности. Одновременно выявлены специфические черты организации сообществ этого водоема – более высокое видовое богатство фито- и зоопланктона; отсутствие в составе фитопланктона *Cyanobacteria* и статистически значимо более высокие численность *Bacillariophyta*, число видов и биомасса *Copepoda*, что может определяться особенностями реакции гидробионтов на продукты жизнедеятельности птиц (Krylov et al., 2011; Крылов и др., 2012; Sakharova, Korneva, 2017). Это позволяет говорить о перспективах гуанотрофикации для повышения трофического статуса водоемов без значимого ухудшения качества среды и биологического разнообразия сообществ гидробионтов.

Авторы выражают благодарность Д.Г. Загуменному (ИБВВ РАН) за помощь в сборе проб. Работа выполнена при финансовой и организационной поддержке Проектного офиса развития Арктики (ПОРА), государственного задания ИБФ СО РАН № FWES-2024-0024, государственного задания ИБВВ РАН № 121051100109-1 и 121051100099-5.

ЯВЛЕНИЕ ВРЕДНОСНОГО «ЦВЕТЕНИЯ» ВОДОРΟΣЛЕЙ У БЕРЕГОВ КАМЧАТКИ – «ВИНОВНИКИ», ПРИЧИНЫ, СЛЕДСТВИЯ, МОНИТОРИНГ

Лепская Е.В.

Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Петропавловск-Камчатский,
lepskaya@list.ru

Первым документальным свидетельством вредоносного «цветения» водорослей (ВЦВ) или «красного прилива» у берегов Камчатки следует считать описание трагических последствий отравлений мидиями в бух. Павла (берег Корякского нагорья) в сентябре 1945 г., когда вся прибрежная акватория между мысами Наварин и Олюторский была покрыта коричнево-красными полосами (Лебедев, 1968). Однако первые научные исследования этого явления были проведены в 1973, 1974 гг., после того, как жители Петропавловска-Камчатского отравились мидиями, выловленными в Авачинской губе (восточное побережье Камчатки). В обоих случаях симптомы свидетельствовали об отравлении сакситоксином. Следующий этап изучения ВЦВ связан с именем Г.В. Коноваловой, которая в 1980–1990 гг. описала 17 организмов, вызывающих «красные приливы» у берегов Камчатки, среди них 7 видов потенциально опасных для человека (Коновалова, 1995). Новый виток исследований ВЦВ начался в 2020 г. после «цветения» в прикамчатских водах динофлагеллят рода *Karenia*, что привело к гибели прибрежных бентосных и придонных сообществ и нанесло вред здоровью некоторым дайверам и серфенгистам.

В настоящее время в прибрежных водах Камчатки зарегистрированы регулярные «цветения» отдельных видов диатомей, динофлагеллят, примнезиофитовых и инфузории *Myrionecta rubra*. Среди этого многообразия таксонов к группе вредоносных микроводорослей относятся диатомеи родов *Pseudo-nitzschia*, *Skeletonema*; динофлагелляты родов *Alexandrium*, *Dinophysis*, *Gonyaulax*, *Akashiwo*, *Karenia*, *Protoceratium*, *Protoperidinium*. В опытах с культурами показано, что камчатские линии *Pseudo-nitzschia delicatissima* и *P. pungens* активно синтезируют домоевую кислоту (Стоник и др., 2023). Вредоносное воздействие *Alexandrium catenella* (syn. *A. tamarense*) на здоровье человека известно для Камчатки с 1945 г. В 2017, 2023 гг. «цветение» *Alexandrium* отрицательно повлияло на промысел горбуши и заполнение ею нерестилищ в Олюторском заливе. Два случая отравления липофильными токсинами после употребления в пищу крабового мяса от животных, выловленных в Авачинской губе, зарегистрированы в ноябре 2023 г. Вредоносное воздействие *Karenia* – отмечено в октябре 2020 г. Гибель морских звезд и медуз в побережье Авачинской губы во время «цветения» *Skeletonema* – весной 2017 г, весной и летом 2023 г. Учитывая малонаселенность Камчатского края, следует признать, что это лишь незначительная часть возможных событий ВЦВ. Несмотря на то, что для представителей *Gonyaulax*, *Akashiwo*, *Protoceratium*, *Protoperidinium* случаи вредоносности в прикамчатских акваториях неизвестны, они включены в список объектов мониторинга КамчатНИРО в рамках Прикладных исследований, главной задачей которых является своевременное предупреждение населения о «цветениях» с возможным вредоносным эффектом.

В долгосрочной перспективе планируется определить региональные концентрации микроводорослей ВЦВ, при которых вероятен вредоносный эффект, определить сочетание гидрологических условий, когда «цветение» наиболее ожидаемо и т.д. «Цветение» *Karenia* в 2020 г. получило широкий общественный резонанс и стало

поводом для консолидации разносторонних академических исследований в рамках программы «Экологическая безопасность Камчатки».

ТОКСИЧНЫЕ ВИДЫ ФИТОПЛАНКТОНА В РЫБОВОДНЫХ СОЛОНОВАТЫХ ВОДОЕМАХ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Литвиненко Л.И., Зенкович П.А.

Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень,
litvinenkoli@gausz.ru

На территории юга Тюменской области имеется множество солоноватых озер, используемых для пастбищного выращивания рыбы. Некоторые из них регулярно или периодически становятся заморными. Для выяснения причин гибели рыб в летне-осеннее время были проведены исследования фитопланктона в 8 солоноватых водоемах ($\Sigma u=1,1-4,4$ г/дм³) в 1989–1995 гг. и в 2022 г. В составе фитопланктона исследуемых водоемов было обнаружено 203 таксона водорослей (28 – цианобактерий, 6 – золотистых, 7 – криптофитовых, 1 – динофитовых, 46 – диатомовых, 4 – желто-зеленых, 18 – эвгленовых, 93 – зеленых). Большинство видов относится к космополитам, истинно-планктонным, β -мезосапробам со смещением в β -олигосапробную зону, индифферентам с высокой долей показателей осолонения воды: галофилов и мезогалобов. Из встреченных видов выявлено 8 токсичных и 25 видов, токсичность которых до конца не выяснена, что составляло, соответственно, 4 и 12 % от всего состава обнаруженных водорослей. Из токсичных видов присутствовали зеленые: *Coelastrum microporum*; цианобактерии: *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis pulvereae*, *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Merismopedia tenuissima*, *Coelosphaerium kuetzingianum*, *Coelosphaerium dubium*; золотистые: *Prymnesium parvum*. «Цветению» воды способствовали лишь 4 токсичных вида: *Microcystis aeruginosa* при численности 623 млн кл./л и биомассе 41,0 мг/л (август 1994 г., оз. Сладкое), *Aphanizomenon flos-aquae* при численности 172 млн кл./л и биомассе 33,7 мг/л (август 1994 г., оз. Сладкое), *Coelosphaerium kuetzingianum* при численности 11,5 млн кл./л и биомассе 22,6 мг/л (октябрь 1995 г., оз. Сетово), золотистая – *Prymnesium parvum* при численности 149 млн кл./л и биомассе 27,7 мг/л (сентябрь 1989 г., оз. Глубокое), при численности 325,0 млн кл./л и биомассе 106,7 мг/л (октябрь 1991 г., оз. Сетово), при численности 30,6 млн кл./л и биомассе 9,0 мг/л (октябрь 1994 г., зимовальный пруд у оз. Сладкое).

Повторное исследование некоторых из этих водоемов в августе и сентябре 2022 г. показало незначительное присутствие в планктоне синезеленых: *Microcystis aeruginosa* ($N_{\max}=0,83$ млн кл./л и $B_{\max}=0,08$ мг/л), *Aphanizomenon flos-aquae* ($N_{\max}=0,55$ млн кл./л и $B_{\max}=0,03$ мг/л). Однако прибрежные скопления шириной 5–10 м, представленные густой темно-зеленой массой цианобактерий (*Synechocystis salina* и *Microcystis aeruginosa* f. *flos-aquae*), свидетельствуют о наличии такого цветения в июне–июле. Биомасса водорослей в этих скоплениях составила 480 мг/л. Отхода рыбы не наблюдалось. Токсичная золотистая водоросль *Prymnesium parvum* в озере встречалась единично, присутствие этой водоросли было зафиксировано только в живой пробе.

За весь период исследований биомасса фитопланктона была в основном в пределах 0,06–43,7 мг/л, что, возможно, является следствием высокой численности их потребителей – растительноядного зоопланктона, численность и биомасса которых

были в пределах 58–273 экз./л; 6,1–17,3 мг/л. Тем не менее в единичных случаях происходит неконтролируемый рост токсичных видов, приводящий к увеличению кислотности воды (до значений $pH=9,3$), увеличению кислорода в дневное время до 10,4 мгО₂/л и снижению в ночное. Все это в совокупности с действием токсинов водорослей приводит к гибели рыб. Вспышки токсичных разных групп водорослей, как правило, разведены во времени: в летние месяцы – цианобактерии, в осенние – золотистые.

ПРОКАРИОТИЧЕСКИЕ СООБЩЕСТВА ПРЕСНОВОДНЫХ МЕРОМИКТИЧЕСКИХ ОЗЕР СЕВЕРА РОССИИ

Ловдина Т.И.¹, Аксёнов А.С.^{1,2}, Воробьева Т.Я.¹

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, tanya.lovkina@yandex.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Архангельск

Меромиктические озера являются особым типом водоемов, так как в них практически отсутствует циркуляция воды между слоями различной минерализации, анаэробная зона сохраняется во все сезоны года. На переходном слое хемоклине протекают сложные биогеохимические превращения веществ и развиваются уникальные сообщества прокариот. Профилирование гена 16S рРНК позволило охарактеризовать микробные сообщества хемоклинов озер Светлое и Темное (Архангельская область).

Наряду со сходством в морфометрических показателях и наличием стратификации, изучаемые водоёмы имеют контрастные гидрохимические условия, связанные с особенностями водосбора. Влияние питания озёр хорошо прослеживается в значениях pH и окислительно – восстановительном потенциале. Более того, различные биогеохимические циклы озер формируют отличные прокариотические сообщества как по числу, так и по разнообразию.

В ходе проведенных исследований было получено филогенетическое распределения прокариот хемоклинов озер Темное и Светлое. Самым многочисленным бактериальным таксоном в хемоклине озера Светлое является класс *Cyanobacteriia*. В озере Темное содержание этого класса составляет менее 1 %, а самыми многочисленными являются представители *Actinobacteria*. Высокие концентрации класса *Actinobacteria* говорят о болотной природе воды озера, что логично в связи с заболоченностью водосбора. Аналогично обусловлено присутствие только в озере Темное классов *Acidobacteriia* и *Holophagae*. Свойственными только озеру Светлому являются классы бактерий *Acidimicrobiia*, *Actinobacteria*, *Bacilli*, *Campylobacteria*, *Chlorobia*, *Ignavibacteria*, *Saccharimonadia*. Археи в хемоклинах озер представлены отделом *Halobacterota*, при чем в Светлом их идентифицировано в 7,5 раз больше. Род *Methanosaeta* присутствует в обоих озерах, род *Methanoregula* обнаружен только в хемоклине озера Светлое.

Рассматривая микробные сообщества хемоклина меромиктических озер как естественные природные коллекции микроорганизмов следует особо отметить их пока не исследованный биотехнологический потенциал, что является актуальным вопросом в современном мире.

Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Комплексные исследования биотических и абиотических компонентов водных экосистем Субарктики и Арктики в условиях изменяющейся природной среды» ФНИР № 224021400330-5.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАКРОЗООБЕНТОСА В ОЗЕРАХ РАЗНОГО ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА

Макаревич О.А.

Белорусский государственный университет, г. Минск, lakes@bsu.by

На трех основных озерах Нарочанской группы постоянные мониторинговые наблюдения за макрозообентосом ведутся лабораторией гидроэкологии с 1997 г. Первое в цепочке Нарочанских озер оз. Баторино – эвтрофное, следующее оз. Мястро – мезотрофное и оз. Нарочь – олиготрофное. Озера соединены между собой протоками.

В озерах мы условно выделили три пояса: 1 – Литораль – прибрежное мелководье со слабо заиленными грунтами, иногда заросшее полупогруженными в воду макрофитами и не высокими зарослями погруженных в воду макрофитов. 2 – Сублитораль – зона с заиленными грунтами с возможным произрастанием высоких погруженных в воду макрофитов (как правило, до границы максимальной прозрачности водной массы по диску Секки). 3 – Профундаль – зона с илами, где не могут произрастать никакие макрофиты. В оз. Нарочь в силу хорошо развитой литорали и высокой прозрачности воды заросли макрофитов могут достигать до 8-метровой глубины. В оз. Мястро, вследствие более низкой прозрачности воды, редкие заросли макрофитов распространяются до глубины 4 м. А в оз. Баторино изреженные заросли с трудом достигают глубины ниже двух метров.

Средняя плотность поселения и биомасса бентоса в зоне литорали на оз. Нарочь (глубины от 0,1 до 2,0 м) была $8,26 \pm 2,79$ тыс. экз./м² и $21,56 \pm 10,46$ г/м², что составляло 68,04 % вклада от суммы численности и 38,85 % биомассы бентоса на всех глубинах; на оз. Мястро (глубины от 0,1 до 2,0 м) – $5,52 \pm 2,33$ тыс. экз./м² (72,73 %) и $30,04 \pm 21,86$ г/м² (70,27 %), а на оз. Баторино (глубины от 0,1 до 1,0 м) – $2,24 \pm 2,38$ тыс. экз./м² (74,09 %) и $6,02 \pm 4,17$ г/м² (64,20 %). В сублиторальной зоне на оз. Нарочь (глубины от 2,1 до 8,0 м) – $3,43 \pm 1,00$ тыс. экз./м² (28,31 %) и $31,62 \pm 10,40$ г/м² (56,96 %); на оз. Мястро (глубины от 2,1 до 4,0 м) – $1,36 \pm 1,62$ тыс. экз./м² (17,94 %) и $8,55 \pm 6,58$ г/м² (20,00 %); на оз. Баторино (глубины от 1,1 до 2,0 м) – $0,41 \pm 0,36$ тыс. экз./м² (13,71 %) и $1,45 \pm 1,33$ г/м² (15,46 %). На профундали в оз. Нарочь (глубины от 8,1 до 16,0 м) – $0,44 \pm 0,25$ тыс. экз./м² (3,65 %) и $2,33 \pm 1,46$ г/м² (4,19 %); в оз. Мястро (глубины от 4,1 до 11,0 м) – $0,71 \pm 0,51$ тыс. экз./м² (9,33 %) и $4,16 \pm 2,24$ г/м² (9,73 %), а на оз. Баторино (глубины от 2,1 до 5,0 м) – $0,37 \pm 0,19$ тыс. экз./м² (12,20 %) и $1,91 \pm 1,45$ г/м² (20,34 %) соответственно.

Литоральные и сублиторальные зоны являются наиболее благоприятными для обитания бентосных и фитофильных организмов в этих озерах. Песчаные заиленные грунты, покрытые зарослями полупогруженных и погруженных в воду макрофитов и харовых водорослей, населены различными видами беспозвоночных животных, превосходящими по обилию форм и плотности поселения бентос остальной бентали. Сублиторальная зона в оз. Нарочь является многонаселенной со значительными значениями биомассы организмов за счет большого количества моллюсков, ракообразных и различных личинок насекомых. В более трофных озерах Мястро и

Баторино, где в сублиторали не так развиты заросли макрофитов, этот пояс характеризуется не столь высокими количественными показателями развития бентоса. Самой мало заселенной бентосом зоной в озерах являются илы профундали. В оз. Нарочь преимущественно здесь обитают личинки хирономид, а в озерах Мястро, Баторино личинки хирономид и хаооборусов.

КОНСОРТИВНЫЕ СВЯЗИ МАКРОФИТОВ ПОЙМЕННЫХ УЧАСТКОВ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Малинина Ю.А.

Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Санкт-Петербург,
MJul@rambler.ru

В результате создания Волгоградского водохранилища возник ряд новых ландшафтных элементов, образующих обширную зону пойменных мелководий. По размерам мелководной зоны Волгоградское водохранилище занимает среднее положение в ряду водохранилищ волжского каскада (Нежиховский, 1990). На данных биотопах развивается водная растительность, являющаяся одним из источников первичного органического вещества и создающая нерестовый субстрат для фитофильных видов рыб. По мере старения водоема площадь зарослей значительно возросла. Увеличился и вклад макрофитов в процессы первичного продуцирования органического вещества (Сонина, 2012). Результаты многолетних наблюдений показали, что общее развитие растительности идет по пути разрастания зарослей гидрофитов, чему весьма способствует переменный уровень режим.

Исследования проводили в период максимальной вегетации высшей водной растительности на модельных участках Анисовской поймы, различающихся степенью проточности. В исследуемом биоценозе выделяли консорции, представляющие собой сочетания разнородных организмов, тесно связанных с определённым видом макрофита, который служит материальной базой, субстратом для питания и поселения её компонентов. В качестве детерминантов выбраны виды, встреченные на каждом из участков: из представителей воздушно-водной растительности – *Typha angustifolia* L, из погруженной – *Potamogeton perfoliatus* L.

В зоопланктонной компоненте сообщества рогоза узколистного по численности и биомассе доминировали *Mesocyclops oithonoides* (162,5 тыс. экз./м³, 2,4 г/м³), *Ceriodaphnia affinis* (131,0 тыс. экз./м³, 3,9 г/м³), *Acroperus harpae* (125,0 тыс. экз./м³, 1,3 г/м³). Из представителей меропланктона в массе отмечены Ostracoda (81,3 тыс. экз./м³, 10,4 г/м³).

В пробах зооперифитона рогоза отмечены личинки хирономид, амфиподы, кишечнополостные, брюхоногие моллюски р. *Lymnaea*, молодь двустворчатых моллюсков р. *Dreissena*. Доля трофических групп в сообществе снижалась в направлении альгофаги – детритофаги – хищники.

Беспозвоночные – обрастатели рдеста, представлены как типичные прикрепляющимися формами (гидры, мшанки), так и представителями фитофильной планктонной и бентосной фауны (раковинные амёбы, круглые и кольчатые черви, коловратки, кладоцеры и копеподы, личинки насекомых, моллюски). На всех исследованных участках встречены кишечнополостные, коловратки, олигохеты, кладоцеры, копеподы, хирономиды, гусеницы бабочек. Наибольших значений численности достигали олигохеты, кладоцеры, хирономиды. Доминирующими видами

зоопланктона зарослей рдеста пронзеннолистного являлись *Acroperus harpae* (62,2 тыс. экз./м³, 0,62 г/м³), *Simocephalus vetulus* (29,9 тыс. экз./м³, 0,9 г/м³) и *Eucyclops serrulatus* (36,1 тыс. экз./м³, 0,54 г/м³).

Наибольшим числом консортивных связей характеризовался рдест пронзеннолистный на среднепроточном пойменном участке, для которого характерен наиболее благоприятный гидролого-химический режим, где в меньшей степени сказывается воздействие ветровых и волновых процессов.

Количество консортивных связей рогоза было ниже и зависело не только от проточности участка, но и плотности стеблестояния.

О РАЗВИТИИ НЕКОТОРЫХ ИДЕЙ В.И. ВЕРНАДСКОГО О ГИДРОСФЕРЕ И ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Матишов Г.Г.¹, Криксунов Е.А.², Розенберг Г.С.³, Остроумов С.А.²

¹Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва,
ar55@yandex.ru

³Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, genarozenberg@yandex.ru

В.И. Вернадский (1863–1945) уделил внимание вопросам гидросферы в ряде публикаций, в том числе в книге «Биосфера» и других работах. Его идеи в этой области сохраняют актуальность и продолжают развиваться в трудах современных ученых. Отметим развитие идей В.И. Вернадского в связи со следующими тремя высокоактуальными научными темами.

(1) Влияние водных организмов на параметры окружающей среды. В.И. Вернадский всегда обращал внимание на тему существенного воздействия организмов на различные свойства биосферы, он говорил о том, что живое вещество меняет лик Земли. Водные организмы (иными словами, живое вещество гидросферы) не были в его научном видении исключением. В наши дни развитие исследований в этом направлении, получение новых фактов продолжается. Это находит свое выражение в накоплении новых научных данных о воздействии водных организмов на параметры, характеризующие качество воды. (2) В.И. Вернадский говорил о том, что человек становится геологическим фактором. Это положение в наши дни стало еще более ярко выраженным. Сейчас большое внимание уделяется изучению антропогенных воздействий человека на биосферу. Это полностью подтверждается и при изучении гидросферы. Важность исследований антропогенных факторов, влияющих на гидросферу, неоспорима, что иллюстрируется, например, все повышающейся актуальностью изучения загрязнения гидросферы – загрязнения как пресноводных, так и морских экосистем. Активность современных исследований загрязнения вод нарастает с каждым годом. Появились новые важные виды загрязнения водных систем – например, (а) загрязнение лекарственными веществами, (б) загрязнение микропластиком, (в) загрязнение радиоактивными веществами при авариях на АЭС, и др. (3) Один из видов антропогенных воздействий на гидросферу и биосферу в целом стал настолько важным, что их изучение требует выделения в отдельный пункт. Это группа воздействий на среду, которые нарастают настолько, что представляют угрозу климатической системе. Эта тема настолько сложна и практически важна, что исследования в этой области выделились в большую область науки. Исследуются антропогенные воздействия на термальный режим водных

экосистем, изучается роль водных экосистем в глобальных циклах углерода и воздействия антропогенных факторов на эту роль. Использование идей В.И. Вернадского при рассмотрении вышеуказанных проблем помогает провести более многосторонний, сбалансированный и эффективный междисциплинарный анализ.

Суммируя, отметим, что в данном докладе на примере трех важных научных вопросов иллюстрируется рост внимания современных ученых к идеям, высказанным В.И. Вернадским при его анализе гидросферы – которая является интегральной частью биосферы в целом. Можно прогнозировать, что и в будущем актуальность идей В.И. Вернадского будет еще более возрастать для ученых, работающих в области изучения гидросферы и водных экосистем.

ВЛИЯНИЕ ТОВАРНОГО РЫБОВОДСТВА НА ИХТИОФАУНУ ОЗЕРА СЯМОЗЕРО (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

**Милянчук Н.П., Стерлигова О.П., Ильмаст Н.В.,
Распутин Е.Н., Рекин Е.В.**

*Институт биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск,
milyanchuk90@mail.ru*

Озеро Сямозеро – крупный рыбхозийственный водоем южной Карелии, принадлежит к бассейну Онежского озера. Влияние деятельности форелевой фермы в водоеме выражается в увеличении концентрации биогенных веществ, что приводит к усилению процессов эвтрофирования. Источником этих веществ являются корм и продукты метаболизма рыб. Результаты исследований показывают, что в районе размещения форелевых садковых линий в Сямозере рыбное население представлено главным образом весеннерестующими карповыми и окуневыми видами (более 90 %). Установлены существенные различия в биомассе скоплений рыб в зависимости от расположения фермы. Непрерывно поступающий доступный корм с рыбководной фермы является основной причиной формирования скоплений рыб у садков. Отмечено, что линейный и весовой темп роста рыб у садков значительно выше, чем в отдаленных участках исследуемого водоема. Это связано с дополнительным питанием рыб в основном остатками форелевого корма, вымываемого из садков. В целом функционирование форелевого хозяйства оказывает влияние на гидрохимический, гидробиологический режим и рыбное население Сямозера, предпочтение получают рыбы с весенним нерестом.

БИОГЕОХИМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА И СНИЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ: ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЛИ ЭВОЛЮЦИЯ?

Моисеенко Т.И.

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва,
moiseenko.ti@gmail.com*

Под воздействием антропогенной деятельности происходят изменения биогеохимических циклов в региональном и глобальном масштабах. Вовлеченные в

биогеохимический круговорот биогенные и токсичные элементы из антропогенных источников изменяют условия жизни органического мира и его биоразнообразие. Предсказанное В.И. Вернадским изменение законов природы под влиянием человеческой деятельности проявятся в возникновении адаптаций организмов и эволюционных процессов в популяциях животных и экосистем.

Исследование малых арктических озер Кольского Севера выявили изменения их биогеохимического статуса в период с 1990–2023 гг., как ответ на снижение выпадений кислот от медно-никелевых производств и потепление климата. Восстановилась кислотонейтрализующая способность вод озер (ANC), снизилось содержание сульфатов и металлов. Изменился режим биогенных элементов: наблюдается нарастание органического углерода, содержания фосфора и азота и снижение концентраций кремния. Резко снизилось количество олиготрофных озёр в тундре и в районах северной тайги. Полученные результаты свидетельствуют о необратимом повышении трофического статуса малых озер.

Озеро Имандра, в прошлом интенсивно загрязняемый водоем тяжелыми металлами, является уникальной моделью для исследования физиологических ре-адаптаций рыб и развития экосистем в условиях снижения поступления металлов. Продолжительное воздействие металлов в период высокой токсичности на популяцию обитающих здесь сигов сформировало у них механизмы контроля гомеостаза металлов в организме, а также компенсаторные реакции на нарушенные функции, позволяя рыбам выжить и выдерживать воздействия высоких концентраций в прошлом. Доказано повышение эффективности работы антиоксидантных систем организма, как основного эволюционного механизма защиты организма. Изменчивость экосистем характеризуется изменением структуры и функций вследствие гибели или снижения численности уязвимых видов к загрязнению и выживанию наиболее устойчивых. Исходя из экологической теории и термодинамических законов упорядочения вещества в биологических системах, ведущим механизмом стабильности модифицированной экосистемы являются новые свойства и устойчивость биогеохимических циклов, которые препятствуют «возврату» к природным показателям. Вследствие нарушения линейности процессов небольшая ошибка в передаче энергии усиливаются итерациями так, что результат через некоторое число итераций в биологических системах практически непредсказуем. К таким ошибкам можно отнести «сбои» в воспроизводстве популяций или функционировании экосистем в условиях загрязнения, поэтому направленность и скорость эволюционного процесса в современной биосфере являются неопределенными (на современном уровне знаний). В ряде последних работ поднимается вопрос – возможно ли восстановление природных систем или будет ли происходить дальнейшая необратимая изменчивость (эволюция)? Приводятся примеры, что развитие новой модификации экосистемы после снижения токсичного загрязнения согласуются с закономерностями сукцессий экосистем: от природной через критическую стадию к более стабильной ее модификации, но отличной по структуре от природной. Поэтому, термин «восстановление экосистем» в данном случае нельзя отождествлять с понятием возвращения к природному состоянию, скорее он может трактоваться – как эволюция экосистемы в новое устойчивое состояние.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (№ 22-17-00061).

РЫБНОЕ НАСЕЛЕНИЕ КАК ИНДИКАТОР СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ПОЙМЕННЫХ ВОДОЁМОВ Р. ХОПЕР

Осипов В.В.^{1,2}, Башинский И.В.³

¹ФГБУ «Государственный природный заповедник «Приволжская лесостепь»,
г. Пенза, osipovv@mail.ru

²Саратовский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Саратов

³Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва,
ivbash@mail.ru

Целью нашего исследования стала оценка состояния систем пойменных водоемов с помощью различных характеристик ихтиофауны. В среде QGIS на основе анализа общедоступных спутниковых снимков была проведена инвентаризация и создана база данных пойменных водоемов верховьев р. Хопёр. Далее были выбраны и обследованы 6 скоплений стариц, с общей выборкой 36 водоемов. Многомерный анализ основных факторов среды по методу главных компонент подтвердил разнообразие выбранных скоплений, каждое из которых отличалось своими условиями. Были выделены четыре основные группы скоплений: стабильные, глубокие и связанные водоемы; пересыхающие, но не потерявшие связь с рекой; изолированные пересыхающие и зарастающие водоемы, с высокой температурой и низким насыщением кислородом; стабильные и крупные мозаичные водоемы, отдаленные от реки.

По результатам наших исследований в исследованных пойменных водоемах обнаружено обитание 10 видов рыб. Наиболее часто в уловах встречались золотой карась (36,1 %), серебряный карась (25,0 %), верховка (19,4 %). Видовое сходство разных систем водоемов было относительно низким. Максимальное сходство по индексу Жаккара ($J=0,6$) обнаружено для двух скоплений. Почти в каждом из рассмотренных скоплений водоемов по численности доминировали разные виды – золотой карась, серебряный карась, вьюн, ротан, горчак. Доля водоемов без рыб составляла 25 %, лишь в двух скоплениях рыба обнаружена во всех обследованных водоемах. Наши данные показали, что при мониторинговых исследованиях нужно учитывать не столько видовой состав, сколько разнообразие доминирующих видов рыб. В разных скоплениях водоемов явно выделялись виды, которые имели большую численность или встречаемость. Наличие таких различий подтверждает возможность использования рыбы в качестве индикатора состояния скоплений водоемов. При быстрых оценках состояния экосистем, сложно установить полный видовой состав ихтиофауны, разные типы водоемов требуют разных методов, некоторые виды рыб специализированных орудий лова. Установить же доминирующий вид можно по предварительным исследованиям или при проведении анкетирования населения. Кроме того, наше исследование показало, что по сравнению с α - и γ -разнообразием, изменение β -разнообразие рыб свидетельствует об изменении большего числа факторов. В частности, однообразные схожие рыбные сообщества появляются при снижении весеннего уровня воды в пойме и зарастании водоемов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 23-24-00018).

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ КОРРЕКЦИИ АЛЬГОЦЕНОЗОВ С ПОМОЩЬЮ ХЛОРЕЛЛЫ: ПРЕДЫСТОРИЯ ВОПРОСА И СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

**Павлюк Т.Е., Попов А.Н., Ушакова О.С.,
Мухутдинов В.Ф., Падалка А.А.**

Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, г. Екатеринбург, T.Pavluk@mail.ru

Проведен анализ теоретических и практических материалов по изучению последствий активного продвижения метода коррекции альгоценозов водоемов, с помощью интродукции широкого спектра штаммов водоросли хлореллы. Приведен обзор наиболее известных случаев попыток реабилитации проблемных водоемов, улучшения их экологического состояния по данной технологии, рассмотрены ошибки, заблуждения и намеренные искажения фактов представителями агроиндустрии, продвигающими идею реабилитации водоемов путем коррекции природных альгоценозов.

К настоящему времени накоплено большое количество аргументов против бездумного проведения так называемой «альголизации»: отсутствие подобного направления в современной биотехнологии микроводорослей, нулевые или даже отрицательные результаты воздействия метода на водоемы, отсутствие прописанной и апробированной методики, неправомерность выводов в связи с ошибочностью применяемой сотрудниками ряда профильных компаний (например, ООО НПО «Альгобиотехнология», ООО «Альготек») методологии проведения исследования, непредсказуемость и неясность отдаленных последствий для подвергающихся данной операции водных объектов. Все это ставит под сомнение сам принцип, рационально сформулированный как конкуренция видов, но так и не получивший научного обоснования и подтверждения, в частном случае для широкого спектра штаммов хлореллы, рекомендуемых к использованию авторами идеи «альголизации».

В результате установлении конкурентных качеств зеленой водоросли хлореллы по отношению к цианобактериям и другим возбудителям «цветения» воды сотрудниками ФГБУ РосНИИВХ и других научно-исследовательских институтов было получено научное подтверждение ошибочности утверждений о возможности использования хлореллы как способа биоманипуляции в борьбе с «цветением» воды в природных водоемах. Предлагаемый метод по подавлению «цветения» в водоемах является бесполезным, неэффективным и несет санитарные риски.

Учитывая совокупность полученных фактов можно утверждать, что в поиске «уникальных» свойств штамма хлореллы *Chlorella vulgaris* BIN в борьбе с «цветением» водоемов следует обозначить четкую позицию – данная водоросль по своей экологии не имеет иного механизма для конкурентной борьбы с другими видами альгоценоза, кроме как высокая начальная скорость роста популяции в благоприятных условиях среды (монокультура *invitro*), то дальнейшее проведение исследовательских работ бессмысленно и будет носить лишь сугубо академический характер.

Кроме того, опыты по секвенированию генома штаммов хлореллы привели ряд исследователей к заключению о том, что фактически мы имеем дело не с родом *Chlorella*, а с другими водорослями. Так, по рибосомным генам (5,8S, 28S, 18S) и ITS-

регионам он имеет наибольшее сходство с *Pseudochlorella pringsheimii*, а по 5S рРНК, 16S рРНК хлоропластов и митохондрий и гену *rbcL* он наиболее близок с видом *Chlorella sorokiniana* (98-100%). Имеется информация о том, что другой штамм *Chlorella vulgaris* ИФР С-111 по факту, после полного геномного анализа, оказался близким к виду *Planktochlorella nurekis*. Полученные данные свидетельствуют о том, что *Chlorella vulgaris* BIN и *Chlorella vulgaris* ИФР С-111 должны быть переопределены, вероятно являются новыми видами не рода *Chlorella*.

Еще раз хотелось бы акцентировать внимание на том, что «альголизация» в современной гидробиологии не имеет научного обоснования, фактического подтверждения (за исключением самих разработчиков!!!). Далее везде и повсеместно впредь предлагаем упоминать данный метод только в историческом контексте, изъясая из перечня методов по борьбе с «цветением воды» синезелеными водорослями (цианобактериями), как противоречащий экосистемному подходу в водохозяйственной деятельности.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ КАМЧАТСКОГО КРАБА В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Переладов М.В.

ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва, pereladov@vniro.ru

Ареал камчатского краба в Японском море располагается в Северной его части, преимущественно на акватории Татарского пролива, а также у западных берегов острова Хоккайдо. На этой акватории в водах Российской Федерации выделяются несколько группировок камчатского краба: в Южном Приморье, на Севере Татарского пролива и у Юго-Западного Сахалина.

Анализ динамики численности этих группировок за период с 1990-х по 2020-е годы показывает многолетнюю цикличность роста их численности с последующим падением. Для Юго-Западного Сахалина резкий рост численности отмечен в 1990-х годах и повторяется с конца 2010-х годов по настоящее время. На севере Татарского пролива – в 2000-х годах, а на юге Приморье в 2010-х годах. То есть асинхронно с определённым лагом во времени и пространстве. По мере роста численности особей промыслового размера эти группировки активно облавливались, что приводило к резкому снижению запаса и запрету промысла.

В качестве рабочей гипотезы, объясняющей эту динамику, рассмотрена роль периодических флуктуаций северной ветки Цусимского течения, которое обеспечивает перенос планктонных личинок камчатского краба от одного нерестилища к другому.

Известно, что цикл Цусимского течения имеет средний период в 9 лет. При этом проникновение его струй на Север зависит от конфигурации «холодного пятна Макарова» в заливе Анива Охотского моря.

Дополнительным тезисом данной гипотезы принимается наличие дискретных по биотопическим признакам центров воспроизводства камчатского краба, где оседающие планктонные личинки могут развиваться до стадии жизнестойкой молоди. Такие центры воспроизводства располагаются в заливе Петра Великого, у берегов Юго-западного Сахалина и на северо-западном берегу Татарского пролива. А также, по всей видимости, у западного берега острова Хоккайдо.

В зависимости от сочетания течений происходит периодический занос личинок камчатского краба из южных частей ареала в район либо юго-западного Сахалина, либо

в северную часть Татарского пролива, где и происходит формирование урожайного поколения. В дальнейшем юго-западное скопление пополняет личинками северное, а то, в свою очередь – приморское.

После достижения промыслового размера каждое из скоплений подвергается промысловой и/или естественной элиминации по мере старения.

Предлагаемая схема флуктуации промысловых скоплений с некоторыми модификациями также может быть применена к популяциям четырёхугольного волосатого краба и гребенчатой креветки, в многолетней динамике численности и распределения которых отмечены аналогичные закономерности.

Для проверки данной гипотезы необходимо провести ретроспективный анализ динамики климатических и гидрологических данных, определявших формирование течений и переноса соответствующих водных масс в периоды нереста и формирования планктонного пула личинок промысловых гидробионтов в северной части Японского моря.

Следует отметить также, что предлагаемая гипотеза актуальна только для климатической эпохи меридионального переноса воздушных масс и сопряжённых с ними геострофических течений, которая началась в 80-е годы прошлого века и в настоящий момент заканчивается.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗИДЕНТНОГО И МИГРАЦИОННОГО БИОТОПОВ ЛИЧИНОК РЕЧНОЙ МИНОГИ *LAMPETRA FLUVIATILIS*

Полякова Н.В., Кучерявый А.В.

*Институт проблем эволюции и экологии им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва,
nvpnataly@yandex.ru*

Личиночный период у миног продолжается в среднем 4–6 лет, и основную массу времени пескоройки проводят в грунте, и только в определенные сезоны, главным образом, в темное время суток выходят в толщу воды. Сезонным пиком миграций является период весеннего половодья (Звездин, 2022). По аналогии с миграциями молоди рыб в ночное время, стационарное местообитание в грунте можно считать резидентным биотопом, а толщу воды – миграционным (Павлов и др., 2019, 2020).

Целью работы было выявить различия основных гидрохимических показателей толщи воды и водного слоя, в котором обитают личинки в различное время года.

В 2022–2023 гг. проведён комплексный анализ по 13 химическим показателям. Исследования проводили в типичных местообитаниях личинок речной *Lampetra fluviatilis* на четырёх реках Ленинградской области. Реки Чёрная и Серебристая заселены, главным образом, анадромной формой миноги; Серебристая и Каменка – резидентной. Эти реки отличаются по некоторым гидрологическим показателям. Пробы для анализа отбирали в толще воды и с поверхности грунта, захватывая его верхний слой. Воду из резидентного биотопа проливали через сито 0,5 мм для устранения крупных частиц.

Показано, что существуют достоверные отличия между стационарными и миграционными биотопами практически по всем исследованным параметрам. Основными определяющими эти различия были четыре компонента. В резидентных биотопах содержание (мг/дм) нитритов составляло в среднем $0,14 \pm 0,02$, общего железа – $8,95 \pm 1,69$, сульфатов – $34,4 \pm 2,9$, марганца – $0,74 \pm 0,16$. В миграционных биотопах

данные показатели были существенно ниже. Среднее содержание нитритов составляло $0,05 \pm 0,02$, общего железа – $1,59 \pm 0,18$, сульфатов – $19,84 \pm 1,58$ и марганца – $0,08 \pm 0,02$. В придонном слое воды ожидаемо отмечены более высокие показатели мутности и цветности.

Сезонные изменения химических показателей проявляются, главным образом, в изменении значений величины перманганатной окисляемости, которая колебалась в резидентных биотопах от 5,12 до 70,40 мг/дм, а в миграционных – от 2,88 до 57,6 мг/дм. Наименьшие различия между биотопами по исследованным параметрам отмечены в период половодья.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант номер 19-14-00015-П.

ЗЕЛЕННЫЕ НИТЧАТЫЕ ВОДОРОСЛИ *CLADOPHORA* SPP. В ГИПЕРСОЛЕННЫХ ВОДОЕМАХ: ЭКОСИСТЕМНЫЕ ИНЖЕНЕРЫ И ЦЕННЫЕ РЕСУРСЫ

Празукин А.В., Шадрин Н.В., Фирсов Ю.К., Ануфриева Е.В., Гассиев Д.Д.

ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, prazukin@mail.ru

Род *Cladophora* Kützinger, 1843 – один из крупнейших родов зеленых водорослей, представители которого встречаются во всех водоемах мира: пресноводных, морских и гиперсоленых, где они играют важную функциональную роль в круговороте элементов и продуктивности. Кладофора может образовывать различные типы матов, которые представляют собой очень сложные системы, включающие в себя эпилбионтные организмы (бактерии, микроводоросли, инфузории), а также свободноживущие простейшие и животные. Доля эпифитных микроводорослей может достигать до 67 % от общей водорослевой массы матов *Cladophora*, и они являются важным компонентом рациона беспозвоночных, населяющих эти маты. Кладофоровые маты влияют на водную среду, изменяя скорость испарения, температурный режим, распределение солнечной радиации, содержание кислорода, характеристик pH, Eh и др. Поэтому кладофора может рассматриваться как экосистемный инженер. Кладофора имеет способность к ангидробиозу. В экспериментах кладофора, высушенная в течение 12 часов в сушильном шкафу при температуре 45 °C после возвращения ее через 30 суток в водную среду, восстанавливала нормальную жизнедеятельность. Кладофора имеет более высокую продуктивность, чем наземные растения и другие макроводоросли. Сезонные вспышки массового развития кладофоры представляет собой повсеместное явление в морских и внутренних водоемах с негативными последствиями для природных экосистем и различной деятельности человека. В этой ситуации чаще всего кладофора несправедливо рассматривается как сорная «трава», с которой надо бороться, удалять ее биомассу из водоемов, не задумываясь о ее использовании. Тогда как биомасса кладофоры содержит большое разнообразие ценных химических соединений. Разные виды водорослей специфичны по химическому составу и, в первую очередь, по составу вторичных метаболитов, что в первую очередь связано с особенностями условий их непосредственного обитания. Всё это при сочетании с избыточной биомассой кладофоры в водоёмах делает её неограниченным, дешевым и ценным ресурсом для медицины, фармакологии, сельского хозяйства с высокой пользой для экономики и окружающей среды. При этом она остаётся крайне недооцененным ценным ресурсом, особенно кладофора соленых и

гиперсоленых водоёмов, где ее продукция огромна. Биомасса кладофоры присутствует в повседневном рационе человека и животных во многих странах Азии. Препараты, полученные из биомассы кладофоры широко используются при лечении таких заболеваний как гипертония, сахарный диабет, рак, заболевания кожи и нервной системы и многих других. В сельском хозяйстве кладофора применяется в качестве многоцелевой кормовой добавки водным и наземным животным, используется в получении удобрений и регуляторов роста растений и животных. В промышленности, как ценный ресурс для получения наноцеллюлозы, которая используется в разных сферах деятельности человека.

В докладе, используя собственный многолетний опыт с опорой на современную мировую литературу, авторы рассматривают вышеизложенный спектр экологических и социальных проблем и возможностей, связанных с кладофорой как экологически важным объектом, так и ресурсом с добавленной стоимостью в медицине, сельском хозяйстве и промышленности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-66-00001.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СУШИ В СВЕТЕ КОНЕПЦИИ СУБКЛИМАКСОВ

Прокин А.А.

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, prokina@mail.ru

С.М. Разумовский (1981) и И.А. Жирков (2010) описали 4 типа "субклимаксов" (рецидивный, ретардиционный, диаспорический и биотопический, различающиеся по механизмам возникновения), которые сохраняют стабильность до тех пор, пока не будет устранено вызвавшее их экзогенное воздействие. В.В. Жерихин (1993) писал, что регулярно повторяющиеся нарушения способны стабилизировать сообщество за счет изъятия из оборота экосистемы избыточных и/или приноса недовосполняемых ее биогеохимическим циклом веществ.

Примером такой стабилизации служат сообщества макрозообентоса пойменных озер, зависящие от продолжительности весеннего половодья; фитофильные и донные сообщества макробеспозвоночных литорали водохранилищ и озер, находящиеся под постоянным воздействием волнового перемешивания водных масс. В целом, полнота сукцессионной системы эвтрофного типа лимногенеза в разных природных зонах Евразии определяется ландшафтными фильтрами. На севере усекаются эвтрофные части сукцессий в озерной и болотной частях сукцессионной сети, на юге – олиготрофные.

Усечение сукцессий наблюдается во временном и пространственном развитии лотических экосистем, в которых, по сравнению с водоемами и болотами, большее значение имеют экзогенные факторы и смены. Экосистема любого водотока сочетает в себе черты ретардиционного и рецидивного субклимаксов. Верхние участки в большей степени близки к ситуации первого, нижние – второго. В случае устьевых областей равнинного Рыбинского водохранилища рецидивный субклимакс является антропогенно-стабилизированным, так как уровень водохранилища с сезонным типом регулирования определяет протяженность зоны выклинивания подпора его вод, а, следовательно, и размеры устьевых областей. Каскад Волжских водохранилищ в целом также можно считать антропогенно-стабилизированным рецидивным субклимаксом.

"Бобровые" реки можно охарактеризовать как зоогенно-стабилизированный рецидивный субклимакс. С появлением бобровых запруд градиент сообществ макрозообентоса переходит от состояния речного континуума, в новое, которое лучше описывается с позиций Концепции динамики пятен.

Проявление краевого эффекта в сообществах макрозообентоса связано с теми из границ лотических экосистем, где наблюдается дотация детрита и сестона в сохраняющихся условиях проточности. Примерами служат участки рек ниже плотин бобровых рек и водохранилищ, нижние границы переходной зоны приемника узлов слияния малых и средних равнинных рек. В устьевой области водохранилища краевого эффект наблюдается в сообществах фронтальной зоны, где экосистема, формирующаяся в условиях смешения вод реки и водохранилища, стабилизирована двумя факторами – течением и регуляцией уровня.

В пойменных озерах видовое богатство, численность и биомасса сообществ растут с увеличением продолжительности весеннего половодья, повышается разнообразие и гомогенизация на уровне их состава и структуры, что свидетельствует об увеличении устойчивости.

Таким образом, различные варианты постоянных и периодических нарушений, которые описаны как "субклимаксы", имеют важное значение для формирования сообществ макробеспозвоночных и позволяют анализировать данные в связи с особенностями сукцессионного процесса в водных экосистемах.

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема 121051100109-1). Автор благодарит А.В. Крылова, Д.Г. Селезнева, А.И. Цветкова и Н.Н. Жгарёву (ИБВВ РАН) за помощь в проведении исследований и консультации.

МНОГОЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА МАЛОГО МЕЛКОВОДНОГО ОЗЕРА НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ – «КЛИМАТ-КОНТРОЛЬ»

Рижинашвили А.Л.

*Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, г. Москва,
railway-ecology@yandex.ru*

Проблема климатически обусловленных колебаний продуктивности лимноэкосистем стала темой многочисленных публикаций примерно с 1990-х гг. Вполне традиционно утверждение, что увеличение температуры воздуха в последние несколько десятилетий приводит к росту количества и продолжительности эпизодов «цветения» воды. Однако ошибочно полагать, что гидробиологи и лимнологи ранее никогда не задумывались о том, как погодные колебания оказывают влияние на фитопланктон. Исследования подобного плана выполнялись еще на рубеже XIX–XX вв., причем уже в то время в качестве основного фактора развития водорослей указывалась температура воды и воздуха. Вместе с тем, некоторые исследователи первой четверти XX века считали, что на фитопланктон действует не только температура, но и сумма осадков. Интересно, что действие осадков рассматривалось как не прямое, а через азотсодержащие вещества (главным образом, нитраты), которые вымываются из почв водосбора и служат своеобразным незапланированным удобрением для микроводорослей. К середине XX века вполне сформировалось представление о том, что на водные экосистемы основное воздействие оказывают биогенные элементы (особенно фосфор).

Существенно важно, что до сих пор вопрос о преимущественном влиянии тех или иных факторов на фитопланктон водоемов (причем в мировом масштабе) так и не решен окончательно. Причем наблюдаемые тенденции в содержании хлорофилла разноречивы: то отмечается увеличение его концентрации, то снижение. Непонятно, какова относительная роль основных метеорологических элементов – температуры и осадков в динамике хлорофилла и фитопланктона. Гидробиологи отмечают статистическую слабость имеющихся моделей, которые объясняют весьма небольшой процент дисперсии концентрации хлорофилла.

Для ответа на эти вопросы были проведены многолетние (2015–2023 гг.) исследования содержания хлорофилла «а» в воде литорали малого мелководного озера Гупуярви, расположенного на Северо-Западе Европейской России. Выбор именно этого озера в качестве модельного был обусловлен его автохтонным режимом (величина удельного водосбора 7,71) и замедленным водообменом (период водообмена 5,31). В ходе исследования выявлено, что увеличение концентрации хлорофилла «а» в литорали малого мелководного озера носит немонотонный, прерывистый характер. Общий временной ход содержания данного пигмента может быть подразделен на периоды. В каждом из этих периодов концентрация хлорофилла сначала плавно, а затем скачкообразно, увеличивается. Скачок соответствует переходу от мезотрофного к эвтрофному статусу. Наличие этих периодов обусловлено климатическими процессами, происходящими незадолго до начала вегетационного процесса – в марте. Температура и осадки действуют на фитопланктон в разных временных масштабах. Осадки определяют 4–5-годовой период динамики хлорофилла. То есть, способствуют разделению временного ряда на периоды, динамика внутри которых определяется уже температурой, чередованием теплых и холодных лет. Центральная тенденция в содержании хлорофилла по годам определяется температурой, тогда как осадки являются «переключателем» периодов и регулятором отдельных лет наблюдений. Таким образом, впервые получает свое объяснение противоречивость имеющихся данных об относительной роли температуры и осадков в динамике хлорофилла.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И СУТОЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ ИКРЫ МИНТАЯ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ РАЗВИТИЯ ПО ШКАЛАМ Т.С. РАССА И Д.М. БЛАД

Саушкина Д.Я.¹, Варкентин А.И.¹, Тепнин О.Б.¹, Зимин А.В.²

¹*Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Петропавловск-Камчатский,
melnik.d.y@kamniro.ru*

²*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

Икорные съемки – один из основных способов изучения воспроизводства и оценки численности производителей минтая *Gadus chalcogrammus* Pallas, 1814. В прикамчатских водах их регулярно выполняют с 1970-х гг. Вертикальные обловы проводят сетью ИКС-80 в сроки, близкие к пику нереста. Стадии развития икры определяют по 4-бальной шкале Т.С. Рассы (1933), адаптированной для минтая Н.Н. Горбуновой (1954). По распределению икры на I стадии развития определяют районы икрометания минтая. При этом следует учитывать, что при общей продолжительности эмбриогенеза, равной 30–40 сут., длительность I стадии составляет 5–7 сут. За это время икра может переноситься течениями в районы, где на неё могут воздействовать неблагоприятные факторы внешней среды, что приводит к её естественной гибели. В конечном итоге это отражается на распределении эмбрионов и оценках продукции. Для

определения возраста существует также более дробная 21-бальная шкала Д.М. Блад с соавт. (1994), согласно которой первые 8 стадий соответствуют I стадии по Т.С. Рассу, а продолжительность стадий 1–5 составляет около 1 сут.

Цель работы – по результатам ихтиопланктонной съемки, выполненной в апреле 2023 г. в Авачинском заливе – одном из центров воспроизводства восточнокамчатской популяции минтая, сравнить распределение икры начальной стадии развития (I стадия – по шкале Т.С. Рассы, 1–5 стадии – по шкале Д.М. Блад), оценки суточной продукции.

Наибольшие уловы икры минтая на I стадии зарегистрированы в глубоководных каньонах в центральной части залива и на шельфе – в северной. Распределение эмбрионов на стадиях 1–5 имело мозаичный характер, а наибольшие концентрации отмечены над глубоководными каньонами. Учитывая возраст эмбрионов на I стадии, очевидно, что часть икры переносится течениями.

По результатам послонных обловов в «Северном» каньоне наибольшие концентрации икры на I стадии зафиксированы в слое 300–400 м, а на стадиях 1–5 – 200–300 м.

Количество учтенной икры на I стадии составило $3,998 \times 10^{12}$ шт. При средней температуре воды $0,56^\circ\text{C}$ продолжительность эмбриогенеза равна 30,3 сут., в т.ч. начальной стадии – 5,1 сут. Соответственно, суточная продукция составила $0,777 \times 10^{12}$ икр. Суммарное количество икры на стадиях 1–5 равно $0,246 \times 10^{12}$ икр.

Таким образом, результаты исследований демонстрируют существенные различия в распределении, оценках суточной продукции начальных стадий развития эмбрионов при использовании шкал Т.С. Рассы и Д.М. Блад. Для разработки рекомендаций по переходу на определение возраста икры минтая по второй шкале требуется продолжение исследований в этом направлении.

Исследование в части анализа данных выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-17-00174 (<https://rscf.ru/project/23-17-00174/>).

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ЗООПЛАНКТОНА В ОЗЕРАХ РАЗНОГО ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА (НА ПРИМЕРЕ НАРОЧАНСКИХ ОЗЕР, РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ)

Селивончик И.Н.

Белорусский государственный университет, г. Минск, Selivonchik@bsu.by

Нарочанские озера представляют собой систему из трех водоемов разной трофности, имеющих общую водосборную территорию и соединенных между собой протоками. Начальное в цепи озер – оз. Баторино (эвтрофный водоем), оз. Мястро (мезотрофный), оз. Нарочь (олиго-мезотрофное). Ежегодно на озерах ведется мониторинг гидроэкологических показателей, в том числе, зоопланктона.

За период исследования с 2021 по 2023 г. в видовом составе Нарочанских озер отмечено 64 вида (26 – ветвистоусых, 10 – веслоногих ракообразных и 28 коловраток). На протяжении сезона из веслоногих ракообразных численно преобладали виды на ранних стадиях развития, взрослые формы *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg, 1888), *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857), *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863). В весенний и осенний периоды присутствовал *Cyclops kolensis* (Lilljeborg, 1901), в осенний – *C. strenuus* (Fischer, 1851). В оз. Нарочь в летний период был отмечен *Heterocope appendiculata* (Sars, 1863). В озерах Мястро и Баторино в осенний период встречался *C. vicinus* (Uljanin, 1875). Из ветвистоусых ракообразных в озерах в летний

период преобладали *Daphnia cristata* (Sars, 1862), *D. cucullata* (Sars, 1862), *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin, 1848), в озерах Мястро и Баторино в осенний период получили развитие *Bosmina thersites* (Poppe, 1887), *B. crassicornis* (P.E. Müller, 1867), *B. longispina* (Leydig, 1860) и *B. longirostris* (O.F. Müller, 1785). Вспышки в развитии коловраток *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879) и *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851) наблюдались в весенний период в озерах Мястро и Баторино, до начала осени во всех озерах наблюдалось массовое развитие коловраток *Conochilus unicornis* (Rousselet, 1892).

Для сезонной динамики развития зоопланктона озер были характерны межгодовые вариации, наблюдалось от одного до трех подъемов численности. Максимумы численности и биомассы часто совпадали, но наблюдались и запаздывания подъемов биомассы зоопланктона относительно численности. В сезонной динамике развития зоопланктона не отмечено прямой связи с трофическим статусом озер. С повышением трофности озер общая биомасса зоопланктона возрастала.

По усредненным данным в оз. Нарочь подъемы численности зоопланктона наблюдались в июне и августе ($125,3 \pm 80,5$ и $119,6 \pm 52,5$ тыс. экз./м³ соответственно), главным образом, за счет развития мелких коловраток (*C. unicornis*, *K. longispina*) и веслоногих ракообразных на разных стадиях развития. Биомасса достигала максимума в августе – $2,24 \pm 0,75$ г/м³, ее создавали ветвистоусые ракообразные: *D. cucullata* и *D. brachyurum*. В оз. Мястро высокая численность и биомасса были отмечены в начале сезона ($232,2 \pm 97,8$ тыс. экз./м³ и $3,12 \pm 1,85$ г/м³ соответственно) и в августе ($277,6 \pm 47,4$ тыс. экз./м³ и $3,54 \pm 1,69$ г/м³ соответственно). В весенний период численность создавали веслоногие ракообразные и коловратки (*C. unicornis*, *K. longispina*). В летний период – веслоногие ракообразные, ветвистоусые ракообразные (*B. longirostris*, *B. crassicornis* (P.E. Müller, 1867), *D. brachyurum*) и коловратки (*C. unicornis*, *K. longispina*, *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851) и представители р. *Polyarthra*). В оз. Баторино максимальная численность наблюдалась в начале сезона ($519,4 \pm 50,9$ тыс. экз./м³), в составе отмечались вспышки мелких форм *B. longirostris*, биомасса в июне – $6,00 \pm 3,00$ г/м³. Биомассу в озерах Мястро и Баторино создавали, в основном, ракообразные.

СОСТАВ ФАУНЫ, ЕЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ТРОФИЧЕСКИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ В РАЙОНАХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ, ГАЗОГИДРАТНЫХ И НЕФТЕГАЗОВЫХ ВЫХОДОВ ОЗ. БАЙКАЛ

Ситникова Т.Я.¹, Наумова Т.В.¹, Сиделева В.Г.^{2, 1}, Тетерина В.И.¹,
Максимова Н.В.¹, Кияшко С.И.³, Механикова И.В.¹, Хлыстов О.М.¹,
Черницына С.¹, Кучер К.М.¹, Земская Т.И.¹

¹Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, sit@lin.irk.ru

²Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург, vsideleva@gmail.com

³Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского,
г. Владивосток, skiyasko@mail.ru

Озеро Байкал отличается от других древних озер мира (Охрид, Бива, Танганьика, Малави, Титикака) наличием истинной абиссальной фауны, распространенной до максимальных глубин (более 1600 м). Наличие растворенного кислорода в придонном слое воды, отсутствующего в других древних озерах, позволяет эндемичной фауне Байкала населять районы, расположенные на порядок ниже

фотического слоя. Илистые грунты, покрывающие ложе озера, населены, как правило, бедным составом фауны, и низкой плотностью поселения беспозвоночных (до 3 тыс. экз. м²) по сравнению с мелководной зоной.

Начиная со второй половины прошлого столетия, за более 30 летний период в Байкале выявлены районы с гидротермальными, газогидратными, метановыми, нефте-метановыми выходами, а также с потухшими и действующими грязевыми вулканами, открытие которых продолжается и по настоящее время. Исследована фауна гидротермального вента Фролиха (гл. 300–400 м), метановых сипов Посольская банка (гл. 300–500 м) и Санкт-Петербург (гл. ~1400 м), а также нефте-метанового сипа Горевой Утес (гл. ~900 м). Исследования, выполненные традиционными методами и с помощью ГОА «Пайсис» (1990–1992 гг.) и ГОА «Мир» (2008–2010) показали, что фауна сипов включает как виды, свойственные соседним «спокойным» участкам дна, так и виды, принятые за «сиповые специалисты», приуроченные к одному или двум-трем сипам. Распределение животных на сипах зависит от характера биотопов, в том числе наличия и разнообразия микробиальных матов. Плотность поселения животных на сипах значительно варьирует, максимальные значения беспозвоночных более 130 тыс. экз. м² выявлены на бактериальных матах гидротермального вента Фролиха и в зоне поверхностного залегания газовых гидратов в донном осадке метанового сипа Посольская банка. Животные, населяющие сипы, усваивают в разной доле хемосинтезированное органическое вещество (от 3 до 89 %). В тканях животных облегченный изотоп углерода прослежен от первичных консументов до хищников. Первые исследования мелководных (гл. 130–150 м) грязевых вулканов и предполагаемых выходов термальных вод в Байкале свидетельствуют о сходных тенденциях, свидетельствующих о неоднократном заселении животными сиповых районов.

Работа выполнена в рамках Госзадания ЛИН СО РАН 0279-2021-0006 и Российского научного фонда № 23-24-00406.

ЗООПЛАНКТОН АРКТИЧЕСКИХ ЭФЕМЕРНЫХ ВОДОЕМОВ: 30 ЛЕТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Стогов И.А., Полякова Н.В., Мовчан Е.А.

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
i.stogov@spbu.ru*

Исследование экосистем наскальных ванн островов Белого моря начато специалистами СПбГУ более 30 лет назад – в 1990 г. (Стогов и др., 1992, 1996; Полякова, 1995). В ходе многолетней работы были оценены основные физико-химические параметры и структурно-функциональные показатели биоты этих своеобразных эфемерных водоемов и отмечена их высокая продуктивность (Мовчан и др., 2000; Стогов и др., 2010). В основу доклада легли материалы, собранные в августе 1996 и 2023 гг. на 21 наскальной ванне 5 островов Керетского архипелага Кандалакшского залива Белого моря, расположенных в районе Полярного круга.

Изученные водоемы имели площадь от 0,5 до 80 м², глубину – от 5 до 70 см. Величины pH колебались от 4,06 до 6,10 в ваннах заболоченных ландшафтов луды Черемшиха до 9,79–10,45 на скалах луды Киврей. Термический режим своеобразен: несмотря на малые глубины, разница температур на поверхности и в придонном слое достигала 5–8 °С, в июле температура воды у дна достигала 24–26 °С. Отмечено

достоверное снижение средних температур воды по мере удаления островов от материка. Высокие величины окисляемости (12–40 мг О₂/л) и желто-коричневая окраска воды свидетельствуют о гумификации и важной роли в биотическом балансе аллохтонных органических веществ. Концентрация общего фосфора достигала 180 мкг/л, более чем на порядок превышая эти показатели в водоемах побережья Белого моря, в том числе озерах Кривое и Круглое, расположенных вблизи ББС ЗИН РАН.

Средние величины обилия зоопланктона на 1–2 порядка превышали таковые в близлежащих озерах (Иванова, 1975; Стогов, 1989; Стогов и др., 1996, 2010; Полякова и др., 2004). По данным 1996 и 2023 гг. общая численность зоопланктона достигала 1,8–3,4 тыс. экз./л, общая биомасса – 180–220 мг/л. Структурные показатели зоопланктона наскальных ванн устойчивы. Всего в планктоне отмечено 32 вида планктонных беспозвоночных (в том числе 11 видов коловраток, 14 ветвистоусых и 7 веслоногих ракообразных), причем в 1996 г. было отмечено 24 вида, а в этих же ваннах в 2023 г. – 26 видов. Средняя общая численность в изученных водоемах в 1996 г. составила 585±40 экз./л, в 2023 г. – 559±36 экз./л. На долю ветвистоусых ракообразных приходилось более 70 % общей биомассы зоопланктона, причем в ваннах с нейтрально-щелочной реакцией воды обычно преобладали ракообразные рода *Daphnia*, а в заросших макрофитами и закисленных водоемах – представители родов *Chydorus* и *Bosmina*.

В наскальных ваннах наибольшую встречаемость и показатели обилия имели коловратки *Keratella quadrata* и *Mytilina mucronata*, ветвистоусые *Chydorus sphaericus*, *Bosmina (Eubosmina) coregoni*, *Alonella nana*, *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia pulex* и *Scapholeberis mucronata*, веслоногие *Eudiaptomus graciloides*, а также ювенильные стадии Cyclopoidea и Calanoidae. Этих беспозвоночных можно отнести к комплексу руководящих форм зоопланктона наскальных ванн островов Керетского архипелага Кандалакшского залива Белого моря, который практически не изменился за 30 лет исследований.

Работа выполнена в рамках инициативного проекта СПбГУ "Многолетняя динамика структурно-функциональных показателей биоты арктических эфемерных водоемов" (ID Pure: 107996402).

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗООПЛАНКТОНА В ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ В ГОДОВОМ ЦИКЛЕ

Сярки М.Т., Коновалов Д.С.

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН,
г. Петрозаводск, konovalov.daniil1998@gmail.com

Большие глубоководные озера имеют в годовом цикле различные явления, связанные с термическими и гидрологическими режимами. Ледовый покров, термобар, биологическое лето, прямая и обратная стратификация, развитие эпи- и гипolimниона определяют условия жизни планктонных сообществ. Колебания климата в последние десятилетия вызывают изменения в термическом режиме и сдвигах гидрологических явлений. Так период ледового покрова на озере сократился на 20–30 суток, а длина «биологического лета» увеличилась (Назарова, 2014; Филатов и др., 2012, 2014; Ефремова, Пальшин, 2017).

Годовая цикличность планктонных организмов тесно связана с условиями вертикальной неоднородности столба воды, вследствие этого все сезоны характеризуются особым вертикальным распределением зоопланктона, его видов и групп.

Зимой сформированная обратная стратификация вод вызывает скопление крупных веслоногих рачков у дна, а науплий и мелких коловраток подо льдом (Сярки, Фомина, 2017; Suarez et al., 2019). Весенняя подледная конвекция вызывает определенные проблемы у мелких планктонных организмов (Perga et al., 2020, 2021). После схода льда и до появления термобара в термопассивной зоне наблюдается низкое обилие зоопланктона и его относительно равномерное распределение по вертикали.

Летний период характеризуется формированием устойчивой прямой стратификации и образованием слоев эпи- и гипolimниона. В июле отмечается высокая плотность мелкоразмерных организмов, коловраток и науплий в слое 0–5 м (до 70 % столба воды) (Куликова и др., 1997). Последняя декада июля и первая декада августа является периодом максимального прогрева поверхностных слоев в Онежском озере и в это время происходит переход к позднелетней фазе развития с максимальным обилием зоопланктона (Сярки, 2013; Сярки, Фомина, 2019). Именно в эпилимнионе создаются благоприятные условия для интенсивного развития ветвистоусых рачков при снижении численности коловраток.

Во второй половине августа и в последующие месяцы происходит снижение количественных характеристик зоопланктона, и перераспределение их в более глубокие слои. Обилие организмов в слоях глубже 5–10 м превышает таковое в поверхностном слое. Происходит постепенный переход к зимнему состоянию сообществ с максимумами биомасс в глубоких слоях.

Анализ многолетних данных вертикального распределения показателей зоопланктона позволил построить сглаженную модель состояния сообществ и их структуры в столбе воды в различные сезоны.

Активная жизнедеятельность и функционирование зоопланктона за вегетационный период происходит в эпилимнионе, в то же время необходим учет накопленных биомасс в гипolimнионе. Неравномерное вертикальное распределение организмов зоопланктона требует их полного учета во всем столбе воды (под м²), что позволяет производить корректное сравнение показателей в периоды с различной вертикальной структурой вод, а также в районах с разными глубинами и трофическими условиями.

РАЗВИТИЕ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ В СОЛЕННЫХ ОЗЕРАХ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Ташлыкова Н.А., Афонина Е.Ю.

*Институт природных ресурсов экологии и криологии СО РАН, г. Чита,
NatTash2005@yandex.ru*

Циклические изменения усыхания и возобновления озер относятся к важным экологическим факторам обитания флоры и фауны, поэтому соленые озера – это особый тип экосистемы, наиболее уязвимый к внешним воздействиям, включая климатические изменения.

В 2021–2023 гг. было обследовано 18 минеральных озер Онон-Борзинской системы, которые по содержанию ионов подразделялись на хлоридные (Горбунка, Хилганта, Дабаса-Нур), сульфатные (Барун-Шивертуй, Шахалин-Нур) и содовые (Баин-Булак, Укшинда, Куджертай, Баин-Цаган, Нижний Мукей, Борзинское, Ножий, Балыктуй, Шварцовское, Хараганаш, Шелута, Барун-Торей). Минерализация воды колебалась в широких пределах: в содовых озерах от 1,0 до 334,5 г/л, в хлоридных от 8,2 до 257,8 г/л, в сульфатных от 21,3 до 146,8 г/л. Среднее значение pH соответствовало 8,5–9,5. Во всех выявленных типах озер по содержанию преобладали ионы натрия (Tashlykova, Afonina, 2023).

За период исследования в составе фитопланктона обнаружено 73 таксона водорослей (Cyanobacteria – 26, Bacillariophyta – 10, Cryptophyta – 5, Dinophyta – 1, Charophyta – 2, Chlorophyta – 25 и Euglenophyta – 4). Для всех озер был характерен обедненный таксономический состав с преобладанием синезеленых и зеленых водорослей (65–83 % таксонов). Согласно функциональной (FG) и морфофункциональной классификации (MBFC) выделено 19 функциональных и 6 морфофункциональных групп. Общая численность и биомасса варьировали от $177,76 \pm 255,61 \times 10^3$ кл./л до $34838,22 \pm 77111,22 \times 10^3$ кл./л, и от $201,67 \pm 348,62$ мг/м³ до $14546,93 \pm 32023,64$ мг/м³ (CV>100 %). Число доминирующих таксонов составило 5–15. Индекс Шеннона изменялся от $0,76 \pm 0,62$ до $1,37 \pm 0,06$, индекс выравненности от $0,14 \pm 0,05$ до $0,55 \pm 0,02$, индекс Уиттекера от $0,57 \pm 0,15$ до $0,76 \pm 0,00$ (CV=44–190 %).

Видовой состав зоопланктона был представлен 43 таксонами: 19 – Rotifera, 13 – Cladocera, 10 – Copepoda и 1(?) – Anostraca. Выделено 14 функциональных групп, а также три трофические группы: нехищные – 37 таксонов, всеядные – 5 таксонов и хищные – один вид. Общая численность и биомасса изменялись в широких пределах: $147,18 \pm 77,22 \times 10^3$ экз./м³ до $42526,94 \pm 93273,73 \times 10^3$ экз./м³; биомасса от $16,07 \pm 17,28$ г/м³ до $89,59 \pm 64,80$ г/м³ (CV>100 %). Доминирующий комплекс в разных условиях формировали 8 таксонов. Индексы разнообразия составляли: $H=0,45 \pm 0,62$ – $1,57 \pm 0,28$, $e=0,29 \pm 0,39$ – $0,93 \pm 0,04$, $\beta_w=0,42 \pm 0,27$ – $0,69 \pm 0,07$ (CV=20–120 %).

Анализ, проведенный методом главных компонент, определил, что для хлоридных озер значимыми абиотическими факторами, определяющими разнообразие и структуру планктона, являются TDS, мутность, общее содержание азота и фосфора; для сульфатных – TDS, мутность, содержание нитратов и общего азота; для содовых – pH, электропроводность, соотношение общего азота к фосфору.

Таким образом, полученные сведения существенно дополняют информацию о разнообразии и функционировании планктонных сообществ в минерализованных водоемах с переменным ионным составом.

Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда № 22-17-00035 “Экология и эволюция водных экосистем в условиях климатических флуктуаций и техногенной нагрузки”.

ЭВОЛЮЦИОННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ВАЖНОСТЬ ХИЩНЫХ ПРОТИСТОВ МОРСКИХ И ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Тихоненков Д.В.

*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок,
tikho-denis@yandex.ru*

Недавние исследования и открытия новых видов, надвидовых таксонов и даже ранее неизвестных супергрупп эукариот показывают, что хищные эукариототрофные

жгутиковые протисты остаются крайне плохо изученными, хотя они часто представляют собой наиболее важные глубокие линии эволюции эукариот. Мы представляем краткое изложение наших результатов и исследований эукариотрофных протистов из различных типов морских и пресноводных местообитаний. Хищные жгутиконосцы, такие как колпонемиды, акавомонады и колподеллиды (*Alveolata*); *Develocauda*, *Develocanicus*, *Feodosia*, *Koktebelia*, *Mastravomonas* и представители *Halopladia* (*Stramenopiles*); *Lapot*, *Aurigamonas* и *Aquavolon* (*Cercozoa*); *Arpakorses* и *Telonema* (*Telonemia*); *Rhodelphis* (*Archaeplastida*); нибблериды и небулиды (*Provora*); *Papus* и *Apiculatamorphia* (*Prokinetoplastina*); *Pigoraptor*, *Syssomonas* и *Tunicaraptor* (*Opisthokonta*) были впервые обнаружены или выделены в клональные культуры и изучены на ультраструктурном и геномном уровнях. Полученные данные послужили прояснению ранних этапов эволюции супергрупп *Opisthokonta* (включая происхождение многоклеточных животных и грибов), *Alveolata* и *Archaeplastida*, что привело к пересмотру эукариотического дерева и представлений об эволюции митохондрий и корне дерева всех эукариотических организмов; выявлению путей возникновения и развития уникальных клеточных и геномных инноваций, приведших к формированию многоклеточности, фотосинтеза и паразитизма. Важно отметить, что хищные эукариотрофные протисты занимают верхние уровни микробных пищевых сетей и никогда не достигают высокой численности в микробных сообществах, хотя они вероятно играют решающую роль в потоках вещества и энергии в водных экосистемах. Это протисты достаточно редки и в протистологических исследованиях происходит их недоучет, как по результатам микроскопического анализа, так и по результатам метабаркодингового высокопроизводительного секвенирования микробных сообществ из природных проб. Выявление этих протистов требует тщательного микроскопического исследования и выделения клональных культур.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-14-00280, <https://rscf.ru/project/23-14-00280>.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АНАЛИЗА СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА

Толмеев А.П., Дроботов А.В., Задереев Е.С., Яскеляйнен Д.Д.

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, av-drobotov@yandex.ru

Цифровые системы анализа планктона в последние несколько десятков лет демонстрируют значительный прогресс в своем развитии и продолжают совершенствоваться высокими темпами (Lombard et al., 2019; Moghim, Mohanna, 2021). Направление развивается благодаря техническим возможностям современных видеокамер с одной стороны, а с другой – успехам нейросетевых алгоритмов обработки изображений. Вместе эти два условия обеспечивают устойчивый тренд исследований планктона на основе автоматизированных систем. Существует ряд устройств, разработанных для анализа планктонных организмов в полевых и лабораторных условиях. Некоторые аппараты существуют в ограниченном количестве и являются уникальными разработками отдельных институтов, например, FIDO, VPR, LAPIS, ZOOVIS-SC и т.д. (Benfield et al., 2007). Среди коммерческих аппаратов наиболее известными являются аппараты UVP (Underwater Vision Profiler) (Picheral et al., 2010) и ISIIS (the In Situ Ichthyoplankton Imaging System) (Cowen, Guigand, 2008). Обе системы являются открытыми, т.е. получение изображений происходит во внешней среде без

контроля уровня турбулентности и освещенности. UVP состоит из видеокамеры и двух источников света, дающих короткие вспышки (100 мкс) в красном диапазоне, что дает четкие изображения объектов, находящихся в движении. В системах ISIS камера и источник света расположены друг против друга. Объекты в этом пространстве проецируются на матрицу камеры в виде темных силуэтов на белом фоне. Недостаток этих систем заключается в определении численности редких видов или отдельных групп особей, которые не присутствуют постоянно в объеме воды в поле зрения камеры. Для этого необходима организация протока с возможностью измерения объема просканированной воды. Подводные аппараты, с принципом проточности, появились давно, например, OPC и LOKI (Schulz et al., 2010). Один из последних это SAO Imager - Imaging and classification system for Small Aquatic Organisms (SAO). Аппаратная часть находится на борту судна, а забор воды осуществляется с помощью шланга с нужной глубины. В системе учитывается объем просканированной воды. Анализ зоопланктона возможен в лабораторных условиях в пробах, собранных классическими методами. Наиболее известными моделями являются FlowCam (Sieracki et al., 1998) и Zooscan (Grosjean et al., 2004). FlowCam является проточным цитофлуориметром, где снимается изображение каждой частицы, ее оптическое рассеивание и флуоресцентный сигнал. Zooscan является сканером для фиксированных проб зоопланктона, построенном на базе профессионального фотосканера Epson Perfection. Изображения имеют высокое разрешение от 4 мкм/пк.

Учитывая преимущества и недостатки вышеупомянутых систем, нами разработано устройство ZooFluobox с возможностью видеозаписи внутри погружной проточной камеры, что позволит решить проблемы турбулентности и контролируемого освещения, а также регистрировать флуоресцентный сигнал зоопланктеров, что до настоящего времени не реализовано ни в одной из разработок подобного рода.

Работа поддержана Российским научным фондом, проект № 23-24-00270.

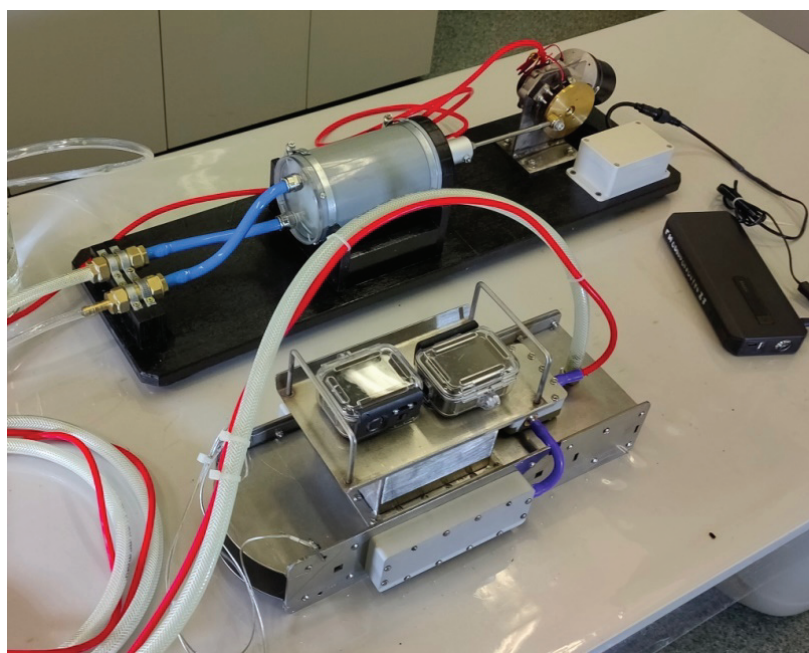
АНАЛИЗ ЗООПЛАНКТОНА С ПОМОЩЬЮ ПОДВОДНОЙ ПРОТОЧНОЙ ВИДЕОСИСТЕМЫ

Толмеев А.П., Дроботов А.В., Яскеляйнен Д.Д., Задереев Е.С.

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, tolomeev@ibp.ru

Изучение зоопланктона классическими гидробиологическими методами, т. е. отбор проб с помощью планктонной сети или батометра с целью определение численности, биомассы и видового состава зоопланктеров, являет длительным и трудоемким процессом, требующим от специалистов высокого уровня квалификации и больших временных затрат. Поэтому, не удивительно, что в последние десятилетия предпринимаются активные попытки автоматизировать анализ зоопланктона с помощью различных устройств – подводных аппаратов и лабораторных установок (Lombard et al., 2019). Существенным стимулом создания новых инструментальных подходов в исследованиях зоопланктона явилось значительное повышение возможностей фото- и видеотехники с одновременным прогрессом в области цифровых технологий и машинного обучения. К сожалению, автоматизированные системы на сегодняшний день не позволяют устанавливать видовую принадлежность зоопланктеров, однако разделение зоопланктона на верхние таксономические группы – кладоцеры, копеподы, коловратки является решаемой задачей. Некоторым естественным ограничением массового использования автоматизированных систем

является их высокая коммерческая стоимость. Однако в последние годы также наметился тренд на создание недорогих устройств для подводных исследований зоопланктона (Lertvilai, 2020). Поскольку основой автоматического анализа является получение качественных изображений изучаемых объектов и последующая их компьютерная обработка, мы провели тестирование возможностей современных сравнительно недорогих экшн-камер (GoPro 9 и 11) для изучения зоопланктона. Тесты показали, что в режиме 4k и 60 кадров/с с применением внешней макролинзы изображение объекта размером в 1 мм на расстоянии 10 см составляет около 38 пикселей (26 мкм/пиксель). Данного разрешения в большинстве случаев достаточно для определения формы и размера зоопланктеров и их грубой классификации на уровне верхних таксономических групп. Объем воды, который одновременно можно «просканировать» с помощью данной камеры с приемлемым уровнем резкости составляет около 300 мл. Кроме этого, матрицы тестируемых экшн-камер обладали достаточной светочувствительностью, чтобы регистрировать флуоресцентные сигналы, идущие от объектов. В случае с зоопланктоном, флуоресцентное свечения создают микроводоросли в желудках рачков. По показателям флуоресценции можно судить о физиологическом состоянии зоопланктеров и источниках их пищи, а также проводить разделение на живых и мертвых особей в популяции. Для анализа зоопланктона на основе экшн-камер мы создали и провели испытания подводного устройства - ZooFluobox, способного снимать профили численности зоопланктеров (до глубины 60 м, определяемой характеристиками подводных боксов камер) и регистрировать их флуоресцентный сигнал.



В устройстве используются две камеры для получения стереоскопических изображений объектов, цветные светодиоды и оптические фильтры для возбуждения и регистрации флуоресценции. Проток позволяет сканировать выбранные объемы воды на заданных глубинах.

Работа поддержана Российским научным фондом, проект № 23-24-00270.

ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПОВТОРНОСТЕЙ ПРИ ПРОБООТБОРЕ НА РЕЗУЛЬТАТЫ КЛАССИФИКАЦИИ СООБЩЕСТВ МАКРОБЕНТОСА ЛИТОРАЛИ ГУБЫ ЧУПА БЕЛОГО МОРЕЯ

Филиппова Н.А., Стодольская А.Н., Максимович Н.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
n.a.filippova@spbu.ru*

Картирование биотопов с выделением сообществ макробентоса можно отнести к типичным задачам гидробиологического мониторинга. Очевидно, что методическая состоятельность мониторинга прямо связана с достижением объективности выборочных оценок показателей состава и обилия гидробионтов. Идея данной работы – оценить вариацию результатов картирования биотопов по показателям состава и обилия организмов макробентоса при регулируемом режиме пробоотбора. Материал собран на базе Морской биологической станции СПбГУ в устье губы Чупа Кандалакшского залива (Белое море) на трех литоральных пляжах с мягкими грунтами в 2008–2013 гг. Сравнительный анализ описаний сообществ осуществлен путем проведения повторных классификаций при уменьшении числа проб, учтенных при создании описаний станций, а также с использованием различных способов стандартизации и трансформации исходных данных. Объем выборки, начиная с которого (и выше) результат классификации описаний переставал отличаться от эталона (варианта группировки описаний по 10 пробам) считали достаточным для получения надежных (несмещаемых) представлений о гетерогенности сообществ. Анализ факторов, влияющих на требования к режиму пробоотбора, проводили с помощью корреляционного анализа.

В результате исследования было показано, что в качестве рекомендации по объему выборок в практике мониторинга сообществ осушной зоны можно назвать следующие положения:

-При классификации описаний станций различных участков, полученных в один сезон, для надежного выделения группировок достаточно 5 проб; при классификации описаний станций одного участка, полученных в разные годы, для надежного выделения групп станций требуется выборка не менее 10 проб.

-Надежность выделения группировок, полученных в ходе кластерного анализа, определяется в первую очередь относительным уровнем сходства описаний, входящих в группировки по отношению к сходству всех описаний. Так, при использовании трансформированных корнем четвертой степени показателей обилия или данных о видовом составе макробентоса, для достижения надежного результата выделения групп описаний по пяти – шести пробам необходимо, чтобы выделенные группировки выделялись на относительном уровне сходства не более 60 %, а при использовании ранжированных показателей обилия макробентоса это значение не должно превышать 40 %.

-Нельзя отдать предпочтение какому-либо одному типу данных (численность, биомасса, видовой состав) или методу трансформации или стандартизации данных. Выбор метода обработки данных зависит от задач исследования и показатель структуры сообщества (численность или биомасса) при этом не влияет на надежность результата.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-24-00204, <https://rscf.ru/project/23-24-00204>.

СУТОЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЭКОСИСТЕМАХ МЕЛКОВОДНЫХ ГИПЕРСОЛЕННЫХ ВОДОЕМОВ КРЫМА

Шадрин Н.В.¹, Латушкин А.А.^{1,2}, Празукин А.В.¹, Яковенко В.А.¹, Ануфриева Е.В.¹

¹ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей
им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, snickolai@yandex.ru

²Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

В настоящее время изучению и прогнозу сезонных и многолетних изменений водных экосистем уделяется основное внимание. При этом используются, как правило, «среднесуточные» величины. Недоучет реальных суточных ритмов ведет к существенным ошибкам в долговременных прогнозах. В гиперсолёных водоемах Крыма, заливе Сиваш и озере Мойнаки рассмотрены суточные циклы различных характеристик (температура, концентрация кислорода, фотосинтетически активная радиация, содержание хлорофилла, сила и направление ветра и другие). И в Сиваше, и в озере Мойнаки все параметры, включая кислород, колебались в широких пределах. Суточные изменения концентрации хлорофилла *a* были отмечены с минимумом примерно в 10–12 часов. Концентрация хлорофилла *a* в среднем за сутки у наветренного берега была на 24 % выше, чем у подветренного. Используя полученные данные были рассчитаны суточные колебания суммарных величин фотосинтеза, дыхания и обмена с атмосферой. При расчете всех трех составляющих баланса учитывали температуру, а для обмена с атмосферой – также солёность и скорость ветра. В озере Мойнаки после восхода солнца примерно до 17–18 часов концентрация кислорода увеличивалась, а затем начинала убывать. Среднее увеличение концентрации кислорода за этот период колебалось от 0,34 мг/л/ч до 1,22 мг/л/ч. Изменение содержания кислорода было отрицательным до ФАР около 60–80 мкЕ/м²/с и прямо коррелировало с ростом ФАР до 600–800 мкЕ/м²/с. При увеличении ФАР выше 600–800 мкЕ/м²/с наблюдалось замедление скорости роста концентрации кислорода. Скорость изменения концентрации кислорода куполообразно зависела от интенсивности ФАР, она не коррелировала с концентрацией хлорофилла. В теплое время года в безоблачную погоду в гиперсолёных водоемах днем происходит перенасыщение воды кислородом - до 300 %. Если облачная погода продолжалась несколько дней – мог возникать дефицит кислорода. Часть продуцируемого кислорода выделялась в атмосферу. Сила и направление ветра оказывали существенное влияние на суточную динамику всех изученных параметров. Роль животных в общем потреблении кислорода сообществом была невелика – от 3 до 9 %. Результаты показали, что суточный ход концентрации кислорода определяется как внутренними процессами в экосистеме, так и внешними, например, влиянием облачности и ветра. Нельзя использовать «среднюю» концентрацию кислорода, как некую характеристику водоема.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-66-00001.

ДИНАМИКА НЕКОТОРЫХ ТРОФИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НИЖНЕВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ В ПЕРИОД КЛИМАТИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Шашуловская Е.А., Мосияш С.А.

Саратовский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Саратов, shash.elena2010@yandex.ru

Исследование трансформации экосистем водоемов комплексного значения в результате глобальных макроклиматических изменений (аномалий температуры и осадков, внутригодового перераспределения водного стока) приобретает особое значение в современный период. Главными факторами, обуславливающими качество воды и условия существования гидробионтов, является содержание биогенных элементов и уровень развития фитопланктона в качестве первичного отклика на изменение трофических условий. В 2001–2021 гг. исследовали динамику этих показателей в воде Саратовского и Волгоградского водохранилищ – замыкающих Волжский каскад природно-техногенных водоемов комплексного назначения.

В водохранилищах Нижней Волги с 70-х годов прошлого столетия отмечена устойчивая тенденция к повышению летней температуры воды. Произошли внутригодовые изменения стока, особенно заметно снижение его доли в период весеннего половодья. Межгодовые колебания стока водохранилищ связаны с изменением индекса Североатлантического колебания (САК).

В воде исследованных водохранилищ динамика нитратного азота характеризовалась снижением среднесезонной концентрации в первое десятилетие XXI века и тенденцией к увеличению в последующие годы. При полиномиальном сглаживании трендов динамики нитратов и САК установлена значимая связь, характеризуемая коэффициентами корреляции $r=0,65$ при $p=0,005$ для Саратовского водохранилища и $r=0,55$ при $p=0,02$ для Волгоградского. Изменения в содержании минерального фосфора за период существования водохранилищ позволили сделать вывод о существенной роли в его генезисе внутриводоемных процессов. В последнее десятилетие максимальные концентрации элемента наблюдали, как правило, в многоводные годы, что может свидетельствовать о возросшем влиянии гидрологических факторов. При полиномиальном сглаживании динамики фосфатов и индекса САК отмечено согласованное изменение их трендов ($r=0,58–0,51$ при $p=0,00–0,01$). Зимнее потепление, вероятно, является причиной снижения содержания аммонийного азота в результате сокращения объема половодий и повышения содержания общего железа в результате увеличения зимнего водного стока.

В исследуемый период установлены отрицательные тренды общей биомассы фитопланктона, а также диатомовых и зеленых водорослей (Далечина, Джаяни, 2012, 2014; Шашуловская и др., 2023). Отмечено увеличение биомассы *Cyanobacteria*. Изменилось соотношение таксономических групп фитопланктона – снизилась доля диатомовых при увеличении цианобактерий, криптофитовых и динофитовых водорослей, упростилась видовая структура. Уменьшились размерные характеристики микроводорослей, изменился ход сезонной динамики биомассы фитопланктона от доминирования весеннего пика диатомовых водорослей к преобладанию летнего максимума цианобактерий.

Таким образом, выявленные изменения в динамике основных трофических параметров свидетельствуют о том, что экосистемы исследованных водохранилищ находятся в стадии трансформации.

МНОГОЛЕТНЯЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ВИДОВОЙ СТРУКТУРЫ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Шурганова Г.В.¹, Жихарев В.С.¹, Гаврилко Д.Е.¹, Кудрин И.А.¹,
Золотарева Т.В.¹, Колесников А.А.^{1,2}

¹Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, galina.nngu@mail.ru

²Нижегородский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Нижний Новгород

Темпы создания водохранилищ на планете в прошлом, XX веке могут быть охарактеризованы как «водохранилищный взрыв». Изменение гидрологического режима рек при создании водохранилищ вызывают структурные и функциональные перестройки гидробиоценозов и представляют собой экзогенную сукцессию, необходимость выявления которой на протяжении длительного периода существования водохранилищ очевидна и актуальна.

Характерной особенностью водохранилищ является высокая динамичность развития, позволяющая проследить этапы формирования их гидробиоценозов, а также выявить особенности количественных и качественных перестроек в пространстве и во времени. Работы отечественных и зарубежных исследователей показывают, что при интенсивном воздействии на водохранилища их гидробиоценозы не стабилизируются. Для Чебоксарского водохранилища нами получена наглядная картина динамики сообществ зоопланктона за 40-летний период его существования.

Формирование водных масс Чебоксарского водохранилища происходит из двух, различающихся по видовой структуре сообществ зоопланктона потоков: левобережного, поступающего из Горьковского водохранилища, и правобережного, привносимого р. Окой. Границы окского и волжского потоков на акватории средней речной части Чебоксарского водохранилища с самого начала его создания претерпевали значительные изменения.

На акватории Чебоксарского водохранилища выявлены пространственно непрерывные области, характеризующиеся сходством видовой структуры, которые мы считаем областями пространственного расположения отдельных планктонных сообществ. На начальном этапе существования водохранилища происходили существенные перестройки пространственного размещения сообществ и возникновение новых зоопланктоценозов. Через двадцать лет его существования выделялись четыре сообщества зоопланктона с характерной для них видовой структурой: лево- и правобережные речные, занимающие лево- и правобережные участки водохранилища от устья р. Оки до г. Лысково, переходный и озерный – на акватории водохранилища от г. Лысково до г. Васильсурска и от г. Васильсурска до Чебоксарской ГЭС.

В результате многолетних мониторинговых исследований видовой структуры зоопланктоценозов Чебоксарского водохранилища выявлена её межгодовая динамика вплоть до настоящего времени. Перестройки видовой структуры зоопланктонных сообществ, отражающие воздействие природных и антропогенных факторов и сопровождающиеся изменением занимаемых зоопланктоценозами акваторий, свидетельствуют о продолжающихся активных динамических процессах в экосистеме водохранилища. На протяжении последних десяти лет на акватории Чебоксарского водохранилища сохранялись дискретные по видовой структуре сообщества зоопланктона, произошло значительное усиление лимнофильных черт во всех

сообществах, что, по-видимому, представляет собой следующий этап направленного изменения видовой структуры зоопланктоценозов.

ПРОДУКЦИЯ И БИОМАССА ЦЕРКАРИЙ ПРЕСНОВОДНЫХ ТРЕМАТОД: ПОТЕНЦИАЛЬНО УПУСКАЕМЫЙ ПУТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТОКА В ОЗЕРНО-РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Юрлова Н.И., Пономарева Н.М.

*Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск,
yuni@eco.nsc.ru*

Традиционной оценкой потока энергии в любой экосистеме является продукция и биомасса организмов. Паразиты – обычные компоненты естественных экосистем, которые оказывают прямое или косвенное влияние на структуру пищевых сетей и на функционирование экосистемы в целом.

При оценке энергетического потока обычно упускается вклад паразитов. Чтобы изучить вклад паразитов в энергетику экосистем пресноводных озер и рек, мы оценили продукцию и биомассу свободноживущих трансмиссивных личинок трематод – церкарий развивающихся в моллюсках, а также биомассу массовых видов свободноживущих бентосных беспозвоночных на контрольных участках в экосистеме озера Чаны (юг Западной Сибири).

Паразитические черви трематоды – одна из наиболее многочисленных групп паразитических организмов в прибрежных экосистемах. На исследованных контрольных участках годовая сухая биомасса церкарий обычного вида трематод *Echinoparyphium aconiatum* ассоциированных с первым промежуточным хозяином моллюском *Lymnaea stagnalis* изменялась по годам между 0,1 и 1,99 г/м². Биомасса моллюска-хозяина *L. stagnalis* (включая зараженных и незараженных особей) варьировала между 2,4 и 5,7 г/м². Сухая биомасса церкарий другого массового вида трематод *Plagiorchis. multiglandularis* в середине лета на контрольных участках в устье реки Каргат составила в среднем 0,16 г/м². Сухая биомасса зарегистрированных здесь таксономических групп донных беспозвоночных (Odonata, Hirudinea, Coleoptera, Lepidoptera) варьировала от 0,2 до 0,7 г/м².

Наши данные показали, что ежегодная сухая биомасса церкарий отдельных видов трематод составляет до 37–50 % (в зависимости от вида паразита) от сухой биомассы моллюска-хозяина *L. stagnalis* (включая раковину и мягкие ткани) и сопоставима с биомассой массовых видов макрозообентоса. В бассейне оз. Чаны с участием моллюска *L. stagnalis* развиваются церкарии 20 видов трематод, а сообщество легочных моллюсков включает 23 вида, каждый из которых является первым промежуточным хозяином для большого числа видов трематод. Соответственно продукция и биомасса церкарий всех видов трематод, связанных со всеми видами моллюсков, будет вносить существенный вклад в общую биомассу и в энергетический поток озерных и речных экосистем.

Полученные нами результаты показывают, что паразитические черви трематоды играют недооцененную роль в энергетике экосистем пресноводных рек и озер.

Исследование выполнено при поддержке Программой фундаментальных научных исследований (ФНИ) государственной академии наук на 2021-2025 гг., проект № 122011800141-7.

СЕКЦИЯ 2. БИОРАЗНООБРАЗИЕ, ЗООГЕОГРАФИЯ И РОЛЬ ВИДОВ-ВСЕЛЕНЦЕВ

ОЦЕНКА ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ИХТИОПЛАНКТОНА В СЕВЕРНОЙ И ЮЖНОЙ ЧАСТЯХ МАРОККО

Архипов А.Г.^{1,2}, Пак Р.А.¹

¹Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Калининград, arkhipov@atlant.vniro.ru

²Калининградский государственный технический университет, г. Калининград

Изучение различных аспектов раннего онтогенеза рыб – одна из важных задач современных исследований водных биоресурсов, т.к. основные параметры численности поколений рыб закладываются в течение ранних периодов жизни – эмбриональном, личиночном и мальковом (Дехник и др., 1985; Архипов, 2015; Ahlstrom, Moser, 1976). Рассматриваемые нами объекты исследований населяют акватории, которые находятся в тропической климатической зоне Центрально-Восточной Атлантики (33–21°с.ш.). Здесь происходит активный нерест неритических рыб и нагул их молоди. Места наибольших скоплений ихтиопланктона у берегов северо-западного побережья Африки носят квазистационарный характер и привязаны к динамическим процессам, происходящим в этом районе (Архипов, 2006, 2015; Архипов и др., 2022).

Цель настоящего исследования – проанализировать имеющиеся в АтлантНИРО многолетние данные по видовым составам ихтиопланктонных сообществ в водах северной и южной частей Марокко.

Материалы собирались в экономических зонах северной (32°00'–28°00'с.ш.) и южной (28°00'–21°00'с.ш.) частей Марокко с 2003 по 2023 гг. в разные сезоны года. Исследования проводились во время комплексных съёмов, выполняемых АтлантНИРО по стандартным методикам (Методические указания..., 1983). В ходе камеральной обработки определялся видовой состав икринок и личинок рыб, и подсчитывалось их количество. Определение представителей некоторых семейств до вида было затруднено. Для сопоставления видовых составов ихтиопланктонных сообществ использовался часто применяемый в экологических исследованиях коэффициент видового сходства Сёрнсена (Одум, 1975).

В водах северной части Центрально-Восточной Атлантики (ЦВА) обитают в основном представители тропической и субтропической ихтиофауны. Разными авторами здесь выделяется от 800 до 1000 видов рыб. В верхнем 100-метровом слое над шельфом отмечается более 150 видов пелагических икринок и личинок рыб (Архипов, 2015; Архипов, Пак, 2022; Blache et al., 1970). В результате наших исследований в зоне северной части Марокко было отмечено 126 видов икринок и личинок из 54 семейств, в зоне южной части Марокко – 175 видов из 68 семейств. Всего в ихтиопланктонных пробах встречались представители 73 семейств.

При анализе материалов, использовался коэффициент видового сходства Сёрнсена (K), определяемый по формуле:

$$K = \frac{2c \times 100 \%}{a + b}$$

где a и b – количество видов в сравниваемых районах, c – количество совпадающих или близких видов.

При сопоставлении видовых составов ихтиопланктонных сообществ северной и южной частей Марокко нами был получен следующий результат:

$$K=2 \times 115 \times 100 \% / (126 + 175) = 76,4 \%$$

Как видно из этих расчётов, в смежных районах ЦВА видовое сходство в ихтиопланктонных сообществах близко, а видовое разнообразие увеличивается от северной части Марокко к южной.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ РАЗНООБРАЗИЯ МАЛОЩЕТИНКОВЫХ ЧЕРВЕЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА

Батурина М.А., Новаковский А.Б.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, baturina@ib.komisc.ru

Многообразие природных условий ландшафтных комплексов, различия в геологическом строении и рельефе водосборных площадей бассейна Вычегды лежат в основе формирования основных гидробиологических характеристик русла и притоков реки и определяют уникальность водоемов ее бассейна. Высокая гетерогенность среды, благодаря которой поддерживается разнообразие фауны и флоры определяет интерес к изучению биоразнообразия в водоемах бассейна р. Вычегда как модельного для Севера Европы.

Актуальность изучения биоразнообразия уже давно вышла за рамки составления видовых списков и требует новых подходов к изучению паттернов разнообразия. Одним из таких подходов является современная концепция метасообществ (metacommunity concept), которая моделирует закономерности пространственного распределения видов крупномасштабных экосистем, включающих десятки и сотни локальных сообществ и функционирующих в неоднородных условиях среды.

Анализ материалов, полученных с помощью методов дистанционного зондирования (ArcGis, ГИС КАРТА 2000, Quantum GIS, ERDAS Imagine), результатов гидробиологических исследований и использование различных статистических подходов для анализа данных позволили комплексно подойти к анализу формируемых экологических особенностей водотоков бассейна р. Вычегда с учетом состояния всего водосбора территории. Отмечены статистически значимые отличия в показателях количественного развития беспозвоночных, составе доминирующих групп в водотоках разных ландшафтов бассейна. При этом показано, что в большинстве этих рек олигохеты входят в состав доминирующего комплекса.

Для различных водоемов Северо-Востока европейской части России указывается более 100 видов олигохет (около 20 % всей фауны олигохет Палеарктики), в бассейне р. Вычегда отмечен 81 из них. На основании полученных данных о видовом составе сообществ олигохет более 100 водоемов различного типа можно оценить структуру и динамику метасообществ олигохет и описать особенности их сообществ в различных ландшафтных зонах бассейна.

Проведенный корреляционный, ординационный и кластерный анализ позволил выявить особенности формирования биоразнообразия олигохет на примере изучаемого бассейна и промоделировать потенциальные пути изменения фауны водоемов в связи с деградацией ландшафтов (глобальными климатическими изменениями, антропогенным воздействием). В перспективе широкое внедрение современных статистических методов и подходов при анализе полученных данных позволит полнее выявлять существующие закономерности и наблюдаемые тренды, оценить отличия

наблюдаемого распределения видов от нуль-моделей (случайное распределение), выявить степень воздействия отдельных экологических факторов и их комплексов на распределение малощетинковых червей.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-00121, <https://rscf.ru/project/24-24-00121>.

УЛЬТРАСТРУКТУРА «ГРЫЗУЩИХ» ПРОТИСТОВ И НОВЫЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ СУПЕРГРУППЫ PROVORA

Беляев А.О.¹, Карпов С.А.^{1,2,3}, Тихоненков Д.В.¹

¹*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок,
abelyaev@ibiw.ru*

²*Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург*

³*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург*

Provora – недавно открытая супергруппа мелких одноклеточных эукариот, состоящая из двух генетически и морфологически различных филогенетических линий организмов, Nebulidia и Nibbleridia. В настоящее время микроскопически обнаружено и описано только семь видов Provora. Однако данные природных последовательностей 18S рРНК свидетельствуют о присутствии десятков неизвестных видов, родов и семейств, обитающих в морской среде, а их морфологию и поведение еще предстоит выяснить. Некоторые из них обладают необычным типом фаготрофного питания, который характеризуется откусыванием части клетки жертвы, чему способствует сложный цитостомный аппарат, что вызвало значительный интерес к изучению цитоскелета этих организмов. Provora – глубокая ветвь эукариотического древа, вероятно, родственная группировке TSAR и Haptista. Альтернативное филогенетическое положение указывает на родство Provora с другой глубоко ветвящейся эукариотической линией – Hemimastigophora. Эту неопределенность трудно преодолеть только с помощью филогеномного анализа. Но, как известно, реконструкция системы цитоскелета, наряду с молекулярными методами, зачастую является столь же сильной альтернативой в разрешении этой проблемы. Здесь мы сообщаем о результатах детального ультраструктурного анализа некоторых представителей Provora, уделяя особое внимание микротрубочковой и фибриллярной системе их жгутикового аппарата. Мы также реконструировали 3D-модель клетки. Выявлено, что эти жгутиконосцы демонстрируют несколько ультраструктурных особенностей, которые присутствуют в различных глубоко ветвящихся линиях эукариот, включая везикулы под плазмалеммой, две противоположные лопасти на жгутиках, вентральную цитостомальную бороздку и фибриллярную систему, напоминающую «экскаваторный» тип. Кроме того, мы идентифицировали четыре основных корешка микротрубочек, включая расщепленный цитостомальный вентральный корешок. Мы сообщаем о новом представителе типа Nibbleridia, предоставляя данные о его морфологии, молекулярной филогении и пищевом поведении. Этот вид отличается от других нибблерид и может представлять особый интерес из-за своего конкурирующего питания. В целом, детальный анализ жгутикового аппарата провор и открытие нового вида Nibbleridia дают ценную информацию о разнообразии и эволюционных особенностях этих жгутиконосцев.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-14-00280, <https://rscf.ru/en/project/23-14-00280>.

ТАКСОНОМИЯ, ФИЛОГЕНИЯ, ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И БИОГЕОГРАФИЯ МОЛЛЮСКОВ РОДА *CORBICULA* (BIVALVIA: CYRENIDAE): ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Беспалая Ю.В.¹, Кропотин А.В.¹, Аксёнова О.В.¹, Винарский М.В.²,
Кондаков А.В.¹, Травина О.В.¹, Палатов Д.М.³, Болотов И.Н.¹

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, jbespalaja@yandex.ru

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

³Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва

Моллюски рода *Corbicula* привлекают внимание исследователей всего мира, что связано с их высоким инвазионным потенциалом (Vastrade et al., 2022; Modesto et al., 2023). Нативный ареал охватывает Ближний Восток, Азию, Австралию и Африку (Araújo et al., 1993). В настоящее время инвазионные линии *Corbicula* вселились в Северную и Южную Америку, Европу (Pigneur et al., 2014). Современные исследования продемонстрировали негативное влияние инвазионных видов корбикул на нативные экосистемы (Ilari et al., 2012, 2014; Ferreira-Rodríguez et al., 2016, 2018). Кроме этого для инвазионных линий *Corbicula* характерны андрогенез, полиплоидия и гибридизация (Pigneur et al., 2012). Однако, несмотря на пристальное внимание учёных к этой группе ряд вопросов, связанных с таксономией, филогеографией и экологией видов рода *Corbicula*, остаются нерешёнными.

В настоящей работе представлены результаты исследований моллюсков рода *Corbicula*, выполненные авторами в период с 2014–2024 гг. в различных регионах мира. Методики выделения ДНК, наборы праймеров и условия ПЦР, секвенирования, обработки первичных сиквенсов, их выравнивания филогенетических и филогеографических исследований, детально изложены в наших предыдущих работах (Bespalaya et al., 2018, 2020, 2022).

Проведено изучение таксономии, биогеографии и генетического разнообразия представителей рода *Corbicula* в мире. Филогенетическое дерево, построенное на основании маркеров COI мтДНК и 28S рРНК, включает 20 отдельных генетических линий *Corbicula*, соответствующих таксонам на видовом уровне. Изучено генетическое разнообразие популяций инвазионных видов рода *Corbicula* в европейской России (Kropotin et al., 2023). В изученных популяциях выявлено две генетических линии (*C. fluminea* и *C. fluminalis*) моллюсков. Обнаружен полиморфизм 28S рРНК у *C. fluminea* и *C. fluminalis*, обусловленный гибридизацией между различными линиями корбикул. Установлено, что подёнки, хирономиды и рыбы могут использовать моллюсков рода *Corbicula* в качестве промежуточных хозяев для своего личиночного развития (Bespalaya et al., 2023a,b). Выявлено, что эндемичные для Дальнего Востока России виды *C. finitima* и *C. lindholmi*, являются синонимами *C. japonica*. Три номинальных вида, описанных с бассейна р. Амур – *C. amurensis*, *C. nevelskoyi* и *C. sirotskii*, являются синонимами *C. elatior* (Bespalaya et al., 2023a). Уточнен таксономический статус *C. tobae* и изучен его репродуктивный режим (Bespalaya et al., 2020; Kropotin et al., 2022). Обсуждается биогеографическое происхождение инвазионных линий *Corbicula*.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (проекты №19-14-00066, 21-14-00092 и 21-74-10155) и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ FUUW-2022-0039).

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОДНОЙ ФЛОРЕ ГРУЗИИ

Вишняков В.С.^{1,2}, Ефремов А.Н.³

¹Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок

²Череповецкий государственный университет, г. Череповец,
aeonium25@mail.ru

³Ульяновский государственный педагогический университет, г. Ульяновск
stratiotes@yandex.ru

Южный Кавказ (ЮК), регион, включающий территории Азербайджана, Армении и Грузии, признаётся «горячей точкой» биоразнообразия благодаря своей исключительно богатой и эндемичной флоре. Гидромакрофиты ЮК по показателю α-разнообразия также демонстрируют более высокий уровень эндемизма по сравнению с соседними регионами (Murphy et al., 2019). Между тем, существующий недостаток данных о распространении и экологии водных макрофитов ЮК препятствует выявлению экосистем высокой природоохранной ценности, а также контролю за чужеродными видами.

В 2018 и 2022–2023 гг. нами исследовались водные объекты и ветланды Грузии. Территория страны характеризуется разнообразием геоморфологических, гидрологических, климатических и ландшафтных условий, результатом чего является большое типологическое разнообразие как водных объектов, так и переувлажнённых территорий. Основные работы проводились в западной Грузии – в приморской части Колхидской низменности, находящейся под влиянием влажного субтропического климата. Другим районом стал север Армянского нагорья – расположенное на высоте 1991 м оз. Табацкури в регионе Самцхе-Джавахети. Дополнительные материалы по флоре получены в результате обработки гербариев TBI, TGM, BATU, ERE, BAK и MW. Собранный гербарий помещён в IBIW и LE, частично в BR и MW (все акронимы по: Thiers, 2024).

Наш гербарий оказался представлен 148 видами из 63 родов, что, конечно, далеко неполно отражает уже известную водную флору Грузии (cf. Davlianidze et al., 2018). Для сравнения, в недавнем исследовании ветландов Грузии приведено 270 видов из 183 родов (Tedoradze et al., 2023), однако это превышение отчасти связано с включением в список влаголюбивых мхов, псаммофитов берега Чёрного моря и случайных наземных видов. Новизна нашего исследования состоит в том, что при работе в тех же районах был установлен ряд новых и редко регистрируемых видов, проведена ревизия коллекционного материала и устранены бытовавшие неточности в определении. Так, нами обнаружено 8 новых для Грузии видов, из них 4 чужеродных вида (неофиты) – новых для всего Кавказа (*Cyperus iria*, *C. microiria*, *Hydrocotyle batrachium*, *Lindernia dubia*), 2 местных вида – новых для всего Кавказа (*Potamogeton compressus*, *P. friesii*), 1 местный вид – новый для ЮК (*Najas major*); 1 чужеродный вид (*Azolla filiculoides*) ранее был известен на ЮК только из Азербайджана (как *A. caroliniana*, Ибрагимов, 2006). Наше исследование вскрывает недоизученность местной флоры в части бореальных видов, находящихся на ЮК на границе ареала и представленных изолированными популяциями (*P. compressus*, *P. friesii* – в Джавахетии), а также в части мультирегиональных теплолюбивых видов (*N. major* – в Аджарии). Новые чужеродные виды собраны из натурализовавшихся популяций в Колхидской низменности и происходят из областей, сходных по климату: субтропические юго-восточно-азиатские (*Cyperus*, *Hydrocotyle*) и американские (*Azolla*, *Lindernia*). Наибольшую роль неофиты играют во вторичных травяных сообществах.

МНОГОЛЕТНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИДОВОГО СОСТАВА МАКРОФИТОВ И ЗАРАСТАНИЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ КУРШСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Герб М.А.¹, Володина А.А.^{1,2}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, marger75@mail.ru

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград, volodina.alexandra@gmail.com

Куршский залив – крупнейшая мелководная лагуна Балтийского моря общей площадью 1610 км² и средней глубиной 3,8 м. Северная, осолоненная часть географически находится в Литовской республике, южная, пресноводная – в Калининградской области Российской Федерации. Исследования водной флоры проводились с 1996 по 2023 гг. с берега до доступных глубин и на моторной лодке на 9 станциях и 3 полигонах. Западный берег залива (Куршская коса) изучен более детально. Использовались общепринятые методические подходы изучения высшей водной растительности и макроводорослей (Катанская, 1981; Папченков, 2001; Калугина-Гутник, 1975). Водолазные исследования не проводились. Макроводоросли регулярно изучались с 2010 г.; с 2021 г. велся отбор количественных проб макрофитов.

В состав водной флоры южной части Куршского залива нами включено 128 видов макрофитов: макроводорослей – 25, высших растений – 103, однако, широкое распространение имеют около 40 видов. Выявлено сокращение количества видов, чувствительных к повышенному содержанию биогенных элементов в воде, в основном из сем. Characeae. Впервые для залива идентифицированы 9 новых видов макроводорослей, не упоминаемых ранее. Прибрежная часть залива представляет собой хорошо выраженное зарастающее мелководье, за исключением отдельных участков Куршской косы. Как и в 1950-х гг. (Минкявичюс, Пипинис, 1959), доминируют сообщества *Phragmitetum australis subpurum*, *Phragmitetum australis purum*, *Scirpetum lacustris purum*, *Scirpetum lacustris phragmitetum*. Отмечается увеличение распространения *Phragmites australis* и *Nuphar lutea* вдоль Куршской косы, где они ранее не произрастали, что может свидетельствовать о возрастании уровня трофности залива в течение ряда десятилетий (Фельдман, 2006, 2007). Анализ многолетних спутниковых данных сервиса Google Earth позволил выявить динамику изменений растительности на одном из участков залива. В период с 2009 по 2017 гг. тростниковый пояс увеличился на 10 м, т.е. прирост составил от 0,4 до 0,8 м в год. Ширина пояса тростника колеблется от 25 до 70 м, может достигать 400 м на восточном берегу; пояс камыша озерного, часто примыкающего к тростниковым сообществам меньше, достигает 10–20 м ширины. Среди гидрофитов преобладают сообщества *Potamogetonum perfoliati subpurum* и *Potamogetonum pectinati purum*. В тростниковых заводях и бухточках южного и восточного побережья локализуются ценные малоизмененные многовидовые сообщества с максимальным видовым разнообразием: *Nupharetum lutei nymphaerosum*, *Nupharetum lutei subpurum*, *Nupharetum lutei stratiotosum*, *Nymphoidetum peltata subpurum*. В бухте Камышевой, в районе дельты реки Неман у границы с Литвой, перспективном объекте для создания здесь особо охраняемой природной территории, выявлено максимальное проективное покрытие (до 95 %) в растительных сообществах с участием редких видов: *Nymphaea alba*, *Nymphoides peltata*.

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ ИЗУЧЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ МШАНОК (BRYOZOA) АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

Денисенко Н.В.

Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург, ndenisenko@zin.ru

До недавнего времени о разнообразии мшанок Арктики судили по информации, опубликованной Г.А. Ключе (1962), который упоминал о 341 виде. Обработка материалов, собранных в 1980–2016 гг. в Баренцевом, Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском морях, а также в водах Гренландии, Исландии и Фарерского плато, и на шельфе Норвежского моря на 3133 станциях, позволила установить, что фауна мшанок Арктики существенно богаче, и на данный момент в Арктике зарегистрировано 538 видов. В районах Исландии и Фарерского плато количество обнаруженных видов возросло в несколько раз, а в Баренцевом море и водах Гренландии увеличилось на 30 %, а в сибирских морях – на 30–50 %. Богатство фауны мшанок определяется многообразием условий среды обитания и максимально в зонах смешения Арктическими с Атлантическими или Тихоокеанскими водами. Степень изученности мшанок в морях и районах Арктики статистически зависит от интенсивности выполненного пробоотбора, а использование прогностических моделей позволило показать, что видовое богатство группы, установленное на настоящий момент, может там увеличиться еще на 10–20 %.

Оценка сходства фауны мшанок, зарегистрированных в разных районах Арктики, с использованием кластерного анализа и метода многомерного шкалирования, выявила три фаунистических комплекса, статистически различных по видовому составу. Первый объединяет фауны Фарерского плато, Исландии, Гренландских вод, Норвежского, Баренцева и Карского морей; второй – фауны морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского, а фауна Канадского Арктического района выделяется в обособленный кластер. Последнее, скорее всего, обусловлено недостаточной изученностью группы в этом районе. Имеющийся обширный материал также позволил обосновать существование мелководных и глубоководных фаунистических группировок мшанок, простирающие которых по глубине сопряжено с простираанием водных масс различного происхождения.

Оценка зависимости изменений разнообразия мшанок в изученных морях и районах Арктики на локальном (α -разнообразия) и региональном (γ -разнообразии) уровнях по градиенту широты показала, что корреляционные связи наблюдаются только на региональном уровне, но они разнонаправлены и не всегда статистически значимы. Обусловленность величины видового богатства мшанок от долготы более выражена и в большинстве случаев статистически достоверна на региональном уровне. Особенно ярко это проявляется в интразональном масштабе: обеднение фауны в морях и районах наблюдается по мере удаления от Атлантического океана.

Разнообразие группы сопряжено с изменением глубины и снижается с ее увеличением. Размерный состав донных осадков также следует рассматривать в качестве значимого фактора, определяющего не только видовое богатство, но количественную представленность группы в донных сообществах.

Массовые скопления мшанок, хотя занимают сравнительно небольшие по площади участки дна, но встречаются довольно часто. При этом доля биомассообразующих видов мшанок в общей фауне группы невелика и составляет порядка 10 %. Причем среди доминирующих по биомассе мшанок, в пределах

евразийского сектора Арктики, происходит постепенное замещение атлантических видов на арктические, а далее на восток – на тихоокеанские.

РОЛЬ ВИДОВ-ВСЕЛЕНЦЕВ В ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ ФИТО- И ЗООПЛАНКТОНА В ВОДОХРАНИЛИЩАХ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

Еремкина Т.В., Климова Н.Б., Цурихин Е.А.

Уральский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Екатеринбург, uralniro@vniro.ru

Проблема проникновения чужеродных видов в водоемы Свердловской области приобрела актуальность лишь в последнее десятилетие в связи с обнаружением и активным распространением инвазийных моллюсков в водных объектах региона. В 2018 г. в Белоярском водохранилище впервые на Среднем Урале была обнаружена *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) (Eremkina et al., 2021), в 2022 – в Рефтинском водохранилище впервые выявлены два вида китайских беззубок – *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) и *S. lauta* (Martens, 1877) (Павлюк и др., 2023). К настоящему времени *D. polymorpha* распространена по всему Белоярскому водохранилищу от верховьев до плотины, проходит полный цикл развития, и мы можем констатировать натурализацию вида в водоеме. Китайские беззубки по данным исследований «УралНИРО» в 2023 г. распространены в Рефтинском водохранилище более широко, чем отмечалось первоначально (Павлюк и др., 2023). Максимальный возраст отдельных особей достигал 18 лет, единичные экземпляры моллюсков обнаружены и в необогреваемой зоне. Оба вида также можно рассматривать как пример успешной натурализации.

Известно, что бентификация водоемов сопровождается серьезными структурными и функциональными перестройками водных экосистем (Остапеня и др., 2012), что наблюдается и в исследуемых водохранилищах. Несмотря на маловодный гидрологический цикл, что привело к снижению уровня Рефтинского водохранилища на 1,2 м, существенных изменений гидрохимического режима в водоемах не произошло. Однако по сравнению с периодом 2000–2020 гг., когда происходило заселение и натурализация видов-вселенцев, увеличилась прозрачность воды. TSI-индекс в Белоярском водохранилище повысился с 61 до 55, в Рефтинском – с 60 до 55 ед. Максимальные биомассы фитопланктона наблюдались в водохранилищах в 2011–2015 гг., в Белоярском водохранилище – с интенсивным цветением цианобактерий, в Рефтинском – с обильным развитием зеленых водорослей. В последующем произошло резкое снижение численности и биомассы фитопланктона в 2023 г. до 1,42 г/м³ в Белоярском и 1,56 г/м³ – в Рефтинском водохранилище. Существенно снизилось таксономическое разнообразие. В Белоярском водохранилище прекратилось массовое развитие цианобактерий, произошла перестройка доминирующего комплекса фитопланктона. В состав доминантов вошли диатомовые, зеленые водоросли и криптомонады. В Белоярском водохранилище минимальные (за период наблюдений с 1985 г.) значения биомассы зоопланктона (0,97 г/м³) наблюдались в 2016–2020 гг. с последующим ростом в 2021–2023 гг. до 2,22 г/м³. В составе зоопланктона появились новые *o*-сапробные виды (*Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863), *Sida crystallina* (O.F. Muller, 1776), *Ceriodaphnia quadrangula* (O.F. Muller, 1785), а некоторые, ранее формирующие значительную долю в структуре биомассы (хищная коловратка *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850), β - α сапробы *Daphnia pulex* (Leydig,

1860) и *Brachionus calyciflorus* (Pallas, 1776)), исчезли. В Рефтинском водохранилище появились новые виды ветвистоусых ракообразных (*Moina brachiata* (Jurine, 1820), *Simocephalus vetulus* (O.F. Müller, 1776), *S. crystallina*), при этом снизилось видовое разнообразие веслоногих и коловраток.

РАЗНООБРАЗИЕ И БИОГЕОГРАФИЯ ЦЕНТРОХЕЛИДНЫХ СОЛНЕЧНИКОВ

Загумённый Д.Г., Тихоненков Д.В.

*Институт биологии внутренних вод имени И.Д. Папанина РАН, п. Борок,
zdmityrg@gmail.com*

Центрохелидные солнечники, также известные как центрохелиды (Centroplasthelida, Naptista, Eukaryota), группа свободноживущих эукариотрофных протистов. Благодаря специфическим органеллам захвата жертвы (кинетоцистам), расположенным на радиально расходящихся аксоподиях, эти одноклеточные могут эффективно охотиться на других протистов и даже на некоторых низших многоклеточных, играя важную роль в микробных пищевых сетях. Накопленные сведения указывают на всесветное распространение центрохелид, на их широкую толерантность к различным гидрохимическим условиям и способность успешно существовать в разнообразных биотопах. Способность большинства представителей этой группы протистов к биоминерализации предоставляет исследователям возможность использовать видоспецифичные кремнеземные чешуйки широкого спектра форм и размеров для разработки таксономии группы.

Не смотря на широкое распространение центрохелидных солнечников, они остаются все еще недостаточно изученной группой протистов. Сопоставление данных молекулярной филогении с морфологическими данными приводит к выводу о том, что подавляющее число видов (более 80 %) центрохелид все еще не описаны. Специальные исследования разнообразия центрохелид с использованием электронной микроскопии касались лишь немногих уголков Земли, а при проведении метабаркодинговых работ таксономическая принадлежность центрохелид зачастую остается неопределенной.

Для систематизации информации нами был проведен анализ имеющихся сведений (исследовательские статьи, Internet-ресурсы, а также собственные данные по центрохелидным солнечникам России, Украины, Монголии, Вьетнама, Южной Кореи и других стран), основанных на световой и электронной микроскопии, а также по данным метабаркодинговых работ в морских, солоноватых, пресных водах, а также в почвах.

Составлена база данных, содержащая такую информацию как таксономическая принадлежность центрохелид, данные микроскопии, координаты и тип биотопов из которых они были выделены, характеристики биотопов, характер питания, включая способность к питанию цианобактериями, ссылки на источники с оценкой качества данных и их достоверности. По полученным результатам проведен анализ разнообразия и биогеографии ряда видов центрохелидных солнечников.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-44-00093, <https://rscf.ru/project/24-44-00093>.

СОВРЕМЕННЫЙ СОСТАВ ИХТИОФАУНЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ РЫБ РЕКИ ЧУЛЫМ (БАССЕЙН РЕКИ ОБЬ)

Злотник Д.В.

Красноярский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Красноярск, zlotnik@niiv.vniro.ru

С начала прошлого века инвазии различных видов рыб занимают одно из ведущих положений в современных исследованиях в области ихтиологии. Актуален процесс расширения инвазионными видами своего ареала и для ихтиофауны бассейна реки Чулым, во многом изменившем её качественный и количественный состав.

Река Чулым – один из крупнейших притоков Оби, длиной 1799 км с площадью водосбора более 134 тыс. км², бассейн реки располагается в четырёх субъектах РФ. Географически и морфологически бассейн Чулыма можно разделить на четыре основные части: Верхне-Чулымская группа озёр, верхнее, среднее и нижнее течения.

Первые сведения об ихтиофауне Чулыма получены академиком П.С. Палласом (1770–1773). Намного позже исследования провёл профессор Томского университета Г.Э. Иоганзен (1914, 1915). В 1920 г. экспедиция Сибирской ихтиологической лаборатории изучила рыбохозяйственное значение Верхне-Чулымских озёр. Наиболее масштабные рыбохозяйственные исследования (среднее и нижнее течение) пришлось на 1944 г. под руководством Ф.И. Вовка и на период 1972–1976 гг. под руководством В.Ф. Усынина. Первые упоминания о неативных видах (лещ и судак) ихтиофауны нижнего течения Чулыма встречаются в коллективной монографии под редакцией Б.Г. Иоганзена (1980). Только в 2020 году на основании анализа литературы и многолетних натурных исследований представлен современный список ихтиофауны впервые для всего бассейна реки Чулым (Злотник, 2020).

В настоящее время из 39 видов рыб и рыбообразных бассейна, относящихся к 13 семействам, 12 – вселенцы (9 натурализовались, 3 – объекты аквакультуры).

Верхне-Чулымская группа озёр. Работы по вселению новых ценных видов рыб проводились с 1931 г. с целью повышения продуктивности озёр. Началось вселение с сиговых, результат акклиматизации разных видов – натурализация ряпушки европейской и леща (оз. Инголь), сига-лудог и леща (оз. Большое), карася серебряного (оз. Белое и вся речная система) и сазана (различные озёра группы).

Река Чулым с притоками. Акклиматизация (натурализация) леща, судака и отчасти сазана в пойменно-речной системе Чулыма произошла вследствие саморасселения этих видов из Новосибирского водохранилища, куда в 60-х гг. 20 века целенаправленно вселялись для повышения рыбопродуктивности. Лещ стал доминирующим видом. С рыбопосадочным материалом хозяйственно-ценных видов случайно были занесены ещё три вида, не имеющих промыслового значения (уклейка, верховка обыкновенная и головешка-ротан), но также натурализовавшиеся в бассейне Чулыма. Вектор инвазии головешки-ротана до сих пор остаётся под вопросом.

За 90 лет качественный состав ихтиофауны увеличился на 31 % за счёт инвазионных видов (нативных видов – 27). Наиболее богат ихтиокомплекс на участке реки ниже плотины Назаровской ГРЭС (нижний и средний участки реки), где в русле и акватории обитает 32 вида (из них инвазионных – 9). На участке реки от плотины и выше по течению состав ихтиофауны заметно беднеет, здесь обитает 20 видов (4 из них виды-вселенцы), в Верхне-Чулымских озёрах – 20 видов (вселенцы – 8). Причинами относительной бедности ихтиофауны на верхнем участке реки и в озёрах Верхне-Чулымской группы являются географическое положение и исторически сложившаяся картина ихтиоценоза для озёр, а для реки – русловая плотина Назаровской ГРЭС.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОКРОВНЫХ ПОР НА
АБДОМЕНЕ ВЕСЛОНОГИХ РАЧКОВ *NANNOCALANUS MINOR* (CLAUS, 1863)
ИЗ ТУНИССКОГО ПРОЛИВА, *N. MAJOR* SEWELL 1929 И *N. SEWELLI* KAZUS
2009 (CALANIDAE, CALANOIDA) ИЗ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ИНДИЙСКОГО
ОКЕАНА**

Иванова Н.А., Андронов В.Н.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, kazu@inbox.ru,
vandro@mail.ru*

Виды *Nannocalanus minor* (Claus, 1863), *N. major* Sewell 1929 и *N. sewelli* Kazus 2009 морфологически хорошо различимы между собой только по самкам (Казусь, 2009). Применение метода окраски интегумента по Наумовой и Алексееву (2005) позволили дифференцировать индоокеанских самцов *N. major* и *N. sewelli* по характеру расположения покровных пор на абдомене (Иванова (Казусь), 2011). Этот же метод окраски показывает особенности в расположении пор и у *N. minor*, являющегося типовым видом рода *Nannocalanus*.

Материал для исследования отобран из проб зоопланктона, собранных сотрудниками Института биологии южных морей во время научно-исследовательского рейса экспедиционного судна «Академик А. Ковалевский». Пробы взяты в разных местах Тунисского пролива от африканского побережья до острова Сицилия. Проанализировано расположение покровных пор на абдомене 56 самок и 17 самцов *N. minor*.

У самцов *N. minor* в дистальной части первого членика (вид слева) обе поры, расположены на разных уровнях относительно его дистального края. Дорсально видна только одна из пор, расположенная примерно посередине этого членика, всегда выше хитиновой складки. Такое же расположение пор и у *N. major*. На втором членике абдомена *N. minor* (вид слева) поры в его срединной части расположены почти на одном уровне относительно дистального края членика, как и у *N. major*. В дополнение к ранее приведенным сведениям о порах на абдомене (Иванова, 2011) следует добавить, что оба индоокеанских вида, *N. major* и *N. sewelli*, с дорсальной стороны, в срединной части на втором, третьем и четвертом члениках несут по 1 паре пор, тогда как у *N. minor* они отсутствуют, и этот признак надежно отличает от них этот вид.

У одного из самцов *N. minor* в срединной части второго, третьего и четвертого члеников присутствовало по паре пор, как у *N. major* и *N. sewelli*, тогда как на втором членике (при рассмотрении слева) поры были расположены на разных уровнях, как у *N. sewelli*.

Принимая во внимание, что генитальный сегмент самок представляет собой 2 слившихся членика, расположение пор на нем совпадает с расположением пор на двух первых члениках у самцов. Вместе с тем, обнаружены 3 самки, уклоняющиеся по этим признакам. У одной из них на первом (генитальном), втором и третьем свободных члениках абдомена в их срединной части расположены по паре пор, как у *N. major* и *N. sewelli*. У другой самки эта пара пор была лишь на первом членике. У третьей самки на первом членике из этой пары пор присутствовала лишь одна (правая).

Несмотря на упомянутые исключения можно утверждать, что расположение пор на абдомене рачков позволяет достаточно надежно идентифицировать видовую принадлежность рачков.

Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН по теме FMWE-2024-0020.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ГРУППЫ ЗООБЕНТОСА В БИОТОПАХ ЮЖНО-СУРХАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Иззатуллаев З.И.¹, Боймуродов Х.Т.², Алиев Б.А.¹, Эгамкулов А.Н.²

¹Самаркандский государственный университет, г. Самарканд

²Самаркандский государственный университет ветеринарной медицины,
животноводства и биотехнологии, г. Самарканд, boymurodov1971@mail.ru

Изменения гидрологического режима рек и водохранилищ оказывают отрицательное влияние на биологическое разнообразие, плотность и экологические группы гидробионтов в водных экосистемах. Распространение и экологические группы гидробионтов всесторонне изучены (Lopes-Lima et al., 2017; Konopleva et al., 2017, 2019; Bolotov et al., 2017, 2018; Boymurodov, 2021, 2022; Boymurodov et al., 2022, 2023). Целью исследования являлось изучение распространения и экологических групп гидробионтов Южно-Сурханского водохранилища.

При анализе плотности распределения гидробионтов в биотопах Южно-Сурханского водохранилища были использованы методы, представленные в исследованиях Болотова с соавт. (2017, 2018), Боймуродова (2021, 2022), Боймуродова с соавт. (2022, 2023). За период с 2015 по 2023 гг. в районе исследований было собрано 448 образцов.

Южно-Сурханское водохранилище – одно из крупнейших водоемов Узбекистана. Оно было создано в 1958–1967 гг. на территориях Шурчинского и Джаркурганского районов Сурхандарьинской области. В среднем течении Сурхандарьи построена плотина. Общий объем водохранилища составляет 800 млн м³. Максимальная высота плотины – 30 м. Максимальная возможность сброса воды составляет 150 м³/сек. Систематический состав, биотопическое распределение, распространение и другие важные аспекты гидробионтов в Южно-Сурханском водохранилище и окружающих его водоемах, были практически не изучены. В связи с этим, в 2014 г. мы начали проводить здесь гидробиологические исследования. В результате наших исследований было обнаружено 16 видов гидробионтов, относящихся к 8 семействам.

На глинистых биотопах каналов, питающих Южно-Сурханское водохранилище, и в водосбросных каналах плотность моллюсков рода *Sinanodonta* (сем. Unionidae) составила: *Sinanodonta gibba* – 1,4 м², *S. puerorum* – 0,9 м² и *S. orbicularis* – 1,2 м². На песчаных биотопах водоема обнаружены преимущественно представители рода *Corbicula* – *Corbicula cor* с плотностью 0,8 м², *C. fluminalis* – 0,7 м², *C. purpurea* – 0,5 м², и рода *Corbiculina* – *Corbiculina tibetensis* – 1,6 м² и *C. ferghanensis* – 1,4 м².

Исследования показали, что плотность представителей рода *Corbicula* невысока, причиной этого возможно является влияние гидрохимических показателей воды.

Из ракообразных мы обнаружили *Astacus leptodactylus* (сем. Astacidae), на каменистых и песчаных биотопах плотность составила 0,7 м². Впервые нами на каменистых и илистых биотопах выявлены пиявки из 5 семейств. Получены сведения об их плотности. Обнаружено три вида пиявок из семейства Glossiphoniidae, плотность которых составила: *Hemiclepsis marginata* – 0,5 м², *Alboglossiphonia hyalina* – 0,9 м² и *Helobdella stagnalis* – 1,1 м². На песчаных и илистых биотопах выявлены виды *Hirudo verbana* (сем. Hirudinidae) – 1,2 м², *Limnatis paluda* (сем. Praobdellidae) – 0,8 м², *Haemopsis sanguisuga* (сем. Haemopidae) – 0,6 м² и *Erpobdella octoculata* (сем. Erpobdellidae) – 0,7 м².

В результате наших исследований в изученных водоемах выявлено 16 видов гидробионтов, относящихся к 8 семействам. Впервые в каменистых и илистых биотопах нами обнаружены пиявки, принадлежащие к 5 семействам и получены данные об их плотности.

ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ПАРАЗИТОВ РЫБ РОДА *DIPLOSTOMUM* (DIGenea, TREMATODA) ВОДОЁМОВ СИБИРИ И ЗАПАДНОЙ ЕВРАЗИИ

Изотова Г.В.^{1,2}, Власенко П.Г.^{1,2}, Маркевич Г.Н.^{2,5}, Романенко Г.А.^{3,4},
Кашинская Е.Н.^{1,2}, Andree K.B.⁶, Соловьев М.М.^{1,2}

¹Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск,
office@eco.nsc.ru

²Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва,
admin@sevin.ru

³Алтайский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Барнаул, altainiro@vniro.ru

⁴Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Алтай, г. Барнаул, gti@mail.gorny.ru

⁵ФГБУ «Кроноцкий государственный заповедник», г. Елизово, zapoved@kronoki.ru

⁶Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias, San Carlos de la Rapita,
Tarragona, Spain

Трематоды рода *Diplostomum* – широко распространённые паразиты рыб, на стадии метацеркарии локализующиеся в глазах или головном мозге хозяина и вызывающие нарушения в его питании, поведении и ориентировании в пространстве. Исследования на основе генетических данных позволяют выявить возможное криптическое разнообразие данной группы трематод, которые имеют слабо выраженные диагностические признаки. Во многих регионах, например, в водоёмах Западной Сибири, исследования видового разнообразия диплостомид крайне фрагментарны. Одним из таких водоёмов является олиготрофное озеро Телецкое, расположенное в горах Республики Алтай. Это одно из глубочайших (до 325 м в глубину) озёр Западной Сибири, являющееся местом гнездования и кормления множества видов птиц, в том числе – рыбоядных мигрирующих. Ранее в озере было отмечено всего два вида диплостомид в глазах окуня и двух видов подкаменщиков.

Для изучения видового состава трематод р. *Diplostomum* в озере нами был применен метод ДНК-баркодирования по двум генам: частичному фрагменту митохондриального гена *cox1* и полного кластера ITS1-5.8S-ITS2. В результате филогенетического анализа было установлено наличие 11 видов диплостомид в озере, в том числе впервые установлено наличие комплекса видов *D. phoxini*, ранее считавшегося одним видом, включающего в себя три филогенетические линии видового уровня. Также было установлено ядерно-митохондриальное несоответствие для *D. numericum*, в случае деления по митохондриальным генам, образующего отдельную кладу, но в случае анализа данных ядерных, формирующего в одну кладу с *D. petromyzifluviatilis*, что может являться признаком аллопатрического видообразования и генетической интрогрессии.

При изучении гаплотипического разнообразия *cox1*, проведения анализа с данными из предыдущих исследований в Западной и Центральной Европе и изучении литературы по орнитофауне рассматриваемых водоёмов, была установлена связь водоёмов Западной Сибири и Норвегии, Германии, Шотландии, Украины и Эстонии

посредством мигрирующих рыбоядных птиц (отряды Anseriformes и Charadriiformes), являющихся основными переносчиками трематод данного рода. Полученные данные о трансмиссии паразитов в целом соответствуют Средиземноморскому и Восточно-Атлантическому пролетным путям птиц.

Секвенирование выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-74-101-01. Метаанализ данных выполнен при поддержке Мегагранта № 075-15-2022-1134.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВСЕЛЕНИЯ СУДАКА В ЭКОСИСТЕМУ ОЗЕРА СУНДОЗЕРО (ЮЖНАЯ КАРЕЛИЯ)

**Ильмаст Н.В., Стерлигова О.П., Милянчук Н.П.,
Кучко Я.А., Распутина Е.Н., Реккин Е.В.**

*Институт биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск,
ilmast@mail.ru*

В Карелии для улучшения качественного состава ихтиофауны водных экосистем в разные годы проводились работы по интродукции ценных видов рыб. Впервые на возможность и целесообразность расселения судака в республике указал П.Ф. Домрачев (1929). В 1935 г. были начаты работы по искусственному разведению судака в Онежском (Виролайнен, 1946) и Ладожском озерах (Головков, 1936; Лапицкий, 1941). В результате этих работ была разработана методика выдерживания производителей в садках и определены возможности инкубации икры во влажной атмосфере. Позднее, начиная с 1948 г., судака вселяли в 14 озер Карелии, где он ранее отсутствовал (Маханькова, 1964). В озеро Сундозеро в 1965–1970 гг. было вселено 6,8 млн. экз. разновозрастного судака. Анализ полученных данных показал, что в результате рыбоводно-акклиматизационных работ в озеро Сундозеро появился новый промысловый вид. В настоящее время отмечено саморасселение данного вида по реке Суна в озеро Пандозеро. Таким образом, в результате интродукции судак стал обычным видом для этих двух озер. Следует отметить, что судак, являясь ценным промысловым видом, выступает как биологический мелиоратор, способствующий, снижению численности мелкого окуня, ерша, уклеи и плотвы в водоемах.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ *ACTINOCYCLUS NORMANII* ВО ВНУТРЕННИХ ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЕМАХ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Казакова Е.Ю.

Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Калининград, ekkazur@gmail.com

Actinocyclus normanii W.Gregory ex Greville Hustedt., 1957 – центрическая диатомовая водоросль из семейства Hemidiscaceae и рода Actinocyclus. Диатомея имеет широкий ареал распространения в морских и пресноводных водоемах Европы, Азии, Северной и Южной Америки, Австралии и Новой Зеландии. *A. normanii* является космополитом планктонного и планктонно-бентосного сообщества, алкалофильным и галофитным видом, который встречается в водах с умеренно-высокой проводимостью.

По данным ряда работ, *A. normanii* может служить индикатором эвтрофирования водных экосистем. Начиная со второй половины XX столетия, диатомовая водоросль активно расселяется в пресноводные водоёмы Европы и Северной Америки. В районе Балтийского моря первые зафиксированные случаи проникновения морфотипа вида вглубь континента были описаны в Германии. На территории Калининградской области *A. normanii* был одним из доминантов в Вислинском и Куршских заливах, Балтийском море. Данные о присутствии вида в пресноводных водоемах описаны лишь для Правдинского водохранилища, поэтому целью данной работы послужило исследование распространения *Actinocyclus normanii* в основных пресноводных водоемах Калининградской области.

Исследование фитопланктона проводилось сезонно с 2017 по 2023 гг. на четырех водоемах: река Преголя, река Неман, Правдинское водохранилище и озеро Виштынецкое. Данные водоемы являются самыми крупными среди подобных им водных объектов Калининградской области. Станции отбора проб располагались в прибрежной зоне. Отбор проб осуществлялся с поверхности. В качестве фиксатора применялся раствор «Кузьмина». Сгущение пробы проводилось методом отстаивания до объема 5–10 мл. Обработка проб выполнялась согласно стандартным методам гидробиологического анализа.

Диатомовая водоросль *Actinocyclus normanii* в период проведения исследования была частью фитопланктонного сообщества всех четырех водоемов. С 2017 г. диатомея наблюдалась в реках Преголя и Неман. В Правдинском водохранилище и озере Виштынецком вид входил в структуру альгофлоры водоемов с 2018 по 2022 г. Наибольшая частота встречаемости водоросли была определена в озере Виштынецком и составляла 46 % от общего количества проб данной акватории. Наименьшее число отмеченных диатомей было в Правдинском водохранилище – 34 %. Наиболее высокая доля *A. normanii* наблюдалась в озере Виштынецком в ноябре 2021 г. и составляла 70 % от биомассы фитопланктона. Помимо этого, превалирование вида в других водоемах было отмечено осенью 2020 г. в Правдинском водохранилище (29 %), зимой в реке Преголя в 2021 г. (21 %) и в реке Неман в 2019 г. (45 %). Благоприятными сезонами для развития *A. normanii* являлись зимние и осенние месяцы. Период активной вегетации водоросли был отмечен с октября 2020 г. по февраль 2021 г. В это время вид присутствовал во всех исследуемых водных объектах.

Необходимо подчеркнуть, что нет опубликованных данных о начале расселения *A. normanii* в выделенных водоемах. Несмотря на это, стоит отметить значительную протяженность распространения вида по территории Калининградской области и его особенность доминирования в различных типах водных экосистем.

МИТОГЕНОМИКА КАК НЕОБХОДИМЫЙ ЭТАП СОЗДАНИЯ БАЗЫ ДЛЯ ДНК-МЕТАБАРКОДИНГА ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ CLADOCERA (CRUSTACEA)

Карабанов Д.П.¹, Котов А.А.²

¹Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, dk@ibiw.ru

²Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва, alexey-a-kotov@yandex.ru

Традиционные методы определения зоопланктона, основанные на морфологических определительных ключах, крайне трудозатратны. Мало того, в настоящее время наблюдается дефицит в достаточной степени обученных кадров, что

существенно затрудняет создание системы долговременного мониторинга биологических инвазий. На первых этапах проникновения новых видов, как правило, вселенец представлен единичными особями, которые могут быть пропущены при рутинном разборе проб даже опытными специалистами. Использование молекулярно-генетических методов может предоставить принципиально новые инструменты для выявления новых видов зоопланктеров, часть из которых могут оказаться “истинно инвазивными”, т. е. представлять особую угрозу нативным сообществам и хозяйственной деятельности. Однако точность определения видов при метабаркодировании, в первую очередь, зависит от наличия эталонной библиотеки последовательностей ДНК. Если для проведения “классического” ДНК-баркодинга имеется довольно большая база последовательностей митохондриального локуса COX1, то использование её в случае метабаркодинга сообществ имеет ряд технических ограничений. В первую очередь, по причине высокой изменчивости терминальных локусов, где происходит гибридизация праймеров, выявляется сильная селективность отжига “универсальных” праймеров: лучше всего они работают на Daphniidae, тогда как для понто-каспийских вселенцев, например, Onychopoda, продукт ПЦР фактически не нарабатывается. В этом случае имеет смысл использовать локусы субъединиц (12S и 16S) митохондриальной рибосомы. Они обеспечивают хорошую разрешающую способность (правда, дают и неспецифические продукты). Для метабаркодинга чужеродных видов Cladocera пока ещё нет единого протокола и набора “хороших” локусов. Прежде всего, методическая сложность связана с низкой представленностью последовательностей разных локусов разных таксонов в базах генетических данных. Вполне возможно, что использование более удобных локусов тормозится не по причине их нерелевантности, а просто из-за отсутствия референсных последовательностей как таковых. Поэтому, в первую очередь, мы считаем, что усилия исследователей должны быть направлены на наполнение баз данных последовательностей для всех видов (или хотя бы родов и групп видов) Cladocera по максимально большему числу генов. Для этого наиболее перспективно будет секвенирование полных митогеномов, что позволит презентовать все митохондриальные гены для последующего создания индексов для метабаркодинга без привязки к конкретному гену. Данная работа начата нашим коллективом и наиболее перспективна для редких и чужеродных видов Cladocera России, что позволит не только наполнить базу референсных последовательностей для метабаркодинга сообществ, но и наработать большой материал для последующих филогенетических и биогеографических реконструкций.

Работа выполнена в рамках гранта № 23-24-00279 Российского научного фонда.

О РАЗНООБРАЗИИ И ЭКОЛОГИИ СООБЩЕСТВ ХАРОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ОЗЕР АЛТАЯ

Киприянова Л.М.¹, Вишняков В.С.^{1,2}, Гопоненко А.Ю.¹

¹*Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, kipriyanova@mail.ru*

²*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок*

Сведения о распространении харовых водорослей Алтая, их сообществах, экологических особенностях, продуктивности относительно немногочисленны (Ильин, 1976, 1984, 1987 и др.; Романов и др., 2022). Также мало сведений о гидрохимических предпочтениях видов харовых Сибири (Киприянова, 2005, 2022; Киприянова,

Романов, 2013; Свириденко, Свириденко, 2017). Цель работы – привести новые данные о ценоотическом разнообразии сообществ с доминированием харовых водорослей горного Алтая, а также охарактеризовать гидрохимические особенности водоемов, в которых представлены сообщества харовых.

В ходе экспедиционных работ в июле-августе 2023 г. были получены гидробиотические данные с 14 озер Улаганского, Онгудайского, Усть-Канского, Турочакского районов Республики Алтай, трех озер Змеиногорского и Курьинского районов Алтайского края. Было показано, что в гидрохимическом аспекте обследованные озера Алтайского края и Республики Алтай относятся в основном к гидрокарбонатно-кальциевым I-типа, за исключением гидрокарбонатно-магниевого озера Усть-Канского района. По величине водородного показателя преобладают нейтральные и слабощелочные озера, по минерализации – ультрапресные ($<0,2$ г/дм³) и пресные воды, и лишь два озера были олигогалинными.

По материалам экспедиций 2023 г. определено 13 видов харовых водорослей из родов *Chara* L. (8 видов), *Nitella* C. Ag. (4) и *Nitellopsis* Hu (1). Показано, что большинство исследованных водоемов бедны по составу харовых водорослей: видовое богатство редко превышает 3 вида, за исключением Колыванского озера, где отмечено 7 видов.

Приводим перечень типов сообществ харовых водорослей, выполненный в рамках подхода Браун-Бланке (Braun-Blanquet, 1964) (асс. – ассоциация).

Класс *Charetea intermediae* F. Fukarek 1961.

Порядок *Nitelletalia* W. Krause 1969 (сообщества харовых водорослей в кислых и бедных известью водах). Союз *Nitellion flexilis* W. Krause 1969 (сообщества харовых водорослей в кислых водах): асс. *Nitelletum flexilis* Corillion 1957, асс. *Nitelletum hyalinae* Corill. 1949, асс. *Nitelletum wahlbergianae* Kipriyanova et Vishnyakov ass. nov. prov.

Порядок *Charetalia intermediae* Sauer 1937 (сообщества харовых водорослей в водах, богатых известью, с реакцией от нейтральной до щелочной). Союз *Charion intermediae* Sauer 1937 (сообщества многолетних харовых водорослей в нейтральных или щелочных водах): асс. *Nitellopsidetum obtusae* (Sauer 1937) Dąbbska 1961, асс. *Charetum contrariae* Corill. 1957, асс. *Charetum fragilis* Corill. 1957, асс. *Charetum intermediae* W. Krause & Lang in Oberd. 1977, асс. *Charetum strigosae* Dąbbska 1966. Союз *Charion canescentis* Krausch 1964 (сообщества харовых водорослей солоноватых и соленых вод): асс. *Charetum canescentis* Corill. 1957.

Получена информация о продуктивности, высотной и ландшафтной приуроченности сообществ харовых, о редких видах и сообществах харовых, нуждающихся в принятии охранных мер.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23–27–00401, <https://rscf.ru/project/23-27-00401>.

ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫСШЕЙ ВОДНОЙ И ПРИБРЕЖНО-ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ОЗЕР АЛТАЯ

Киприянова Л.М.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, lkipriyanova@mail.ru

По результатам гидробиотического обследования 14 озер Улаганского, Онгудайского, Усть-Канского, Турочакского районов Республики Алтай, трех озер

Змеиногорского и Курьинского районов Алтайского края составлен конспект флоры сосудистых макрофитов обследованных озер Алтая, который на данный момент включает 12 видов неукорененных гидрофитов; погруженных укорененных гидрофитов – 37 таксонов, включая гибриды; укорененных гидрофитов с плавающими листьями – 11 таксонов, включая гибриды; гелофитов – 18 видов; гигрогелофитов – 16 видов.

Обнаружено, что виды с американско-восточноазиатским распространением, такие как *Utricularia macrorhiza* Leconte, *Ranunculus subrigidus* W. B. Drew, *Lemna turionifera* Landolt, *Ranunculus mongolicus* (Krylov) Serg. формируют ценозы и принимают активное участие в сложении растительного покрова озер.

На основании обработки более 200 полных геоботанических описаний с территории Алтая составлен предварительный список типов сообществ (продромус) высшей водной растительности Алтая, выполненный в рамках подхода Браун-Бланке (Braun-Blanquet, 1964), который включает 6 ассоциаций класса *Lemnetea* O. de Bolòs et Masclans 1955, 21 ассоциацию класса *Potamogetonetea* Klika in Klika et Novák 1941, 8 ассоциаций класса *Littorelletea uniflorae* Br.-Bl. et Tüxen ex Westhoff et al. 1946, 16 ассоциаций класса *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novák 1941, 3 ассоциации класса *Bidentetea* Tx. et al. ex von Rochow 1951.

Выявлена высотно-поясная и ландшафтная дифференциация растительности. Только в тундровом и лесном поясах отмечены сообщества с доминированием *Potamogeton alpinus* L., *Sparganium hyperboreum* Laest. ex Beurl. и *Sparganium natans* L. Распространением во всех поясах, кроме тундрового, отличались сообщества *Ceratophyllum demersum* L., *Potamogeton natans* L., *Persicaria amphibia* (L.) Gray, *Equisetum fluviatile* L. Только в степном и лесостепном поясах отмечены ассоциации, образованные *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle, *Trapa natans* L. s.l. и ряд других. Приводятся сведения о гидрохимических особенностях исследованных озер.

На основе данных укусов надземной фитомассы были оценены продукционные потенциалы видов-доминантов растительного покрова озер Алтая. Было показано, что из сообществ сосудистых растений самая высокая фитомасса была характерна для ассоциации *Lemno minoris*–*Ceratophylletum demersi* – до 2660 г абс. сух. в./м². Одна из самых обычных ассоциаций в озерах Алтая – *Potamogetonetea perfoliati* – формирует сообщества с фитомассой от 95±79 до 187±41 г абс. сух. в./м². Другая обычная ассоциация – *Myriophylletum sibirici*, несмотря на довольно высокие балльные оценки обилия-покрытия, имеет довольно низкую продуктивность от 27±9 до 96±92 г абс. сух. в./м². Высокой продуктивностью отличались ценозы, образованные *Stuckenia vaginata* – 665±232 г абс. сух. в./м² и *Potamogeton pusillus* 469±156 г абс. сух. в./м². Из растений с плавающими листьями высокой продуктивностью отличались ценозы *Persicaria natans* – 323±172 г абс. сух. в./м², а ценозы рдеста плавающего *Potamogeton natans* имели гораздо меньшую фитомассу на единицу площади – 94±43 г абс. сух. в./м².

Получена информация о редких видах и сообществах сосудистых растений, нуждающихся в принятии охранных мер. К внесению в Красную книгу Республики Алтай рекомендованы *Potamogeton maackianus* и *Potamogeton rutilus*.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-27-00401, <https://rscf.ru/project/23-27-00401>.

РАЗНООБРАЗИЕ ГЕТЕРОТРОФНЫХ ПИКОЭУКАРИОТ ВО ЛЬДУ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА (БЕЛОЕ МОРЕ, РОССИЯ) НА ОСНОВЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО СЕКВЕНИРОВАНИЯ ГЕНОВ rRNA

Кириухин Б.А.^{1,2}, Тихоненков Д.В.^{1,2}

¹Тюменский государственный университет, г. Тюмень, bogdan.kirukhin67@gmail.com

²Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова РАН, п. Борок

Потепление в Арктике происходит быстрее, чем в остальном мире, что приводит к явлению, известному в литературе как арктическое или полярное «усиление» (arctic amplification). Текущие изменения климата влияют на возраст и толщину морского льда. Эти проблемы также затрагивают Белое море. Эукариотические микроорганизмы находят подходящие условия для жизни внутри сложной структуры морского льда. В последние годы в Арктике многолетний морской лед заменяется однолетним, способствуя развитию пикоэукариот (в противоположность микроэукариотам), что отражается на сообществах морских организмов.

Исследования пикоэукариот в арктическом морском льду ограничены, но результаты предыдущих исследований выявили разнообразные сообщества микроводорослей. Белое море, хотя и находится в субарктической зоне, обладает характеристиками, сходными с арктическими морями. Метабаркодинговые исследования гетеротрофных пикоэукариот в морском льду Кандалакшского залива Белого моря дополняют сведения о разнообразии протистов морского льда в арктической зоне.

В нашей работе мы представляем результаты исследования разнообразия сообщества гетеротрофных пикоэукариот во льду Кандалакшского залива Белого моря с использованием метабаркодинга региона V4 гена 18S rRNA. Была выявлена 121 операционная таксономическая единица (OTU) гетеротрофных протистов. Сообщества гетеротрофных пикоэукариот в однолетнем льду представлены семью эукариотическими доменами (Stramenopiles, Alveolata, Rhizaria, Cryptista, Haptista, Apusozoa, Opisthokonta) и 15 типами. Домен Rhizaria был доминирующим, составляющим 48 % от общего относительного обилия, и включал только представителей Cercozoa. Таксономический состав гетеротрофных пикоэукариот был подробно проанализирован с учетом редких и важных микробных представителей и необычных для морского льда находок, таких как паразитические Perkinsea. Была выявлена ранее неизвестная филогенетическая клада Cercozoa. Наши результаты показывают, что сообщества гетеротрофных пикоэукариот Белого моря разнообразны, но недостаточно изучены. Только 39 % OTU были классифицированы до уровня отряда или семейства, и только 11 % OTU были классифицированы до уровня рода. Это указывает, с одной стороны, на присутствие множества неизученных одноклеточных эукариот в морском льду, а также подчеркивает ограничения метабаркодингового подхода по V4 18S rRNA, а именно неполноту баз данных (отсутствие референсных нуклеотидных последовательностей) и слабое таксономическое разрешение секвенсов региона V4 (невозможность классификации OTU до уровня вида в большинстве случаев).

Исследования выполнены при поддержке Правительства Тюменской области в рамках проекта Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра № 89-ДОН (2).

СУДЬБЫ РОССИЙСКОЙ ПРЕСНОВОДНОЙ ЗООЛОГИИ

Коровчинский Н.М.

*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва,
nmkor@yandex.ru*

Становление пресноводной зоологии в России началось с начала XIX века трудами И. Двигубского, С. Фишера, К. Кесслера, позднее Б. Дыбовского, В. Чернявского, В. Совинского (Crustacea), А. Миддендорфа, Л. Шренка, Б. Дыбовского (Mollusca) и других. По причине отсутствия или малочисленности отечественных специалистов часто привлекались иностранные. Нехватка собственных специалистов-систематиков была вызвана как более поздним развитием науки в России, так и противодействием развитию систематики, которое практиковали такие известные отечественные биологи, родоначальники научных школ как К. Рулье и А.П. Богданов. Последнее было вызвано как увлеченностью другими направлениями исследований, так и неразвитостью самой систематики, международные номенклатурные правила которой были сформулированы только в начале XX века.

По указанным причинам фундаментальные систематические исследования пресноводной фауны в России начались лишь с конца XIX–начала XX века. Со временем в стране сформировалось пять основных центров пресноводной зоологии – в С.-Петербурге, Москве, на озере Байкал, в п. Борок Ярославской области (ИБВВ РАН) и во Владивостоке (БПИ ДВО РАН и др.). В С.-Петербурге исследования по данному направлению проводились в первую очередь сотрудниками Зоологического музея АН (затем Зоологического института АН) (В. Насонов, В.М. Рылов, А.Л. Бенинг и другие) и другими представителями петербургской зоологической школы. Начавшиеся в СССР «великие социалистические преобразования», в частности, реорганизация Академии наук, привели к созданию в Зоологическом институте Отдела гидробиологии, что направило тему исследования пресных вод в основном в экологическое русло. Массовые репрессии 1930-х годов, последующая война и блокада Ленинграда привели к гибели не менее половины местных зоологов-специалистов по пресноводной фауне. Последующее доминирование в гидробиологии продукционно-энергетического направления также не способствовало развитию пресноводной зоологии.

В Москве пресноводная зоология развивалась в основном в стенах Зоологического музея Московского университета и была связана с именами Н.В. Воронкова, В.Н. Беклемишева, Е.В. Боруцкого, Я.А. Бирштейна и других исследователей. В 1970-х годах данное направление здесь грозило в значительной мере иссякнуть, но получило мощную поддержку в лице профессора Н.Н. Смирнова, которому удалось создать научную школу по исследованию мировой фауны ветвистоусых ракообразных (Cladocera).

Позднее появившийся центр пресноводной зоологии, вполне сравнимый по масштабу с таковыми столичных центров, был создан профессором Ф.Д. Мордухай-Болтовским в Институте биологии внутренних вод АН (пос. Борок Ярославской области). Работа по данной тематике продолжается здесь и поныне.

В настоящее время указанные центры пресноводной зоологии продолжают свою работу. Вместе с тем, по сравнению с прошлым, численность их специалистов заметно сократилась и имеет тенденцию к ещё большему сокращению, точки роста единичны. Отсутствуют специалисты по систематике ряда важных групп беспозвоночных.

РАССЕЛЕНИЕ ГИДРОБИОНТОВ В КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ВОДОЕМАХ ПОНТО-КАСПИЙСКОГО БАСЕЙНА КАК НЕПРЕРЫВНЫЙ РЯД СОБЫТИЙ ОТ ПАЛЕОГЕНОВЫХ МИГРАЦИЙ И НЕОГЕНОВЫХ ВОЛН ВСЕЛЕНИЯ ИЗ ПАРАТЕТИСА К ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫМ ПУЛЬСАЦИЯМ АРЕАЛОВ И СОВРЕМЕННЫМ АНТРОПОГЕННЫМ ИНВАЗИЯМ

Котов А.А.¹, Карабанов Д.П.², Перебоев Д.Д.¹

¹*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва,
alexey-a-kotov@yandex.ru*

²*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, dk@ibiw.ru*

Широко известно, что в настоящее время Понто-Каспийский бассейн, с одной стороны, является регионом-донором, из которого различные таксоны гидробионтов начали свою экспансию в ряд других регионов планеты, с другой стороны он же подвержен проникновению чужеродных видов из других регионов суши и мирового океана. Однако, нынешнее расселение морских, солоноватоводных и пресноводных животных можно рассматривать лишь как очередной этап постоянного, но периодически интенсифицирующего, процесса в этом бассейне. Поэтому без оценки времени прохождения тех или иных событий невозможно точно соотнести появление того или иного вида и колонизацию им того или иного водоема, с теми или иными геологическими/климатическими событиями или периодами антропогенной активности. Молекулярно-генетические методы дали значительный пласт информации, прояснившей многие моменты процессов расселения гидробионтов в регионе. В настоящее время для исследования современных антропогенных инвазий и палеоинвазий все чаще применяется геномный анализ, основанный на массовом применении высокопроизводительного секвенирования. Нашим коллективом, благодаря поддержке Российского научного фонда, проводятся исследования по выявлению общих закономерностей колонизации гидробионтами новых территорий в прошлом и настоящем на примере Понто-Каспийского бассейна. Благодаря анализу нуклеотидной изменчивости тысяч локусов мы имеем возможность не только провести “тонкую” реконструкцию путей проникновения новых видов, но и накопить массив данных для прояснения филогенетических отношений и разрешения прикладных таксономических задач. В докладе будет проведен краткий обзор оригинальных и литературных данных по данному вопросу.

Работы поддержаны грантом Российского научного фонда (проект № 23-14-00128).

РОТАН В ОЗЕРАХ ЮГА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Лесковская Л.С., Михайлова Л.В.

*Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень,
leskovskayals@gausz.ru, mihaylovalv@gausz.ru*

Ареал головешки-ротана в Тюменской области не имеет четко обозначенных границ, постоянно расширяется в связи с большим количеством озёр заморного типа, которые являются для ротана благоприятными. В связи с чем его расселение в водоемах

юга Тюменской области за последние несколько лет стало неконтролируемым. Также ротан встречается в пойменных водоемах на всем протяжении Верхней Оби. Крайняя северная точка распространения ротана на территории Тюменской области – Сургутский район. На юге Тюменской области он встречается практически повсеместно, особенно в пойменных водоемах рек Пышма, Тура, Тобол, Иртыш и пр. Во многих вышеописанных водоемах ротан имеет большую численность и является объектом любительского лова и промысла. В связи с этим цель настоящего исследования заключается в установлении экологических и биологических параметров головешки-ротана в условиях Тюменской области.

Исследование провели на озерах, расположенных в Тюменской области. Отлов рыб производился в осенне-зимний период 2020 и 2021 гг. на оз. Бачкуль (Нижнетавдинский район), озерах Осиновое и Андреевское (Тюменский район). Общий объем выборки ротана составил 255 экз. из них 61 экз. составили вылов из оз. Бачкуль, 100 экз. из оз. Андреевское, 94 экз. из оз. Осиновое. При ихтиологическом исследовании ротана применяли биометрическую методику, основанную на анализе изменчивости пластических и меристических признаков. Рыбу подвергали полному биологическому анализу, были определены: масса, пол, стадия зрелости гонад, жирность, упитанность и возраст. В исследованиях применялись общепринятые методики Статистическую обработку проводили по стандартной методике обработки данных.

Материал представлен половозрелыми особями. Возрастной состав выборок озер был представлен следующим образом. В оз. Андреевское особями 2–7 годов, основную часть выборки составили особи 4-х и 5-ти годов. В оз. Осиновое возрастные группы варьировались от 3-х до 6-ти годовиков. Основную часть выборки составили особи 4-х и 3-х годовики. В оз. Бачкуль возрастной состав был представлен 4–7 годовиками с преобладанием особей 4-х и 5-ти годов.

Размерно-весовые характеристики ротана из озёр колеблются в одном диапазоне. Половой состав представлен в выборках озер следующим образом. Доля самок в оз. Бачкуль составила 56 %, самцов 44 %, в оз. Андреевское доля самок – 59 %, самцов 41 %. В озере Осиновое большую часть составили самцы – 56 %, а самки – 44 %.

Большинство средних показателей пластических признаков в озерах имели среднюю изменчивость за исключением следующих показателей – ширина лба, ширина тела, расстояние от ануса до анального плавника, расстояние между 1-ым и 2-ым спинными плавниками. Из 33 проанализированных морфометрических показателей самок и самцов ротана в озерах были обнаружены достоверные различия по пластическим и по меристическим признакам.

Средние коэффициенты упитанности по Фультону (Кф) и Кларк (Ккл) в озере Андреевское у самок составили 2,34 и 1,91 соответственно. У самцов – 2,37 и 1,94 соответственно. В оз. Осиновое коэффициенты упитанности составили 2,35 и 1,99 по Фультону (Кф) и Кларк (Ккл) у самок, а у самцов данные коэффициенты равнялись 2,38 и 2,01 соответственно.

ПЛОДОВИТОСТЬ ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ АМФИПОД (CRUSTACEA, AMPHIPODA) В ВОДОТОКАХ БЕЛАРУСИ

Макаренко А.И.¹, Вежновец В.В.², Макаренко Т.В.³

¹Гомельский государственный медицинский университет, г. Гомель,
atakarenko198989@mail.ru

²ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», г. Минск, vezhn47@mail.ru

³Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, г. Гомель,
tmakarenko1968@bk.ru

Плодовитость амфипод связана с размерами и факторами среды обитания и может значительно варьировать. У чужеродных видов изменения этого параметра наблюдаются как при освоении нового ареала, так и при новых температурных условиях.

Установлены размеры и плодовитость для восьми чужеродных видов в водотоках Беларуси: *Chelicorophium curvispinum* (G.O. Sars, 1895), *Chelicorophium robustum* (G.O. Sars, 1895), *Echinogammarus ischnus* (Stebbing, 1899), *Echinogammarus trichiatus* (Martynov, 1932), *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894), *Dikerogammarus haemobaphes* (Eichwald, 1841), *Obesogammarus crassus* (G.O. Sars, 1894) и *Obesogammarus obesus* (G.O. Sars, 1894), которая приведена в таблице 1.

Таблица 1. Длина тела (L , мм) и плодовитость (E , шт) чужеродных видов амфипод в водотоках Беларуси

Вид	$L_{\min}-L_{\max}$	L_{cp}	$E_{\min}-E_{\max}$	E_{cp}	$E=aL^b$	r^2
<i>C. curvispinum</i>	2,6–7,8	4,9	3–29	10,1	$0,126 \pm 0,019L^{2,692 \pm 0,083}$	0,64
<i>C. robustum</i>	6,3–8,2	7,2	4–13	8,1	$0,014 \pm 0,006L^{3,110 \pm 0,971}$	0,42
<i>E. ischnus</i>	3,8–11,0	6,7	1–22	8,3	$0,092 \pm 0,020L^{2,358 \pm 0,039}$	0,70
<i>E. trichiatus</i>	7,3–18,0	12,9	5–49	19,3	$0,062 \pm 0,034L^{2,219 \pm 0,200}$	0,42
<i>D. villosus</i>	5,5–20,7	13,1	12–125	41,7	$0,224 \pm 0,051L^{2,031 \pm 0,129}$	0,82
<i>D. haemobaphes</i>	4,2–21,9	13,1	3–73	27	$0,095 \pm 0,018L^{2,336 \pm 0,079}$	0,63
<i>O. crassus</i>	4,1–12,2	8,1	4–58	23	$0,224 \pm 0,052L^{2,031 \pm 0,129}$	0,61
<i>O. obesus</i>	6,1–12,2	8,5	8–66	20,6	$0,026 \pm 0,008L^{2,074 \pm 0,202}$	0,79

Для представленных в таблице видов рассчитаны уравнения криволинейной регрессии плодовитости самок (E) с длиной тела (L), исходя из степенного уравнения регрессии плодовитости $E=aL^b$. Установленные экспоненциальные зависимости отличалась между изученными чужеродными видами, однако везде наблюдалась достоверная корреляция ($p \leq 0,05$).

Для некоторых видов полученные зависимости существенно различаются и от приводимых в литературе показателей, что обусловлено не только температурой, но и создающимися гидрологическими и гидрохимическими условиями, а также возрастом животных. Плодовитость у *D. villosus*, *D. haemobaphes* и *O. crassus* была ниже, а для *C. curvispinum*, *E. ischnus* и *O. obesus* близка к значениям у особей из популяций нативного ареала.

Малая распространенность *C. robustum* и *E. trichiatus* в водотоках не позволила отобрать более репрезентативную выборку яйценосных самок. А для наименее встречаемого в реках Беларуси инвазивного вида *Pontogammarus robustoides* (G.O. Sars, 1894), яйценосных самок вообще не выявлено.

Более низкие величины корреляции для *C. curvispinum* и *C. robustum*, объясняются особенностями строения тела семейства Corophiidae, выводковая камера самки которых не является достаточно плотно закрытой, что приводит к частичной потере части яиц при консервации.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта БРФФИ № Б24МС-011.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ КРИПТИЧЕСКИХ ВИДОВ ОЛИГОХЕТ В БАССЕЙНЕ Р. ВЫЧЕГДА

Марченко Ю.В., Голубев М.А., Велегжанинов И.О.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, sokolowa.y2015@gmail.com

Водные малощетинковые черви (Oligochaeta) являются важным компонентом донной фауны северных водоемов. Олигохеты могут выступать маркерами различных экологических факторов. Однако часто из-за отсутствия внешне различимых признаков многие виды трудно разграничить и идентифицировать до видового статуса, вследствие чего, во-первых, их видовое разнообразие недооценивается, во-вторых, существенной становится проблема наличия в группе криптических видов.

Материалом для исследования послужили качественные гидробиологические сборы зообентоса из р. Сысола (приток 1-го порядка р. Вычегда), проведенные в период с 31.03 по 11.08.2021 г. и 3.03, 26.09.2023 г. Температура речной воды в точках отбора проб составляла в разные месяцы от 11–14 до 32 °С, температура подогретых сточных вод варьировала от 14 до 46 °С. В качестве модельного объекта для анализа криптического разнообразия выбран широко распространенный в водоемах бассейна р. Вычегда вид *Tubifex tubifex* (Müller, 1774), индикатор эвтрофирования водоемов.

Для молекулярно-генетического анализа использовали секвенирование фрагмента гена первой субъединицы цитохромоксидазы митохондриальной ДНК (COI). Выделение ДНК проводили с помощью хелатирующей ионообменной смолы Chelex 100, по методике, оптимизированной ранее для микроэмульсионных (Kochanova et al., 2018). ПЦР-амплификацию фрагментов проводили с использованием готовой смеси ScreenMix HS («Евроген», Россия) на приборе T100 Thermal Cycler (BioRad, США) в ЦКП «Молекулярная биология» Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Секвенирование ампликонов осуществляли в ООО «Синтол» (Россия). Полученные нуклеотидные последовательности выравнивали с применением алгоритма ClustalW и анализировали в программном пакете Unipro UGENE V41.0 (Okonechnikov et al., 2012). Анализ генетических баркодов малощетинковых червей включал сравнение их с аналогичными данными родственных таксонов с помощью филогенетических деревьев и попарных генетических дистанций.

В ходе исследования установлена видовая принадлежность олигохет к виду *T. tubifex*. Анализ полученных последовательностей ДНК показал, что особи *T. tubifex*, взятые из одного места сбора, образовали две клады, что и привело к предположению о генетической неоднородности червей из р. Сысола. Построенные филогенетическое древо и тепловые карты генетических дистанций свидетельствуют о сходстве особей из р. Сысола с популяциями из разных мест. Так один гаплотип 1 27 *T. tubifex* соотносится с популяциями из Switzerland, Italy: Milano, Lambro River. Второй гаплотип 1 29 *T. tubifex* известен из Switzerland, Italy: Milano, Lambro River и Canada: Ontario, Hamilton, Hamilton Harbor. Генетическая дистанция между особями из р. Сысола

составила 0,2361802864 (Maximum Likelihood method and Kimura 2-parameter model) внутри групповые от 0 до 0,0093606478.

Таким образом, были получены первые данные о генетической неоднородности *T. tubifex* в бассейне р. Вычегда. Нуклеотидные последовательности будут депонированы в международную базу данных GenBank, что расширит мировую географию исследований криптических видов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-00121, <https://rscf.ru/project/24-24-00121>.

ЗООБЕНТОС ОЗЕРА АРЕЙСКОГО – ВОДОЕМА ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЧАСТИ ГЛАВНОГО ВОДОРАЗДЕЛА ЗЕМЛИ

Матафонов П.В.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита,
benthos@yandex.ru

Распространение водной фауны на континентах ограничено водосборными бассейнами, при этом даже невысокие, но устойчивые во времени водоразделы могут быть очень значительными границами в пресноводной зоогеографии (Старобогатов 1970). По горным системам Забайкальского края проходит Главный водораздел Земли и граница между Палеарктической и Сино-Индийской зоогеографическими областями. В самаровское оледенение на территории Забайкалья существовал гигантский подпрудный водоем – Забайкальское палеозеро – с максимальным уровнем 1020 м и проливами через горные системы Главного водораздела Земли (Гросвальд, 1998; Еникеев, 2018). Сведения о зообентосе водоемов приводораздельной территории единичны.

Озеро Арейское находится в непосредственной близости от Главного водораздела Земли и относится к амурскому бассейну. В 2019–2020 гг. выполнены исследования состава и разнообразия его зообентоса. В озере Арейском обнаружено 52 таксона, из которых 38 % – хирономиды. Основная часть (93 %) видов населяет литоральную зону озера до глубины 3,6–4,0 м. Таксономическое обилие зообентоса здесь достигало 20 таксонов/0,025 м², с увеличением глубины оно равномерно снижалось.

В озере обнаружены хирономиды *Thienemanniola ploenensis*, известные из Западной Европы и восточного Китая. Разорванный ареал хирономид *Th. ploensis* позволяет, по-видимому, рассматривать оз. Арейское в качестве их рефугиума на территории Евразии. Сведения о распространении ручейника *A. sexmaculata* Curtis, 1834 были ограничены Европой, Кавказом и Западной Сибирью (Цалолихин, 2001; Иванов, 2011; Шарапова, 2012). В бассейне озера Байкал данный вид не указывали (Тимошкин, 2009). Находка *A. sexmaculata* в озере Арейском расширяет сведения об ареале данного вида до бассейна реки Амур. *Propsilocerus acamusi* (Tokunaga, 1938) – восточно-палеарктический материково-островной вид хирономид (Yavorskaya, Makarchenko, Orel et al, 2018) известный ранее из Японии и восточного Китая. В Забайкалье *P. acamusi* был известен из озера Кенон (Петрова и др., 2003). Находка *P. acamusi* в озере Арейском расширяет сведения об ареале этого вида непосредственно до водораздела бассейна реки Амур.

Смешанный состав зообентоса озера Арейского согласуется с положением озера в горной местности на водоразделе Северного Ледовитого и Тихого океанов и на стыке

фаун. Формирование зообентоса озера происходило, по-видимому, в связи с появлением транзитных свойств территорий в ледниковые периоды и усиления ее водораздельной и барьерной функции – в межледниковья. Появление водоемов в горной местности создавало условия для распространения и сохранения в этих условиях литоральной фауны, проливы могли быть миграционными коридорами в Главном водоразделе Земли для водной биоты. Для отдельных видов зообентоса условия данной территории обусловили функции озера Арейского как их рефугиума.

ТАКСОНЫ ШЕЛКОВНИКОВ (*RANUNCULUS* SECT. *BATRACHIUM*, *RANUNCULACEAE*) И ИХ ФОРМЫ В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ ЕНИСЕЙ

Минаков И.Д.¹, Путилин И.Р.^{2,3}

¹Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, ilya_99@list.ru

²Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

³Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск

Лютики (*Ranunculus*) из секции шелковников (*Batrachium*) широко распространены в основном русле р. Енисей. При определении таксонов шелковников возникают сложности, обусловленные высокой фенотипической изменчивостью, нерегулярностью цветения, частой встречаемостью полиплоидии и гибридизации. Биоразнообразие водяных лютиков наиболее высоко в реках с измененным гидрологическим режимом в результате гидротехнического строительства. В среднем течении р. Енисей, измененном после строительства плотины высоконапорной гидроэлектростанции – Красноярской ГЭС, шелковники включены во многие макрофитные фитоценозы или образуют монодоминантные сообщества с высокой биомассой, что делает информацию об их таксономическом составе востребованной. Цель данной работы состоит в идентификации и верификации видов и потенциальных гибридов водяных лютиков, а также в оценке их морфологической пластичности и значимости ключевых для определения таксонов признаков.

Материалом для работы служили полевые пробы, собранные преимущественно на среднем участке р. Енисей. Суммарно было проанализировано более 350 образцов растений из 24 локаций. Исследование включало морфометрический, филогенетический, популяционно-генетический и кариологический анализы.

В результате работы выявлено, что таксономический состав водяных лютиков в среднем течении р. Енисей отличается от ранее известного. В частности, обнаружено, что ранее не задокументированный для р. Енисей лютик полужёсткий (*Ranunculus subrigidus* Drew) является фоновым для реки видом. Многие изученные нами образцы шелковников имели промежуточные, между разными видами, вегетативные и генеративные признаки. Даже среди молекулярно подтверждённых представителей чистых видов наблюдается определённая вариация морфологических параметров, значительно затрудняющая видовую идентификацию по имеющимся в литературе ключам. Основываясь на результатах морфологического и молекулярно-генетического анализов, есть основания предполагать гибридогенную природу происхождения некоторых особей водяных лютиков в р. Енисей.

ЦЕНТРИЧЕСКИЕ ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ В ФИТОПЛАНКТОНЕ ГЛУБОКОГО ОЗЕРА: РАЗНООБРАЗИЕ И ВКЛАД В ОБИЛИЕ

Митрофанова Е.Ю.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, mitelena-09@mail.ru

История изучения диатомовых водорослей Телецкого озера, глубокого олиготрофного водоема, расположенного в горах Алтая на юге Западной Сибири (высота над ур. м. 434 м, длина 77,8 км, максимальная ширина 5,2 км, максимальная глубина 323,3 м (Селегей, Селегей, 1978; Selegei et al., 2001)), начинается в начале XX века, когда был отобран и позднее обработан первый альгологический материал (Скворцов, 1930; Порецкий, Шешукова, 1953). В последние годы была проведена ревизия состава центрических диатомовых водорослей в планктоне Телецкого озера, как одной из значимых не столько по составу, как по обилию группы (Genkal, Mitrofanova, 2022). Выявлено 27 представителей Centrophyceae из родов *Aulacoseira*, *Conticribra*, *Cyclotella*, *Discostella*, *Ellerbeckia*, *Handmannia*, *Melosira*, *Orthoseira*, *Pantocsekiella*, *Rhizosolenia*, *Stephanocostis*, *Stephanodiscus*, *Thalassiosira*. Уточнено систематическое положение большинства выявленных ранее диатомовых водорослей, зафиксировано 12 таксонов новых для флоры озера из 7 родов, в том числе – новый для науки вид *Pantocsekiella teletskoyensis* Genkal et Mitrofanova sp. nov. Оценено распространение видов по акватории водоема, при этом три вида – *P. teletskoyensis*, *Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Haw. и *Stephanodiscus alpinus* Hust. – встречаются практически на всех изученных станциях.

Особое внимание уделено изучению группы мелкоклеточных центрических диатомей с диаметром створок 3–8 мкм (Genkal, Mitrofanova, 2022, 2023), которые большую часть года являются доминантами фитопланктона по численности, особенно в холодный период. При изучении группы с помощью СЭМ было выделено четыре вида: *P. teletskoyensis*, *Stephanocostis chantaicus* Genkal et Kuzmina, *Stephanodiscus minutulus* (Kütz.) Cl. et Möll. и *S. binatus* Håkansson et H.J. Kling (P+S+S). Вклад каждого вида в численность фитопланктона различен как вдоль по акватории водоема, так и в разные сезоны года. Наибольшая относительная численность отмечена у *P. teletskoyensis*. Так, в сентябре 2023 г. в поверхностном слое озера доля *P. teletskoyensis* в численности группы составляла от 82,4 до 94,3 % при средней величине $89,6 \pm 1,7$ %, *Stephanocostis chantaicus* – 4,5–9,9 и $7,0 \pm 0,9$, *Stephanodiscus minutulus* – 0,4–10,0 и $3,4 \pm 1,5$ %. *S. binatus* при вкладе 0,4 % был отмечен только в истоке р. Бии, единственно вытекающей реки из озера. Отмечено снижение относительной численности *P. teletskoyensis* от южной оконечности озера к его северной части при увеличении таковой других видов. Кроме мелкоклеточных центрических диатомей в фитопланктоне озера заметна роль как среднеразмерных видов, так и с более крупными панцирями. Была изучена морфологическая изменчивость панцирей у *Stephanodiscus alpinus* (Genkal, Mitrofanova, 2022b) и оценен его вклад в численность группы мелко-, средне- и крупноразмерных центрических диатомей. В этот же период доля P+S+S в сумме составляла от 63,4 до 95,2 % при средней величине $83,3 \pm 4,5$ %, в то время как на *S. alpinus* приходилось 2,2–33,6 и $13,5 \pm 4,7$, а на крупную *Lindavia bodanica* (Eulens. ex Grun.) T. Nakov, Guillory, Julius, Theriot & Alverson – 1,3–4,8 и $3,2 \pm 0,5$ %. Относительная численность P+S+S снижалась от южных участков озера, у среднеразмерного *S. alpinus* она увеличивалась и достигала максимума в северной части у п. Артыбаш, а у *L. bodanica* с большими по размеру створками была примерно на одном уровне по всей акватории озера. В работе

будет рассмотрен вклад разных по размерам панцирей центрических диатомей в численность фитопланктона в другие гидрологические сезоны и на разных глубинах.

Работа выполнена в рамках госбюджетного проекта № 0306-2021-0001 и гранта Российского научного фонда № 21-17-00135 с использованием научного оборудования ЦКП научно-исслед. судами и электронной микроскопии ИВЭП СО РАН.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИНВАЗИЙ В ПЛАНКТОННОЕ И ДОННОЕ СООБЩЕСТВА

Науменко Е.Н.¹, Голубкова Т.А.², Рудинская Л.В.², Гусев А.А.²

¹Калининградский государственный технический университет, г. Калининград,
elena.naumenko@klgtu.ru

²Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Калининград

Вислинский залив находится в юго-восточной части Балтийского моря и в силу своего расположения подвержен интенсивному антропогенному воздействию, на его акватории находятся 5 портов. Одним из результатов хозяйственной деятельности являются биологические инвазии. Основным вектором проникновения чужеродных видов в планктонное и донное сообщества залива служат балластные воды судов. Вислинский залив также подвергся «атакам» чужеродных видов, среди которых наиболее масштабными были вселения: в планктонное сообщество – *Cercopagis pengoi* (Ostroumov, 1891)) и донное *Marenzelleria neglecta* Sikorski and Bick, 2004 и *Rangia cuneata* (G. B. Sowerby I, 1831). Целью работы была оценка воздействия вселенцев за период 1999 по 2020 гг.

Первое масштабное вселение было отмечено в донном сообществе. Оно произошло в 1988 г. Полихеты *M. neglecta* уже на следующий год образовали популяцию и распространились по всей акватории залива. Результатом этой экспансии послужило резкое изменение сложившейся структуры бентосного сообщества, вплоть до временного исчезновения из него руководящей группы – Chironomidae, что повлекло за собой ухудшение кормовой базы основного промыслового вида – леща *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) (Науменко и др., 2014).

В 1999 г. в планктоне Вислинского залива был впервые зарегистрирован хищный вид кладоцер *C. pengoi* (Науменко и др., 2000). Результатом его вселения явилась перестройка сообщества зоопланктона. До вселения *C. pengoi* доля веслоногих ракообразных в биомассе зоопланктона Вислинского залива составляла 70 %. Однако вселение и натурализация крупного хищника в планктонное сообщество (1999–2008 гг.) способствовала снижению значения Copepoda в биомассе до 30 %. Одновременно возросла роль Rotifera (44 %). В летний период преобладали науплиальные и младшие копеподитные стадии *E. affinis* и *A. tonsa*, что выражалось в снижении биомассы копепод (Науменко, Телеш, 2019). Снижение биомассы зоопланктона способствовало ухудшению кормовой базы планктоноядных рыб.

В 2010 г. произошло третье крупномасштабное вселение. Оно было отмечено в донном сообществе – двустворчатых моллюсков *R. cuneata* (Рудинская, Гусев, 2012). Вид характеризуется высокой фильтрационной активностью, причем она значительно увеличилась в последний период. В результате в летний период первичная продукция, ассимиляционное число и деструкция снизились, прозрачность воды повысилась (Александров, 2024). Произошло снижение биомассы Chironomidae ($R^2=0,9$), основы

кормовой базы бентофагов. В планктоне резко снизилась биомасса копепод-фильтраторов. Ухудшение кормовой базы рыб-планктофагов вызвало снижение вылова чехони ($R^2=0,9$) и хищников (судака, $R^2=0,6$).

Воздействие видов-вселенцев в планктонное и донное сообщества привело к трансформации экосистемы Вислинского залива. Наиболее негативные последствия наблюдались после проникновения *R. cuneata*.

БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ПЛАНКТОННЫХ И БЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Подгорный К.А.¹, Дмитриева О.А.^{1,2}, Семенова А.С.^{1,3}, Гусев А.А.^{1,2}

¹Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Калининград, kapborok@mail.ru

²Институт океанологии им П.П. Ширшова РАН, г. Москва

³Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок

Изучение видового разнообразия планктонных и бентосных сообществ Юго-восточной части Балтийского моря и его заливов (Куршского и Вислинского) становится особенно актуальным в условиях роста антропогенного эвтрофирования, загрязнения водных экосистем, вселения чужеродных видов. Цель работы – применить некоторые подходы к изучению взаимосвязи продуктивности планктонных, бентосных сообществ и показателей видового разнообразия.

В работе использовали данные многолетних гидробиологических и гидрохимических наблюдений (фито-, зоопланктон, бентос, биогенные элементы), полученные в ходе ежемесячных (апрель–октябрь) научно-исследовательских рейсов. Для анализа видового разнообразия использовали индекс Шеннона (H) и его взаимосвязь с различными абиотическими характеристиками водной среды.

Установлено, что максимум видового разнообразия фитопланктона имел место в мезо-эвтрофном Вислинском заливе. Полученные среднемноголетние данные в целом подтверждают имеющееся в гидробиологии представление о том, что максимум видового разнообразия фитопланктона характерен для водоемов со средним уровнем продуктивности.

Установлено, что на формирование видовой структуры фитопланктонного сообщества влияет сложная комбинация гидрологических факторов, вклад и направленность воздействия которых непрерывно меняются. Показано, что наиболее значимо величина индекса видового разнообразия связана со значениями концентраций минеральных форм азота и фосфора, а также соотношениями между ними.

При исследовании взаимосвязи продуктивности планктонных, бентосных сообществ и видового разнообразия на основании анализа среднемесячных значений была получена отрицательная линейная корреляция между биомассой (B) и индексом H . С увеличением B в составе сообществ доминирует все меньшее количество видов. Более подробный анализ всего диапазона данных без осреднения по месяцам показал, что связь между H и B была нелинейной.

Установлено, что в Куршском заливе изменения индекса H , рассчитанные по биомассе зоопланктона и фитопланктона, в течение вегетационного сезона находятся в противофазе. Это свидетельствует о наличии в экосистеме трофического регуляторного механизма по типу «хищник–жертва».

С помощью корреляционного анализа было установлено, что в Вислинском и в Куршском заливах по мере роста среднеценотического объема клеток фитопланктона

его ценотическое разнообразие снижается. Можно сделать вывод о том, что формирование видового разнообразия в экосистемах заливов связано и с размерной структурой фитопланктонных сообществ, и с особенностями развития продукционных процессов, которые, в свою очередь, также во многом зависят от размерных характеристик фитопланктона. Разработана математическая модель планктонной пищевой цепи экосистем заливов, которая явным образом предполагает моделирование размерной структуры планктона. Параметры модели аллометрически связаны со средними объемами клеток и организмов. Модель позволяет подойти к решению задачи о механизмах формирования видового разнообразия планктонных сообществ.

К ВОПРОСУ О ВИДОВОМ СТАТУСЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *LIOPSETTA* НА ПРИМЕРЕ ПОЛЯРНОЙ КАМБАЛЫ *L. GLACIALIS* (PALLAS, 1776)

Пономарева Е.В., Строганов А.Н., Малютина А.М., Пономарева М.В.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва,
kronom@mail.ru*

Основа современных представлений о составе рода *Liopsetta* сложилась к середине 1930-х гг. (Norman, 1934). Впоследствии была предпринята попытка пересмотра классификации (Sakamoto, 1984; Cooper, Charleau, 1998), и все три вида были присоединены к видам рода *Pleuronectes*. Однако эта систематика камбал, основанная на морфологических признаках, была поддержана не всеми (Voronina, Chanet, 2014), а затем – после получения генетических данных (Vinnikov et al., 2018) – была оставлена; произошло возвращение к предыдущей схеме. Таким образом, по современным представлениям, род *Liopsetta* Gill 1864 составляют виды *Liopsetta glacialis* (Pallas 1776), *Liopsetta putnami* (Gill 1864), *Liopsetta pinnifasciata* (Kner 1870). Каждый из трех видов занимает «свое» географическое пространство: *L. glacialis* – Арктику, Северо-Восточную Атлантику и Северную Пацифику, *L. putnami* – Северо-Западную Атлантику, *L. pinnifasciata* – Северо-Западную Пацифику. Это отражено и в англоязычных названиях этих видов камбалы, включающих прилагательные «арктическая», «американская», «дальневосточная». Если ареал *L. putnami* удален от двух других, то ареалы *L. pinnifasciata* и *L. glacialis* (дальневосточная часть ареала) могут характеризоваться в литературе как смежные и частично совпадающие. При этом, однако, имеются указания, что неверная интерпретация данных, полученных в XIX веке, закрепила ошибочное, расширенное представление об ареале *L. pinnifasciata*; некоторые ранее собранные образцы *L. pinnifasciata* при переопределении оказались по морфологическим характеристикам образцами *L. glacialis* (Voronina, Chanet, 2014). Представление о *Liopsetta* как отдельном роде утвердилось, но ряд вопросов об отношениях между видами этого рода остались невыясненными.

В своем исследовании мы изучили 50 особей полярной камбалы, выловленных в Кандалакшском заливе Белого моря в районе ББС МГУ с 2019 по 2023 гг. У всех особей был просеквенирован участок гена *CO1*, применяемый для видовой идентификации. Для 28 особей был проведен морфометрический анализ.

После выравнивания было выявлено 3 гаплотипа, один совпадал с последовательностью из Генбанка, определяемый, как *L. pinnifasciata*, другой на 1 замену отличался от гаплотипа из Генбанка, характерного для *L. putnami*. После

построения дерева гаплотипов с включением последовательностей из Генбанка *L. pinnifasciata* и *L. glacialis* образовали один кластер, сестринский по отношению к гаплотипам *L. putnami*, куда попал и гаплотип, полученный от рыб из Белого моря. Стоит отметить, что гаплотип, близкий к *L. putnami*, встречается у *L. glacialis* Белого моря с частотой более 30 %, при этом рыбы с «американским» гаплотипом обладают морфологическими признаками, типичными для полярной камбалы Белого моря.

Андрияшев, который в своем труде о рыбах северных морей (Андрияшев, 1954) рассматривал только *L. glacialis*, при этом называл *L. pinnifasciata* и *L. putnami* или близкими видами, или подвидами, оставляя решение данного вопроса будущему. Полученные в нашем исследовании генетические и морфологические данные скорее свидетельствуют в пользу мнения о подвиновом статусе трех форм.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИЧИНОК ИНВАЗИЙНОГО КРАБА-СТРИГУНА *CHIONOECETES OPILIO* В КАРСКОМ МОРЕ

Прокопчук И.П., Шамрай Т.В.

Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Мурманск, irene_pr@pinro.vniro.ru

Краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio* (Fabricius, 1788) – промысловый вид крабов, являющийся инвазийным для Баренцева и Карского морей. В Карском море взрослые особи этого вида впервые были обнаружены в 2008 г. (Краб-стригун опилио..., 2016), а личинки – в 2012 г. (Zimina, 2014). За прошедший период *C. opilio* адаптировался в Карском море и образовал самовоспроизводящуюся популяцию.

В настоящей работе рассматривается распределение и численность личинок краба-стригуна опилио в Карском море. Материалом для исследования послужили сборы зоопланктона, выполненные в трех научно-исследовательских рейсах Полярного филиала – в октябре 2013 г., в сентябре 2019 г. и в сентябре–октябре 2022 г.

Для сбора зоопланктона использовали сеть Джеди (диаметр входного отверстия 37 см, размер ячеек сита 180 мкм) и притраловую сеть (диаметр входного отверстия 50 см, размер ячеек сита 564 мкм). Пробы зоопланктона фиксировали соответственно 4 % и 10 % формалином для последующей камеральной обработки в лаборатории Полярного филиала. Личинок крабов просматривали с помощью бинокулярного микроскопа, идентифицировали до вида, разделяли по стадиям развития и подсчитывали, хорошо сохранившиеся экземпляры промеряли. Численность личинок выражали в экз./м³.

В период исследований на акватории Карского моря было поймано 817 личинок краба-стригуна опилио, из них 383 экз. на стадии зозе II и 434 экз. на стадии мегалопа. 96,5 % личинок было обловлено с помощью притраловой сети. Наибольшее количество личинок *C. opilio* было обнаружено в 2022 г. Личинки на стадии зозе II отмечались только в сентябре–октябре 2022 г., тогда как мегалопы встречались в планктоне во все исследованные годы.

Личинки краба-стригуна опилио широко распространялись на акватории Карского моря. В 2013 г. мегалопы *C. opilio* были обнаружены на акватории Карского моря на севере вплоть до 79° с.ш. В 2022 г. зозе II и мегалопы краба-стригуна опилио распределялись на акватории между 71° и 77° с.ш. и 56° и 76° в.д., личинки зозе II отсутствовали у побережья п-ова Ямал. Распределение личинок краба-стригуна опилио перекрывалось с распределением взрослых самок этого вида, в том числе и с самками,

имеющими наружную икру, что свидетельствует об успешном размножении этого вида в Карском море.

Средняя численность личинок составила $0,03 \pm 0,01$ экз./м³ на стадии зоза II и $0,04 \pm 0,01$ экз./м³ на стадии мегалопа. Наибольшая численность личинок (стадия мегалопа) отмечалась в 2019 г. в уловах сетью Джеди – $0,15 \pm 0,03$ экз./м³. Численность личинок *C. opilio* в Карском море следует оценивать как низкую, по сравнению с нативным ареалом в Беринговом и Японском морях, где в сезон массового развития она может достигать 10–40 экз./м³ (Incze et al., 1982; Щербакова, 2010).

Влияние *C. opilio* на биоту Карского моря в настоящее время ещё слабо изучено. Его личинки, пополняя сообщества зоопланктона как компонент меропланктона, увеличивают продуктивность этого водоема. Личинки краба-стригуна опилио также являются компонентом питания сайки, европейского керчака и липариса Парра (Прокопчук, 2017; Долгов А.В., личное сообщение).

ВОДНЫЕ ЖЕСТКОКРЫЛЫЕ (COLEOPTERA) БОБРОВЫХ ПРУДОВ РДЕЙСКОГО ЗАПОВЕДНИКА (НОВГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ)

Сажнев А.С.

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, sazh@list.ru

Средообразующая деятельность речного бобра (*Castor fiber* Linnaeus, 1758) модифицирует водные экосистемы и поддерживает созданные условия долгое время, влияние зоогенного фактора при таких «специфических нарушениях» носит комплексный характер. Образую плотины, каналы, бобровые пруды и трансформируя среду, бобр, как эдификатор, формирует сложную высокодинамичную мозаику биотопов, что на разных стадиях бобрового цикла отражается на населении гидробионтов, включая водных жесткокрылых (Coleoptera), которые одни из первых реагируют на изменения.

Исследования проводили на 16 поселениях бобра в границах Рдейского заповедника (Полистово-Ловатская болотная система) в весенне-летний период (27.04–2.05 и 6–16.06.2016). Материал отбирали кошением сачком и установкой вороночных ловушек (5–8 шт. на пруд, экспозиция 4–5 сут.) в береговой зоне безрыбных бобровых прудов на разных стадиях цикла в бассейнах рр. Редья, Порусья и на малых водотоках Холмской котловины. Было отобрано 45 качественных (сачок) проб, отработано 235 ловушко-суток. Отмечено 63 вида (1757 экз.) водных жесткокрылых из 6 семейств, в среднем 21 ± 3 вида и 181 ± 5 экз. на поселение. По видам выделяются Dytiscidae (44 вида), отмечена полидоминантность сообществ (до 7 содоминантов). Преобладают (по индексу плотности Бродской-Зенкевича, %) в сборах 16 видов. Отмечено, что бобровые пруды удачно освоил плавунец *Cybister lateralimarginalis* (DeGeer, 1774), расширяющий ареал на север. Наблюдается элиминация реофильных форм, фауну бобровых прудов составляют лимнофилы (59,7 %), обитатели болот, включая ацидофильные виды (25,4 %) и эвритопные таксоны (16 %). Значения индекса Шеннона (H) свидетельствуют об относительно высокой выровненности сообществ по численности (1,84–2,58) и в меньшей степени по биомассе (1,05–2,27), что вероятно связано с одновременным присутствием в пробах жуков разных размерных классов (по П.Н. Петрову). Для бобровых прудов отмечены жуки трех размерных классов. Четких границ при кластеризации для поселений не выявлено, что может быть связано с высоким уровнем воды в период исследований и «выравниванием» параметров среды.

Различия между весенними и летними сообществами заключаются в преобладании весной видов рода *Hydroporus* (I размерный класс), а летом – Dytiscidae II и III классов. В более глубоких прудах преобладают жуки III размерного класса. В условиях бобровых прудов встречены виды двух типов развития – *моновольтинный* (один год, яйцекладка весной, зимуют имаго) и *двухгодичный* с откладкой яиц летом (первая зимовка – личинка, вторая – имаго).

Водные системы играют важную роль в биохимическом цикле ртути. В безрыбных бобровых прудах верховную роль хищников занимают крупные Dytiscidae с высоким трофическим статусом, которые и накапливают ртуть. У жуков II размерного класса с увеличением массы концентрация ртути в организме уменьшается. У хищных форм содержание ртути в мышцах в 1,5–2,5 раза выше. Минимальная концентрация ртути $0,091 \pm 0,020$ мкг/г у *Hydrochara caraboides* (Hydrophilidae), который на стадии имаго питается растительными остатками. У жуков III размерного класса содержание ртути в отделах тела увеличивается в ряду: надкрылья и крылья–ноги–голова и грудь–брюшко.

ПЛАНКТОННЫЕ ВИДЫ-ВСЕЛЕНЦЫ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ

Семенова А.С.^{1,3,4}, Дмитриева О.А.^{1,2,3}, Подгорный К.А.¹

¹Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Калининград, a.s.semenowa@mail.ru

²Институт океанологии им П.П. Ширшова РАН, г. Москва, phytob@yandex.ru

³Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

⁴Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова РАН, п. Борок

Исследования видов-вселенцев в планктонных сообществах юго-восточной части Балтийского моря (ЮВБ) были проведены с 1995 по 2023 гг. на 6–35 станциях; в Финском заливе (ФЗ) – с 2020 по 2023 г. на 5–13 станциях.

Инвазионный вид динофитовых *Prorocentrum cordatum* был обнаружен в фитопланктоне ЮВБ и ФЗ во все годы исследований. Вид-вселенец достаточно часто отмечался в пробах в разные сезоны года. Однако, несмотря на высокую частоту встречаемости, его численность и биомасса в большинстве исследуемых лет были низкими: 3,5–30 млн. кл/м³ и 0,001–0,02 г/м³ в ЮВБ; 3,2–25,6 млн. кл/м³ и 0,001–0,09 г/м³ в ФЗ. Самые высокие показатели количественного развития *P. cordatum* были зарегистрированы в ЮВБ в периоды, когда наблюдали затoki североморских вод: в 2010 и в 2014 гг. В эти годы средние за сезон значения его численности варьировали от 130 до 261 млн. кл/м³, а биомассы – от 0,12 до 0,60 г/м³. В настоящее время *P. cordatum* стал постоянным компонентом фитопланктонных сообществ как в прибрежной зоне ЮВБ, так и в ФЗ. Он ежегодно развивается в составе сообществ, но, как правило, не достигает высокого уровня количественного развития. Отдельные локальные максимумы биомассы этого вида в ЮВБ, по-видимому, связаны с гидрологическими условиями отдельных лет, а именно с затоками североморских вод.

В зоопланктоне ЮВБ были отмечены виды-вселенцы *Cercopagis pengoi*, *Evadne anonyx* и *Acartia tonsa*, на прибрежных станциях – личинки двустворчатого моллюска-вселенца *Rungia cuneata*. Максимальное развитие видов-вселенцев *C. pengoi* и *E. anonyx* отмечали на прибрежных станциях в наиболее теплые годы: 1999, 2002, 2010, 2013, 2016, 2018, 2019, 2021 и 2023. При массовом развитии ими могла выедаться значительная часть продукции мирного зоопланктона. Кроме того, в зоопланктоне

ЮВБ, начиная с 2010 г. в летний и осенний периоды периодически в небольших количествах встречали яйца гребневика-вселенца *Mnemiopsis leidyi*. Взрослые особи этого вида впервые были найдены в ноябре 2023 г. В ФЗ, также как и в ЮВБ, были встречены виды-вселенцы *C. pengoi*, *E. anonyx* и *A. tonsa*, а также *Eurytemora carolleeae* и *Moina micrura*. Максимальное развитие видов-вселенцев также отмечено в летний период. Количественное развитие *C. pengoi* и *E. anonyx* в ФЗ было выше, а *A. tonsa* – ниже, чем в ЮВБ. Доля мертвых особей среди видов-вселенцев, как правило, была невысока и не превышала 1,5–4 %. Это свидетельствует о благоприятном состоянии их популяций. Повышенные доли мертвых особей (до 12–17 %) были отмечены в ФЗ для *E. carolleeae* и *M. micrura* в 2021 г. и *E. anonyx* – в 2022 г.

В последние годы наблюдается тенденция не только увеличения числа видов-вселенцев, но также и возрастание их доли в планктонных сообществах исследованных районов. Согласно прогностическим моделям, потепление климата продолжится. При этом биогенная нагрузка не снижается, а судоходство и занос новых видов все больше активизируется. Поэтому вполне вероятно, что как число новых, так и давление уже имеющихся видов-вселенцев на нативные сообщества ЮВБ и ФЗ в будущем могут возрасти.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ ИНВАЗИЙ В ВОДНОЙ ФАУНЕ БЕЛАРУСИ

Семенченко В.П., Липинская Т.П.

ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», г. Минск. semenchenko57@mail.ru

На сегодняшний день в Республике Беларусь зарегистрировано 24 чужеродных вида водных беспозвоночных, из них только 6 видов может быть отнесено к категории инвазивных.

Определены величины рисков для путей проникновения и распространения чужеродных видов водных беспозвоночных на территории страны. Максимальное число чужеродных видов проникло и распространилось на территории Беларуси с обрастаниями судов (7 видов) и естественного расселения (11 видов) из прилегающих стран.

Проведена оценка рисков от внедрения чужеродных видов водных животных в естественные экосистемы с использованием AS-ISK. Виды водных беспозвоночных с максимальным риском: дрейсена, американский полосатый рак (*Faxonius limosus*), *Dikerogammarus villosus*.

С использованием системы GISS (Generic Impact Scoring System) выделены виды, наносящие максимальный экологический ущерб (дрейсена, американский полосатый рак) и установлена четкая корреляционная связь между величинами рисков и величинами экологических ущербов.

Проведена классификация инвазивных видов по типам и уровням их воздействия на окружающую среду (Environmental Impact Classification for Alien Taxa (EICAT), которая является основным документом отчетности различных стран по оценке воздействий инвазивных видов на экосистемы. На основании этой классификации установлены типы и уровни их воздействия на аборигенную фауну, а также выделены виды с комбинированным воздействием.

Используя методы молекулярной биологии (бар-кодирование) определены новые чужеродные виды (*Proterorhinus semilunaris*, *Echinogammarus trichiatus*) для

территории Беларуси), а также с использованием средовой ДНК (eDNA) определены новые области распространения пресноводной медузы *Craspedacusta sowerbii*.

Перечислены основные проблемы в области исследований по инвазивным видам, которые необходимы для решения на перспективу. К ним относятся:

1. Определение экономических, экологических и социальных ущербов от вселения и распространения инвазивных видов растений и животных, включая воздействие на виды, включенные в Красную книгу;
2. Определение рисков для естественных экосистем, экономики и здоровья человека в связи с распространением «инвазивных» видов;
3. Разработка методов противодействия и искоренения наиболее опасных инвазивных видов;
4. Прогнозирование новых инвазий (horizon scanning) растений, животных, микроорганизмов;
5. Использование методов молекулярной биологии и средовой ДНК для идентификации и оценки распространения инвазивных видов.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЧУЖЕРОДНОЙ ВОДНОЙ ФАУНЫ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ СОГЛАСНО КРИТЕРИЯМ ENVIRONMENTAL IMPACT CLASSIFICATION FOR ALIEN TAXA (EICAT)

Семенченко В.П., Липинская Т.П., Ризевский В.К.

ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», г. Минск, semenchenko57@mail.ru

Классификация воздействий инвазивных видов на окружающую среду (Environmental Impact Classification for Alien Taxa (EICAT)) была разработана и рекомендована рабочей группой Конвенции по сохранению биологического разнообразия как основной документ отчетности различных стран по оценке воздействий инвазивных видов на экосистемы (CBD, 2021).

Классификация EICAT применяется в пределах исследуемого региона, а категории и критерии EICAT используются для информирования при оценке рисков.

Согласно EICAT, существует 5 категорий уровня воздействия инвазивных видов, а также 12 типов воздействий, с помощью которых инвазивные виды могут оказывать негативное влияние на биоразнообразие и окружающую среду (IUNC, 2020, GISD, 2020). Следует специально отметить, что уровни и типы воздействия определяются только на основании данных, полученных для исследуемого региона.

В настоящее время список чужеродной водной фауны в естественных экосистемах на территории Беларуси включает 27 видов водных беспозвоночных и 18 видов рыб.

Проведенный анализ данных об уровнях и типах воздействия чужеродных видов водных беспозвоночных и рыб позволил их классифицировать для определения наиболее опасных из них на территории Беларуси.

Перечень наиболее опасных чужеродных видов водных беспозвоночных, для определены типы и уровни воздействия, включает *Dreissena polymorpha*, *Faxonius limosus*, *Dikerogammarus villosus*, *Lithoglyphus naticoides*. Кроме того, в список включены виды, уровень воздействия для которых оценивается как минимальный. Список чужеродных видов рыб включает: *Perccottus glenii*, *Carassius auratus*, *Ameiurus nebulosus*, *Cyprinus carpio*. Вышеперечисленные виды водных беспозвоночных и рыб

отнесены к категории инвазивных. Для 18 видов (около 70 %) водных беспозвоночных и 11 видов рыб (61,1 %) существует дефицит данных об уровне их воздействия.

Это требует специальных дополнительных исследований для возможного включения чужеродных видов в категорию инвазивных видов.

ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ ВНУТРИВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ СИГОВЫХ РЫБ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ВОСПРОИЗВОДСТВЕ

Сендек Д.С.¹, Бочкарев Н.А.^{1,2}

¹*Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Санкт-Петербург,
sendek@mail.ru*

²*Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск,
nikson_1960@mail.ru*

Широкое индустриальное освоение Севера России и нерациональное ведение рыболовства в последние десятилетия способствовали значительному сокращению численности популяции многих видов сиговых рыб, вплоть до их полного исчезновения в некоторых водных объектах. В условиях нарастающей антропогенной нагрузки искусственное воспроизводство стало важным инструментом поддержания наиболее уязвимых популяций и видов. Очевидно, что при работе с ослабленными популяциями необходимо оценивать все риски, присутствующие при выпуске в естественную среду рыб искусственного происхождения. Одним из мало учитываемых в практике аквакультуры факторов является необходимость оценки сложной внутривидовой структуры комплексных видов сиговых рыб для поддержания их природного разнообразия. Например, такие широко расселенные виды как сиг или муксун представлены множеством экологических форм/подвидов или таксонами неопределенного уровня. Есть водоемы, где в симпатрии могут обитать до 7–11 группировок, ведущих себя как независимые виды. За последние годы накопилось значительное количество экологических, морфологических, генетических доказательств того, что для ряда ранее описанных внутривидовых группировок их обособленный таксономический статус оправдан, а в других случаях должен быть повышен до видового (например, для некоторых таксонов в пределах сига-пыжьяна).

Установленный перечень видов сиговых рыб, используемых для искусственного воспроизводства, насчитывает до десяти единиц, включая экологические формы разной степени определенности их таксономического статуса, например, нельма/белорыбица, ряпушка/рипус, сиг/пресноводная жилая форма, чир/пресноводная жилая форма. Очевидно, что имеющимся списком приоритетных для зарыбления видов невозможно закрыть все внутривидовое многообразие сиговых при необходимости их восстановления. Кроме того, существующая нормативная база не препятствует перемещению молоди рыб из одного рыбохозяйственного бассейна в другой. Как следствие – в природе все чаще встречаются особи или даже внутривидовые группировки рыб, не типичные для данного водоема. Долгосрочные последствия таких перемещений непредсказуемы как с точки зрения сохранения внутривидового разнообразия сиговых рыб, так и в плане поддержания целостности и функционирования природных экосистем.

Таким образом, несколько проблем искусственного воспроизводства сиговых рыб требуют скорейшего решения: несоответствие реальной картины внутривидовой организации комплексных видов с устоявшимися взглядами на систематику;

неопределенность имеющихся таксономических определений для некоторых объектов зарыбления (“пресноводная жилая форма”); несовершенство существующей нормативной базы, допускающей перемещение рыбы из данного рыбохозяйственного бассейна (речного бассейна, водного объекта) в другой только на основании того, что донорская и реципиентная популяции номинально относятся к одному виду.

РАЗНОГЛАСИЕ МЕЖДУ ГЕНЕТИЧЕСКИМИ И МОРФОЛОГИЧЕСКИМИ ТРАНСФОРМАЦИЯМИ ПРИ ОСВОЕНИИ МОРСКИМ ВИДОМ *TRIGLOPSIS* *QUADRICORNIS* (COTTIDAE) ПРЕСНЫХ ВОД ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Сиделева В.Г., Жидков З.В., Мелентьев Д.А.

*Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург, vsideleva@gmail.com,
zhidkovz@gmail.com*

Арктическая рогатка *Trigloopsis quadricornis* – морской по происхождению вид, описанный К. Линнеем (1758) из Балтийского моря. Он приурочен, в основном, к донным биотопам Ботнического, Финского и Рижского заливов, а также акватории Аландского архипелага. Это – единственный морской вид коттоидных рыб, который смог преодолеть барьер солености и расселиться в послеледниковые пресноводные озера, включая Ладожское. В них образовались пресноводные формы с озерным образом жизни, включая размножение. Форма из Ладожского озера обитает в условиях низкой минерализации воды (0,06 ‰), которая на два порядка ниже, чем в Балтике (5–7 ‰). Адаптации к принципиально новым условиям Ладожского озера привели к сравнительно быстрым (~10 000 лет) трансформациям морфологических, в основном, остеологических признаков: формы и размеров отдельных костей черепа; увеличению полостей в костях нейрокраниума для прохождения каналов сейсмочувствительной системы; редукции костных образований на голове и туловище, снижению максимальных размеров тела.

Для выявления генетической трансформации исследованы два генетических маркера мтДНК: *cytb* (1144 п.н.) и *CR* (917 п.н.). Все изученные балтийские и ладожские экземпляры *T. quadricornis* имели один и тот же фрагмент гена *cytb* (гаплотип TQCB1). Консервативный маркер *cytb* показал полное генетическое сходство обеих форм. У варибельного маркера *CR* мтДНК обнаружены несколько различных гаплотипов. У рыб из Балтики выявлены 2 уникальных гаплотипа (TQCR1, TQCR2); у ладожских особей – 8 гаплотипов (TQCR3–TQCR10). Различия между всеми гаплотипами *CR* составляли 1–3 нуклеотидные замены. Морские и пресноводные *CR*-гаплотипы сформировали сеть звездообразной структуры с балтийским гаплотипом TQCR1 в центре. Это свидетельствует в пользу активного расселения *T. quadricornis* из Балтики в Ладожское озеро.

Таким образом, при переселении *T. quadricornis* из морской в пресноводную среду обитания уровень морфологической трансформации значителен и в целом связан с облегчением скелета и повышением плавучести рыб в пресной воде. При этом, генетическая обособленность двух форм *T. quadricornis* оказались на низком уровне (р-дистанция составила $0,2 \pm 0,1$ ‰). Выявленный уровень морфологической трансформации, следовательно, имеет адаптивную природу, а не является результатом длительной изоляции.

Исследование поддержано грантом Российского научного фонда № 23-24-00406.

ВСТРЕЧАЕМОСТЬ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ НОВОГО ВИДА ПОЛИХЕТ *LAONOME XEPROVALA* BICK & BASTROP, 2018 В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ

Стратаненко Е.А., Тамулёнис А.Ю.

Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Санкт-Петербург,
E.Stratanenko@mail.ru, tamulyonis@yandex.ru

Финский залив – один из крупнейших заливов Балтийского моря, он глубоко вдаётся в сушу, простираясь с запада на восток на 420 км. В пределах российской части Финского залива в его составе выделяются три крупные губы – Лужская, Копорская и Невская, в северо-восточном районе залива выделяется Выборгский залив. На протяжении многих лет в восточной части Финского залива Санкт-Петербургским филиалом ВНИРО ведутся рыбохозяйственные исследования, в том числе, оценивается кормовая база рыб-бентофагов. Планомерные и регулярные гидробиологические исследования на акватории залива позволяют, также отслеживать появление видов-вселенцев в заливе и их дальнейшее расселение.

В 2018 г. при проведении гидробиологических исследований в Лужской губе Финского залива в составе бентосных сообществ были впервые обнаружены не известные ранее для фауны данного района полихеты (Тамулёнис и др., 2020). Предварительно новые находки полихет были идентифицированы нами как *Laonome* cf. *calida*, а при дальнейшем анализе как *Laonome xeprovala* Bick & Bastrop, 2018. Интересно, что места обнаружения данной полихеты были приурочены к устьям рек Луга и Хаболовка. В 2019 г. *L. xeprovala* была также обнаружена в Выборгском заливе в бухтах Большая и Малая Пихтовая. В 2021 г. этот вид полихет был зарегистрирован в Угольной гавани Невской губы. В 2023 г. находки *L. xeprovala* были отмечены нами также в прибрежье Копорской губы, ранее о наличии полихет этого рода в губе упоминалось в Серой книге российского сектора Балтийского моря (Орлова, 2022). Следует отметить, что все рассматриваемые районы обнаружения *L. xeprovala*, за исключением Копорской губы, были локализованы вблизи портов (Усть-Луга, Большой порт г. Санкт-Петербурга, порт г. Высоцк) на мягких грунтах преимущественно с высоким содержанием органического вещества. В последующие годы в обсуждаемых районах Финского залива *L. xeprovala* являлась уже обычным элементом донной фауны, её находки здесь регистрируются в каждый период исследований, что говорит о пригодности местных условий среды для её расселения и формирования стабильных поселений. Вероятнее всего вселение *L. xeprovala* в Финский залив произошло в результате переноса с балластными водами или обрастаниями с корпусов судов, приходящих в местные порты из Западной Балтики, где данные о находках похожей по описанию полихеты публиковались, начиная с 2014 г. (Сара, 2014; Kotta et al., 2015; Кочешкова, 2017; Кочешкова, Ежова, 2018). Мы предполагаем, что в настоящее время отмечается начальная стадия расселения нового для донной фауны Финского залива вида полихет, для которого свойственно очаговое распространение. Дальнейшие исследования следует направить на изучение жизненного цикла данной полихеты в водах Финского залива, вполне возможно обнаружение личинок *L. xeprovala* в планктонных пробах.

О ВЛИЯНИИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА МАКРО- И МИКРОЭВОЛЮЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ У МОРСКИХ РЫБ

**Строганов А.Н., Пономарева М.В., Пономарева Е.В.,
Жукова К.А., Малютин А.М.**

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва,
andrei_str@mail.ru*

Морские рыбы Тихого и Атлантического океанов, например, представители отр. Clupeiformes и Gadiformes в кайнозойскую эру демонстрировали высокий уровень макро- и микроэволюционных процессов, в том числе, благодаря своей способности к миграциям, формированию группировок с высокой численностью, широкому распространению. Все это происходило на фоне глобальных тектонических и климато-океанологических процессов. Так, в середине палеоцена начался процесс формирования Атлантики, впадина которой формировалась последовательно за счет раскалывания Гондваны в раннеюрское время и последующего разделения Лавразии в меловое время с формированием в ходе дивергенции рифтовой зоны в виде Срединно-Атлантического хребта, разделяющего Северо-Американскую и Евразийскую плиты в северной Атлантике и Африканскую плиту от Южно-Американской в южной Атлантике. Разрастание впадины и формирование Атлантического океана в современном его виде проходило за счёт сокращения размеров Тихого океана, сопровождавшегося конвергентными взаимодействиями океанических и материковых литосферных плит с формированием зон субдукции. Опускание в ходе этих процессов более тонкой океанической плиты под материковую сопровождалось сокращением зоны материкового шельфа и формированием глубоководных желобов, что в конце концов оказало коренное значение на процессы формообразования в рамках родов Clupea и Gadus в процессе расселения в тихоокеанские акватории. При этом, само вселение предковых форм океанической сельди и трески из Атлантики в Пацифику стало возможным также в результате тектонических взаимодействий литосферных плит, обеспечивших образование Берингова пролива, представляющего собой открывшийся на границе миоцена и плиоцена узкий тектонический грабен субмеридионального простирания, образовавшийся в результате опускания жестких тектонических блоков Чукотского и Юконского массивов в результате сдвиговых взаимодействий Евразийской и Североамериканской литосферных плит (Момский рифт). На формообразование на макро- и микроэволюционных уровнях оказал влияние процесс глобального похолодания, в основе которого также лежат тектонические взаимодействия. Начало процессу глобального похолодания (т.н. позднекайнозойский ледниковый период) было положено отделением Антарктиды от остальных континентальных блоков, произошедшего в результате открытия между Антарктидой и Южной Америкой пролива Дрейка (плита Скоша) и Тасманского прохода между Антарктидой и Австралией, следствием чего стало установление в олигоцене мощного циркумполярного течения, изолировавшего Антарктиду от теплых вод низких широт. Через шесть миллионов лет после начала позднего кайнозойского ледникового периода образовался Восточно-антарктический ледниковый щит, который 14 миллионов лет назад достиг своего нынешнего размера и сохраняется по настоящее время. Охлаждение Арктики и вытеснение из ее вод бореальной ихтиофауны связывают с формированием в миоцене в результате столкновения Индийской и Евразийской материковых литосферных плит (коллизия) Гималаев и Тибетского нагорья, преградивших подтоку на север тепла и влаги. В наибольшей степени за формирование

внутривидовой структуры «несет ответственность» сформировавшийся в миоцене между Северной и Южной Америками Центральноамериканский перешеек, способствовавший формированию Палео-Гольфстрима на фоне прекращения возможности перемещения в экваториальной области вод поверхностного западного пассатного течения в Атлантике. С увеличением интенсивности Палео-Гольфстрима вырос перенос влажного воздуха в северный регион, что на фоне тепляющего эффекта привело к чередованию плейстоценовых ледниковых периодов и межледниковий, в последний из которых на фоне трансгрессии океана сформировалась современная внутривидовая структура представителей родов *Clupea* и *Gadus*.

ОСОБЕННОСТИ ПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА В ДИНАМИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ШЛЮЗОВЫХ КАМЕР ВОЛГО-ДОНСКОГО СУДОХОДНОГО КАНАЛА ИМ. В.И. ЛЕНИНА

Тарасова Н.Г.¹, Быкова С.В.², Микрякова И.С.¹, Мухортова О.В.¹,
Семенова А.С.^{1,3}, Стройнов Я.В.¹, Карabanов Д.П.¹

¹Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок,
muhortova-o@mail.ru

²Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

³Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Калининград, *a.s.semenowa@mail.ru*

В августе 2023 г. впервые проведено исследование планктонного сообщества (бактерио-, фито-, протозоо- и метазоопланктона) развивающегося в шлюзовых камерах Волго-Донского судоходного канала (ВДСК) во время их заполнения и сработки. Аналогичные работы были проведены на прилегающих к ВДСК акваториях р. Волга и Цимлянского водохранилища. Синхронно измеряли абиотические параметры многофункциональным ручным зондом Aqua TROLL 500.

Планктонное сообщество ВДСК отличалось высоким видовым богатством, которое достигалось за счет специфичности сообществ планктонных организмов, развивающихся в каждой шлюзовой камере, которая, в свою очередь, связана с различными условиями, формирующимися в них. При переходе от Волги к Дону значительно менялись показатели минерализации, электропроводности и солености. Во всех компонентах планктонного сообщества происходила смена доминирующих видов на протяжении ВДСК.

Численность и биомасса фито- и зоопланктона увеличивались по направлению от Волги к Дону, в сообществе протозоопланктона эти закономерности выявлены не были. Максимальные показатели численности, биомассы, видового богатства и видового разнообразия сообщества инфузорий отмечались в «водораздельном» между Волгой и Доном 10-м шлюзе. Это позволяет сделать предположение, что здесь формируется своеобразное экотонное сообщество протозоопланктона. Смертность зоопланктеров в динамичной системе работающих шлюзов была невелика. Больше всего она была выражена у тонких фильтраторов, с максимальными показателями в концевых шлюзах.

В составе разных компонентов планктонного сообщества зарегистрированы инвазийные виды, которые являются, в основном представителями «южных» комплексов. В составе фитопланктона – *Sciltnonema subsalsum* (Cleve-Euler) Bethge, 1928, протозоопланктона – *Leprotintinnus pellucides* (Cleve, 1899). Состав комплекса инвазийных зоопланктеров шире. В нем были отмечены: *Heteroscope caspia* Sars G.O.,

1897, *Eurytemora caspica* Sukhikh & Alekseev, 2013, *Cercopagis* (*Cercopagis*) *pengoi* (Ostroumov, 1891), *Cornigerius maeoticus* (Pengo, 1879) и *Podonevadne trigona* (G.O. Sars, 1897) из понто-каспийского, *Calanipeda aquaedulcis* Krichagin, 1873 из средиземноморского и *Thermocyclops taihokuensis* Harada, 1931 из восточно-азиатского фаунистического комплексов. Доля мертвых организмов среди зоопланктеров была невысока. Это позволяет нам сделать заключение, что в ВДСК создаются благоприятные условия для развития инвазийных видов и он, вероятно, является благоприятной транспортной артерией для их распространения.

МЕТАБАРКОДИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНКТОННЫХ ПРО- И ЭУКАРИОТ В ВОДОЕМАХ СРЕДНЕЙ ВОЛГИ В ПЕРИОД ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНОГО ЦВЕТЕНИЯ

Уманская М.В.¹, Быкова С.В.¹, Горбунов М.Ю.¹, Тарасова Н.Г.², Краснова Е.С.¹,
Мухортова О.В.², Шерышева Н.Г.¹, Агапов А.А.¹

¹Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, mvumansk67@gmail.com,

²Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок,
muhortova-o@mail.ru

Для оценки состояния планктонного сообщества и определения характера цианобактериального цветения в период с мая по сентябрь 2023 г. были исследованы разнотипные водоемы бассейна Средней Волги (Самарская область, Россия). Всего проанализировано 35 проб, из которых была выделена тотальная ДНК и проведена амплификации переменных регионов 16s и 18s рРНК. Пул библиотек был секвенирован на Illumina MiSeq с использованием реактивов MiSeq Reagent Kit v2 (500 cycles). Таксономическую принадлежность ОТЕ определяли с использованием баз данных SILVA SSU v. 138.1 и PR2 v. 5.0.1.

Всего в объединенной библиотеке зарегистрировано 215 ОТЕ, относящихся к Archaea, с общим числом последовательностей 2239; 6300 ОТЕ, принадлежащих к Bacteria (исключая митохондрии), с общим числом последовательностей 4029739; 2953 ОТЕ Protista (включая Fungi), с общим числом последовательностей 3597083; а также 60 ОТЕ, принадлежащих к Crustacea и Rotifera (440896 последовательностей). В объединенной библиотеке из Archaea доминировали представители Nanoarchaeota. Состав доминирующего комплекса бактерий на уровне макротаксонов был следующим: Cyanobacteria, Proteobacteria, Bacteroidota, Verrucomicrobiota, Planctomycetota и Actinobacteriota (в порядке уменьшения вклада). Среди протистов основной вклад в общее число последовательностей вносили (в порядке уменьшения) Ciliophora, Gyrista, Cryptista, Myzozoa и Amorphea. Среди метазоопланктона преобладали Cyclopoida (Crustacea, Copepoda).

Судя по доле последовательностей Cyanobacteria в составе Bacteria и соотношению числа последовательностей цианобактерий и хлоропластов, цианобактериальное цветение отсутствовало в 15 % исследованных проб. В остальных исследованных водоемах в 2023 г. обнаружены цветения с преобладанием различных видов цианобактерий (в скобках указана доля проб с данным типом цветения):

1. *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek (38 %);
2. *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault (31 %);
3. *Raphidiopsis raciborskii* (Woloszynska) Aguilera & al. (7 %);
4. *Anabaenopsis* sp. V.V.Miller (3 %);

5. *Dolichospermum flos-aqua* (Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & Komárek (3 %);

6. Смешанное цветение трех-четырех видов в близких количествах (17 %).

В докладе обсуждаются особенности изменения структуры про- и эукариотического планктона в зависимости от преобладающего вида цианобактерий, степени выраженности цветения и некоторых экологических факторов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-14-20005, <https://rscf.ru/project/23-14-20005>.

ПЕРСПЕКТИВЫ ФИЛОГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРЕСНОВОДНЫХ НАРПАСТИКОИД (CRUSTACEA: COPEPODA)

Фефилова Е.Б.¹, Велегжанинов И.О.¹, Голубев М.А.^{1,2}, Бакашкина А.С.^{1,2},
Новиков А.А.³, Гусаков В.А.⁴, Чугунов В.К.⁴

¹Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, fefilova@ib.komisc.ru

²Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина, г. Сыктывкар,
maksim.golubev.21@mail.ru

³Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань,
aleksandr-novikov-2011@list.ru

⁴Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок,
Igusakov@mail.ru

С развитием методов молекулярной генетики пространственное распределение и разнообразие в пресноводных экосистемах микроскопических водных беспозвоночных изучается на новом уровне – с применением филогеографического и филогенетического подходов. Основанием выбора Нарпастикоид в качестве модельной группы для таких исследований является их самое широкое распространение и высокая встречаемость в водоемах различного типа. Абсолютно необходим филогенетический подход для исследования разнообразия фауны древнейшего в мире пресноводного озера Байкал, уникальность и обособленность которой послужили основанием для выделения озера в самостоятельную биогеографическую область (Старобогатов, 1966, 1970). Гарпактикоиды одна из доминирующих в Байкале по разнообразию и численности в мейобентосе групп беспозвоночных. Перспективность применения Нарпастикоид в качестве модельной группы для филогеографических исследований пресноводной биоты связана с пониманием основных механизмов их расселения и роли в их распространении антропогенных факторов. Известно, что гарпактикоиды возглавляют список таксонов водных животных, в массе встречающихся в балластных водах судов (Chu et al., 1997), составляют более половины всего богатства фауны ракообразных сооружений типа водопроводов, фильтров, насосов, колодцев (Reid, 2001). Одни и те же тропические виды этих рачков найдены в декоративных пресноводных аквариумах в Канаде и Новой Зеландии (Duggan et al., 2006, 2015, 2018).

С недавнего времени наши исследования фауны пресноводных Нарпастикоид из природных и искусственных водоемов разных регионов включали молекулярно-генетическую идентификацию десятков видов и анализ их молекулярного разнообразия. Такой подход был применен по отношению к популяциям из бассейна р. Вычегда (северо-восточная Европа), Московской области, плато Путорана, дельты р. Лена, Западного Саяна, оз. Байкал и др. Полученные результаты позволили сделать некоторые заключения по особенностям распространения и расселения некоторых

видов (*Attheyella nordenskioldii* (Lilljeborg), *Elaphoidella bidens* (Schmeil), *E. sewelli* (Chappuis) и др.), а также впервые выполнить предварительный анализ филогенетического разнообразия представителей байкальской фауны. Было подтверждено антропогенное вселение теплолюбивых видов гарпактикоид в северный регион, найдены потенциально новые виды (генетические виды), и наоборот, подтверждена молекулярно-генетическая идентичность разных морфологических видов.

Работа выполнена в рамках тем НИР Института биологии Коми НЦ УрО РАН (№ 122040600025-2), Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (№124032500016-4).

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗООБЕНТОСА В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Юнусов Х.Б., Боймуродов Х.Т., Элмуродов А.А., Нурниёзов А.А.

Самаркандский государственный университет ветеринарной медицины,
животноводства и биотехнологии, г. Самарканд, unn59@mail.ru,
boymurodov1971@mail.ru

В мире большое внимание уделяется изучению гидробионтов, распространенных в бассейнах крупных рек, как объекта возможного исчезновения биологического разнообразия.

На распространение гидробионтов в водных экосистемах Среднего Зарафшана влияют абиотические факторы, такие как температура воды, степень прозрачности, скорость течения, содержание кислорода, уровень pH.

Температура воды. Температура воды оказывает комплексное влияние на состояние, распространение, питание и другие характеристики гидробионтов в водных экосистемах Среднего Зарафшана. Сезонные изменения температуры воды в реках, водохранилищах и каналах также влияют на характер питания гидробионтов. Нами было проанализировано влияние температуры воды для видов семейства Unionidae: *Sinanodonta gibba*, *S. orbicularis* и *S. puerorum*. Установлено, слабое минимальное влияние температуры воды +1–+11 °С, оптимальная температура +12–+22 °С и сильное максимальное влияние выше +22 °С. В связи с тем, что эти виды распространены в глубоких слоях воды, наблюдались определенные отличия во влиянии температуры от других видов. У видов семейства Unionidae фильтрационная способность при температуре воды +4 °С сильно снижается. Установлено, что температура влияет на обмен веществ и скорость фильтрации у моллюсков.

Скорость течения. В истоке Среднего Зарафшана наблюдается высокая скорость течения, которая составляет в среднем 0,72–0,84 м/сек. Крупные двустворчатые моллюски в этом районе не обитают из-за быстрого течения реки, низкой температуры воды и малого количества органических соединений. Лишь среди брюхоногих моллюсков были обнаружены *Martensamnicola brevicula* из семейства Beelgrandiellidae, *Lymnaea stagnalis*, *Lymnaea truncatula*, *L. thiessea* и *L. oblonga* из семейства Lymnaeidae, *Planorbis planorbis* из семейства Planorbidae. Среди представителей Hirudinea выявлен *Hirudo medicinalis*. Средняя скорость в среднем течении 0,52–0,61 м/сек. В этом районе обитают *Sinanodonta gibba*, *S. orbicularis*, *S. puerorum*, *Colletopterum bactrianum*, *C. cyreum sogdianum*, *C. ponderosum volgensis*,

C. kokandicum, *Corbicula cor*, *C. fluminalis*, *C. purpurea*, а также распространены *Corbiculina tibetensis* и *C. ferghanensis* из рода *Corbiculina*.

Повышение уровня воды летом вызывает и увеличение скорости течения в ее истоке. В основной части она достигает 1,50–1,80 м/с, в средней части 0,85–1,15 м/с, в нижней части 0,40–0,45 м/с. Представители родов *Sinanodonta*, *Colletopterum*, *Corbicula* и *Corbiculina* распространены в нижнем течении реки на участках со средней скоростью течения 0,25–0,35 м/с. *Colletopterum cyreum sogdianum* обитает в проточной воде. Установлено, что скорость течения играет важную роль в распространении пелореофильных видов *Sinanodonta gibba*, *S. orbicularis*, *S. puerorum*, *Corbicula cor*, *C. fluminalis*, *C. purpurea*, *Corbiculina tibetensis* и *C. ferghanensis*, обитающих на илистых грунтах.

Снижение плотности моллюсков в реке Зарафшан, по сравнению с окружающими водоемами, обусловлено характером ее гидрологического режима. В прудах и водоемах постоянно имеется вода, условия для жизни и размножения моллюсков хорошие. В осенние и зимние месяцы уровень воды в реке значительно уменьшается. Определено влияние стока воды на распространение и экологические группы двустворчатых моллюсков.

ТЕХНОГЕННЫЕ ВОДОЕМЫ КАК ДВЕРИ ДЛЯ ВИДОВ-ВСЕЛЕНЦЕВ В НОВЫЕ РЕГИОНЫ: КРЫМСКИЕ ПРИМЕРЫ

Яковенко В.А., Шадрин Н.В., Ануфриева Е.В.

ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей
им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, yakovenko_vla@mail.ru

Влияние каналов и других искусственных водоемов в наибольшей степени проявляется в засушливых и полузасушливых районах, оказывая разнообразное воздействие на окружающую среду. Северо-Крымский канал был построен в 60–70-х гг. XX столетия для орошения земель северной части полуострова водами Днепра. В свое время строительство Северо-Крымского канала привело к опреснению большинства соленых озер Крыма, резкие изменения солености фактически вызвали формирование новых экосистем. Это сделало канал причиной значительных изменений окружающей среды в аридной части Крыма. В 2014 г. по политическим причинам Северо-Крымский канал был перекрыт, а в 2022 г. он снова был заполнен водой. Исследования зоопланктона проводили с марта по ноябрь 2022 г. Всего в составе зоопланктона было обнаружено 11 видов коловраток, 11 видов кладоцер и 15 видов копепод, в том числе 2 вида гарпактицид, 5 каляноид и 8 циклопов. Список видов, обнаруженных в канале, сравнили с ранее отмеченными в Крыму видами. Из 37 видов, обнаруженных в канале, 10 ранее не отмечались в водоемах Крыма. Среди коловраток – *Ploesoma hudsoni* (Imhof, 1891), *Polyarthra dolichoptera* Idelson, 1925, *Pompholyx complanata* Gosse, 1851, *Synchaeta grandis* Zacharias, 1893 и *Synchaeta stylata* Wierzejski, 1893. Среди Cladocera ранее не отмечались *Bosminopsis zernowi* Linko, 1901, *Rhynchotalona rostrata* (Koch, 1841) и *Scapholeberis mucronata* (O.F.Müller, 1776). Виды *Eurytemora lacustris* (Pope, 1887) и *Cyclops smirnovi* Rylov, 1948 впервые были обнаружены в Крыму среди Copepoda. В гиперсоленом озере Мойнаки из-за резкого уменьшения солености, со 150 до 50 г/л, началось проникновение новых для озера видов. Например, только с 2018 по 2023 гг. впервые встречены типичные пресноводные кладоцеры *Chydorus sphaericus*

(O.F. Müller, 1776), *Bosmina coregoni* (Baird, 1857) и копепода *Acanthocyclops vernalis* (Fischer, 1853), моллюски *Ecrebia ventrosa* (Montagu, 1803), *Bittium reticulatum* (Costa, 1799), стрекоза *Stylurus flavipes* (Charpentier, 1825), фораминиферы *Aubignyna perlucida* (Heron-Allen & Earland, 1913), коловратки *Brachionus plicatilis* Müller, 1786, *Hexarthra fennica* (Levander, 1892) и *Filinia longiseta* (Ehrenberg, 1834). Ряд видов является новыми для региона. Пресноводные виды, попадая даже в гиперсолёный водоем, где нет сложившихся биотических отношений, способны к ним адаптироваться. Ранее в других искусственных водоемах Крыма нашли восточно-азиатские виды циклопов, новые для Крыма и Европы. Таким образом, новые находки подтверждают правило, что новые техногенные водные экосистемы, как и кардинально измененные, открывают двери для вторжения чужеродных видов в новые регионы. В канале основной вектор вселения – поступающие воды Днепра, важный вектор попадания в водоемы новых видов – мигрирующие околотовные птицы.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Экосистемы экстремальных местообитаний Азово-Черноморского бассейна и других регионов: биоразнообразие, функционирование, динамика и биоресурсный потенциал» (№ гос. регистрации 1023032700552-4-1.6.16;1.6.19;1.6.18;1.6.12;1.6.23).

СЕКЦИЯ 3. ПОПУЛЯЦИИ И СООБЩЕСТВА ГИДРОБИОНТОВ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСОБЕЙ БАЙКАЛЬСКОГО ХАРИУСА В БАССЕЙНЕ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ЕНИСЕЙ ПО ТИПАМ МИГРАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ

Андрущенко П.Ю.^{1,2}, Зуев И.В.¹

¹Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

²Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск

Запуск в эксплуатацию Красноярской ГЭС в 1967–1971 гг. привел к изменению температурного режима среднего течения реки Енисей в нижнем бьефе плотины ГЭС. В зимний период река не замерзает на протяжении 80–300 км участка, а в летний период прогревается только до 10–12 °С, что является оптимальной температурой для соматического роста байкальского хариуса. Следствием этого стало увеличение его численности и скорости роста, а также формирование уникальной структуры чешуи, не характерной для хариуса из других частей бассейна Енисея.

Цель проведенного в 2020–2021 гг. исследования заключалась в оценке распределения хариусов имеющих разную миграционную активность в пределах основного русла Среднего Енисея и его притоков. Критерием выделения жилой формы, обитающей большую часть жизненного цикла в основном русле Енисея, было количество склеритов во втором годовом кольце, превышающих 15. Рыбы с меньшим числом склеритов были условно отнесены к форме, часть жизненного цикла которых проходила (на 2-м году жизни) в притоке.

Анализ выборки, собранной в июле–ноябре в основном русле Енисея в районе п. Хлоптуново показал, что доля мигрантов в основном русле среднего течения Енисея

составила 18,6 %. Наибольший их процент отмечен в июле (24 %), в августе–сентябре он составлял 20–22 %, в октябре – 15 %, в ноябре мигранты не встречались.

В притоках Енисея также встречались рыбы с разной структурой чешуи. Область распространения хариуса в июле–августе была ограничена участками притоков, температура воды в которых не превышала 16–17 °С. Жилая медленнорастущая форма обнаружена в верхнем и среднем течении р. Березовка, а также на изолированных дамбами участках верхнего течения р. Кача. В крупных притоках Мана и Базаиха, на значительном удалении от их устья, отмечены мигранты из Енисея, с единичным присутствием оседлых особей.

Таким образом, современная популяция байкальского хариуса на термически измененном участке реки Енисей включает рыб с разной миграционной активностью. Несмотря на меньшую биомассу зообентоса в притоках, по сравнению с основным руслом Енисея, преимуществом летней миграции в прогретые притоки может быть удлинение периода соматического роста рыб до 7 месяцев. Массовое появление рыб из притоков в основном русле Енисея в летний период может быть связано с перегревом воды. В результате этого особи хариуса могут перемещаться как в верховья притока, так и скатываться в Енисей, температура воды в котором в летние месяцы не превышает 12 °С.

ЗИМНИЙ ЗООПЛАНКТОН ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ Г. ВОЛОГДА)

Арашин С.Ю.

Вологодский государственный университет, г. Вологда, ar.serg@rambler.ru

Наиболее уязвимым звеном в годовом цикле развития зоопланктона является зимний период при образовании ледяного покрова на водных объектах. При изучении разнотипных озерных экосистем северо-запада России в подледный период установлено резкое снижение видового богатства и количественных показателей зоопланктоценозов при неблагоприятном температурном режиме. Актуальность исследования зимних условий существования зоопланктонных организмов возрастает в связи с потеплением климата и сокращением периода ледостава. Это вызывает сдвиг фенофаз в развитии зоопланктона, что было показано на примере жизненных циклов веслоногих ракообразных в Онежском озере. Значительное влияние на изменение зоопланктоценозов оказывает и органическое загрязнение вод. В этом плане особый интерес представляют водные объекты урбанизированных территорий, зоопланктоценозы которых оказываются под воздействием комплекса факторов, включая сезонное снижение температуры, тепловое и органическое загрязнение.

Целью исследования было выявление особенностей зоопланктоценозов в зимний период в водных экосистемах на территории г. Вологды. В рамках задачи сравнительного анализа природных и антропогенных факторов формирования зоопланктона выбраны водные объекты, отличающиеся по происхождению, типу, морфометрическим характеристикам и уровню загрязнения. В спектр модельных объектов входили пять искусственных прудовых экосистем с выраженным ледовым покровом, в которых аккумулярующий характер внутриводоемных процессов способствует органическому загрязнению. В природной экосистеме, представленной малым притоком р. Вологды (р. Содема), формирование зоопланктоценоза происходило в условиях проточности и теплового загрязнения при сбросе сточных вод,

ухудшающих также и качество воды. Река не замерзает, поэтому становится местом обитания уток, остающихся здесь на зимовку, что соответственно увеличивает степень органического загрязнения экосистемы. Сбор гидробиологического материала по стандартной методике осуществлялся в январе–феврале 2024 г., при этом измерялась толщина льда и температура воды.

Выявлено, что толщина льда прудов составляла 55–64 см, температура воды 1–2 °С, а в реке Содема – 4 °С. Зимний зоопланктон всех исследованных экосистем закономерно отличался низким уровнем развития. В разных прудах численность организмов варьировала в пределах 1,9 до 4,1 тыс. экз./м³, а биомасса – от 3,7 до 8,0 мг/м³. В видовом составе отмечены науплии копепода, единичные взрослые циклопы *Mesocyclops leuckarti*, а к фоновым видам относилась коловратка *Bdelloida sp.* Преобладание мелких и непрехотливых бделлоидных коловраток наблюдается в условиях органического загрязнения при илонакоплении в прудах. В реке Содеме при меньшей численности зоопланктона 0,6–1,1 тыс. экз./м³ значения биомассы были значительно выше 14–28 мг/м³ в основном за счет крупной хищной коловратки *Asplanchna priodonta priodonta*. Большое видовое разнообразие по сравнению с прудами и доминирование коловраток в структуре зоопланктона отражает условия незамерзающей реки с высокой степенью органического загрязнения. Таким образом, ротаторный характер зимнего зоопланктона может служить индикатором влияния урбанизации на состояние разнотипных водных объектов.

МАКРОЗООБЕНТОС ОЗЕР ХОЛМОВСКОЕ И ЛАХТА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СЪЕМКИ 2023 г.)

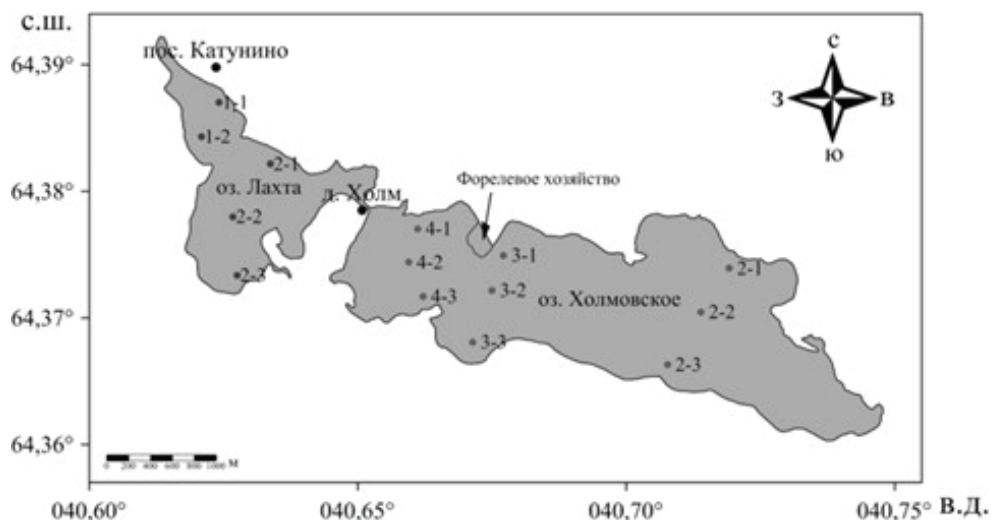
Артемьев С.Н.¹, Пряничникова Е.Г.²

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, Artemm_1988@mail.ru

²Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок

Подробные исследования макрозообентоса озера Холмовское впервые начали проводиться в 2022 г. сотрудниками лаборатории эволюционной экологии и геномики гидробионтов ФИЦКИА УрО РАН. В 2023 г. была расширена сетка станций (собраны пробы на оз. Лахта). Дальнейшее наблюдение за состоянием зообентосных сообществ в рассматриваемой акватории озер необходимо для контроля их качественных и количественных характеристик в связи с интенсификацией деятельности человека (в том числе присутствием в озере садкового форелевого хозяйства), климатическим изменениям и как следствие изменением ареалов некоторых видов донных беспозвоночных.

В данной работе обобщены и структурированы материалы, полученные в ходе зимней и летней съемок (всего отобраны пробы с 14 станций в разные гидрологические периоды). Отбор проб, таксономический и биологический анализ организмов осуществлялся в соответствии со стандартной методикой (Абакумов, 1983). Индекс видового разнообразия Шеннона рассчитывался по значениям численности.



В исследуемой акватории оз. Холмовское в период отбора проб глубина варьировала в пределах от 2,3 м (ст. 2-1) до 9,7 м (ст. 3-2). Значения численности макрозообентоса в зимний гидрологический период в оз. Холмовское изменялись в широком диапазоне от 57 до 824 экз./м², при этом максимальные показатели были отмечены на глубинах более 9,0 м, где максимальную плотность поселений создавали представители олигохет *Potamothrix hammoniensis* и хирономид *Chironomus f. l. plumosus* (lv). Наименьшие значения численности и биомассы были отмечены на глубине менее 3 м в южной части 4-ого разреза. Максимальные значения биомассы для оз. Холмовское были зарегистрированы в северной его части, при диапазоне изменений в пределах от 0,05 до 10,07 г/м², а наибольший вклад в формирование общей биомассы вносили *Chironomus f. l. plumosus* (lv). В летний период в оз. Холмовское значения численности изменялись в диапазоне от 57 до 1051 экз./м², с наибольшими значениями численности и биомассы на максимальных глубинах. Показатели биомассы варьировали в широком диапазоне от 0,05 до 17,48 г/м². Количественные показатели значений численности оз. Лахта в летний период изменялись от 57 до 313 экз./м², биомассы от 0,61 до 14,86 г/м² с доминированием *Chironomus f. l. plumosus* (lv). Средние значения биомассы и плотности поселений за весь период исследования составляли соответственно для оз. Холмовское 4,32±0,90 г/м² и 350±59 экз./м²; для оз. Лахта 6,42±0,08 г/м² и 159±26 экз./м².

Значение индекса Шеннона в оз. Холмовское в зимний период составило 2,26, в летний – 2,05, в оз. Лахта в летний период – 1,51.

Таким образом, таксономические характеристики макрозообентоса, его количественные показатели соответствуют таковым в большинстве мезотрофных с элементами эвтрофии озер северных и умеренных широт.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН по теме «Изучение изменений в экосистеме р. Северная Двина и в водоемах особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Европейского Северо-Востока России в условиях климатических сукцессий и воздействия антропогенных факторов», гос. № 122011800593-4.

СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ МАЛОГО ВОДОТОКА НА ТЕРРИТОРИИ ПОДВЕРЖЕННОЙ СПЛОШНЫМ РУБКАМ (СРЕДНЯЯ ТАЙГА, РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Батурина М.А., Кононова О.Н.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, baturina@ib.komisc.ru

Промышленные лесозаготовки являются одним из основных антропогенных факторов изменений таежных ландшафтов Европейского Севера за последние столетия. Наиболее масштабное их воздействие приходится на таежную зону, где специальных исследований влияния рубок фактически не проводилось. Поэтому выявление изменений, происходящих в водных экосистемах, расположенных в зоне вырубок, важно для понимания динамики дальнейшего развития населяющих их сообществ.

Гидробиологические наблюдения на малом водотоке были начаты за год до рубок (июль–сентябрь 2020 г.) и проводились три года после проведенных рубок (май–сентябрь 2021–2023 гг.) Исследованный участок (протяженностью примерно 1 км) был разделен на пять пунктов мониторинга: контрольная зона или ненарушенный участок (2 точки), импактная зона или нарушенный участок (2 точки), канава.

Наборы данных о составе фауны, лежащие в основе анализа, опубликованы в GBIF (Baturina et al, 2023).

Вследствие сплошной вырубки леса и движения тяжелой спецтехники произошло нарушение целостности морфологии русла ручья, что привело к существенной перестройке населяющих его сообществ водных беспозвоночных. Сравнение основных показателей развития сообществ выявило изменения, произошедшие с периода до проведения вырубок к третьему году после рубок.

Первые два года после рубок наблюдалось частичное пересыхание русла ручья в летний период, что влияло на снижение количественных показателей развития зоопланктона и зообентоса. В 2023 г. русло мелело, но полностью не пересыхало. Это определило бóльшие значения численности и биомассы планктонных и донных организмов относительно предыдущих лет. В планктонных сообществах в течение всего периода исследований массового развития достигали Copepoda. Была установлена ежегодная деградация аборигенной фауны зоопланктона водотока и насыщение ее новыми видами, смена которых наблюдалась в ручье ежегодно с момента начала вырубок. При этом достоверных отличий в распределении показателей количественно развития планктонных организмов на участках, расположенных в зоне контроля и импактной зоне выявлено не было. В общей численности зообентоса ручья к третьему году после проведения вырубок доминирующие позиции занимали мейобентосные Ostracoda, Copepoda, Nematoda, а роль представителей макрозообентоса снизилась. В биомассе бентоса по-прежнему основная доля приходилась на амфибиотических насекомых, но в импактной зоне устойчивым доминантом стали Oligochaeta. Несмотря на сохранение большого числа видов донных беспозвоночных и состава доминирующего комплекса на протяжении трех лет после проведения вырубок, общее разнообразие видов зообентоса, особенно амфибиотических насекомых в ручье значительно снизилось, и в составе фауны отмечалась высокая доля видов, встреченных только один раз.

Вероятно, что канава в этой водной системе выполняет функцию локального рефугиума, благодаря чему происходит ежегодное пополнение фауны ручья, и за счет которого будет возможно восстановление его биоты в случае реконструкции русла.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗ. ХУБСУГУЛ (МОНГОЛИЯ): КАЧЕСТВО ВОДЫ, РАЗНООБРАЗИЕ ПЛАНКТОННЫХ И БЕНТОСНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ, ТОКСИЧНЫЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ

**Белых О.И., Сорокикова Е.Г., Тихонова И.В., Краснопеев А.Ю., Гутник Д.И.,
Суслова М.Ю., Потапов С.А., Кузьмин А.В., Федорова Г.А.**

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, belykh@lin.irk.ru

Хубсугул – крупное олиготрофное озеро тектонического происхождения – находится на севере Монголии в Байкальской рифтовой зоне на высоте 1645 м над уровнем моря, его возраст оценивается в 5,5 млн. лет. Озеро имеет прямую водную связь с Байкалом посредством рек. Хубсугул занимает 16 место по площади среди пресных озер Земли, в нем сосредоточено около 70 % всех запасов пресной воды Монголии.

Цианобактерии – одни из самых древних на Земле организмов (3,8 млрд. лет) – широко распространены во всех экосистемах, они синтезируют множество вторичных метаболитов, в том числе и токсины, представляющие опасность для здоровья человека и животных. Наиболее распространенные токсины в пресных водах – микроцистины (МС), они повреждают клетки печени и вызывают как острые отравления, так и злокачественные новообразования при длительном воздействии низких доз.

Цель работы – описание современного состояния оз. Хубсугул на основе комплексных исследований, включающих ревизию видового состава цианобактерий, поиск токсиногенных и токсин-продуцирующих цианобактерий, оценку качества воды с использованием санитарно-микробиологических и гидрохимических показателей, характеристику генетического и таксономического разнообразия метабеномных микробных сообществ, в том числе детекцию условно-патогенных и патогенных бактерий, идентификацию вариантов МС методом масс-спектрометрии и определение концентрации МС с применением иммуноферментного анализа (ИФА).

Впервые в древнем, олиготрофном и крупнейшем озере Земли – Хубсугуле – обнаружены цианобактерии, содержащие гены синтеза микроцистинов. Генетический анализ показал, что последовательности гена микроцистинсинтетазы принадлежали представителям родов *Nostoc*, *Microcystis*, и, возможно, *Snowella*. В планктоне прибрежной зоны озера детектированы микроцистины, их содержание, по данным ИФА, было низким и составляло 35–52 мкг/г сухого веса. В оз. Хубсугул идентифицировано 5 вариантов МС. С помощью микроскопии и высокопроизводительного секвенирования установлен состав планктонных и бентосных циано- и бактериальных сообществ, восстановлены полные геномы бактерий. В бентосе преобладали виды цианобактерий порядка *Nostocales*, в планктоне – *Synechococcales*. Численность цианобактерий была низкой как в планктоне, так и в бентосе, массового развития цианобактерий не выявлено. Вода оз. Хубсугул характеризовалась как чистая, санитарно-микробиологические показатели воды были ниже предельно допустимых значений. Гидрохимические и гидрофизические параметры, концентрация хлорофилла *a* входили в диапазон значений, отмечаемых в 70–90-е годы прошлого столетия, и соответствовали олиготрофному статусу озера. Признаков антропогенного эвтрофирования озера не выявлено, условия для массового

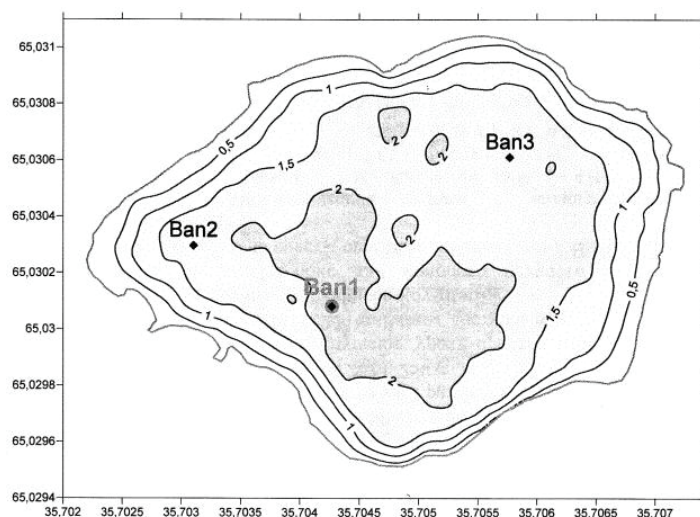
развития цианобактерий в оз. Хубсугул отсутствуют. Вместе с тем наличие токсин-продуцирующих видов цианобактерий и токсинов указывает на необходимость регулярного мониторинга цианотоксинов в воде, особенно в туристско-рекреационных зонах с повышенной антропогенной нагрузкой.

ИЗМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗООБЕНТОСА В ЗИМНЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2023 ГОДА В ОЗЕРЕ БАННОЕ (СОЛОВЕЦКИЙ АРХИПЕЛАГ)

Бурмагин М.В.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, 98maxbur12@gmail.com

Озеро Банное располагается на Соловецком архипелаге на территории п. Соловецкий. На берегу озера ранее располагалось предприятие по переработке кож и банное хозяйство монастыря, а также здания Соловецкого филиала Архангельского опытного водорослевого комбината. Водоём относится к категории очень малых озёр.



Исследования проводились в конце марта и середине июля 2023 г. В ходе работ осуществлены сбор, фиксация и проведена последующая камеральная обработка 6 проб зообентоса. Все работы осуществляли в соответствии со стандартными методами.

Всего в бентофауне озера было отмечено 4 таксона донных беспозвоночных, которые подразделяются на 3 типа: представители 1) Членистоногих (Arthropoda): *Chironomidae* gen. sp. и *Ceratopogonidae* gen. sp. lv. 2) Кольчатых червей (Annelida): *Oligochaeta* gen. sp. 3) Моллюсков (Mollusca): *Sphaeriidae* gen. sp.

В зимний подледный период доминировали *Chironomidae* gen. sp., составлявшие по численности – 50,00 %; по биомассе – 96,30 %. Также *Chironomidae* gen. sp. показывали наибольшую долю по биомассе летом (62,19 %), но наименьшую по численности (12,12 %). В летний период по численности доминировали *Sphaeriidae* gen. sp. – 72,73% от общей выборки. Отметим, что *Ceratopogonidae* gen. sp. lv были обнаружены в пробах только летом (по численности – 15,15 % и по биомассе – 8,02 %), а *Oligochaeta* gen. sp. только зимой (по численности – 31,25 % и биомассе – 1,60 %).

В целом показатели развития донной фауны в оз. Банное зимой составляли:

численность – 400,0 экз./м², биомасса – 8,5 г/м², летом: численность – 825,0 экз./м², биомасса – 6,4 г/м².

Исследования проведены при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-14-20045 «Оценка современного состояния пресноводных экосистем Соловецкого архипелага (фундаментальный и прикладной аспекты)».

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ЗООПЛАНКТОНА ВЕРХНЕЙ ОБИ В ЧЕРТЕ ГОРОДА НОВОСИБИРСКА

Визер Л.С., Шаруха Ю.В., Мухина А.А.

Новосибирский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Новосибирск, sibribniiproekt@mail.ru

Река Обь, особенно в зоне влияния крупных городов, подвержена значительным экологическим рискам. Такие обстоятельства требуют проведения тщательных исследований, включающих оценку современного состояния отдельных элементов биоты реки, в том числе зоопланктона.

В последние несколько лет через р. Обь в черте г. Новосибирска ведется строительство крупного автомобильного моста. Глубина реки в зоне строительства в русловой части составляет 4,4–7,1 м. Гидрологический и термический режимы этого участка находится под мощным влиянием работы Новосибирской ГЭС.

В зоопланктоне р. Оби в зоне строительства в вегетационный период 2022 г. было обнаружено 33 вида из трех систематических групп: 17 – коловратки (Rotifera); 9 – ветвистоусые ракообразные (Cladocera); 7 – веслоногие ракообразные (Copepoda). Количественные показатели зоопланктона имели характерную сезонную динамику: весной наблюдалась наименьшая численность и биомасса, летом – наибольшие.

Весной средняя численность зоопланктона составляла 360 экз./м³, биомасса – 9,260 мг/м³. Основу сообщества формировали веслоногие ракообразные, их доля в численности достигала 89,7 %, в биомассе – 68,3 %. Доминировали *Mesocyclops leuckarti* и *Cyclops strenuus*. В планктоне наблюдались коловратки *Polyarthra remata* и ветвистоусые рачки *Daphnia longispina*.

Средняя численность зоопланктона в летний период достигала 8870 экз./м³, биомасса – 140,177 мг/м³. Основная доля, также как и весной, принадлежала веслоногим ракообразным: 73,0 % и в численности, и в биомассе. Доминировал *M. leuckarti* с численностью, превышающей 5 тыс. экз./м³. В группе веслоногих ракообразных наблюдались также *C. strenuus* и *Harpacticidae* sp. Субдоминантная группа – коловратки. В середине лета руководящая роль в этой группе принадлежала *Asplanchna priodonta*. Ее численность в середине русла превышала 10 тыс. экз./м³. В конце лета основную роль играли *Lecane luna*, *Keratella quadrata* и *P. remata*. Немногочисленные ветвистоусые ракообразные были представлены *D. longispina*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Chydorus sphaericus*, *Bosmina longirostris*, *Alona intermedia*, *Scapholeberis mucronata*.

Осенью численность зоопланктона была весьма незначительной и составляла 1233 экз./м³, биомасса – 133,560 мг/м³. Доминировали в этот период ветвистоусые ракообразные, с удельным весом в численности 59,3 %, в биомассе – 52,3 %. Основная роль принадлежала *D. longispina* и *Alona affinis*. Субдоминантная группа – веслоногие ракообразные; доминировал *Hemidiaptomus ignatovi*.

Зоопланктонное сообщество р. Обь в большей степени состояло из α , α - β -мезосапробов. Их доля соответствовала 59,3 %. Остальную часть составляли β - α , β -

мезосапробы. Оценка степени загрязнения по методу Пантле-Букка свидетельствует о том, что воды реки характеризуются, в основном значениями показателей, соответствующих α -мезосапробной зоне. Индекс сапробности в весеннее время составил 1,6, летом и осенью – 1,8.

СЕЗОННАЯ И МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА ЗНАЧИТЕЛЬНО ИЗМЕНЁННОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА МАНЖЕРОКСКОЕ (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)

Винокурова Г.В., Кириллов В.В.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, king@iwer.ru

Озеро Манжерокское, расположенное в предгорной долине хребта Иолго в 30 км южнее г. Горно-Алтайска, образовалось 15–12 тыс. лет назад. Нарушение ландшафтов водосборного бассейна и создание в 1975 и 1982 гг. плотин, значительно замедливших внешний водообмен, определило вмешательство в естественную эволюцию экосистемы озера и ускорило его эвтрофирование. Из множества существующих методов реабилитации водоема был выбран и реализован в 2017–2018 гг. самый простой и быстрый – дноуглубительные работы со средней глубиной 1,34 м. В результате в 2018 г. содержание взвешенных веществ в воде достигало 3,8 г/дм³, мутность – 1100–2203 ЕМ/дм³, ПО – 130 мгО/ дм³. Но уже через год после расчистки наметилась тенденция последовательного снижения содержания взвешенных частиц и улучшение других показателей качества озерной воды (Робертус, 2021).

Для оценки сезонной и многолетней динамики автотрофного звена лимноэкосистемы на третий и пятый годы после дноуглубительных работ было проведено исследование фитопланктона (ФП) в апреле 2021 г. (период ледостава), в июле 2021 и 2023 гг. (период открытой воды).

В составе ФП оз. Манжерокское обнаружены водоросли из восьми отделов: Bacillariophyta, Chlorophyta, Euglenophyta, Cyanophyta, Chrysophyta, Dinophyta, Cryptophyta и Xanthophyta. В апреле 2021 г. встречено 44 внутривидовых таксона (ВВТ), из которых вегетировало 29; в июле в 2021 г. – 120 (вегетировало 72); в июле 2023 г. – 62 ввт (вегетировало 52). Во все периоды значительная часть таксонов была представлена пустыми створками, домиками, оболочками.

В подледный период наибольшее число вегетирующих ВВТ находилось у поверхности, летом 2021 г. вегетирующих ВВТ у дна и поверхности было примерно одинаково, а летом 2023 г. у поверхности их вегетировало в 2,5 раза больше, чем у дна.

В подледном ФП в 2021 г. наиболее разнообразно и массово были представлены колониальные синезеленые родов *Gloeocapsa*, *Merismopedia*, *Microcystis*. В июле 2021 г. синезеленые практически отсутствовали, а абсолютным доминантом по численности и биомассе по всей акватории озера был зеленый *Volvox polychlamis* Korschik. Разнообразие и обилие эвгленовых незначительно. Но в июле 2023 г. эвгленовые стали не только максимально разнообразными (38,7 % из общего списка), но и абсолютными доминантами (биомасса 71,38–95,74 % от общей).

Общая биомасса водорослей в подледный период достигала 15,9 г/м³, летом 2021 г. – 0,02 г/м³ в единичных точках, где *V. polychlamis* не отмечен, и 21403,84 г/м³, где он присутствовал. Летом 2023 г. общая биомасса достигала 3,97 г/м³.

Таким образом, на озере Манжерокском ещё продолжается изменение состава и уровня развития автотрофов после дноуглубления. Среди водорослей обитатели горных

водоемов единичны и малообильны; через три года акватория озера была занята «агрессивным» и «сорным» *V. polychlamis*; через пять лет – миксо- и гетеротрофными эвгленовыми водорослями. Это согласуется с современным нарушенным и нестабильным состоянием водной растительности озера (Зарубина, 2024).

ВИДОВАЯ СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА ЗАРОСЛЕЙ МАКРОФИТОВ В ТРОФИЧЕСКОМ ГРАДИЕНТЕ В УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЯХ ПРИТОКОВ ВОДОХРАНИЛИЩ СРЕДНЕЙ ВОЛГИ

**Гаврилко Д.Е.¹, Жихарев В.С.¹, Кудрин И.А.¹, Терешина М.А.²,
Ерина О.Н.², Бубнов В.А.¹, Шурганова Г.В.¹**

¹*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, dima_gavrilko@mail.ru,*

²*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва,*

Эвтрофирование водных экосистем до сих пор остается одной из главных проблем в экологии. Оценка влияния эвтрофирования на разнообразие и структуру планктонных сообществ чаще всего рассматривается для медиальной зоны рек и пелагиали крупных озер и водохранилищ. Зарослевым сообществам по-прежнему мало уделяется внимания в данных исследованиях. Устьевые области притоков равнинных водохранилищ представляют собой, преимущественно, акватории с обширными зонами мелководий, зарастающими высшими водными растениями. Высокая гетерогенность среды и накопление биогенного стока реки в устье приводит к формированию в этих зонах зоопланктоценозов с повышенным видовым богатством. В тоже время, усиленное эвтрофирование может приводить к снижению числа видов в сообществах. В связи с этим изучение структуры зоопланктонных сообществ в зарослях макрофитов устьевых областей представляется актуальным.

Результаты работы основаны на материале, собранном с 2018 по 2022 гг. в устьевых областях рек Белая, Троца (притоки Горьковского водохранилища), Ватома, Кудьма, Керженец, Сундовик, Сура, Ветлуга (притоки Чебоксарского водохранилища), Свияга и Казанка (притоки Куйбышевского водохранилища). Сбор и обработку материала проводили стандартными в гидробиологии методами. Трофический статус оценивали по индексу TSI (Carlson, 1977).

За период исследований в зарослях высших водных растений притоков Средней Волги было идентифицировано 203 вида, из них 110 видов принадлежало коловраткам, 65 – ветвистоусым ракообразным, 28 – веслоногим ракообразным. Среди идентифицированных видов были найдены виды-вселенцы: североамериканские коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) и веслоногий рачок *Acanthocyclops americanus* (Marsh, 1893), ветвистоусый рачок южного теплолюбивого комплекса *Ilyocryptus spinifer* Herrick 1882, тропический веслоногий рачок *Thermocyclops taihokuensis* Harada, 1931 и каспийский веслоногий рачок *Eurytemora caspica* Sukhikh et Alekseev, 2013.

Анализ влияния трофности на структурные показатели сообществ показал, что с увеличением TSI в сообществах зоопланктона статистически значимо снижается общее видовое богатство ($p < 0,017$) и видовое богатство ветвистоусых ракообразных ($p < 0,0003$). В зарослях наиболее эвтрофированных рек доминировали коловратки рода *Brachionus*. Доля кладоцер в них составляла всего 12 % от общей численности зоопланктона. В мезотрофных условиях доля ветвистоусых ракообразных достигала

85 % от общей численности. Это свидетельствует о том, что в зарослях макрофитов именно кладоцеры наиболее чутко реагируют на увеличение трофности водотока путём снижения числа видов и доли в общей численности зоопланктонного сообщества.

При поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

СПЕЦИФИКА ПОПУЛЯЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ *ARCTICA ISLANDICA* (LINNAEUS, 1767) В БЕЛОМ МОРЕ – КРАЕВОЙ ЧАСТИ АРЕАЛА

Герасимова А.В.¹, Филиппова Н.А.¹, Максимович Н.В.¹,
Тимофеева М.А.², Сидорская П.О.¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
agerasimova64@mail.ru

²ООО «Эко-Экспресс-Сервис», г. Санкт-Петербург

Широко распространенные обитатели шельфовой зоны северных морей двустворчатые моллюски *Arctica islandica* в конце 20-го–начале 21-го веков приобрели известность благодаря принадлежащим им двум рекордам – максимальной продолжительности жизни среди неколониальных животных (свыше 500 лет, Wanamaker et al., 2009) и самой медленной скорости роста взрослых организмов. В Белом море наиболее плотные поселения (с численностью и биомассой, достигающими до 500 и выше экз./м² и 5 кг/м² соответственно) арктики формируют на мягких с примесью камней грунтах на глубинах 10–15 м. Типичным примером подобного биотопа является участок в сублиторальной зоне у о-ва Матренин, выбранный для многолетних (более 30 лет) наблюдений за структурой поселения *A. islandica*. На протяжении большей части исследований (1984–2003 гг.) глубины 10–15 м участка были оккупированы относительно стабильной агрегацией крупных особей (в основном размерами 30–40 мм), практически исчезнувшей к 2005 году на фоне почти неизменных гидрологических показателей (температуры, солености воды). Специальный анализ возрастного состава этих моллюсков показал, что в 1984–2003 годах рассматриваемое поселение в основном состояло из представителей одной генерации (в данном случае 1969 года). Резкое падение численности этой группы к 2005 году могло быть вызвано естественными причинами, что позволило предположить среднюю продолжительность жизни большинства особей генерации 1969 года около 35 лет. Особи этой генерации найдены на участке и в 2017 году в возрасте около 50 лет. Молодые арктики, в том числе и только что осевшая молодежь, в значительном количестве отмечены в местообитании только с 2005 года.

Таким образом, удалось показать, что беломорские *A. islandica* могут формировать практически моновозрастные скопления, возможно, как следствие многолетних перерывов в успешном пополнении поселений, с относительно слабыми флуктуациями структуры на протяжении многих лет. Долговременная стабильность структуры таких поселений, по-видимому, не результат устойчивого воспроизводства ее показателей, а отражение экологических свойств представителей данного вида на определенных этапах жизненного цикла: крайне медленная скорость роста особей старше 10 лет и размерами более 30 мм (менее 1 мм/год) и их относительно низкий уровень смертности – около 9 % в год. В целом, по сравнению с другими районами распространения *A. islandica* в Белом море отличались наименьшими максимальными

размерами и, вероятно, наименьшей продолжительностью жизни – около 50 мм и около 50 лет соответственно. Характеристики группового роста моллюсков в начале жизненного цикла (первые 4–5 лет) были сравнимы аналогичными показателями вида в других акваториях, однако период относительно быстрого роста у беломорских арктик заканчивался на 10–15 лет раньше.

Причины межгодовых флуктуаций в уровне пополнения поселения арктик у о-ва Матренин, возможно, связаны с особенностями внутривидовых отношений в плотных поселениях моллюсков. По крайней мере, специальный анализ репродуктивного цикла беломорских *A. islandica* показал, что режим гидрологического лета вполне благоприятен для размножения данного вида. Остается понять, насколько закономерности динамики структуры поселения *A. islandica* у о-ва Матренин, характерны для поселений вида в других местообитаниях. Возможно, получить ответы хотя бы на некоторые вопросы удастся в результате анализа размерного-возрастного состава еще одного поселения арктик, найденного летом 2023 г. на глубине около 10 м вблизи поселка Чупа. Крайне плотное поселение вида с численностью 580 экз./м² в рассматриваемый сезон состояло исключительно из особей размерами более 30 мм.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-24-00347, <https://rscf.ru/project/24-24-00347>.

МЕТАБАРКОДИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТАКСОНОМИЧЕСКОГО И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РАЗНООБРАЗИЯ ПРОТИСТОВ В СОЛЕННЫХ И ГИПЕРГАЛИННЫХ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ВОДОЕМАХ РОССИИ

**Герасимова Е.А.¹, Балкин А.С.², Катаев В.Я.², Филончикова Е.С.²,
Миндолина Ю.В.², Тихоненков Д.В.^{1,3}**

¹Тюменский государственный университет, г. Тюмень, ea-ermolenko@yandex.ru

²Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, г. Оренбург

³Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок

Соленые и гиперсоленые водоемы представляют собой одну из самых своеобразных экосистем нашей планеты, характеризующихся экстремальными условиями обитания, обусловленными высокой соленостью, низкими значениями концентраций кислорода и нестабильностью гидрологического режима. Соленые водоемы широко распространены по всему земному шару и обеспечивают разнообразные экологические ниши для широкого спектра микроорганизмов из трех доменов жизни: архей, бактерий и эукариот. Долгое время в исследованиях гиперсоленых местообитаний основное внимание уделялось археям и бактериям, в то время как разнообразие протистов оставалось слабоизученным. За последние два десятилетия наши знания о сообществах протистов из гиперсоленых местообитаний значительно улучшились благодаря различным сочетаниям культуральных методов, микроскопии и молекулярной генетики, включая молекулярную филогенетику, транскриптомику, метагеномику и метабаркодинг. Технология метабаркодинга преодолевает ограничения традиционных методов исследований и демонстрирует большой потенциал для изучения ранее неизвестного разнообразия организмов. Результаты метабаркодинговых исследований произвели революцию в исследованиях биоразнообразия органического мира и продемонстрировали, что протисты представляют уникальную и разнообразную совокупность биоты в экстремальных местообитаниях. Протисты из гиперсоленых биотопов демонстрируют разнообразную

морфологию, функциональные стратегии и имеют широкий спектр метаболического разнообразия. Метабаркодинговые исследования протистов также демонстрируют свои возможности в экологических исследованиях, связанных с изучением распределения видов по градиентам солености, биогеографией и др. Несмотря на всемирное распространение и широкое разнообразие гипергалинных водоемов, сообщества протистов, населяющие их, по-прежнему остаются слабоизученными.

В нашей работе мы представляем молекулярные данные по анализу таксономического и функционального разнообразия планктонных сообществ протистов соленых и гиперсоленых водоемов (2–390 г/л) России с применением ДНК-метабаркодинга. Таксономическое разнообразие протистов было представлено 8 супергруппами и значительно различалось в зависимости от солености водоемов. Показано, что соленость является детерминирующим фактором, влияющим на состав сообществ протистов, их таксономическое и функциональное разнообразие. Увеличение солености сопровождалось смещением функционального разнообразия в сторону автотрофов, преимущественно за счет зеленой водоросли *Dunaliella*. Анализ сети совместной встречаемости выявил уменьшение сложности сети сообществ протистов с увеличением солености.

Исследования выполнены при поддержке Правительства Тюменской области в рамках проекта Западно-Сибирского межрегионального НОЦ № 89-ДОН (2).

АНАЛИЗ ВИДОВЫХ АССОЦИАЦИЙ МАКРОЗООБЕНТОСА НА ТЕРРИТОРИИ БАСЕЙНА НИЖНЕЙ ВОЛГИ В УСЛОВИЯХ СМЕНЫ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН

Головатюк Л.В.^{1,2}, Селезнев Д.Г.¹, Курина Е.М.³

¹*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок,
dmitriy@seleznev.name*

²*Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, gollarisa@mail.ru,*

³*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва,
ekaterina_kurina@mail.ru*

Понимание, описание и прогнозирование географического и экологического распределения видов имеет долгую историю, оставаясь актуальным на современном этапе гидробиологических исследований (Chiu et al., 2020; Ficsór, Csabai, 2021).

Изучение закономерностей пространственного распределения макрозообентоса было выполнено на основе выделения групп ассоциированных видов в средних и малых реках бассейна Нижней Волги. Значительная протяженность региона в широтном направлении обуславливает смену природно-климатических зон в его границах от лесостепной до полупустынной, поэтому целью исследований было проследить экологические закономерности распределения групп ассоциированных видов под влиянием изменчивости факторов среды.

Отбор проб осуществляли в 91 реке – притоках Куйбышевского, Саратовского и Волгоградского водохранилищ в летний период 1990–2019 гг. Для выделения пар взаимно ассоциированных видов использовали функцию биномиального распределения, моделирующую выборку с возвращениями из бесконечной генеральной совокупности. На исследованной территории было выделено четыре группы ассоциированных видов. Первая группа распространена в малых реках лесостепной, степной зон и верховьях средних рек лесостепи. Она включает виды реофильного

пресноводного комплекса. Вторая группа характерна для среднего течения и устьевых участков рек лесостепной и степной зон; большинство входящих в нее видов связаны консортивными отношениями с видом-эдификатором *Dreissena polymorpha*. В составе группы преобладают пелореофильные или лимнофильные виды пресноводного комплекса. Третья группа обитает в непроточных участках рек степной и полупустынной зон, в нее входят лимнофильные виды, среди которых более половины принадлежат к эвригалинным формам. И, наконец, четвертая группа распространена в соленых реках бассейна оз. Эльтон и состоит из эвригалинных и галофильных видов.

Было установлено, что под влиянием изменчивости климатических характеристик от лесостепной зоны к полупустынной происходит постепенная смена групп ассоциированных видов: число реофильных и пресноводных видов сокращается, а возрастает – лимнофильных, эвригалинных и галофильных. Ассоциированность видов по местообитаниям определяется морфологическими и физиологическими адаптациями к комплексу абиотических факторов локальных биотопов, трофической специализацией и консортивными отношениями. К наиболее значимым факторам, действующим в глобальном масштабе, и обуславливающим распределение ассоциаций, как показал проведенный многомерный статистический анализ, относятся средняя годовая температура воздуха и количество осадков, обуславливающих минерализацию воды, а также особенности ландшафта, определяющие скорость течения рек.

Работа выполнена в рамках гос. заданий: 121051100109-1, 122032500063-0; анализ данных был выполнен при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-14-00128.

РОЛЬ АДАПТАЦИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СИМБИОТИЧЕСКИХ АССОЦИАЦИЙ БРЮХОНОГИХ МОЛЛЮСКОВ И ИГЛОКОЖИХ

Дгебаудзе П.Ю.

*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва,
p.dgebaudze@gmail.com*

Иглокожие, как правило, характеризуются малой подвижностью и зачастую выполняют роль хозяев для других организмов. Среди симбионтов иглокожих особое внимание привлекают две группы беспозвоночных животных, включающих исключительно симбиотические формы: отряд *Myzostomida* (тип *Annelida*) и семейство *Eulimidae* (класс *Gastropoda*). Представители семейства *Eulimidae*, помимо видового богатства (на текущий момент известно 1087 видов), демонстрируют обширное разнообразие образа жизни. Практически все современные виды данного семейства являются как экто-, так и эндосимбионтами всех классов иглокожих (морских звезд, морских ежей, морских лилий, голотурий и офиур). Большинство эктосимбиотических видов сохраняют основные характеристики, типичные для свободноживущих брюхоногих моллюсков. Виды, максимально тесно взаимодействующие с хозяином и проникающие глубоко в его ткани, постепенно утрачивают основные органы, сохраняя лишь половую систему, а внешне трансформируются в совершенно необычные червеобразные формы, которые лишь на личиночной стадии напоминают улиток.

Эулимиды способны с различной степенью интенсивности взаимодействовать со своими хозяевами: временно или постоянно прикрепляться к их поверхности лишь с помощью хобота, формировать галлы в покровах или же обитать в целомической полости и гонадах. В пределах этого семейства можно выделить четыре жизненные формы:

факультативные эктосимбионты, плотно прикрепленные эктосимбионты, галлообразующие виды и эндосимбионты. Благодаря разнообразию стратегий взаимодействия с хозяевами эулимиды представляют собой удобный объект для изучения различных видов адаптаций к освоению «новых мест обитания» – поверхности или тела хозяев-иглокожих. В ходе настоящего исследования, применяя комплекс современных биологических методов, было подтверждено наличие морфологических преобразований в переднем отделе пищеварительной системы в связи с переходом к питанию не только определенными тканями, но и жидкостями хозяина. Кроме того, были обнаружены так называемые трофические адаптации, возникающие у эулимид, относящихся к разным жизненным формам. Активно подвижные эктосимбионты не питаются тканями своих хозяев, а лишь похищают пищевые частицы с их поверхности. В то время как плотно прикрепленные и галлообразующие виды нарушают покровы своих хозяев не только с целью прикрепления и защиты, но также и для доступа к питательным органам иглокожих. Наконец, детальный анализ липидного состава тканей эулимид и их хозяев позволил выявить биохимические адаптации, возникающие у симбионтов при освоении «разных сред обитания»: поверхности тела и проникновение в ткани иглокожего. Таким образом, адаптации, возникшие в пределах данной весьма многочисленной группы брюхоногих моллюсков, позволяют этим моллюскам активно распространяться в пределах Мирового океана, заселять представителей всех ныне живущих классов иглокожих, но при этом не причинять катастрофического вреда своим хозяевам. Исследование морфологических и экологических особенностей брюхоногих моллюсков, приспособленных к симбиотическому образу жизни, представляет интерес и играет важную роль в развитии знаний о симбиозе, а также понимании структуры и функционирования морских бентосных сообществ.

ВЕСЕННИЙ ФИТОПЛАНКТОН Р. УРАЛ И ИРИКЛИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В УСЛОВИЯХ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ И КОЛЕБАНИЙ СУММЫ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

Джаяни Е.А.

Саратовский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Саратов, dzhayaniea@saratov.vniro.ru

На фоне изменений климата и повторяющихся метеорологических аномалий особо уязвимы территории, расположенные в зоне пустынь и полупустынь, где наиболее ярко проявляется трансформация водного режима. К числу умеренно- и слабоопустыненных природных зон относится подавляющая площадь водосбора р. Урал, в том числе, в пределах Оренбургской области (Зонн и др., 2004), где создано наиболее крупное на реке водохранилище – Ириклинское (Чибилев и др., 2006). Водоем руслового типа, многолетнего регулирования, объем при НПУ (245 м) – 3,25 км³, площадь акватории – 260 км², длина – 73 км, площадь водосбора – 36900 км², водообмен – 1 раз в 2 года (Грандильевская-Дексбах, Шилкова, 1971; Соловых и др., 2003; Чибилев и др., 2006). Русловые плесы водохранилища различаются основными морфометрическими характеристиками, которые во многом определяют организацию фитопланктона и его динамику (Джаяни, 2022).

Исследования фитопланктона незарегулированного участка р. Урал и разнотипных плесов Ириклинского водохранилища проведены в мае 2016–2022 гг., так как весенний сток реки составляет 65–90 % годового (Чибилев и др., 2006). Цель работы – изучение качественных и количественных показателей фитопланктона, трофического и сапробиологического статуса акватории в условиях повторяющегося

дефицита атмосферных осадков и низкого уровня воды в 2019–2022 гг. по сравнению с периодом, характеризующимся среднесезонными параметрами погодных и гидрологических условий. Приводятся сведения о видовом богатстве, удельном видовом богатстве, численности и биомассе фитопланктона, а также основных таксономических групп водорослей и цианобактерий, средней индивидуальной массе клеток, количественных характеристиках миксотрофных таксонов, трофическом статусе и качестве воды разнотипных участков.

Показано, что на фоне снижения суммы атмосферных осадков и уровня воды фитопланктон исследованной акватории характеризовался сокращением видового богатства. При этом в реке и в плесах водохранилища возрастало разнообразие Cyanobacteria и Chlorophyta, лишь в верхнем плесе – Bacillariophyta.

На большинстве изученных участков при снижении водности сокращалась численность и биомасса фитопланктона за счет Bacillariophyta и Euglenophyta, численность и биомасса миксотрофных таксонов, средняя индивидуальная масса клеток. Отмечена тенденция уменьшения величин индекса сапробности, которые, при этом, по-прежнему характеризовали β -мезотрофные условия.

Одновременно на незарегулированном участке р. Урал и в разнотипных плесах водохранилища выявлены особенности динамики и различия глубины трансформации качественного и количественного состава сообществ, их структуры и экологических индексов, рассчитанных на основе показателей фитопланктона. В ряду лет, характеризующихся снижением суммы атмосферных осадков и уровня воды, основную роль играет расстояние от главной реки, морфометрические характеристики плесов, объемы притока и сброса.

ОСНОВНЫЕ ТРЕНДЫ ПРИ СТАНОВЛЕНИИ ОТНОШЕНИЙ «ЭПИБИОНТ-БАЗИБИОНТ» НА ПРИМЕРЕ ИНFUЗОРИЙ (CILIOPHORA) И ИЗОПОД (CRUSTACEA)

Довгаль И.В., Гаврилова Н.А.

*ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей
им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, dovgal-1954@mail.ru*

Эпибиоз – форма отношений между двумя организмами, когда поверхность тела одного из них (базибиионта) представляет собой субстрат для поселения другого организма (эпибионта). При этом между эпибионтом и базибиионтом нет антагонистических взаимоотношений, и они не связаны друг с другом трофически.

Инфузории из пяти классов: Heterotrichea, Litostomatea, Phyllopharyngea, Suctorea и Oligohymenophorea отмечены как эпибионты на изоподах из 20 семейств. По степени сходства видовых составов эпибионтных инфузорий (по индексу Шимкевича-Симпсона) выделяются шесть групп семейств изопод. Первая из них объединяет списки видов цилиат, обитающих на водных изоподах из семейств Sphaeromatidae, Chaetiliidae, Idoteidae, Limnoriidae, Janiridae, Ischnomesidae, Munnidae, Nannoniscidae, Phreatoicidae, Asellidae и Microcerberidae и амфибионтных изоподах из семейства Trichoniscidae. Вторая группа объединяет видовые списки инфузорий, специфичных к наземным изоподам из семейств Oniscidae, Porcellionidae, Trachelipodidae, Cylisticidae и Armadellidae. Четыре отдельных кластера представляют собой видовые списки инфузорий, обитающих на изоподах из семейств наземных изопод Ligiidae,

стигобинтных Stenasellidae и морских глубоководных Cirolanidae и Chaetiliidae, не имеющих общих видов эпибионтных цилиат с другими семействами.

При этом эпибионтные инфузории демонстрируют различную степень селективности в локализации на теле изопод, от отсутствия избирательности до колонизации строго определенных частей тела базибионтов.

Наиболее общим трендом при становлении отношений «эпибионт-базибионт» является переход от факультативного к облигатному эпибиозу. На этом фоне прослеживаются три уровня адаптивных трендов, отражающих разную степень специализации эпибионтов.

1. Адаптации к сидячему образу жизни. Морфологические, морфо-онтогенетические, физиологические адаптации к прикрепленному образу жизни: формирование жизненных форм, расселительных стадий, подвижных микроконъюгантов, синтез феромонов агрегации.

2. Адаптации к поселению на линяющих хозяевах (членистоногих, нематодах): синхронизация жизненного цикла эпибионтов с линьками базибионтов, трофотомия, диминутивное почкование.

3. Формирование специфичности к таксону базибионта и селективности локализации: синхронизация жизненного цикла эпибионтов со спариванием базибионтов, редукция локомоторной цилиатуры бродяжек, вермигеммия.

Первый уровень характерен для факультативного эпибиоза, адаптации второго и третьего уровней проявляются у облигатных эпибионтов.

ГЛУБОКОВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА: ОСОБЕННОСТИ И БИОРАЗНООБРАЗИЕ

Долматов И.Ю.

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

ННЦМБ ДВО РАН является крупнейшим научным учреждением Дальнего Востока России, в котором исследуются различные аспекты биологии и экологии моря. Одним из направлений деятельности Центра является изучение глубоководных биотопов северной части Тихого океана. В этом регионе имеется множество разных ландшафтов: глубоководные каньоны, различные типы холодных высачиваний, районы гидротермальной активности, подводные горы, континентальные склоны, абиссальные равнины, глубоководные желоба. Такая сложная организация рельефа океанического дна приводит к формированию разномасштабной неоднородности экологических факторов и наличию различных условий развития и функционирования донных сообществ. Все это является одним из ключевых факторов общего высокого разнообразия глубоководной биоты дальневосточных морей. Для получения научно обоснованной оценки глубоководных биологических ресурсов, разработки подходов к рациональному природопользованию океанских глубин и сохранению уникальных глубоководных экосистем морей Дальнего Востока России требуется проведение интенсивных экспедиционных исследований, направленных на получение репрезентативных массивов данных. В этом может помочь использование современных технологий и инструментария, в частности, необитаемых подводных аппаратов.

ЛЕТНИЙ ЗООПЛАНКТОН ВОДОТОКОВ И ВОДОЕМОВ СРЕДНЕЙ И НИЖНЕЙ ОБИ

Евсеева А.А.

Тюменский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Ханты-Мансийск, annaeso@mail.ru

Цель данного исследования – изучение таксономического состава, структуры и пространственного распределения зоопланктона в водотоках и водоемах нижнего и среднего течения Оби.

Летом 2021–2022 гг. было обследовано 60 водных объектов, из них реки – 38, протоки – 8, ручьи – 6, озера – 3, сора – 5. На 75 станциях было отобрано 158 количественных и 120 качественных проб зоопланктона. Отбор и обработку гидробиологических проб проводили в соответствии с общепринятыми методиками.

Зоопланктонные сообщества водотоков и водоемов среднего и нижнего течения Оби разнообразны. Наиболее распространены из коловраток *Asplanchna priodonta* Gosse, *Brachionus calyciflorus* Pallas, *Euchlanis dilatata dilatata* Ehrenberg, *Kellicottia longispina* (Kellicott), *Keratella quadrata* (Muller), *K. cochlearis* (Gosse), представители рода *Trichocerca*, *Polyarthra*. Среди ветвистоусых рачков наиболее часто встречались *Bosmina longirostris* (Muller), *Chydorus sphaericus* (Muller), *Daphnia galeata* Sars, *Diaphanosoma brachyurum* Lievin, *Eurycercus lamellatus* Muller, *Holopedium gibberum* Zaddach, *Leptodora kindti* (Focke), *Polyphemus pediculus* (Linnaeus), *Sida crystallina* Muller, представители рода *Ceriodaphnia*. Среди веслоногих сравнительно часто встречались рачки *Eudiaptomus gracilis* Sars и *Cyclops scutifer* Sars.

Большинство встреченных видов зоопланктона являются космополитами, имеют всесветное распространение. Были отмечены как типичные реофилы (например, коловратки рода *Brachionus*), так и лимнофилы. Кроме пелагических видов в зоопланктоне присутствовали бентосные (представители рода *Alona*) и зарослевые формы (*S. crystallina*, сем. *Chydoridae*).

Диапазон видового богатства (числа таксонов) зоопланктона исследованных водоемов изменялся от 9 до 39. Наибольшее число таксонов отмечено в озере б/н (пр. Ендырская) (до 39 видов и форм), в ручьях (до 37 видов и форм), в протоках р. Оби (до 34 видов и форм), в р. Охлым (35 видов и форм).

Зоопланктон исследованных водных экосистем среднего и нижнего течения Оби в июне – июле 2021–2022 гг. по численности имел ротиферно-копеподитный тип, по биомассе – кладоцерно-ротиферный. Значения численности в реках среднего течения изменялись в пределах 15,6–161,6 тыс. экз./м³, биомассы – 0,033–4,208 г/м³; в реках нижнего течения численность в пределах 2,4–615,6 тыс. экз./м³, биомасса – 0,003–17,301 г/м³. В протоках значения численности составили 8,1–43,4 тыс. экз./м³, биомассы – 0,045–1,889 г/м³; в ручьях 16,6–116,5 тыс. экз./м³ и 0,091–14,382 г/м³. В сорах остаточная биомасса зоопланктона составляла 0,037–0,449 г/м³, численность – 29,2–65,3 тыс. экз./м³. Озера характеризовались умеренным – повышенным классом продуктивности, значения численности варьировали в пределах 56,6–180,9 тыс. экз./м³, биомассы – 1,287–4,100 г/м³. В целом, большинство исследованных водных объектов характеризовались низким – умеренным классом продуктивности, соответствовали типу – малокормный – средnekормный водоем.

ЗООБЕНТОС ГОРНЫХ ВОДОТОКОВ РУДНОГО АЛТАЯ (БАССЕЙН ВЕРХНЕГО ИРТЫША)

Евсеева А.А.

Тюменский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Ханты-Мансийск, annaeso@mail.ru

Изучение зообентоса горных водотоков Рудного Алтая имеет огромное значение с экологической и природоохранной точек зрения. Регион Рудного Алтая является природным уникальным объектом и характеризуется высокой степенью биоразнообразия. Зообентос, как комплекс организмов, обитающих на дне водотока, играет важнейшую роль в функционировании водных экосистем, поскольку является основным звеном в пищевых цепях и выполняет ряд экосистемных функций.

Цель исследования – изучение видового состава, особенностей пространственного распределения зообентоса бассейна верхнего течения р. Иртыш и оценка экологического состояния водотоков исследуемого региона.

Исследования макрозообентоса проводили на территории ООПТ Восточного Казахстана, а также на участках, подверженных различной антропогенной нагрузке (ниже промпредприятий, в черте г. Усть-Каменогорск, Риддер, Шемонаиха и др.). Отбор и обработку проб зообентоса проводили в соответствии с методикой, изложенной в «Руководстве по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем». В период открытой воды в 2002–2023 гг. на 89 водотоках было отобрано около 2300 качественных проб.

В результате многолетних исследований на территории Рудного Алтая были получены сведения о современном состоянии водной биоты, которые являются основой для дальнейших мониторинговых работ как на территории ООПТ, так и в зоне деятельности промышленных предприятий. Установлено, что доминирование таксонов амфибиотических насекомых из отрядов поденок, ручейников, веснянок, двукрылых характерно для горных водотоков бассейнов крупных притоков р. Иртыш (рр. Бухтарма, Уба, Ульба) и связано с наличием в реках каменистых грунтов, быстрым течением, умеренно-холодноводным температурным режимом, высоким содержанием в воде кислорода – факторов, наиболее благоприятных для этих групп беспозвоночных. Проведена оценка экологического состояния поверхностных вод исследованных водотоков с помощью методов биоиндикации, использованы биотические индексы ТВИ, BMWP, ASPT, EPT, относительные показатели (EQI индексы), которые учитывают особенности региональной фауны и соответствуют оценкам по гидрохимическим показателям. Таксономический состав на каждом из исследованных водотоков и участков рек сформирован в соответствии с совокупностью особенностей экологических условий, связанных с природными и антропогенными факторами. Под влиянием антропогенной нагрузки предприятий горнодобывающего комплекса изменяется структура донных сообществ водотоков бассейна, снижается видовое богатство и разнообразие.

В результате исследования сообществ донных беспозвоночных водотоков бассейна верхнего Иртыша на фоновых участках была создана модель биоценоза «эталонного створа» для средних и малых рек бассейна верхнего течения р. Иртыш, предназначенная для метрологического обеспечения измерений при оценке качества поверхностных вод по показателям зообентоса и контроле погрешности результатов измерений. Понятие «эталонного створа» позволило внедрить в практику гидробиологических исследований качества поверхностных вод стандарты Европейской Водной Рамочной Директивы.

ДИНАМИКА ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ЗООПЛАНКТОНА НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА

Змётная М.И.¹, Имант Е.Н.²

¹Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды,
г. Архангельск, zmetnaya85@mail.ru

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, ekaterinaimant@yandex.ru

Видовое разнообразие зоопланктона нижнего течения реки Северная Двина за 2013–2014, 2018–2019 гг. полно представлено в трудах некоторых авторов (Зметная, Плакуева, 2014; Имант, Новоселов, 2020). Настоящая работа является продолжением многолетнего мониторинга за состоянием водных объектов Архангельской области.

Отбор проб проводился в рамках программы гидробиологических наблюдений ФГБУ «Северное УГМС» в 2021–2023 гг. ежемесячно с июня по октябрь на станциях в рукаве Корабельный, протоках Кузнечиха и Маймакса; в районе ж/д моста г. Архангельска, г. Новодвинска, с. Усть-Пинега. Всего за представленный период отобрано и обработано 165 проб.

Общий список фауны коловраток и низших ракообразных в 2021–2022 гг. насчитывал 39 видов, наибольшее видовое богатство зоопланктона отмечено в 2023 г. – 65 видов. Структурообразующий комплекс был представлен в основном четырьмя видами – *Asplanchna priodonta*, *Bosmina coregoni*, *Eurytemora affinis*, *Mesocyclops leuckarti*, их вклад за два года в общую численность составлял от 33 до 80 %; в 2023 г. к вышеперечисленным видам добавились коловратки *Brachionus calyciflorus* и *Keratella quadrata*.

Индекс видового разнообразия, рассчитанный по численности, был низким, что указывает на нестабильные условия (Крылов, 2005; Алимов, 2010). Он изменялся от 0,97 в протоке Кузнечиха до 2,62 в районе с. Усть-Пинега. Необходимо отметить, что в районе с. Усть-Пинега, в самой верхней точке исследований, отмечены наибольшие значения индекса в годовой динамике. В сезонной динамике 2021 г. максимальные значения индекса для большинства станций приходились на июнь, в 2022–2023 гг. – август.

Планктонное население беспозвоночных в период отбора проб отличалось низкими количественными показателями. В целом численность изменялась от 45 до 4397 экз./м³. При сравнении количественных показателей наибольшие изменения отмечены в протоках Кузнечиха и Маймакса. Эти протоки отличаются морфометрическими характеристиками по сравнению с крупными рукавами и руслом реки, в них создается благоприятный термический режим в период летней межени, что положительно сказывается на количественном развитии организмов.

КАННИБАЛИЗМ БЕЛОМОРСКОЙ ТРЕХИГЛОЙ КОЛЮШКИ (*GASTEROSTEUS ACULEATUS* L.), ЧТО ЭТО ДАЕТ ПОПУЛЯЦИИ?

Иванов М.В., Подлевских А.Л., Иванова Т.С.,
Генельт-Яновская А.С., Кондакова Е.А., Лайус Д.Л.

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
ivmisha@gmail.com*

Каннибализм широко распространен среди животных, в том числе и среди рыб. У беломорской трехиглой колюшки неоднократно показана значительная доля собственной икры в питании во время нереста. Цель данной работы – понять роль эмбрионального каннибализма для популяции беломорской трехиглой колюшки.

На разных типах нерестилищ оценивали численность колюшек (экз./м²) и количество гнезд (шт./м²). В гнездах определяли количество икры, стадии развития икринок и соответственно их возраст, долю поврежденных и неоплодотворенных икринок. Исходя из стадий развития икринок, определяли возраст гнезда и время, затраченное на его формирование. Для оценки каннибализма у самцов и самок колюшек оценивали: встречаемость колюшек, питающихся икрой, доля икры в желудке, количество икры, доли поврежденной и неоплодотворенной икры, соотношение стадий развития икры.

В плотных зарослях zostеры количество гнезд составляет в среднем 3 шт./м², а на илисто-песчаных отмелях 0,4 шт./м². Численность самцов примерно в десять раз превышает количество гнезд, следовательно, в каждый момент времени большая часть колюшек, как самцов, так и самок в нересте не участвует.

На благоприятном нерестилище самками колюшки и самцами, не занятыми в нересте, выедается 350–450 икринок на м²/сутки, или 1,2–1,5 гнезда на м²/сутки, или от трети до половины всех имеющихся на нерестилище гнезд в сутки. В основном гнезда разоряются на ранних этапах существования.

Беломорские колюшки имеют две разновидности эмбрионального каннибализма:

1) Каннибализм самца, охраняющего гнездо. Цель – очистка гнезда от мертвых и больных икринок и восполнение энергии. По расчетам, даже при поедании живой икры, икры в гнезде хватит и самцу на полноценное питание, и останется достаточно для пополнения популяции.

2) Каннибализм самок и самцов, не имеющих гнезд. Количество икры, приносимое колюшками на нерест в Белом море – избыточно. Исходя из численности колюшек на нерестилищах и плотности расположения гнезд, без каннибализма отнереститься удалось бы максимум 20 % колюшек.

Каннибализм позволяет, с одной стороны, поддерживать высокое «нерестовое давление» - иметь достаточное количество икры для занятия всех возможных для нереста биотопов, со второй – утилизировать внутри вида энергию, содержащуюся в икре, и не пошедшую на воспроизводства потомства, с третьей – поддерживать очень жесткую внутривидовую конкуренцию на отбор самцов, сумевших защитить свое гнездо и вырастить потомство.

Проект выполнялся при поддержке гранта Российского научного фонда 22-24-00956. Авторы благодарят администрацию УНБ СПбГУ «Беломорская» за возможность круглогодичной работы на Белом море.

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЗООПЛАНКТОНЕ ОЗЕРА МУРАКАНСКОЕ

Имант Е.Н., Дворянкин Г.А., Новоселов А.П.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, ekaterinaimant@yandex.ru

В летний период 2023 г. проводились комплексные исследования на водоемах особо охраняемых природных территорий федерального значения. В качестве объекта исследования было выбрано озеро Мураканское, расположенное на территории Национального парка «Онежское Поморье» и являющееся антропогенно не затронутым водоемом с «девственной» биотой. Состояние этого водоема рассматривается нами как индикаторное при изучении влияния глобальных климатических изменений на пресноводные экосистемы севера России.

Список фауны коловраток и низших ракообразных в озере насчитывал в период исследования 13 видов из 11 родов и 8 семейств. Наибольшее разнообразие видов было отмечено в подклассе Copepoda – 53,8 %, из которых 30,8 % относились к семейству Cyclopidae. Представленность коловраток и ветвистоусых ракообразных была одинаковой. Индикаторные виды зоопланктона составляли 63,6 % от общего числа видов, из них 36,3 % являются показателями переходных α - β -, β - α -мезосапробных зон, 18,2 % – олигосапробной, 9,1 % α -олигосапробной зоны.

Мураканское озеро – одно из самых крупных озер Онежского полуострова. Оно является остатком древней морской лагуны – палеолагуной (Репкина и др., 2019). Поэтому неудивительно, что в озере нами был обнаружен представитель арктического комплекса видов и индикатор чистых вод *Holopedium gibberum*. Его местообитания расположены фрагментарно и приурочены в основном к реликтовым водоемам, сохранившимся со времен оледенения (Коровчинский, 2004).

В водоеме наблюдалось преобладание планктонных форм зоопланктона (76,9 %). Всесветное и палеарктическое распространение имели одинаковое количество видов (по 38,5 %). При делении гидробионтов по способу питания и перемещению в пространстве доминировали организмы, добывающие пищу в толще воды, представленные *Eudiaptomus gracilis*, *Bosmina longirostris*, *Kellicottia longispina*, и смешанные по способам питания и передвижения – науплиальные стадии Copepoda.

Основной фон зоопланктона по количественному составу – копепоидный. Продуктивность зоопланктона оказалась низкой (509,1 мг/м³) и в целом он характеризовался слабым развитием в летний период. Согласно рыбохозяйственной классификации уровень развития зоопланктона в озере позволяет отнести его к малокормным водным объектам для молоди рыб независимо от их дальнейшей трофической спецификации.

Сапробиологический анализ показал, что в оз. Мураканское олигосапробный уровень отмечался на всех станциях отбора проб. Индекс сапробности изменялся от 0,96 до 1,46, составляя в среднем по озеру 1,32, что соответствует I классу качества вод и характеризует их как условно чистые.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН по теме «Изучение изменений в экосистеме р. Северная Двина и в водоемах особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Европейского Северо-Востока России в условиях климатических сукцессий и воздействия антропогенных факторов», гос. № 122011800593-4.

100 ЛЕТ ИХТИОПЛАНКТОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ: КОЛЕБАНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ИКРЫ ПЕЛАГОФИЛЬНЫХ РЫБ ПОД ВЛИЯНИЕМ РЕЖИМНЫХ СДВИГОВ

Карасева Е.М.

Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Калининград, karasiova@rambler.ru

Балтийское море – один из первых районов мирового океана, где немецкими учеными из Гельголандской биологической станции и Кильской морской лаборатории впервые, начиная с 1903 г., стали проводиться ихтиопланктонные исследования в глубоководных впадинах этого региона (Strodtmann, 1906; Apstein, 1911). Значительный вклад в них внесли польские работы 1946–1970 гг. (Mankowski, 1959, 1970), но особенно многолетние советские исследования (Грауман, 1963, 1972, 1959, 1984), проводившиеся в 1950–1980-х гг. в СССР в лаборатории Балтийского моря Атлантиро, Калининград, а также в БалтНИРХе, Рига. В 1992 г. ежегодные сборы ихтиопланктона были возобновлены в АтлантНИРО (в настоящее время филиал ВНИРО), Калининград, Россия.

Балтийское море является одним из крупнейших солоноватоводных водоемов планеты, глубоководная часть которого характеризуется наличием галоклина, разделяющим море на два слоя – поверхностный распресненный и придонный осолоненный. В балтийских впадинах происходит репродукция четырех видов донных рыб – трески *Gadus morhua callarias* L., речной камбалы *Platichthys flesus* L., морского налима *Enchelyopus cimbrius* L. и начальный этап нереста пелагического вида – балтийского шпрота *Sprattus sprattus balticus* Schneider. Бедность видового состава до некоторой степени компенсируется адаптациями к наиболее полному использованию экологических ниш во временном и пространственном аспектах. Они выражаются в чрезвычайно продолжительном периоде нереста балтийской трески и морского налима (март–октябрь), а у балтийского шпрота – в использовании двух различных биотопов: придонного в начале нерестового сезона с последующим переходом к летнему нересту в поверхностном слое. В отличие от этих видов речная камбала нерестится в глубоководных впадинах ранней весной (март–апрель) с последующим дрейфом ее личинок и мальков в мелководную прибрежную зону. Анализ исторических ихтиопланктонных данных свидетельствует о том, что в течение XX века в ихтиофауне происходила смена вида, доминирующего по численности икры в ихтиопланктоне. В начале века (1903–1925 гг.) видом-доминантом была речная камбала, многократно превосходившая по численности икры другие виды рыб. Начиная с 1938 г. и вплоть до начала 1980-х гг. был отмечен высокий уровень численности икры трески в ихтиопланктоне, с пиком в 1952–1954 гг., совпавшим с вековым максимумом придонной солености. При преобладании в популяции трески крупноразмерной группировки с ранним нерестом (пик с апреля по июнь) увеличивалась численность икры морского налима с поздним пиком нереста (июль–август). В современный период с преобладанием мелкоразмерной группировки трески с летним пиком размножения отмечен рост численности икры речной камбалы с ранним весенним нерестом, одновременно с резким сокращением встречаемости икры морского налима. Значительное сокращение численности икры трески произошло после 1983 г. в связи с длительным отсутствием адвекций североморских вод. С конца 1980-х гг. начался рост численности икры шпрота до уровня, многократно превосходившего современный уровень численности икры донных рыб, что было связано с климатическими изменениями и ростом температуры воды. Таким образом, динамика численности икры

изменялась путем синхронизации колебаний численности и сроков нереста рыб в зависимости от пика нереста вида-доминанта.

ВЫЯВЛЕНИЕ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ СИЛЫ ЭФФЕКТОВ ПИЩИ И ХИЩНИКА В ПОПУЛЯЦИЯХ ПЕЛАГИЧЕСКИХ КЛАДОЦЕР С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА РОЖДАЕМОСТИ

Каспарсон А.А.¹, Полищук Л.В.²

¹*Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, г. Москва,
anna.kasparson@iitp.ru*

²*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва,
leonard_polishchuk@hotmail.com*

Пресноводные пелагические сообщества характеризуются присутствием сильных трофических взаимодействий. При этом относительная сила воздействий двух типов (пищи, «эффект снизу», и элиминации планктоноядными рыбами, «эффект сверху») демонстрирует временную изменчивость в рамках сезонных наблюдений за динамикой сообществ пресноводных ракообразных. Хотя подобная временная изменчивость, при которой ведущую роль в динамике зоопланктона играет либо пища, либо хищник, важна в контексте функционирования пресноводных сообществ, количество исследований, посвященных временной структуре ведущих факторов динамики, остается крайне ограниченным.

В данном исследовании мы использовали подход, согласно которому силы воздействий пищи и рыб на популяции пресноводных пелагических кладоцер определяются через демографические характеристики этих популяций. А именно – как вклады изменений плодовитости и доли взрослых особей в изменение рождаемости на данном временном промежутке, соответственно. Ведущий фактор динамики на каждом временном интервале определяется как отношение абсолютных величин этих вкладов, R .

На основании результатов ранее поставленных экспериментов мы ожидали, что в случае ведущего эффекта пищи значение характерной величины R будет меньше единицы, а в случае ведущего эффекта элиминации взрослых особей рыбами величина R будет находиться в интервале $1 < R < 3,4$. В рамках нашего исследования мы проанализировали два независимых набора данных. Оказалось, что статистические распределения рассчитанных значений R из этих двух наборов данных указывают на относительно более высокую вероятность появления значений R , соответствующих вышеуказанным диапазонам ($1 < R$ и $1 < R < 3,4$). Это означает, что и обилие подходящей пищи, и элиминация планктоноядными рыбами потенциально влияли на исследованные популяции кладоцер на протяжении периода наблюдений. Результаты применения Обобщенных Аддитивных Моделей (GAM) для двух рассчитанных наборов R указывают на то, что ожидаемые значения отношения R были меньше единицы тогда, когда, опираясь на имеющиеся дополнительные данные о роли пищи и рыб в этих популяциях, мы ожидали проявление определяющего эффекта пищи, и находились в интервале $1 < R < 3,4$ на тех временных интервалах, на которых мы ожидали проявление эффекта размерно-избирательной элиминации рыбами. Таким образом, для обоих наборов данных результаты исследования указывают на то, что анализ рождаемости может быть использован для выявления ведущих факторов сезонной динамики популяций пресноводных пелагических кладоцер.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕТНЕ-ОСЕННЕГО ЗООПЛАНКТОНА В ЗАЛИВЕ ВОСТОК (СЕВЕРО-ЗАПАД ЯПОНСКОГО МОРЯ)

Касьян В.В.¹, Ахметова К.М.²

¹Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского,
г. Владивосток, valentina-k@yandex.ru

²Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток,
karina.akhmetova.255@mail.ru

Изменения состава и обилия планктона являются одной из причин изменений состояния любой экосистемы. Залив Восток считается вторичным заливом крупного залива Петра Великого, расположенного в северо-западном районе Японского моря. В ходе 25-летнего мониторинга сообществ зоопланктона в заливе Восток выявлен отрицательный тренд общей численности и биомассы с заметным сдвигом в сторону более низких значений. Отмечено, что в конце 1990-х г. прошлого столетия в сообществах доминировали крупноразмерные аллохтонные таксоны (копеподы и хетогнаты), которые «транспортировались» из глубоководных районов залива Петра Великого, и общая биомасса была свыше 1000 мг/м³. Начиная с середины 2000-х годов, в сообществах стали доминировать неритические виды (копеподы и кладоцеры) и последующие изменения происходили при относительно низком уровне численности и биомассы. В настоящее время зоопланктон находится в стабильном «неритическом состоянии», в сообществах доминируют мелкоразмерные копеподы родов *Acartia*, *Pseudocalanus*, *Paracalanus* и *Oithona*. Кроме того, отмечено сокращение доли крупноразмерных копепод родов *Calanus*, *Eucalanus*, *Neocalanus*, *Metridia*, *Labidocera* и других глубоководных, тропических и субтропических таксонов. Важно отметить, что в последние годы (2015–2023) темпы снижения летне-осенней биомассы зоопланктона в заливе Восток возросли в два раза, в тоже время биомасса аллохтонных видов в зимний период стала значительно увеличиваться, что может являться следствием раннего нереста этих видов, в условиях наблюдаемого с 1990-х гг. зимнего повышения температуры воды во всех слоях Японского моря, и возможным следствием смены климатического режима.

Изменение доли аллохтонных видов среди прибрежного зоопланктона в водах южного Приморья зависит от колебаний Охотского и Северотихоокеанского климатических индексов, которые характеризуют интенсивность летнего муссона. Оба индекса фиксировали резкое ослабление летнего муссона на рубеже 1990-х и 2000-х гг. Поэтому ослабление транспорта аллохтонных видов в прибрежную зону и снижение их биомассы в заливе Восток является прямым следствием климатической тенденции к ослаблению муссона в последние два десятилетия. Кроме того, снижение концентрации биогенных элементов в поверхностном слое залива и уменьшение биохимического потребления кислорода в его придонном слое также могут являться следствием ослабления летнего муссона.

Таким образом, выявленные в сообществах зоопланктона залива Восток тенденции, обусловленные климатическими изменениями, соответствуют ранее сформулированной концепции современных климатических изменений в экосистеме Японского моря в направлении снижения биопродуктивности и повышения эффективности её функционирования. Усиливающееся обособление залива Восток от глубоководной части северо-запада Японского моря будет способствовать уменьшению хищничества внутри зоопланктонных сообществ, и таким образом росту кормового потенциала залива для рыб планктофагов.

МИКРОБИОТА ПАРАЗИТА И ХОЗЯИНА НА ПРИМЕРЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЦЕСТОД РОДА *TRIAENOPHORUS*

Кашинская Е.Н.^{1,2}, Симонов Е.П.^{1,2}, Власенко П.Г.^{1,2},
Поддубная Л.Г.³, Соловьев М.М.^{1,2}

¹Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск

²Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва

³Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок

Впервые охарактеризована микробиота, ассоциированная с цестодами из р. *Triaenophorus* на разных стадиях жизненного цикла (плероцеркоиды, половозрелые цестоды) и их промежуточных и дефинитивных хозяев из разнотипных водоемов России (олиготрофное Телецкое озеро и эвтрофное Рыбинское водохранилище). Для исследования микробных сообществ в системе паразит – хозяин собраны и зафиксированы плероцеркоиды и половозрелые цестоды *Triaenophorus nodulosus* из печени окуня *Perca fluviatilis* и кишечника щуки *Esox lucius* из Рыбинского водохранилища. В Телецком озере плероцеркоиды *Triaenophorus crassus* собраны и зафиксированы из мышц сига Правдина *Coregonus lavaretus pravdinellus* и телецкого сига *C. l. pidschian*; плероцеркоиды *T. nodulosus* собраны из печени сибирского подкаменщика *Cottus sibiricus*, хариуса *Thymallus arcticus* и налима *Lota lota*. Половозрелые цестоды обоих видов цестод собраны из кишечника щуки *E. lucius*.

В ходе проведенных исследований показано, что микробиота цестод рода *Triaenophorus* на разных стадиях жизненного цикла (плероцеркоиды и половозрелые цестоды) характеризовалась различным составом бактериальных сообществ. Различия в составе бактерий, ассоциированных с цестодами рода *Triaenophorus*, прослеживались не только на стадии жизненного цикла, но и от вида промежуточного хозяина и типа водоема. Среди доминантов, встречающихся в составе микробиоты половозрелых червей, выявлены *Mycoplasma* и *Cetobacterium*, а в микробиоте плероцеркоидов – *Acinetobacter*, *Anaerobacillus* и *Staphylococcus*. По результатам проведенных исследований показано, что микробиота, ассоциированная с плероцеркоидами цестод, достоверно не отличалась от микробиоты их капсул и мышц, из которых были извлечены эти паразиты. В тоже время микробиота, ассоциированная с половозрелыми цестодами рода *Triaenophorus* из кишечника щуки, достоверно отличалась от кишечной микробиоты хозяина и микробиоты плероцеркоидов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда № 23-74-10101 (секвенирование микробных сообществ рыб) и Мега-гранта № 075-15-2022-1134 (видовая идентификация цестод).

ДОМИНИРУЮЩИЙ КОМПЛЕКС ВИДОВ И ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА МАЛЫХ ПРИТОКОВ СРЕДНЕГО ЕНИСЕЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Кислицина Н.И.^{1,2}

¹Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

²Красноярский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Красноярск,
nadezhda.kislitsina2016@yandex.ru

Основу придаточной системы реки Енисей в среднем течении составляют малые реки полугорного типа, характеризующиеся высокими скоростями течения (0,4–2,0 м/с)

и преобладанием каменистых грунтов. Сообщества донных беспозвоночных таких рек по классификации Иллиеса относятся к ритрону. Однако известно, что даже экосистемы малых водотоков неоднородны в продольном градиенте.

Цель исследования: на основе данных по таксономическим и трофическим структурам выделить типы сообществ макрозообентоса малых притоков первого порядка Среднего Енисея.

Пробы зообентоса отбирали в верхнем, среднем и нижнем течениях рек Базаиха, Березовка, Караульная и Кача с помощью скребка Дулькейта в июне–июле 2021 г. Для выявления типов сообществ использовали литературные данные по приуроченности организмов зообентоса к обитанию в определенных зонах рек, а также выполняли кластерный анализ методом невзвешенных парных групп с использованием средних значений. Средние значения сходства рассчитывались по матрице индексов различия Жаккара.

В исследуемых реках отмечена высокая специфичность сообществ зообентоса как между реками, так и между станциями одной реки (индекс сходства Жаккара не превышал 0,35). Кластерный анализ позволил условно выделить 6 типов сообществ. Эуритрон – сообщество каменистых грунтов участков рек шириной более 1,5 м, доминирующий комплекс видов: *Ephemerella triacantha*, *Pagastia orientalis*, *Cricotopus* gr. *tremulus*, *Orthocladius thienemanni*, *Orthocladius* gr. *saxicola*, *Baetis fuscatus*, *Ecdyonurus aspersus*, *Ephemerella ignita*, *Saetheria* sp. Эпиритрон – сообщество верховий рек шириной менее 1,5 м с каменистым грунтом, доминанты: *Rhyacophila sibirica*, *Ephemerella aurivillii*, *Isoperla eximia*, *Planaria* sp. Псамморитрон – сообщество песчано-каменистых биотопов с высоким течением, доминанты: *Ceratopsyche newae*, *Gammarus lacustris*, *Eulimnogammarus viridis*. Эупелаль – сообщество илисто-песчано-детритных грунтов на участках с заниженным течением, доминирующий комплекс: *Polypedilum* sp., *Paratendipes* gr. *albimanus*, *Lumbriculus variegatus*. Псаммопелаль – сообщество песчаных биотопов с заниженным течением, доминанты: *Ephemera sachalinensis*, *Polypedilum scalaenum*, *Dicranota bimaculata*. Сапропелаль – пелофильное сообщество загрязненных органикой участков рек – *Tubifex tubifex*, *Polypedilum scalaenum*, *Chironomus* sp. В сообществах мягких грунтов (эупелаль, псаммопелаль, сапропелаль) преобладали коллекторы-подбиратели, на каменисто-песчаных биотопах с высоким течением доминировали фильтраторы. На каменистых грунтах (эуритрон и эпиритрон) также доминировали соскребаатели и хищники.

Таким образом, в малых полугорных реках первого порядка Среднего Енисея отмечена высокая специфичность таксономического состава зообентоса как между реками, так и между станциями одной реки. Сопоставление доминирующего комплекса видов и биотопов рек позволило условно выделить 6 типов сообществ макрозообентоса.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА РУЧЕЙНИКОВ *APATANIA CRYMORHILA*, АССОЦИИРОВАННЫХ С ВОДНЫМ МХОМ, НА ТЕРМИЧЕСКИ ИЗМЕНЁННОМ УЧАСТКЕ Р. ЕНИСЕЙ

Коновалова Д.А.¹, Андрущенко С.В.², Зотина Т.А.^{1,2}

¹Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, dariakon@inbox.ru, t_zotina@ibp.ru

²Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, sv.shelekhina@mail.ru

Енисей – одна из крупнейших рек мира и самая многоводная река России. Среднее течение Енисея располагается на участке между плотиной Красноярской ГЭС

и устьем р. Ангары. Ручейники являются значимым компонентом сообщества донных беспозвоночных среднего Енисея и важным звеном пищевой сети. Видовой состав и обилие ручейников в зообентосе Енисея достаточно хорошо изучены. Однако, экологические и биологические аспекты жизнедеятельности ручейников в р. Енисей изучены недостаточно полно. В частности, не изучено обилие и сезонная динамика трихоптерофауны, обитающей на водном мхе. Задача данной работы – проанализировать сезонную динамику видового состава и обилия ручейников, обитающих на водном мхе в р. Енисей, а также оценить её корреляцию с динамикой обилия трихоптер в зообентосе.

Для анализа использованы пробы зообентоса и макробеспозвоночных водного мха, собранные в р. Енисей с июня по ноябрь 2022 г. на расстоянии около 20 км ниже плотины.

Личинки *A. crymophila* доминировали в трихоптерофауне обоих сообществ по численности и по биомассе. Личинки других видов ручейников – *A. ladogensis*, *B. subnubilus* и *C. sahlbergi* единично встречались в пробах прибрежного бентоса и водной бриофауны. Максимальная численность и биомасса личинок *A. crymophila* на водном мхе зарегистрированы в октябре (1084 экз./кг массы сырого мха и 0,81 г/кг массы сырого мха, соответственно). Динамики биомассы личинок ручейников на водном мхе и в зообентосе совпадали. Удельные скорости роста численности и биомассы личинок *A. crymophila* на водном мхе достигли своих максимальных величин в период с начала июня по начало июля ($0,123 \text{ сут}^{-1}$ для численности и $0,183 \text{ сут}^{-1}$ для биомассы).

Оценено соотношение возрастных стадий личинок на водном мхе в течение сезона: личинки первого (I) возраста были отмечены в популяции в начале июля (7 %), в начале августа их количество увеличилось (10 %), снизилось с сентября по октябрь (0,2–0 %), а в ноябре личинки этого возраста вновь были зарегистрированы (0,5 %). Второй (II) и третий (III) возрасты были наиболее многочисленны, составляя 11–72 % и 18–68 % от общего числа личинок, соответственно. Процент личинок четвёртого (IV) возраста снижался с июня по август (с 37 до 0,3 %), начал увеличиваться с сентября по ноябрь (с 4 до 19 %). Взрослые личинки пятого (V) возраста присутствовали с июня по июль (13–14 %), отсутствовали в популяции с сентября по август и снова появились в незначительном количестве в октябре–ноябре (0,3–0,5 %). Оценка частотного распределения возрастных стадий личинок показала наличие дополнительного поколения в ноябре. Для этого личинки должны были ускоренно развиваться летом. Увеличение темпов роста может быть обусловлено повышением температуры воды, увеличением фотопериода, а также качеством пищи. Ускоренное развитие возрастов приводит к появлению дополнительных поколений, следовательно, изменённый температурный режим в Енисее на исследуемом участке допускает возможность развития дополнительного поколения *A. crymophila*, наблюдаемого поздней осенью.

Проведённые анализы проб зообентоса и беспозвоночных водного мха, выявили доминирование личинок *A. crymophila* среди других ручейников, как в бентосе, так и на водном мхе. Этот вид является одним из основных пищевых ресурсов хариуса в р. Енисей. Настоящее исследование выявило экологическую нишу, продукция которой не учитывалась ранее при оценке бюджетов вещества и энергии в р. Енисей, учёт продукции водной бриофауны позволит увеличить оценки кормовой базы для ихтиофауны в р. Енисей.

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СООБЩЕСТВА ТУРБЕЛЛЯРИЙ ВОДОХРАНИЛИЩА ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ (ИВАНЬКОВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ)

Коргина Е.М.

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок

Значение ресничных червей в пресноводных биоценозах еще недостаточно изучено. До начала изучения фауны червей (80-е годы) в водохранилищах Верхней Волги была известна единственная работа (Кордэ, 1950) прошлого столетия, где указывалось 3 вида плоских червей: *Stenostomum leucops*, *Macrostomum appendiculatum*, *Otomesostoma auditivum* еще до образования Рыбинского водохранилища.

Цель работы заключалась в выявлении видового разнообразия и количественного развития ресничных червей в водохранилище за продолжительный период времени. В водохранилище после первых исследований в 1983 и 2000 гг., в последующие годы материал отбирали с 2016 до 2022 гг. с перерывом между годами в 1–2 года. За весь период исследования в Иваньковском водохранилище зафиксировано 45 видов ресничных червей из 7 отрядов и 14 семейств. За последние три года были отмечены для водохранилища два новых вида червей – *Prorynchus stagnalis* и *Dugesia lugubris*. Всего зафиксировано за этот срок 23 вида турбеллярий. Большинство видов принадлежали к отряду *Neorhabdocoela*, где большинство видов относились к семейству *Typhloplanidae*. К малочисленным относились отряд *Proseriata*, с одним единственным *Otomesostoma auditivum* Plessis и отряд *Tricladida* с двумя видами: *Planaria torva* O.F.Muller и *Dugesia lugubris* O. Schmidt.

В Иваньковском водохранилище наблюдается значительное обеднение видового состава ресничных червей по сравнению с первыми годами исследования. Происходят изменения в структуре сообщества турбеллярий, отмечается замена видов. Значительно сокращается число видов на станциях (с десятка видов до 1–2-х). Эти изменения происходят, вероятно, из-за ухудшения условий жизни турбеллярий. Одним из которых является зарастание растительностью и заболачивание мелководий. Уменьшается проточность, нарушается кислородный режим. Большое отрицательное значение оказывает антропогенное влияние в результате активного строительства на берегах водохранилища, что также ведет к снижению разнообразия.

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕР ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА, ПОСТРАДАВШИХ ОТ АВАРИЙНЫХ СБРОСОВ

Косова М.В.^{1,2}, Деревенская О.Ю.¹, Унковская Е.Н.³

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань,
mary.burulina96.5@yandex.ru

²Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики
Татарстан, г. Казань,

³ФГБУ «Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник»,
п. Садовый, Республика Татарстан

На территории Волжско-Камского государственного заповедника расположены озера, испытывавшие в 1970–1990 гг. пресс со стороны близлежащих хозяйственных

объектов. В 1986 г. с тальми водами реки Сер-Булак в оз. Линево поступили аварийные сбросы неочищенных сточных вод с птицефабрики «Казанская». Оз. Гнилое и оз. Илантово подвергались хроническому загрязнению от отстойников зверосовхоза «Раифский» через поверхностный сток в период весеннего половодья. Актуальным представляется сравнение характеристик сообществ зоопланктона в современный период и в период загрязнения, уточнение химического состава разнотипных озёр.

Отборы проб проводились в 2021–2022 гг. по общепринятым методикам. Гидробиологические пробы отбирали с 2–4 станций из озёр Линево, Илантово, Гнилое с июня по август с периодичностью один раз в две недели, а гидрохимические пробы – ежемесячно на сети контрольных станций.

Вода во всех озерах относилась к гидрокарбонатно-кальциевому типу. Минерализация воды изменялась в широких пределах 27,8–102,9 мг/л, рН составляла 5,94–7,19 ед. Кислородный режим соответствовал нормальному насыщению у поверхности, на глубине концентрация O_2 не превышала 3,0 мг/л. Чаще всего в придонных слоях воды фиксировалось превышение ПДК_{р.х.} по содержанию органических веществ (по величине БПК₅) (макс. превышение в оз. Линево – 3,8 ПДК_{р.х.}), аммония-иона (оз. Гнилое 7 ПДК_{р.х.}), фосфат-иона (в оз. Линево 2,5 ПДК_{р.х.} (по Р)), железа общ. (оз. Илантово 28 ПДК_{р.х.}), марганца (в оз. Линево до 104 ПДК_{р.х.}), меди (в оз. Илантово 5,5 ПДК_{р.х.}). Значительные превышения тяжелых металлов обусловлены геохимическими характеристиками региона и заболачиванием водоёмов.

В период аварийного поступления сточных вод и непосредственно после него видовое богатство зоопланктона насчитывало 5–10 видов в оз. Линево, 9–12 видов в оз. Илантово, 6–11 видов в оз. Гнилое. В 2021–2022 гг. разнообразие зоопланктона в оз. Линево насчитывало 39–47 видов, из них коловраток 57–61 %, ветвистоусых 26 % и веслоногих рачков 13–17 %, в оз. Илантово – 61–72 вида, коловраток 59–69 %, ветвистоусых 21–30 %, веслоногих 10–11 %, в оз. Гнилое – 35–37 видов, коловраток 57–60 %, ветвистоусых – 26 %, веслоногих 14–17 %. Средняя за вегетационный период численность организмов в оз. Линево изменялась от 1395 до 1522 тыс. экз./м³, где доминирующий комплекс формировали виды *Conochilus unicornis* (Rousselet, 1892), *Bosmina longirostris* (O.F.Müller, 1776) и *Gastropus hyptopus* (Ehrenberg, 1838), в оз. Илантово – от 434 до 1112 тыс. экз./м³ с доминированием науплиальных стадий и коловраток *Gastropus hyptopus* и *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), в оз. Гнилое – от 183 до 702 тыс. экз./м³ с преобладанием *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850) и науплиальных стадий циклопов. Биомасса зоопланктона в 2021–2022 гг. в оз. Линево варьировала в пределах 2,34–2,76 г/м³, где доминантом являлись вид *Bosmina longirostris* и науплиальные стадии циклопов, в оз. Илантово – 0,94–2,62 г/м³ с абсолютным доминированием хищника *Asplanchna priodonta*, в оз. Гнилое – 0,46–4,64 г/м³, доминанты – *Asplanchna priodonta*, *Thermocyclops crassus* (Fischer, 1853), *Daphnia longispina* (O.F.Müller, 1776).

В среднем значения индекса видового разнообразия Шеннона были высокими в оз. Линево – 2,78, низкими в оз. Илантово – 1,91 и в оз. Гнилое – 1,45, что указывает на невыровненность сообществ зоопланктона. Индекс доминирования Симпсона для всех озёр не превышал 0,8, чаще всего, массово преобладали несколько видов.

Таким образом, результаты исследований показали, что водоемы, ранее загрязненные сточными водами, постепенно восстанавливаются за счет процессов самоочищения.

СТРУКТУРА РЕЧНОГО ЗООБЕНТОСА НА ЗАПОВЕДНОМ УЧАСТКЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

Кочурова Т.И.

ФГБУ «Государственный природный заповедник «Нургуш», г. Киров,
kochurovati@mail.ru

В июне 2022 г. и августе 2023 г. исследовали макрозообентос р. Федоровки на участке «Тулашор» государственного заповедника «Нургуш» (Кировская обл.). Участок был создан с целью охраны эталонных старовозрастных лесных массивов в подзоне средней тайги европейского севера России. Федоровка – правобережный приток р. Вятки второго порядка – представляет собой лесную реку длиной 139 км, шириной 10–20 м. Водосборная территория занята мало нарушенными лесами, практически не затронутыми хозяйственной деятельностью человека. Исследования проводили на четырех станциях: три верхних располагались на территории заповедника, одна (нижняя) – в охранной зоне.

В составе зообентоса реки выявлено 111 таксонов видового и надвидового рангов из 18 систематических групп, относящихся к пяти типам Cnidaria, Nematelminthes, Annelida, Mollusca, Arthropoda. Водная фауна характеризовалась высоким видовым богатством чувствительных к загрязнению групп амфибиотических насекомых (18 видов поденок Ephemeroptera и 24 вида ручейников Trichoptera), среди которых присутствовали обитатели северных регионов, холодноводные и оксифильные организмы, а также редкие и нуждающиеся в охране виды, в т. ч. поденки *Eurylophella karelica* Tiensuu, 1935 (Ephemerellidae), *Arthroplea congener* Bengtsson, 1908 (Arthropleidae) и ручейник *Semblis phalaenoides* (Linnaeus, 1758) (Phryganeidae).

Средние для исследованного участка значения общей численности зообентоса составили 3,7 тыс. экз. /м² в июне 2022 г. и 7,2 тыс. экз. /м² в августе 2023 г., общей биомассы – соответственно 15,62 и 20,42 г/м². Отмечено нарастание таксономического богатства и количественных характеристик вдоль продольного профиля реки. Анализ структуры зообентоса в начале лета показал численное преобладание личинок хирономид (36,6 %), поденок (18,8 %), мелких двустворчатых моллюсков (18,4 %) и олигохет (16,9 %); в конце лета – личинок поденок (45,7 %) и хирономид (26,9 %). По биомассе в июне доминировали личинки ручейников (43,8 %); личинки поденок (25,3 %) и мелкие двустворчатые моллюски (13,4 %) занимали субдоминантное положение. В августе лидировали поденки (55,1 % биомассы); в роли субдоминантов выступали ручейники (12,7 %), мелкие двустворчатые (12,2 %) и брюхоногие моллюски (6,9 %). В целом, состав доминантного комплекса бентосных сообществ реки характеризовался преобладанием чувствительных к загрязнению групп донных организмов (поденки, ручейники, мелкие двустворчатые моллюски), что является признаком чистых водотоков. В фитофильных сообществах наиболее обильны были личинки поденок, ручейников и хирономид. В качестве характерной особенности бентосных сообществ Федоровки в августе 2023 г. установлено лидирующее положение поденок в структуре доминирования на протяжении всего исследуемого участка реки. В основном это обеспечивали представители рода *Ephemera* Linnaeus, 1758.

Нетрансформированные современной хозяйственной деятельностью природные комплексы водосборного бассейна р. Федоровки обеспечивают благоприятное функционирование речной экосистемы. Признаки трансформации бентосных сообществ, проявившиеся увеличением числа регистрируемых таксонов, численности и

биомассы зообентоса, зафиксированы на нижней станции, что, вероятно, является следствием подпора со стороны старой плотины, приведшего к повышению трофности водотока и изменению условий обитания гидробионтов.

ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИИ *DREISSENA POLYMORPHA* (PALLAS, 1771) В НАРОЧАНСКИХ ОЗЁРАХ (РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ) С МОМЕНТА ВСЕЛЕНИЯ ПО НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

Крюк Д.В.

Белорусский государственный университет, г. Минск, KrukDV@bsu.by

Dreissena polymorpha (Pallas, 1771) инвазивный вид двустворчатого моллюска, который широко распространился из своего нативного ареала в Понто-Каспийском бассейне. Распространение и биология этого вида уже довольно долгое время является объектом разносторонних исследований. Наблюдение за состоянием популяции дрейссены в Нарочанских озёрах ведётся с самого начала вселения, которое произошло в 1980-х гг. прошлого века. Основываясь главным образом на результатах исследований, выполненных А.Ю. Каратаевым и Л.Е. Бурлаковой на Нарочанских озёрах в 1990-х, мы оценили плотность, биомассу и биотопическое распределение дрейссены в озерах Нарочь, Мястро и Баторино по аналогичной с предыдущими исследованиями схеме. Следует отметить, что крупнейшие озёра Нарочанской группы Нарочь, Мястро и Баторино, на которых проводились исследования, представляют собой единую экологическую систему и при этом характеризуются различными экологическими условиями, из-за чего являются удобным и интересным для изучения природным объектом.

Первым крупным озером Нарочанской группы, куда вселилась дрейссена, было оз. Баторино, однако, доподлинно не известно в каком году произошло вселение. На момент проведения исследования в 1993 г. плотность составила 227 ± 54 особей на м^2 (здесь и далее данные представлены в формате среднее взвешенное $\pm$ стандартная ошибка средней), а биомасса 79 ± 13 г/ м^2 , в 1995 году аналогичные показатели составили 262 ± 88 особи на м^2 и 100 ± 36 г/ м^2 по данным А.Ю. Каратаева и Л.Е. Бурлаковой. По результатам нашей съёмки, проводившейся в 2018 г. по аналогичной 1993 и 1995 гг. схеме плотность составила 1 ± 3 особей на м^2 , а биомасса 2 ± 2 г/ м^2 .

В 1993 г. в оз. Мястро плотность дрейссены составила 747 ± 300 особей на м^2 , а биомасса 402 ± 187 г/ м^2 , в 1995 г значения плотности и биомассы были равны 645 ± 147 особи на м^2 и 288 ± 118 г/ м^2 соответственно по данным А.Ю. Каратаева и Л.Е. Бурлаковой. В 2017–2018 гг. выясненные в результате съёмки плотность и биомасса составили 1357 ± 719 особи на м^2 и 579 ± 633 г/ м^2 .

Численность и биомасса в оз. Нарочи, куда дрейссена вселилась позже, чем в оз. Мястро и Баторино, в 1993 и 1995 годах по данным А.Ю. Каратаева и Л.Е. Бурлаковой составила 763 ± 149 особи на м^2 , 99 ± 30 г/ м^2 и 1521 ± 451 особь на м^2 107 ± 44 г/ м^2 соответственно. Плотность и биомасса по данным нашей съёмки в 2016–2017 гг. составили соответственно 1131 ± 1175 особи на м^2 и 180 ± 161 г/ м^2 .

Следует отметить, что средняя индивидуальная масса особей была наибольшей в оз. Мястро, а наименьшей в оз. Нарочь. Это объясняется содержанием взвешенного вещества в воде, которое ниже в оз. Нарочь. Кроме того, в оз. Нарочь больше густых зарослей макрофитов (в основном харовых водорослей и Элодеи канадской), морфологическое строение которых делает их благоприятным субстратом для

прикрепления дрейссены. Особи дрейссены, развивающиеся на макрофитах обычно более многочисленны, однако их индивидуальные массы меньше, по сравнению с особями, развивающимися на объектах, лежащих на грунте.

Таким образом, Нарочанские озёра наглядно демонстрируют особенности характера развития популяции дрейссены в различных биотопах.

СООБЩЕСТВА БЕСПОЗВОНОЧНЫХ МАЛЫХ АРКТИЧЕСКИХ ВОДОЕМОВ

Лоскутова О.А., Батурина М.А.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, loskutova@ib.komisc.ru

Мелководные пресные водоемы входят в число наиболее распространенных водных экосистем, в которых беспозвоночные играют решающую роль. Показано, что гидрология, качество воды, водные растения и другие местные факторы, а также климат, в совокупности влияют на разнообразие беспозвоночных этих водоемов. Несмотря на признание влияния экстремальных температур на биоразнообразие небольших арктических водоемов, наблюдается недостаток исследований, оценивающих влияние различных экологических факторов на беспозвоночных. Проанализирована взаимосвязь количественного развития и состава фауны гидробионтов с гидрохимической характеристикой водоема, температурой воды, глубиной водоема и наличием водной растительности. Состав и структура населения водных беспозвоночных таких водоемов характеризуются низким разнообразием, наличием редких видов и, соответственно, уязвимостью по сравнению с другими пресноводными экосистемами (озерами, реками и ручьями).

В июле–августе исследованы малые водоемы тундры (2009, 2010 гг.), Полярного (2021 г.) и Приполярного Урала (2023 г.). Водоемы мелководные, глубиной менее двух метров, площадью от девяти м² до нескольких км², поросшие по берегам осокой и арктофилой. Донные отложения в зависимости от их положения в ландшафте варьировали от ила и глины в тундре до песков, валунов и гальки в горах. Из-за небольшого объема водной толщи наблюдался интенсивный прогрев воды в июле (в отдельных водоемах до 24 °С), минимальная температура воды – 12,5 °С. Вода имела слабо-кислую реакцию среды, преимущественно хорошее насыщение кислородом.

Наименьшие численность и биомасса зообентоса отмечены на валунных грунтах в водоемах Приполярного Урала (6,4 тыс. экз./м² и 1,0 г/м²), наибольшая биомасса – в водоемах тундры (10 г/м²). В донных сообществах всюду доминировали личинки хирономид, составляя 62–95 % общей численности бентоса. Эти беспозвоночные вносили основной вклад и в биомассу (24,1–70,8 %). Существенная доля в биомассе зообентоса приходилась в водоемах Урала на личинок ручейников (25,1 %) и моллюсков (до 19,8 %). Наряду с хирономидами, широко представлены в фауне гидробионтов другие семейства двукрылых (Empididae, Tipulidae, Dixidae, Chaoboridae), а также моллюски (*Pisidium*), водные жуки (*Hydroporus*, *Agabus*, *Dytiscus lapponicus*), олигохеты (преобладали *Nais communis*, *Lumbriculus variegatus*), ручейники (сем. Limnephilidae) и поденки (сем. Baetidae). В холодных проточных водоемах увеличивается роль веснянок (*Nemoura*), поденок (*Ameletus inopinatus*) и ручейников (ювенильные личинки сем. Limnephilidae и Phryganeidae). В водоемах Полярного Урала обитают реликтовые листоногие ракообразные *Branchinecta paludosa*.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания «Разнообразие фауны и пространственно-экологическая структура животного населения

ВИДОВОЙ СОСТАВ И ПИТАНИЕ РЫБ ОЗЕРА ХОЛМОВСКОЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Лукина В.А., Матвеев Н.Ю.

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, lukina.valleria@yandex.ru*

По результатам проведенных контрольных обловов в 2023 г. структура ихтиофауны оз. Холмовское была представлена видами рыб, относящимися в равном соотношении к бореально-равнинному и понтийскому пресноводному фаунистическим комплексам. В уловах преобладали карповые (плотва, лещ, язь). Вторыми по значимости были окуневые, которые встречались в уловах реже.

Изучение питания рыб может входить в один из основных критериев при разработке стратегии рационального использования рыбных ресурсов промысловых водоемов, потому как является одним из факторов, определяющих физиологию (обмен веществ), поведение (кормовые миграции) и в целом экологию обитания промысловых видов.

Плотва. Анализ содержимого кишечных трактов плотвы в оз. Холмовское свидетельствует о стенотрофном характере питания. Пищевой спектр включал представителей двух таксонов кормовых объектов на уровне типов – Mollusca и Arthropoda, а также водную растительность, – всего 5 групп животных и растений. Превалирующую роль в питании плотвы играли куколки и личинки хирономид, а также двустворчатые моллюски, составившие более половины по весу от всех кормовых объектов. Менее значимую роль в питании рыб играли личинки халесуса и водная растительность.

Лещ. По результатам камеральной обработки кишечных трактов, выловленных лещей, их общий пищевой спектр состоял из 2 типов животных и растений, включая 3 группы кормовых организмов. Основу пищевого комка составляли личинки и куколки хирономид.

Язь. По характеру питания язь проявил себя как стенотрофный бентофаг, употребляя в пищу брюхоногих моллюсков и личинок хирономид. В небольшом количестве в его пищевом спектре присутствовала водная растительность. В составе его пищи отмечены членистоногие (представленные личинками и куколками амфибиотических насекомых), а также растительные компоненты

Окунь. В летний период активно хищничал, поедая молодь рыб – плотвы и окуня, предпочитая последних в качестве пищевого компонента.

На довольно стенотрофный характер питания рыб в оз. Холмовское, вероятно, повлиял вылет амфибиотических насекомых. Для уточнения полученных результатов необходимы дополнительные исследования.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН «Изучение изменений в экосистеме р. Северная Двина и в водоёмах особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Европейского северо-востока России в условиях климатических сукцессий и воздействия антропогенных факторов» (гос. рег. № 122011800593-4).

СУКЦЕССИИ БИОГИДРОЦЕНОЗОВ В ПРОЦЕССЕ ЗАРАСТАНИЯ ОЗЕР В ГОЛОЦЕНЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСЛЕ ТОРФОРАЗРАБОТОК (ПО ДАННЫМ БОЛОТ ВАЛДАЙСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ И МЕЩЕРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ)

Мазей Н.Г., Цыганов А.Н., Мазей Ю.А.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва,
natashamazei@mail.ru

Болота образуются в результате зарастания водоемов или заболачивания суши. В голоцене центрами болотообразования становились не только мелкие водоемы, сформировавшиеся по мере отступления ледника, но и крупные послеледниковые водоемы; площадь болот впоследствии увеличивалась за счет заболачивания окружающего суходола. В 19–20 вв. процесс болотообразования в значительной степени нарушался в результате антропогенного воздействия – торфозаболачивания или осушительной мелиорации. Нами были исследованы сукцессии биогидроценозов в ходе естественного зарастания озера (болото Кривецкий мох, Валдайская возвышенность) и вторичного сплавиного зарастания водоема после завершения торфозаболачивания (болото Горенки, Мещерская низменность). В качестве палеоиндикаторов применяли споры, пыльцу и макроостатки растений, раковинных амеб, общее содержание органического вещества, гумификацию торфа, содержание углерода и азота. Возраст отложений определяли радиоуглеродным датированием (^{14}C AMS).

Формирование болота «Кривецкий мох» началось в результате зарастания озера около 10300 калиброванных лет назад (кал. л. н.). Первыми видами растений, которые колонизировали водоем (10000–5000 кал. л. н.), были *Najas marina*, *N. flexilis*, *Nymphaea alba* и Characeae, что указывает на низкое или среднее содержание питательных веществ в воде. Значения C и N в отложениях были низкими, а соотношение C:N варьировалось между 10 и 20, что указывает на преимущественно автохтонное происхождение питательных веществ в озере. Общее содержание органического вещества значительно изменялось в течение этого времени, но быстро увеличивалось, достигая значений, типичных для омбротрофных болот (т.е. более 90 %) к 5000 кал. л. н. Период (5000–2900 кал. л. н.) отмечен присутствием в составе водной растительности *Potamogeton pusillus* и *Nymphaea alba*, а также болотных видов *Menyanthes trifoliata* и бедных болотных видов *Andromeda polifolia*. Среди остатков раковинных амеб были представлены как водные (*Centropyxis aculeata* и *Diffugia globulosa*), так и ацидофильные болотные (*Hyalosphenia papilio* и *Archerella flavum*) виды.

Анализ вертикальной структуры сфагновой сплавины в болоте «Горенки» указывает на успешное восстановление болотной растительности после прекращения добычи торфа в первой декаде 20 века. Отложения на основании сплавины были представлены остатками пионерных сплавинообразующих видов растений *Carex lasiocarpa*, *Menyanthes trifoliata*, *Scirpus* sp. и *Phragmites australis*. Структура растительных остатков соответствует ненарушенной торфяной залежи болота, которая, всплыв на поверхность, послужила основой для образования сплавины. На начальном этапе зарастания преобладали *Sphagnum cuspidatum*, *Sph. obtusum* и *Sph. fallax*, а также *Scheuchzeria palustris*, *Carex rostrata*, *Comarum palustre* и *Oxycoccus palustris*. Эти виды стали основными торфообразующими растениями после 1940 года, когда, судя по растительным остаткам, наблюдалась тенденция к снижению влажности поверхности. Результаты ризоподного анализа отражают нестабильные гидрологические условия. В

верхних слоях доминировали как гидрофильный сфагнобионт *Hyalosphenia papilio*, так и ксерофильный эвритоп *Assulina muscorum*.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 24-14-00065.

МЕТОДЫ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В РЕКОНСТРУКЦИЯХ ОЗЕРНО-БОЛОТНЫХ СУКЦЕССИЙ, АНТРОПОГЕННОЙ АКТИВНОСТИ И КЛИМАТА В ГОЛОЦЕНЕ

Мазей Ю.А.¹, Садоков Д.О.², Цыганов А.Н.¹, Мазей Н.Г.¹, Сапелко Т.В.³,
Пастухова Ю.А.¹, Камыгина А.В.¹, Суворова А.Н.⁴, Савельева Л.А.⁴, Ершова Е.Г.¹

¹Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, г. Москва,
yurimazei@mail.ru

²Университет МГУ-ППИ в Шэньчжэне, г. Шэньчжэнь, КНР

³Институт озероведения РАН, г. Санкт-Петербург

⁴Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

Понимание современных тенденций изменения климата и особенностей реакции экосистем на все возрастающее воздействие человечества невозможно без надежной информации о многолетней динамике экосистем и климата, а также о взаимодействии человека и природы в прошлом. Изучение отложений озер и болот позволяет выполнить палеоэкологические и палеоклиматические реконструкции непрерывно и с большой детальностью. Для повышения точности проводимых работ используется комплекс методов, а также проводится совершенствование калибровочных моделей.

Климатостратиграфия позднеледникового и голоцена сравнительно надежно обоснована для Восточно-Европейской равнины в региональном масштабе, однако отдельные локальные реконструкции могут существенно варьировать с учетом особенностей конкретных ландшафтов, активности человека, а также в связи с ошибками методов. В связи с этим критически важно накапливать больше данных о локальных особенностях долговременной динамики экосистем и климата в различных районах Европейской России что позволит повысить точность реконструкций. В исследованных озерных и болотных отложениях на территории Молого-Шекснинской низменности, Валдайской возвышенности, Мещерской низменности нами были использованы: рентгенофлуоресцентный, рентгенодифракционный, спорово-пыльцевой, ризоподный, кладоцерный, хирономидный, диатомовый, ботанический анализы, определено содержание общего органического вещества, органического углерода, азота и серы, соотношение изотопов $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, проведено датирование методами ^{14}C AMS и оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ). Совокупный набор этих методов позволяет охарактеризовать ход водно-болотных сукцессий в целом, механизмы формирования озер и болот, динамику локальной и региональной растительности, глубины и трофности водоема, влажности болота, температуры и влажности воздуха.

С целью совершенствования самих методов на примере ризоподного анализа в работе рассматриваются оригинальные подходы к разработке и совершенствованию калибровочных моделей, позволяющих по данным о структуре субфоссильных раковинных амеб осуществлять реконструкции поверхностной влажности болот, глубины озер, температуры воздуха, потоков парниковых газов в экосистемах.

В докладе приводится обзор результатов исследований, выполненных коллективом автором в указанных регионах и позволивших описать ход типичной

полноценной озерно-болотной сукцессии, ход восстановления болот после выработки торфа, зафиксировать региональные короткопериодные изменения климата в позднеледниковье, время начала почво- и торфообразования, региональные особенности динамики растительности и специфику проявления активности человека в различные периоды.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 24-14-00065.

СТРУКТУРА СООБЩЕСТВА МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В КРАЕВОЙ ЛЕДЯНОЙ ЗОНЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ПЕРИОД ИНТЕНСИВНОГО ФОРМИРОВАНИЯ СЕЗОННОГО ЛЬДА

Макаревич П.Р., Дружкова Е.И., Ларионов В.В., Олейник А.А.

*Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск,
makarevich@mmbi.info*

В зимний период в прикромочной зоне арктических морей формируется начальное сообщество фитопланктона, которое в дальнейшем определяет сроки и количественные характеристики цветения микроводорослей в биотопах пелагиали и морского льда, таким образом, оказывая существенное влияние на продукционные процессы, динамику пищевой сети и биохимический цикл в полярных широтах.

В течение зимнего–ранневесеннего сезона в зоне близ ледовой кромки (в полях молодого сезонного льда толщиной 20–40 см) Баренцева моря были проведены исследования альгоценозов в морском льду и в толще воды. Рассмотрены временные вариации физических и химических средовых условий (температура, соленость, концентрация питательных веществ, хлорофилл).

Жизнеспособные морские водоросли в изучаемых биотопах присутствовали в течение всего года с преобладанием видов от доминирования жгутиковых (*Dinoflagellata* и *Cryptophyta*) с декабря по февраль, затем центрических диатомей в марте–апреле и пеннатных диатомей в мае. При этом динофлагелляты, активно развивающиеся в этот период в пелагиали, не отмечаются в толще льда.

В зимний период, с октября по начало марта, альгоценозы льда и пелагиали имели минимальные годовые значения таксономического разнообразия, численности и биомассы. Но уже в ранневесенний период, при отсутствии таяния льда, в подледной пелагиали наблюдалась более высокая биомасса и видовое разнообразие фитопланктона, чем во льду. Сравнительный таксономический анализ сообществ микроводорослей двух биотопов выявил практическое отсутствие в этот сезон сходства между комплексами диатомовых льда и подледной пелагиали, т. е. пелагический фитопланктон представляет другое сообщество диатомей, отличное от сообщества морского льда. В целом комплекс диатомовой альгофлоры в пелагиали прикромочной зоны был представлен как типичными планктонными, так и ледовыми и микрофитобентосными формами. В ледовом сообществе, обладая доминирующим положением в биоразнообразии, наибольший вклад в суммарную биомассу вносили типичные ледово-неритические пеннатные виды диатомей.

Таким образом, можно считать установленным тот факт, что в период формирования ледяного покрова в пелагиали и ледовом биотопе клетки микроводорослей присутствовали спорадически и не составляли единого целостного сообщества ледовых и пелагических протистов. При этом видовое разнообразие в пелагиали было гораздо выше, чем во льду. Далее, в предвесенний период происходил

подъем из донного биотопа спор и покоящихся клеток фитопланктона, впоследствии формировавших подледное цветение, на начальной стадии которого и происходило, по нашему мнению, заселение ими толщи льда с водой, поступающей в процессе льдообразования по межкристаллическим каналам. Дальнейшая колонизация микроводорослями ледового биотопа может быть обусловлена как продолжающимся их проникновением из подлёдного слоя пелагиали, так и размножением в межкристаллических пространствах льда.

ОЦЕНКА МЕТАБОЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ХАРОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ

Макаревич Т.А.

Белорусский государственный университет, г. Минск, makarta@tut.by

Харовые водоросли (порядок Charales, род Chara) во многих озерах образуют обширные заросли и в значительной степени определяют структурно-функциональные особенности экосистемы. Примером может служить оз. Нарочь в Беларуси, в котором зона зарослей погруженных макрофитов составляет до 30 % площади ложа, а на долю харовых водорослей приходится почти 80 % биомассы погруженных макрофитов (Экосистема Нарочанских озер, 1985). Оценка роли в экосистемных процессах харовых водорослей (как и макрофитов в целом) базируется, как правило, на определении биомассы, оценки поверхности крайне редки. Значимость этого параметра определяется двумя моментами. Во-первых, поверхность водорослей представляет собой биоконтур, через который осуществляются обменные процессы с окружающей средой. Во-вторых, харовые водоросли – удобный субстрат для перифитона. Интегральная поверхность харовых водорослей в озере – составная часть перифитали, а в случае их доминирования, как в оз. Нарочь, основная. От размера перифитали зависит роль перифитона в продукционно-деструкционных процессах, в формировании биоразнообразия экосистемы. Кроме того, определение величины поверхности харовых водорослей необходимо для корректной оценки плотности их обрастания.

В настоящем сообщении представлены результаты исследований, выполненных на олиго-мезотрофном оз. Нарочь в период с июля 2018 по март 2020 гг. Определена площадь поверхности харовых водорослей (метод геометрического подобия после разделения таллома на отдельные фрагменты) и оценены величины удельной поверхности (S/W) хары в разные сезоны года в зоне глубин 0,5–6,5 м.

Сезонные изменения удельной поверхности харовых водорослей выражены слабо; намечается тенденция к увеличению S/W с возрастанием глубины. Средневзвешенная величина S/W составила $220,1 \pm 52,9$ см²/г абсолютно сухой массы ($cv=24,0$ %; $n=48$). Удельная поверхность хары оказалась значительно ниже в сравнении с высшими водными растениями. Этот показатель для макрофитов оз. Нарочь был в пределах 585 см²/г (кубышка желтая) – 1619 см²/г (элодея канадская). Низкие значения S/W хары можно объяснить высокой зольностью (67–70 %) и низкой обводненностью (71–75 %), что увеличивает индивидуальную массу растений.

Выявлена положительная связь между массой и площадью поверхности харовых водорослей, которая удовлетворительно описывается уравнением линейной регрессии: $y=130,6x+134,1$ (y – площадь поверхности, см²; x – абсолютно сухая масса, г; $R^2=0,41$; $P<0,000001$). Уравнение может быть использовано для оценки площади поверхности харовых водорослей через сравнительно легко определяемую величину биомассы при масштабных исследованиях, или в случае экспертных оценок, когда не нужна высокая точность. Используя данные по запасам харовых водорослей в оз. Нарочь (Гигевич,

1985) и полученные нами результаты, оценили интегральную величину метаболической поверхности харовых водорослей. Она составила 68,6 км², что соизмеримо с площадью водного зеркала оз. Нарочь (79,6 км²).

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВТОРИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ: РЕЗУЛЬТАТЫ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОПУЛЯЦИИ АМФИПОД *MONOPOREIA AFFINIS* В СУБАРКТИЧЕСКОМ ОЗЕРЕ

Максимов А.А.

Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург, alexeymaximov@mail.ru

Хотя история изучения вторичной продукции донных животных насчитывает уже более 100 лет, большинство продукционных исследований имело небольшую продолжительность. В тоже время, программы долговременного мониторинга отслеживают изменения структурных характеристик, таких как видовое разнообразие, численность, и биомасса.

На основе данных наблюдений в период с 2002 по 2019 гг. была изучена многолетняя динамика продукции популяции ледниковой реликтовой амфиподы *Monoporeia affinis* в сублиторали небольшого субарктического озера, расположенного в северной Карелии. Пробы отбирали на одной станции (глубина 8,5 м), как правило, четыре раза в период открытой воды (конец мая, июль, сентябрь и конец октября) и один раз в период ледостава (в конце марта–начале апреля). Отбирали 5 проб дночерпателем Ван-Вина (площадь захвата 0,025 м²). Для промывки грунта использовали сито с ячейей 0,25 мм. Продукцию определяли методом сложения приростов. Стандартные ошибки численности и биомассы рассчитывали по дночерпательным пробам, взятым на станциях. Ошибки величин продукции и Р/В коэффициента определяли на основе известных формул переноса ошибок.

Все исследованные показатели количественного развития амфипод тесно коррелировали друг с другом. Среднегодовые величины численности, биомассы и продукции популяции амфипод демонстрировали почти синхронные изменения с максимумами в середине 2000-х и середине 2010-х гг. Наиболее тесная связь была отмечена между продукцией и биомассой ($r=+0,891$). Таким образом, многолетние исследования подтвердили наличие тесной прямой связи между продукцией и биомассой, ранее отмеченной в работах по пространственному распределению донных животных.

Несмотря на тесную корреляцию продукции и биомассы, их соотношение (Р/В-коэффициент) изменялось в два раза, хотя большинство оценок значимо не отличались от средней величины Р/В за исследуемый период. Таким образом, использование постоянных коэффициентов для расчета продукции может вести к существенным ошибкам, учитывая значительную вариабельность отношения Р/В даже в одном локальном местообитании.

Кросскорреляционный анализ показал, что из факторов внешней среды (концентрация хлорофилла-а, температура воды, климатические индексы NAO и AO, температура воздуха, атмосферные осадки) на межгодовую динамику популяции *M. affinis* влияли температуры воды и трофические условия. Однако факторы среды влияли только на ювенильных амфипод (возраст 0+). Биомасса молоди (генеративная продукция) положительно коррелировала с концентрацией хлорофилла-а. Численность, биомасса и продукция амфипод в первый год жизни отрицательно коррелировали с температурой воды с лагом в 1 год. Количественные характеристики амфипод старшей

возрастной группы (1+) не коррелировали ни с каким из изученных факторов. Вопреки ожиданиям определение продукция не дало каких-либо преимуществ по сравнению с биомассой с точки зрения интерпретации многолетних изменений популяции исследованного вида. Оба показателя были тесно связаны друг с другом.

О РАЗВИТИИ МЕТОДОЛОГИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АКВАТОРИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОПУЛЯЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАССОВЫХ ФОРМ БЕНТОСА

Максимович Н.В., Герасимова А.В., Филиппова Н.А.

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
n.maximovich@spbu.ru*

Целевая мотивация любого экологического мониторинга – осуществление диверсификации анализируемых биосистем как основы для последующей актуализации выявленной гетерогенности на фоне в основном абиотических градиентов биотопов. Сегодня широко распространена практика экологического мониторинга бентоса в районах проведения мелиорационных работ. Предметом таких исследований, как правило, оказывается вариация количественных синэкологических описаний макробентоса акваторий. Наши многолетние исследования показали, что в верхних отделах шельфа Северных морей режим такого мониторинга вполне оправдан при картировании бентали по распределению макробентоса. При этом вполне успешной оказывается и интерпретация выявленных различий в распределении и организации сообществ макробентоса разных акваторий. Однако при попытке описать тренды в долговременных изменениях сообществ макробентоса удается уверенно отследить только резкие практически катастрофические смещения в их структуре. Интерпретации выявленных временных различий как итога долговременных изменений сообществ в пределах одной акватории обычно затруднена, в силу нечеткого совпадения станций наблюдений, различий режима и орудий пробоотбора, несовпадения квалификации сборщиков первичных данных, выпадения на станциях даже фоновых видов в силу наличия волн в развитии их популяций.

Для решения этой проблемы на кафедре ихтиологии и гидробиологии уже много лет проводится обоснование тест-системы основанной на популяционных показателях. В данном случае речь идет о тест-системе, построенной на сравнительном анализе описаний линейного онтогенетического роста (кривых роста) двустворчатых моллюсков. Очевидны методологические преимущества такого подхода. В его основу положено следующее:

- наличие широко распространенных в морях Бореарктики видов с хорошо выраженными на раковине метками сезонной периодичности роста;
- возможность работы с качественными сборами, в том числе и коллекционными сухими материалами;
- снятие эффектов несоответствия сборов их адекватности целям сравнительного анализа. Даже известные трудности в верификации цены годовых меток роста в данном случае не являются фатальными для целей сравнительно анализа, поскольку квалификация исследователя окажется одинаковой при описании возрастных рядов всех моллюсков анализируемого комплекса данных.
- интегральные возрастные ряды надежно фиксируют характер роста моллюсков как отражение средне-многолетних условий их обитания;

- учет в комплексе данных величин ежегодного прироста позволяет широко вовлекать в анализ методы многомерной статистики.
- наличие на кафедре программного продукта, позволяющего проводить сравнительный анализ кривых роста моллюсков.

Мы имеем опыт сравнительного анализа поселений двустворчатых по характеру их линейного роста на мелководьях морей Балтийского, Белого, Баренцева, Карского и Лаптевых.

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРОВ ПИТАНИЯ НА ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ОМЕГА-3 ПНЖК В ГОЛОВНОМ МОЗГЕ, МЫШЕЧНОЙ И ЖИРОВОЙ ТКАНЯХ РЫБ РОДА *THYMALLUS*

Машонская Ю.О.¹, Зуев И.В.¹, Андрущенко П.Ю.^{1,2},
Глущенко Л.А.¹, Михеев П.Б.^{3,4}, Махутова О.Н.²

¹Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, yulata5@mail.ru

²Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск

³Пермский государственный университет, г. Пермь

⁴Хабаровский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Хабаровск

Длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты (ДЦ-ПНЖК) семейства омега-3, такие как эйкозапентаеновая кислота (ЭПК, 20:5n-3) и докозагексаеновая кислота (ДГК, 22:6n-3), и семейства омега-6 – арахидоновая кислота (АРК, 20:4n-6) признаны веществами высокой физиологической ценности для водных и наземных позвоночных, включая человека. ЭПК и ДГК производятся в большом количестве определенными таксонами водорослей и транспортируются от продуцентов к консументам через пищевые сети. Основным источником ЭПК и ДГК в питании человека являются продукты водных экосистем, а в первую очередь рыба. Содержание ЭПК и ДГК в биомассе разных видов рыб сильно варьирует. Различия в содержании ЭПК и ДГК в крупных таксонах рыб (отряд, семейство) связывают с филогенетическим фактором, а внутривидовые различия – со спектром питания, при этом влияние этих факторов на мелкие таксоны (род) остаются малоизученными.

В данной работе мы исследовали влияние спектров питания и таксономической принадлежности рыб на состав и процентное содержание жирных кислот мышечной ткани рыб и на содержание омега-3 ПНЖК (мг/г сырой массы) в головном мозге, мышечной и жировой тканях рыб рода *Thymallus*, обитающих в девяти водных объектах, различающихся по кормовой обеспеченности. *Thymallus baicalensis* (Dybowski, 1874) был собран из рек Енисей, Ангара, Мана, Базаиха, Гладкая Кача, Крутая Кача и Тамасул; *T. thymallus* (Linnaeus, 1758) был собран из реки Сылва, а *T. arcticus* (Pallas, 1776) из оз. Собачье. Хариусы значительно различались по процентному содержанию жирных кислот мышечной и жировой тканей. В ходе исследования мы выяснили, что межвидовые различия не превышали внутривидовых различий для трёх видов рыб рода *Thymallus*. Вероятно, содержание физиологически ценных ЭПК и ДГК в рыбе, принадлежащей одному роду, зависит, прежде всего, от спектра их питания. Наибольшее количество (мг/г сырой массы) ЭПК+ДГК содержалось в жировой ткани рыб и превышало содержание этих ПНЖК в мышечной ткани в 15–31 раз. В мышечной ткани содержание ЭПК и ДГК варьировало в диапазоне от 2,3 мг/г сырой массы у рыб с высокой долей аллохтонного органического вещества в диете до 6,5 мг/г сырой массы у рыб, спектр питания которых состоял исключительно

из автохтонных источников органического вещества. Таким образом, пищевая ценность хариусов для человека, оцененная по содержанию этих ПНЖК, различалась в три раза. Самым высоким содержанием ЭПК и ДГК (мг/г сырой массы) обладал байкальский хариус из реки Енисей, что свидетельствует о высокой пищевой ценности этой рыбы.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ VS МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. КОНВЕРГЕНЦИЯ

Медвинский А.Б.¹, Адамович Б.В.^{1,2}, Минаев И.С.¹, Минаев Н.С.¹, Нуриева Н.И.¹,
Радчикова Н.П.^{1,5}, Русаков А.В.¹, Тихонов Д.А.^{1,3,4}

¹*Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, г. Пущино,
alexander_medvinsky(at)yahoo.com*

²*Белорусский государственный университет, г. Минск*

³*Институт математических проблем биологии РАН, г. Пущино*

⁴*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва*

⁵*Московский государственный психолого-педагогический университет, г. Москва*

Проблема адекватности математических моделей природных и социальных процессов связана с неизбежным упрощением, редукцией, этих процессов в ходе моделирования. Поэтому возникает вопрос о связи результатов моделирования и интерпретации этих результатов с реальными процессами. Эта проблема особенно остро осознаётся при исследованиях тех систем, которые представляются нам сложными: многокомпонентными и несводимыми к простой сумме компонент. К таким системам, в частности, относятся многие экологические (в частности – водные) системы.

Нами представлены примеры, демонстрирующие разные подходы к исследованию экологических процессов, а именно – (1) математическое моделирование таких процессов и (2) исследование некоторых характеристик экологических характеристик по результатам мониторинга, но без применения математических моделей.

Нами предложен новый подход (KDD modeling) к исследованию экологических процессов, сочетающий в себе конвергенцию двух указанных выше подходов. Этот подход предполагает прямое включение данных мониторинга экосистемы (в данном случае – мониторинга Нарочанских озёр, Белоруссия) в виде временных рядов в уравнения математической модели в качестве решений этих уравнений. В данном случае = это уравнения, которые описывают динамику планктона. В результате мы получаем возможность идентифицировать (в виде временных рядов) те характеристики (функции) исследуемой экосистемы, которые не измерялись непосредственно в ходе мониторинга, а именно (в данном случае) – скорость роста фитопланктона. Нами продемонстрирована фазовая синхронизация скорости роста фитопланктона с вариациями температуры.

В связи с тем, что результаты KDD-подхода к моделированию экологических процессов базируются на данных, полученных в ходе полевых измерений, эти результаты отражают динамику каждого из водоёмов экосистемы Нарочанских озёр как целостной системы, т. е. эти результаты носят холистический характер. Представленный подход может рассматриваться как полезное дополнение к традиционным методам исследования экологических процессов.

СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ МИЗОСТОМИД ВЬЕТНАМА В СВЯЗИ С ИХ ЛОКАЛИЗАЦИЕЙ НА ХОЗЯИНЕ

Мехова Е.С.

Институт проблем экологии и эволюции им А.Н. Северцова РАН, г. Москва,
elena.mehova@gmail.com

Мизостомиды – небольшая группа облигатных симбиотических червей, ассоциированных главным образом с иглокожими, в первую очередь морскими лилиями. Экологически по образу жизни мизостомид подразделяют на четыре группы:

1. цисто- и галлообразующие формы;
2. обитатели пищеварительной системы
3. эндосимбионты, обитающие в тканях хозяина;
4. свободноподвижные формы, к которым относится большинство описанных видов.

Биология группы описано слабо. В настоящее время достаточно полно описан только один вид – *Myzostoma cirriferum*, тогда как данные о популяциях и образе жизни остальных видов отрывочны. Тем не менее, использование хозяина в топическом смысле у разных видов мизостомид сильно различается. Локализация на хозяине у разных видов не хаотична, а приурочена к определенным частям хозяина, особенно у видов, ассоциированных с морскими лилиями. Так, например, можно выделить несколько локаций для морских лилий: пиннулы, оральная поверхность рук, аборальная поверхность рук, чашечка. Расположение симбионтов на каждой из этих областей будет требовать определенных морфологических и поведенческих адаптаций. Такие адаптации проявляются в первую очередь в окраске, форме тела и размерах мизостомид.

Однако, локализация на хозяине и связанный с ней образ жизни приводит к различным типам внутривидовых взаимодействий и различным численностям субпопуляций (под субпопуляцией в данном случае подразумевается население одной особи хозяина). Так, обитатели ротовой полости редко достигают численностей выше 3 особей на особь хозяина, тогда как мелкие обитатели рук могут легко достигать 50 и более особей на хозяина. Такие контрастные примеры говорят о наличии внутривидовой конкуренции у большинства видов. Косвенным дополнительным свидетельством такой конкуренции может служить пример *Hypomyzostoma jasoni* для которой выявлены две формы окраски и локализации, сосуществующие на хозяине. При этом у сходного вида *H. crosslandi* такой дифференциации не отмечено, однако отмечены крупные цисты на ювенильной стадии и долгое нахождение ювенильной особи в цистах. При этом морфологически и топически сходный вид *M. pipkini*, не имеющий никаких подобных форм разделения топических ресурсов взрослых и молодых особей, достигает значительно меньших численностей на хозяине. Если *H. jasoni* максимально обнаруживается в количестве 40 особей на хозяина, *H. crosslandi* – 15 особей, то для *M. pipkini* максимально отмеченные численности были 5–7 особей. Контрастный пример представляет *M. khanhkhaoense* обитающая плотными скоплениями и не демонстрирующая внутривидовой конкуренции, а скорее внутривидовую кооперацию.

В качестве заключения можно сказать, что интенсивность заселения хозяина мизостомидами складывается из ряда факторов, наиболее важными из которых (кроме параметров самого хозяина) представляются локализация, тип воздействия на хозяина, внутривидовые взаимоотношения и поведенческие адаптации.

ТРАЛОВЫЙ МАКРОЗООБЕНТОС ЮГО-ЗАПАДНОГО ШЕЛЬФА П-ВА КАМЧАТКА (ОХОТСКОЕ МОРЕ) ДО И ПОСЛЕ 2020 ГОДА

Морозов Т.Б., Коломейцев В.В.

Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Петропавловск-Камчатский,
tmorozov@kamniro.ru

Осенью 2020 г. у берегов п-ва Камчатка в результате массового вредоносного «цветения» динофлагеллят *Karenia mikimotoi* подверглись массовому вымиранию многие группы бентосных организмов. «Цветение» происходило на фоне сильного повышения температуры воды. Так, в Кроноцком и Авачинском заливах после 2020 г. полностью исчезли в приловах по две группы донных беспозвоночных: из одиннадцати групп осталось по девять; а у юго-восточного побережья Камчатки южнее м. Поворотного из десяти групп осталось только четыре: Porifera, Cephalopoda, Decapoda и Ascidiacea. Видовое разнообразие тралового макрозообентоса уменьшилось почти втрое. Однако это касается восточного шельфа Камчатки, западный же шельф внимания не привлекал, хотя там также осенью 2020 года наблюдали сильное повышение температуры.

По нашим исследованиям, вымирание отдельных групп организмов коснулось и западнокамчатского шельфа. Так, при сравнении результатов учетных донных траловых съемок, проведенных летом 2018–2022 гг., отмечено резкое снижение биомассы некоторых групп тралового макрозообентоса. Так, в диапазоне глубин 150–300 м полностью исчезли потенциально промысловые моллюски рода *Neptunea* – в траловых уловах 2021 г находились только их раковины с разлагающимися моллюсками. Что характерно, вымирание не коснулось представителей этого же семейства – видов рода *Buccinum* – этих моллюсков находили в уловах в больших количествах. Кроме того, очень сильно сократилась биомасса и плотность поселения крупных актиний *Actinostola* cf. *callosa* – до 2020 г. отмечали целые поля, заселенные этим видом – после 2020 же года, эти актинии встречены лишь единично, и то, выше 53° с. ш. Такая же судьба постигла и районы дна с зарослями морских перьев *Balticina* cf. *willemoesi*. Анализ плотности поселения и биомассы различных систематических групп донных беспозвоночных показал снижение плотностных характеристик отдельных групп и повышение их у других групп. Так, на больших глубинах увеличилась плотность поселения раков отшельников, что, вероятно, связано с исчезновением конкуренции за пустые раковины моллюсков. В работе мы приводим многолетний анализ придонной температуры и солености, распределение плотности поселения и биомассы как различных групп беспозвоночных высокого таксономического ранга, так и отдельных видов беспозвоночных непромыслового тралового макрозообентоса до 2020 г., и изменения донных сообществ после.

СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ СУБСТРАТА КАК ФАКТОР УПРАВЛЕНИЯ МШАНКОВЫМ СООБЩЕСТВОМ

Мухин И.А.

Вологодский государственный университет, г. Вологда, mukhinia@vogu35.ru

Мшанки относятся к одному из ключевых компонентов зооперифтона рек и озер европейского севера России и достаточно часто доминируют по биомассе среди организмов–обрастателей. Мшанки, с одной стороны, играют большую роль в самоочищении водоема, а с другой – имеют негативное хозяйственное значение для целого ряда отраслей народного хозяйства. Это определяет важность изучения механизмов, определяющих формирование мшанковых сообществ в различных условиях. Выбор района исследований учитывал, что для развития мшанок как перифитонных организмов большую роль играет конфигурация и доступная площадь субстрата. Этим условиям соответствует литоральная зона Ладожских шхер с наличием разнообразных субстратов. Каменистые субстраты представлены скальными монолитами и обломочным материалом различного размера, что определяет своеобразие структурированности пространства. Они могут отличаться и по другим свойствам – например, химизмом поверхности. Характер биотопа, в котором расположен субстрат также имеет значение для расселения мшанок. К субстратам растительного происхождения относятся мертвые травянистые, древесные остатки и живые растения.

Модельными субстратами для изучения процесса их заселения были выбраны каменистые обломки, которые мшанки активно колонизируют. Это позволило исключить факторы, связанные с возможным подавлением обрастаний со стороны растительных субстратов как живых, так и мертвых. Исследование каменистых обломков проводилось на шести литоральных отмелях с разными гидрологическими характеристиками. Колонии изучались непосредственно на субстрате, собирались и фиксировались для лабораторного определения общепринятыми методами. На исследуемых литоральных отмелях были обнаружены колонии 5 видов мшанок: *Plumatella casmiana* (Oka, 1907), *Plumatella repens* (L., 1758), *Plumatella fruticosa* (Allmann, 1844) *Fredericella sultana* (Blumenbach, 1779), *Hyalinella punctata* (Hancock, 1850). Часто колонии разных видов располагаются сближено или даже перекрываются. При этом различные виды демонстрируют биологические особенности через количественные показатели – главным образом, через биомассу. В отдельные годы и на отдельных участках побережья можно выявить доминанта, на долю которого иногда приходится более 75 % биомассы мшанкового сообщества. При анализе встречаемости колоний различных видов на обломках разного размера и расположенных в разных условиях гидродинамической активности установлено, что площадь колоний различных видов мшанок отличается. Однако не прослеживается видоспецифичности заселения с точки выбора определенного размера каменистых обломков и их сторон относительно поверхности дна и воды. Отсутствует выраженная зависимость общей площади колоний мшанок от площади субстратного обломка (за исключением самых небольших). В то же время, существует предпочитаемый рассмотренными видами мшанок размерный класс каменистого обломка, поверхность которого осваивается наиболее эффективно. Исследования показали, что для мшанок на каменистых обломках в литоральной зоне Ладожских шхер характерно формирование устойчивых сообществ, структура которых отличается в разные годы и на различных участках

побережья. Многолетние наблюдения позволили также учесть межгодовую изменчивость показателей колоний мшанок, связанную с климатическими факторами.

ФИТОПЛАНКТОН НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА В 2023 ГОДУ

Новикова Ю.В., Матвеев Н.Ю.

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, juli-nv@mail.ru*

В 2023 г. был произведен отбор проб в водах низовья р. Северная Двина в зимний (март), весенний (первая декада июня), летний (август) и осенний (первая декада октября) периоды. В ходе камеральной обработки всего обнаружено 98 видовых и надвидовых таксонов фитопланктона, принадлежащих 8-ми отделам микроводорослей: диатомовые (Bacillariophyta) – 61 вид, зеленые (Chlorophyta) – 20, золотистые (Chrysophyta) – 5, динофитовые (Dinophyta) – 1, криптофитовые (Cryptophyta) – 1, эвгленовые (Euglenophyta) – 2, желтозеленые (Xanthophyta) – 1, цианопрокариоты (Cyanoprokaryota) – 7. Основу видового разнообразия альгофлоры определяют диатомовые и зеленые водоросли.

Зимний фитопланктон на 85 % представлен диатомовыми, что типично для зимних фитоценозов, поскольку большинство видов этого отдела относятся к холодолюбивым формам. В весенний период встречались представители всех 8-ми отделов микроводорослей, при этом доля диатомовых снизилась до 70 %, развитие получили зеленые (13 % альгофлоры) и золотистые (10 %) микроводоросли. В летний период основу фитоценозов составили диатомовые (54 %), зеленые (30 %) и цианопрокариоты (10 %). Доля динофитовых, эвгленовых и желтозеленых была незначительной. Золотистых микроводорослей в пробах обнаружено не было. В осенний период представленность диатомовых вновь возросла (до 71 %), доля зеленых несколько снизилась (до 23 %), золотистых и желтозеленых микроводорослей обнаружено не было.

В структуре микрофитоценоза доминировала диатомея *Aulacoseira granulata* – широко распространенный в северных областях умеренной зоны пресноводно-солонатоводный вид. Максимальный процентный вклад в развитие количественных показателей за весь вегетационный период привнес отдел диатомовых микроводорослей.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН по теме «Изучение изменений в экосистеме р. Северная Двина и в водоемах особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Европейского Северо-Востока России в условиях климатических сукцессий и воздействия антропогенных факторов», гос. № 122011800593-4.

ТАФОЦЕНОЗЫ КЛАДОЦЕР В ПОВЕРХНОСТНЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕРА ГЛУБОКОЕ (МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ) И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРИБРЕЖНОГО ЗАБОЛАЧИВАНИЯ

Пастухова Ю.А.¹, Цыганов А.Н.¹, Сысоев В.В.², Мазей Н.Г.¹, Мазей Ю.А.¹

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва,
yuliya.pastukhova.98@mail.ru

²Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок

Палеоэкологические реконструкции позволяют восстановить динамику экосистем в прошлом с использованием физико-химических и биологических индикаторов, сохраняющихся в отложениях донных отложений водоемов. Одни из самых обильных тафоценозов формируются представителями зоопланктонных сообществ – Cladocera. Однако для повышения точности палеоэкологических реконструкций с использованием кладоцер, необходимы данные об их современном распределении в поверхностных донных отложениях озер, что позволит выявить особенности формирования тафоценозов. Цель настоящей работы – анализ видового разнообразия и структуры тафоценозов кладоцер в поверхностных донных отложениях озера Глубокое (Смоленско-Московская возвышенность) вдоль градиента глубин.

Пробы поверхностных донных отложений отобраны с помощью дночерпателя вдоль двух перпендикулярных трансект оз. Глубокое, заложенных по градиенту глубин от 0 до 32 м с интервалом в 3 м по глубине. Всего в пробах идентифицировано 23 вида из 16 родов Cladocera. Значения индексов видового разнообразия Шеннона и выравнимости Пилоу вдоль обеих трансект уменьшались с глубиной. Литоральные сообщества на глубинах 0–3 м характеризуются высоким относительным обилием семейства Chydoridae. На обеих трансектах доминировали придонный вид *Alona quadrangularis* и группа видов *Chydorus sphaericus*. Эта зона также характеризовалась наличием остатков *Macrothrix hirsuticornis* и *Pleuroxus truncatus*, отсутствовавшими во всех остальных образцах. Сублиторальные сообщества на глубинах от 6 до 12 м характеризуются максимальным относительным обилием представителей семейств Bosminidae и Chydoridae. Пелагические виды *Bosmina coregoni* и *Bosmina longirostris* вместе с видами, доминировавшими на литорали, занимали значительную долю в тафоценозе этой зоны на обеих трансектах. Для профундальных сообществ, расположенных на глубинах более 15 м, характерно увеличение доли Daphnidae. Видовая структура доминантов на обеих трансектах была сходной, доминировали *Bosmina coregoni*, *Bosmina longirostris* и *Chydorus sphaericus*. Для этой зоны характерны остатки пелагических видов *Leptodora kindtii*, *Bosmina coregoni* и *Daphnia (Daphnia)* sp.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что с глубиной снижается видовое разнообразие и выравнимость распределений обилий видов, что указывает на повышение однородности среды и, возможно, избирательную сохранность остатков лишь некоторых видов. При этом в литоральной зоне отмечалась наибольшая гетерогенность разнообразия и видового состава. Обилие остатков бентосного вида *Alona quadrangularis* снижается с глубиной, что отражает его реальное распределение, а также, вероятно, указывает на перенос части остатков в профундаль. При этом обилие пелагического вида *Bosmina coregoni*, напротив, увеличивается с глубиной.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 24-14-00065.

МЕСТО И ТРОФИЧЕСКАЯ РОЛЬ СТРЕКОЗ В ВОДНЫХ СООБЩЕСТВАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СВОЙСТВ МЕСТООБИТАНИЯ

Попова О.Н.

*Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск,
popova-2012@yandex.ru*

В водных пищевых сетях серьезными хищниками являются рыбы и личинки некоторых насекомых, особенно стрекоз. Многие места обитания личинок стрекоз населены рыбами, которые могут хищничать личинками стрекоз или конкурировать за пищу. В этой связи важным становится вопрос о связи биотопических особенностей местообитания со структурой населения насекомых и влияния на эту структуру пресса рыбного хищничества.

Задача – исследовать структуру населения насекомых в местообитаниях, различающихся по степени зарастания водной растительностью и по степени присутствия-отсутствия пресса хищничества рыб.

Исследования проводились на юге Западной Сибири в Чано-Барабинской озерной области. Для анализа были взяты наиболее распространенные в регионе пресноводные водоемы – непересыхающий рыбный водоем (озеро) и полупересыхающий безрыбный водоем (пруд). Всего было исследовано четыре местообитания: три на озере и одно на пруду. Озерные местообитания: литоральное (прибрежное) с выступающими над водой макрофитами (густым тростником); сублиторальное с погруженными в воду разреженными макрофитами (роголистником и пузырчаткой); профундальное, где всякая растительность отсутствовала. Пруд представлял собой единый биотоп с более или менее однородной погруженной растительностью – роголистником и пузырчаткой. Забор гидробиологических проб производился в 2014–2015 гг. с мая по октябрь.

По результатам анализа гидробиологических проб в местообитании свободном от растений – профундали озера – были обнаружены только хирономиды и немного ручейников, в трех остальных, заросших, местообитаниях было выявлено 7 таксонов водных насекомых – стрекозы (Odonata), поденки (Ephemeroptera), ручейники (Trichoptera), хирономиды (Diptera, Chironomidae), нехирономидный комплекс двукрылых (Diptera), жуки (Coleoptera), клопы (Heteroptera). Обилие личинок стрекоз было в среднем в 8 раз выше в безрыбном пруду по сравнению с рыбным озером. В безрыбном пруду доминировали стрекозы (100–577 ос./м²), за которыми следовали хирономиды, нехирономидные двукрылые и жесткокрылые. В рыбных озерах в заросшей тростником прибрежной зоне доминировали стрекозы (23–102 ос./м²) и хирономиды, в сублиторальной зоне с погруженными макрофитами – хирономиды, в то время как стрекозы занимали 4-е место по относительному обилию (9–43 ос./м²).

Таким образом, на основании нашего исследования и литературных данных, личинки стрекоз часто являются *главными хищниками* в безрыбных полупостоянных водоемах, где они играют важную роль в структурировании сообщества водных беспозвоночных и могут составлять большинство биомассы насекомых (до 40 %). В местах же обитания с рыбами стрекозы чаще всего являются *мезохищниками* и сами могут быть добычей рыб, что негативно отражается на их численности. Как показало наше исследование, «островками спасения» от хищничества рыб как для стрекоз, так и для других беспозвоночных становятся заросшие части водоемов, и чем выше плотность зарастания (тростниковые бордюры), тем выше степень защиты от хищника: вероятно, в густых прибрежных зарослях тростника способность рыб плавать

более ограничена по сравнению с местообитаниями с разреженными погруженными макрофитами.

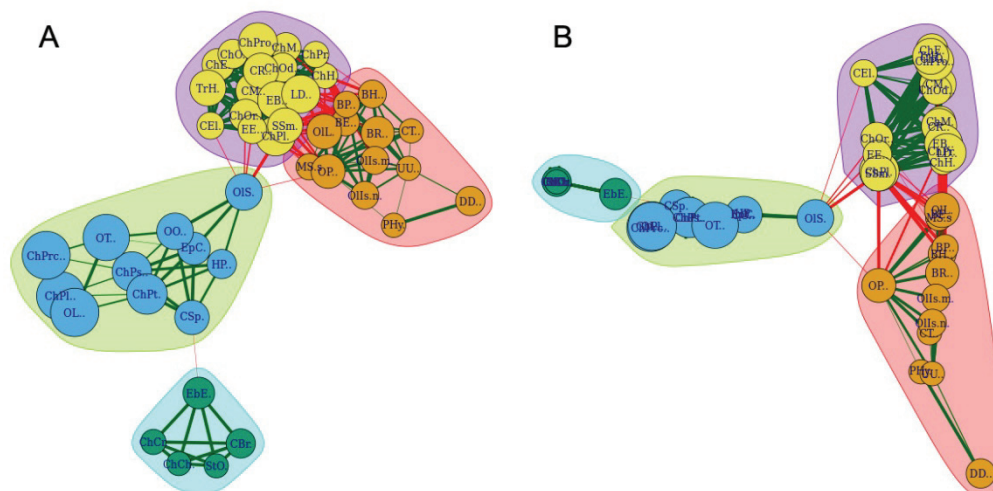
АНАЛИЗ АССОЦИИРОВАННОСТИ ВИДОВ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СООБЩЕСТВАХ

Селезнев Д.Г.

*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок,
dmitriy@seleznev.name*

Важной частью анализа качественных экологических данных формата «виды-пробы» является определение видовых ассоциаций, обусловленных прямыми (конкуренция, хищничество, паразитизм и др.) и косвенными (общность биотопических условий, характер питания и др.) межвидовыми отношениями. Автором была разработана статистическая методика выявления положительно и отрицательно ассоциированных пар видов, основанная на дискретных гипергеометрическом и биномиальном распределениях; способы визуализации списка ассоциированных пар видов при помощи неориентированных графов, предложены методы объединения ассоциированных видов на графе в группы или «сообщества», а также методы статистического анализа связности и сравнения этих групп.

Представленная методика реализована в виде web-приложения, размещенного на сервере ИБВВ РАН по адресу <http://apps.ibiw.ru/coobs> Приложение написано на языке R в среде Shiny и позволяет проанализировать бинарную матрицу встречаемости видов с использованием дискретных распределений с заданным уровнем значимости критической области или с помощью байесовского вывода. Исходная матрица может быть транспонирована для анализа ассоциаций между пробами по видовому составу. Используя паркет igraph, приложение строит неориентированный граф только по положительным (рис. А), только по отрицательным или по всем выявленным ассоциациям видов. Взаимное расположение узлов на графе определяется с помощью трех алгоритмов, одним из которых является метод многомерного шкалирования (MDS), позволяющий извлечь из графа дополнительную информацию (рис. В).



Группировка узлов графа осуществляется с помощью одного из семи алгоритмов, основанных на максимизации модулярности графа. Отдельно можно выделить алгоритм группировки Optimal community structure, добивающийся максимально возможной модулярности разбиения на группы методами целочисленного линейного программирования. Если в визуализацию включены отрицательно ассоциированные виды, задачей алгоритма группировки является максимизация отрицательных и минимизация положительных связей между группами. Ее успешно решает доработанный алгоритм Spin-glass, заимствованный из статистической механики и корректно работающий с отрицательными весами ребер, тогда как остальные алгоритмы считают их нулевыми. В приложении реализован анализ выделенных групп по плотности связей и средней силе связей на группу, включая интегральную характеристику – общую силу связности. Результаты анализа доступны для скачивания в виде текстовых CSV файлов, а также в растровом и векторном графическом формате, удобном для подготовки иллюстраций к публикации.

С использованием предложенной методики опубликовано семь работ в научных журналах из ядра РИНЦ и списка WoS. Работа выполнена в рамках государственного задания № 124032500016-4 и частично профинансирована грантом Российского научного фонда № 23-14-00128.

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЗМОВ МАКРОБЕНТОСА В УСЛОВИЯХ МЯГКИХ ГРУНТОВ ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ГУБЫ ЧУПА (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ)

Стодольская А.Н., Филиппова Н.А., Максимович Н.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
stodolskaya99@mail.ru, n.a.filippova@spbu.ru, maximovich@bio.spbu.ru*

С 1979 г. сотрудниками и студентами кафедры ихтиологии и гидробиологии СПбГУ осуществляются многолетние наблюдения литоральной зоны Белого моря. В результате были выделены закономерные черты структуры сообществ на литоральных пляжах (Филиппова, Максимович, 2015). Однако роль биотического взаимодействия в организации сообществ инфауны типичных для Кандалакшского залива Белого моря песчаных и илисто-песчаных пляжей исследованы очень мало. Идея настоящей работы заключается в попытке выявить роль фонообразующих видов в организации сообществ осушной зоны.

В основу работы легли наблюдения за структурой макробентоса на шести литоральных пляжах с мягкими грунтами в акватории губы Чупа Белого моря с 2002 по 2014 гг. Сборы макробентоса проведены в июне–июле отдельно в среднем, нижнем горизонтах литорали и в верхней сублиторали. Изучение сопряженности в распределении таксонов было проведено для видов, отмеченных в более чем 50 % проб. Всего в анализе использовано 36 таксонов. Изучение закономерностей распределения отдельных таксонов в пределах акватории было проведено с использованием кластерного анализа, корреляционного анализа и многомерного шкалирования.

Оказалось, что в изученном районе разнообразие характерных для отдельных участков видовых наборов макробентоса может быть сведено к трем вариантам, причем одна группировка была характерна для большинства рассмотренных биотопов.

Однако в целом нам не удалось четко показать, что представленные таксономические группировки являлись результатом взаимодействия донных обитателей, хотя для некоторых из них обнаружены статистически значимые

корреляционные связи показателей обилия и выявлено сходство в распределении с помощью классификационных процедур в пределах отдельных участков. В основном, показанные примеры сопряженности в распределении таксонов можно вполне отнести к случайным эффектам. Выделенные в отдельные годы на участках группы ассоциированных таксонов (кластерный анализ), как правило, были весьма неустойчивы в ряду последовательных наблюдений. Практически не выявлено сопряженности в распределении доминирующих по биомассе или численности таксонов с другими представителями макробентоса. Однако на участках, где по биомассе доминировали морские травы, изменение в отдельные годы количества обнаруженных достоверных корреляций между таксонами, как по численности, так и по биомассе, происходило в соответствии с колебаниями биомассы *Zostera marina*. Кроме того, неоднократно были обнаружены корреляции *Zostera marina*, нитчатых водорослей и *Fucus vesiculosus* с биомассой и численностью отдельных представителей макрозообентоса. На данном этапе исследований мы полагаем, что и отмеченные нами случаи скорелированности в распределении некоторых организмов макробентоса рано рассматривать как проявления их облигатной сопряженности. Как более надежные следует рассматривать эффекты эдификации состава сообществ макрофитами *Z. marina*.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-24-00204, <https://rscf.ru/project/23-24-00204>.

ОБЩАЯ КАРИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОПУЛЯЦИЙ *CHIRONOMUS* (*CAMPTOCHIRONOMUS*) *TENTANS* F. ВОДОЕМОВ ГОРОДА КАЛИНИНГРАД

Столь Э.Э, Винокурова Н.В.

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград,
vinokurova.bfu@gmail.com

Вид *Chironomus* (*Camptochironomus*) *tentans* F., относящийся к отряду двукрылых насекомых, семейству хирономид широко распространен в Палеарктике и заселяет разнообразные водоемы.

Известно, что одним из механизмов адаптивной пластичности *C. tentans* является хромосомный инверсионный полиморфизм, который выступает в качестве инструмента адаптации вида к различным условиям среды.

Были проведены исследования геномного полиморфизма, вариабельности функционально активных участков и параметрических характеристик политенных хромосом популяций вида *C. tentans* из 4-х водоемов г. Калининграда: оз. Пеньковое, оз. Школьное, пр. Ботанического сада, пр. Мельничный.

Установлено, что кариотип *C. tentans* исследованных популяций из водоёмов Калининградской области обладает меньшей степенью хромосомной полиморфности, чем кариотипы популяций из других регионов Европы и Сибири. Число последовательностей дисков оказалось в 1,4–2,2 раза ниже.

Наибольшую степень вариабельности показал индекс компактности политенных хромосом личинок (6,0–10,1), что свидетельствовало о значительной изменчивости транскрипционной активности ряда участков хромосом среди особей исследованных популяций вида.

Максимальная функциональная активность ядрышкового организатора (NOR) была зарегистрирована у личинок с гетерозиготными инверсиями *ten B1.2* (NOR=2,97) и *ten E1.2* (NOR=2,78). Наибольшая степень различия по сравнению с гомозиготной стандартной последовательностью была зафиксирована у гетерозиготной комбинации *ten E1.2*:NOR=2,78 у *ten E1.2* и NOR=1,3–2,4 у стандартной последовательности *ten E1.1*.

Было определена обратно пропорциональная зависимость функциональной активности Колец Бальбиани (BR) от числа инверсий в кариотипе *C. tentans*.

Полученные данные позволили предположить наличие взаимосвязи между функциональной активностью участков политенных хромосом личинок и общих генотипических характеристик, которые в итоге формируют индивидуальные адаптивные реакции личинок *C. tentans*. Структурно-функциональная вариативность политенных хромосом, вероятнее всего, может служить одним из индикаторов устойчивости исследованных популяций к воздействиям среды.

Данные, полученные в ходе исследования, могут быть использованы для изучения механизмов хромосомной изменчивости, биомониторинга водных объектов с применением цитогенетических параметров, в токсикологических исследованиях, а также для исследования микроэволюционных процессов хирономид.

СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ ПЕРИФИТОНА НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СУБСТРАТАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЛУБИНЫ ЭКСПОЗИЦИИ В МЕЗОТРОФНОМ ВОДОЕМЕ

Сысова Е.А.

ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», г. Минск, sysovaelena@mail.ru

В связи с возрастающей во всем мире тенденцией загрязнения водных экосистем, и их эвтрофированием, главными задачами лимнологии на современном этапе становятся решения проблем оценки, прогноза и охраны качества воды в водоемах. Решение поставленных задач невозможно без проведения экологического мониторинга. Прикрепленный способ существования, высокое биоразнообразие и чувствительность многих организмов перифитона к загрязнениям, обладание так называемой «долгосрочной памятью» определяют широкое использование перифитона в системе биомониторинга и биоиндикации качества вод. Несмотря на накопленный значительный материал по различным аспектам исследования перифитона континентальных вод, объем этих данных не идет ни в какое сравнение с исследованиями планктона и бентоса, а их разрозненность, а иногда и противоречивость не дают адекватного представления о закономерностях функционирования перифитона и его роли в гидроэкосистемах.

Были проанализированы данные эксперимента по обрастанию искусственного субстрата (полиэтиленовая пленка) в течение месяца в мезотрофном оз. Обстерно (Беларусь) с разных глубин: 1,5 м, 3,5 м и 5 м.

В результате исследования было выявлено, что наименьшее видовое богатство оказалось на пленках, установленных на глубине 5 м, а наибольшее на 3,5 м, к 1,5 м глубине число видов сообщества также снижалось. Основу сообществ составляли виды отделов Bacillariophyta, Chlorophyta и Cyanophyta. Все обнаруженные представители отдела Cyanophyta – это виды, способные обитать как в планктоне, так и в

прикрепленном состоянии. Наиболее обильно сообщества были представлены диатомовыми водорослями (64 % на глубине 1,5 м, 69 % на глубине 3,5 м и 77 % от общего числа видов на глубине 5 м). Среди них от 55 до 60 % составляли водоросли-обрастатели, оставшуюся долю занимали виды, способные обитать как в планктоне, так и в обрастаниях. Видовое богатство зеленых водорослей резко падало с возрастанием глубины: если на 1,5 м глубине их доля составляла 28 %, то на 3,5 м они составляли 18 % от общего числа видов сообщества, а к 5 м глубине это число падало до 11 %. Это вероятнее всего связано со спецификой строения пигментов зеленых водорослей, способных улавливать свет лишь на небольших глубинах, что препятствует распространению водорослей этого отдела на значительную глубину.

Индекс флористического сходства Жаккара между сообществами перифитона на разных глубинах находился в пределах 26–47 %, что соответствует малой степени сходства сообществ и свидетельствует о различиях в развитии начальных стадий сообщества перифитона на разных глубинах. При сравнении видового богатства сообществ перифитона с сообществом фитопланктона в пелагической зоне водоема обнаружена малая степень сходства сообществ ($I=24\%$), что свидетельствует о том, что на развитие сообщества перифитона помимо фитопланктона влияние оказывает и бентосное сообщество. На это же указывает и экологическая предрасположенность видов водорослей обитать в обрастаниях или на дне (35–36 % от общего числа видов в исследуемых сообществах принадлежит видам – типичным обрастателям). В то же время, 78 % видов диатомовых водорослей, обнаруженных в фитопланктоне, были обнаружены и в сообществах перифитона, что указывает на неразрывную связь между данными сообществами.

Таким образом, основу структуры сообществ перифитона на разных глубинах составляли водоросли отдела Bacillariophyta, причем их доля увеличивалась с глубиной с 64 до 77 %. Флористическое сходство сообществ водорослей перифитона на разных глубинах мало.

ДИНАМИКА ВИДОВОГО СОСТАВА И КОЛИЧЕСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ КОРМОВОЙ БАЗЫ РЫБ ОЗ. БОЛЬШОЙ ТАРАСКУЛЬ

Таскаева К.Р.¹, Смолина Н.В.²

¹Тюменский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Тюмень, kirussa@mail.ru

²Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень

Проведены исследования видового состава, численности и биомассы зоопланктона и зообентоса озера Большой Тараскуль Тюменского района в 2015–2017 гг. Гидробиологический материал собирали в период открытой воды с целью исследования кормовой базы рыб. В 2015 г. пробы отбирали раз в 10–14 дней с июня по октябрь, в 2016 г. раз в месяц, в 2017 г. в мае и июле. Обработку проб проводили по общепринятым методикам.

В зоопланктоне было выявлено 67 таксонов различного ранга: 41 вид коловраток (Rotifera), 16 – ветвистоусых ракообразных (Cladocera) и 10 – веслоногих ракообразных (Copepoda). Постоянными составляющими видового разнообразия зоопланктона озера из коловраток были *Asplanchna girodi*, *Brachionus angularis angularis*, *B. diversicornis diversicornis*, *B. d. homoceros*, *Filinia longiseta*, *Keratella cochlearis hispida*, *K. c. tecta*.

Среди ветвистоусых рачков постоянно встречались *Alona rectangula*, *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, *Daphnia galeata*. Из редко встречающихся кладоцер выделено 7 видов – *Daphnia cucullata*, *D. hyaline*, *Graptoleberis testudinaria*, *Peracantha truncata*, *Sida crystallina*, *Simocephalus vetulus*, *Pleuroxus aduncus*. Из веслоногих рачков постоянно отмечали взрослых особей *Cyclops kolensis* и *Eudiaptomus graciloides*, а также большое количество особей науплиальных и копеподитных стадий. Бентическое сообщество было представлено 30 видами и таксонами более высокого систематического ранга. Встречались личинки и куколки двукрылых насекомых (хируномиды, мокрецы и хабориды), малощетинковые черви, пиявки, личинки стрекоз. Во всех пробах макрозообентоса присутствовали личинки Ceratopogonidae и Chironomidae. Реже других отмечались пиявки Hirudinea, представленные тремя видами - *Batrachobdella palludosa*, *Glossiphonia complanata*, *Helobdella stagnalis*. Численность зоопланктёров в 2015 г. варьировала от 147,1 до 1700,6 тыс. экз./м³ при среднем значении 444,0 тыс. экз./м³, а общая биомасса изменялась в пределах 0,765–8,201 г/м³, составляя в среднем 2,252 г/м³. В 2016 г. общая численность зоопланктона варьировала в пределах 157,9–801,4 тыс. экз./м³, средняя была равна 381,8 тыс. экз./м³. Биомасса изменялась от 1,105 до 4,859 г/м³, в среднем – 2,159 г/м³. В 2017 г. общая численность зоопланктона варьировала в пределах 470,7–1185,0 тыс. экз./м³, в среднем – 702,1 тыс. экз./м³, а биомасса соответственно от 0,917 до 6,317 г/м³, в среднем – 3,342 г/м³. За период исследований в 2015 г. общая численность донных организмов изменялась от 40 до 948 экз./м², средняя – 436,5 экз./м², а биомасса от 0,1 до 5,9 г/м², среднесезонная биомасса макрозообентоса за период с июня по октябрь составила 2,7 г/м². Количественные показатели развития макрозообентоса в 2016 г. варьировали от 408 до 968 экз./м², в среднем по сезону – 559 экз./м²; по биомассе – от 1,3 до 2,8 г/м², в среднем за сезон – 2,1 г/м². В 2017 г. численность зообентоса варьировала от 120 до 2060 экз./м², в среднем 780 экз./м², по биомассе колебания составили 0,4–16,6 г/м², средняя – 5,2 г/м².

Согласно шкале трофности С.П. Китаева (2007), по уровню развития зоопланктона водоём классифицируется как средней и выше средней кормности, по зообентосу – низкой и умеренной кормности.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКРОБЕНТОСА И МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЕГО СТРУКТУРЕ В СУБЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЕ ГУБЫ ЧУПА (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ)

Тимофеева М.А.¹, Герасимова А.В.², Филиппова Н.А.², Крапивин В.А.²,
Стодольская А.Н.², Максимович Н.В.²

¹ООО «Эко-Экспресс-Сервис», г. Санкт-Петербург, ritatim31@gmail.com

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
agerasimova64@mail.ru

Губа Чупа Белого моря представляет крупнейший эстуарий Кандалакшского залива. Особенности гидрологического режима губы позволяют рассматривать этот водоём как модельный для исследования динамики арктических эстуарных экосистем. К настоящему времени донная биота губы Чупа хорошо изучена, чему немало способствовало наличие в устьевом районе губы двух биостанций – Зоологического

института РАН и Санкт-Петербургского государственного университета. Однако комплексных исследований бентоса в данной акватории было предпринято всего два – в 1967–68 гг. лабораторией морских исследований ЗИН РАН (съемка под руководством Голикова Александра Николаевича) и в 1987–1990 гг. силами кафедры ихтиологии и гидробиологии СПбГУ. В летний период 2021–2023 гг. удалось почти полностью повторить пробоотбор девятидесятых годов в сублиторальной зоне рассматриваемой акватории (8 разрезов из 9). На сегодняшний день обработка материалов последней съемки еще не завершена. Поэтому данное сообщение посвящено лишь предварительным итогам сравнения структуры макробентоса с временным диапазоном почти в 30 лет.

В оба цикла наблюдений предметом анализа были структурные показатели макробентоса на 8 аналогичных разрезах, максимальный диапазон глубин при пробоотборе – от 3 до 40 м. Для повышения надежности сопоставления итогов обеих съемок материалы 90-х гг. были подвергнуты тщательной ревизии, прежде всего касающейся верификации списков обнаруженных таксонов, а затем вновь обработаны с использованием современного математического аппарата.

На каждой станции (разрез-глубина) оценивали: видовой состав, и для отдельных таксонов – численность, биомасса и респираторный индекс R_i (Виленкин, Виленина, 1979; Azovsky et al., 2000). Из абиотических переменных на станциях в основном учтены глубина, расстояние от кута губы, характеристики донных отложений. Сравнение станций по абиотическим и биотическим показателям проведено с помощью многомерных методов. При выделении надвидовых группировок бентоса (кластерный анализ) в качестве биотических показателей использовали стандартизированные (в долях) значения биомассы и респираторного индекса. Для оценки сопряженности в распределении абиотических переменных и характеристик макробентоса применяли тест Мантеля и процедура BEST, позволяющая выделить абиотические характеристики, лучше всего объясняющие гетерогенность распределения макробентоса в анализируемом районе. В каждом выделенном по биотическим показателям кластере оценены характеристики видового разнообразия и экологическое качество макробентоса (последнее – по морским биотическим индексам AMBI и M-AMBI).

На данном этапе исследования мы рассматриваем современное состояние макробентоса губы Чупа как близкое к долговременной норме. Гетерогенность в распределении донной биоты, выявленные наиболее значимые по отношению к ней абиотические факторы (глубина, характеристики донных отложений), характерные доминанты в надвидовых группировках – были близки не только в обоих циклах исследований, но существенно совпадали с результатами наблюдений 1967–1968 гг. (Голиков и др., 1985). Характеристики выделенных бентосных ассоциаций, в том числе и анализ их экологического качества, позволяют отнести последние к ненарушенным биосистемам. Отмеченные же незначительные изменения в структуре макробентоса при последней съемке мы склонны трактовать как имеющие характер тренда.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-24-00204, <https://rscf.ru/project/23-24-00204>.

МИКРОБНОЕ СООБЩЕСТВО ОЗЕРА СЕВАН

Тихонова И.¹, Геворгян Г.², Краснопеев А.¹, Мамян А.², Хачикян Т.², Агаян С.³,
Сорокикова Е.¹, Белых О.¹

¹Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, info@lin.irk.ru

²Научный центр зоологии и гидроэкологии Национальной академии наук, г. Ереван,
zoohec@sci.am

³НИИ биологии ЕГУ, г. Ереван, info@ysu.am

Озеро Севан – самое большое озеро Горного Кавказа, располагающееся в Армении. На данный момент бактериопланктон озера до сих пор не изучен таксономически. Нами проведено масштабное исследование состава бактериальных сообществ с помощью высокопроизводительного секвенирования ампликонов 16S ДНК. Пробы планктона отобраны на двух станциях Большого и Малого Севана в зимний, весенний, летний и осенний сезоны, отфильтрованы на поликарбонатные фильтры в количестве 1 литр, с которых выделена суммарная ДНК. По данным секвенирования, доминантами среди групп бактерий являются Actinobacteriota, Proteobacteria, Cyanobacteria, Bacteroidota, минорными, но важными филами - Planctomycetota, Bdelovibrionota, Gemmatimonadota, Мухосoccota, Firmicutes, Campylobacterota, Patescibacteria, Chloroflexi, clade SAR324, Desulfobacterota, Armatimonadota, Dependientiae, Fibrobacterota, Spirochaetota, Sumerlaeota, Elusimicrobiota, Fusobacteriota. Исходя из анализа ближайших родственников, в основном, бактерии озера Севан представлены аэробными олиготрофами, фотоавтотрофами и фотогетеротрофами, хемоорганогетеротрофами с пластичным метаболизмом, деструкторами полимеров фитопланктона и зоопланктона, а также различными метилотрофами, диазотрофами и денитрификаторами. Бактериопланктон озера отличается высоким разнообразием, за исключением летнего периода, когда происходит цветение цианобактерий. Цианобактерии являются обязательным компонентом бактериопланктона, однако пикопланктонные вегетируют зимой, весной и осенью, а нитчатые, колониальные формы – в летний сезон. Разнообразие малых групп бактериопланктона свидетельствовало о большом количестве биогеохимических циклов в озере, требующих весьма специфических групп микроорганизмов, например, хищничества среди бактерий. Наше исследование подтвердило полезность методов, основанных на высокопроизводительном секвенировании фрагментов гена 16S РНК, для оценки разнообразия и сезонной динамики бактериопланктона.

Совместные исследования поддержаны Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Армения и Российским фондом фундаментальных исследований в рамках проектов №. 18РФ-075 и 18-54-05005 Арм_а, а также с помощью средств темы госзадания ЛИН СО РАН № 0279-2021-0015.

ПЛАНКТОННЫЕ СООБЩЕСТВА ОЗЕР ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Унковская Е.Н.¹, Палагушкина О.В.², Деревенская О.Ю.², Косова М.В.^{2,3}

¹ФГБУ «Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник»,
п. Садовый, Республика Татарстан, l-unka@mail.ru

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань,
opalagushkina@mail.ru, oderevenskaya@mail.ru,

³Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики
Татарстан, г. Казань, mary.burunina96.5@yandex.ru

На территории Раифского участка Волжско-Камского заповедника и его охранной зоны расположены разнотипные озера, связанные в единую гидрологическую систему малыми реками Сумка и Сер-Булак. В долинах рек находятся проточные глубоководные озера карстово-суффозионного происхождения, около них и в «окнах» сплавин торфяных болот – бессточные озера суффозионного происхождения. Мониторинг состава пелагического планктона осуществлялся в летний период 2018–2022 гг. Отбор проб фито- и зоопланктона производился по общепринятым методикам. В настоящей статье сравниваются характеристики планктонных сообществ проточных и бессточных озер, расположенных в долине названных рек.

В составе летнего фитопланктона в каждом озере выявлено по годам от 13 до 28 таксонов водорослей рангом ниже рода. В большинстве озер преобладали зеленые (36,6–46 % от общего числа видов), диатомовые (19–33,3 %) и эвгленовые водоросли (17 %). В проточных озерах в долине р. Сумка значительную долю видов составляли цианобактерии, а в озерах, приуроченных к долине р. Сер-Булак – золотистые водоросли. Численность фитопланктона изменялась от 208 до 1987 тыс. кл. /л. и формировалась, в проточных озерах – зелеными с доминантом *Eudorina charkowiensis* (Korsch.) Pasch., диатомовые с доминантом *Aulacoseira granulata* (Ehrb.) Simons. и эвгленовыми водорослями с доминантом *Trachelomonas volvocina* Ehr. В бессточных – доминировали цианобактерии *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Breb, *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs и зеленые *Dictyosphaerium pulchellum* Wood.). Биомасса фитопланктона изменялась от 0,285 до 4,18 мг/л, и формировалась в проточных озерах – за счет динофитовых водорослей с доминантами *Peridinium cinctum* (Müll.) Ehrb. и *Peridinium aciculiferum* Lemm., в бессточных – за счет эвгленовых водорослей с доминантами *Trachelomonas volvocina* Ehr. и *Trachelomonas lacustris* Drezerp.

В составе летнего пелагического зоопланктона в каждом озере выявлено по годам от 24 до 32 видов, из них коловраток 54–58 %, ветвистоусых ракообразных – 25–32 %, веслоногих – 13–16 %. Численность зоопланктона в проточных озерах составляла 18,5–689,0 тыс. экз./м³, из групп зоопланктона преобладали ветвистоусые ракообразные с доминированием *Daphnia cucullata* G.O. Sars, 1862 или науплиальной стадии *Nauplia*, в субдоминантах выступали коловратки. В бессточных – численность изменялась от 60,7 до 668 тыс. экз./м³, и формировалась коловратками с доминированием *Keratella cochlearis*, (Gosse, 1851), *Asplanchna priodonta*, Gosse, 1850. Биомасса зоопланктона в проточных озерах составляла 0,029–7,86 г/м³, в бессточных – 0,10–3,64 г/м³. Из групп зоопланктона по биомассе преобладали как ветвистоусые ракообразные, так и копеподитные стадии веслоногих рачков, в бессточных озерах часто доминировали коловратки. Доминанты изменялись в течение всего периода исследований независимо от типа озер.

ФАКТОРЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗООПЛАНКТОНА ПО ПРОДОЛЬНОМУ ПРОФИЛЮ РЕКИ ОБИ

Феттер Г.В.^{1,2}, Ермолаева Н.И.¹

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Новосибирск

²Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, gleb_fetter@mail.ru

Река Обь является одним из самых крупных водотоков в России и в мире. Длина Оби – 3650 км, площадь водосборного бассейна – 2 990 000 км². Обь протекает по территории Западной Сибири, пересекая природные зоны степи, лесостепи, тайги и тундры. Единственная ГЭС находится в верхнем течении реки, в районе города Новосибирска. Исследование таких крупных рек имеет ряд серьёзных трудностей, связанных в первую очередь с большой протяжённостью реки и высокой степенью гетерогенности экосистемы. Целью данной работы был анализ закономерностей продольного распределения зоопланктона реки Оби.

Исследования были проведены в 2021 г. на участке реки от плотины Новосибирской ГЭС (688 км от истока) до пос. Перегребное (2800 км от истока). Всего в видовом составе зоопланктона на этом участке выявлено 113 видов: 56 видов Rotifera (49,6 %), 37 видов Cladocera (32,7 %), и 20 видов Copepoda (17,7 %). Среди Rotifera на всех участках реки отмечены *Polyarthra dolichoptera*, *P. major*, *P. remata*, *Asplanchna herricki*, *A. priodonta*, *Brachionus angularis*, *B. calyciflorus*, *Keratella cochlearis*. Из ветвистоусых постоянным компонентом планктона являются представители р. Bosmina, при этом вдоль по течению реки вид *B. longirostris* s.lato постепенно замещается видом *B. coregoni*. Также в состав зоопланктонного сообщества на всём исследованном участке Оби входят *Ceriodaphnia quadrangula*, *Chydorus sphaericus* s.str, *Daphnia longispina*. Из Copepoda в планктоне постоянно присутствовали только *Megacyclops viridis* и *Mesocyclops leuckarti*. При этом долевое соотношение даже «каркасных» видов в сообществе значительно меняется на различных участках реки в зависимости от внешних факторов. Доминируют по численности на всех участках коловратки.

Все исследованные нами створы распределились в пространстве факторов среды по видовой структуре зоопланктона, разбивая исследованный участок реки на четыре принципиально различных отрезка: от плотины ГЭС до устья р. Томь, от устья р. Томь до устья р. Васюган, от устья р. Васюган до устья р. Иртыш и ниже устья Иртыша, по сути, отражая различия формирования водных масс в различных природных зонах. Максимальные показатели численности зоопланктона оказались приурочены к таёжной зоне. Вплоть до створа Дубровино (773 км от истока) наблюдается достаточно низкая численность зоопланктона, во многом обусловленная влиянием ГЭС и антропогенным прессом городской агломерации Новосибирска. Снижение численных показателей наблюдаются и севернее 60°с.ш.

Наибольшую зависимость от внешних факторов показали коловратки, которые продемонстрировали чувствительность к изменениям pH, концентрации хлорофилла, соединений азота и фосфора, уровню БПК₅, к содержанию растворенного углекислого газа и к ряду других факторов. На продольное распределение зоопланктона в русле Оби существенное влияние оказывают крупные боковые притоки, которые осуществляют перестройку сообщества, а также действие широтного фактора, приводящего к последовательному замещению ряда родственных таксонов друг другом.

ВЕСЕННИЙ ЗООПЛАНКТОН И ЗООБЕНТОС В РАЙОНЕ О. КИЖИ В ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ

Фомина Ю.Ю., Сидорова А.И.

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН,
г. Петрозаводск, rambler7780@rambler.ru

Гидробиологический режим в районе о. Кижы формируется под влиянием особых экологических условий, которые определяются ландшафтными особенностями района, резко отличающимися его от других участков озера. Развитие биоты происходит здесь в условиях быстро прогреваемого мелководья, часто с хорошо развитой высшей водной растительностью, слабого водообмена с открытыми участками озера, а также значительной антропогенной нагрузкой. Указанные предпосылки предопределяют формирование зоопланктонных и бентосных сообществ с индивидуальными характеристиками, сложившимися в процессе естественного лимногенеза. С целью оценки современного состояния весеннего зоопланктона и макрозообентоса в районе о. Кижы Онежского озера были проведены исследования акватории в мае 2023 г.

Доминантный комплекс зоопланктона района Кижских шхер Онежского озера составляли широко распространенные в Онежском озере и других крупных озерах Карелии представители северной фауны, а также ряд эвритопных организмов, отличающихся широкой экологической валентностью. В состав доминантов входили *Eudiaptomus gracilis*, *Eurytemora lacustris* (Poppe, 1887), *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857), *Thermocyclops oithonoides*, *Daphnia cristata* Sars, 1862, *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879), виды родов *Polyarthra*, *Asplanchna*, *Conochilus*, *Synchaeta*. Для зоопланктонного сообщества района отмечено высокое видовое разнообразие. Так, индекс Шеннона-Уивера в среднем по численности составил 3,62, по биомассе – 2,75.

Структура зоопланктона района Кижских шхер схожа по станциям, наименьшую долю составляли Calanoida (5–10 % по численности и 4–11 % по биомассе), наибольшую роль в сообществе играли Cyclopoida и Rotifera. Доля циклопов достигала 52 % по численности и 51 % по биомассе, коловраток – 47 и 51 % соответственно. Количественные показатели на станциях в районе о. Кижы варьировали от 29,6 до 108,9 тыс. экз./м³ по численности и от 0,67 до 2,22 г/м³ по биомассе.

Результаты нашего исследования показали, что в исследуемом районе Онежского озера средняя численность бентоса составила $0,85 \pm 0,13$ тыс. экз./м², средняя биомасса составила $3,18 \pm 0,51$ г/м². В мае 2023 г. обнаружена 21 таксономическая единица макрозообентоса. Из них было идентифицировано 3 вида олигохет. Самыми распространенными видами малощетинковых червей стали эвритопные виды *Tubifex tubifex* и *Limnodrilus hoffmeisteri*. Из личинок хирономид в районе исследования преобладают по частоте встречаемости и биомассе эвритопный роды *Chironomus* sp. и *Procladius* sp. Двустворчатые моллюски отмечены в 50 % проб. Реликтовая амфипода *Monoporeia affinis* отмечена только на 3 станциях. Прочие представители бентоса (личинки двукрылых Ceratopogonidae, поденки, водные клещи) выявлены единично.

В целом, в доминирующем комплексе донных ценозов преобладали эврибионтные формы. По частоте встречаемости и доли в общей биомассе доминировали устойчивые к загрязнению хирономиды (*Chironomus* sp.) и малощетинковые черви (*Tubifex tubifex* и *Limnodrilus hoffmeisteri*).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №№ 23-17-20018, <https://rscf.ru/project/23-17-20018/>», проводимого совместно с органами

ФАКТОРЫ, ОБУСЛАВЛИВАЮЩИЕ СТРУКТУРУ И РАЗВИТИЕ МЕЛКОВОДНЫХ СООБЩЕСТВ ОБРАСТАНИЯ. ПРИМЕР БЕЛОГО МОРЯ

Халаман В.В.

Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург, VKhalaman@gmail.com

Исследования сообществ обрастания в Белом море были начаты Г.Б. Зевинной (1963) и носили описательный характер. Первые экспериментальные работы были выполнены в 70-х годах прошлого века на базе ББС МГУ и ББС ЗИН РАН (Перцов, 1974; Сиренко и др. 1978). В дальнейшем по техническим причинам изучение обрастаний в Белом море было локализовано на биологических стационарах. Поскольку те расположены преимущественно в Кандалакшском заливе Белого моря, то и полученные результаты, строго говоря, справедливы для этой части водоема и их экстраполяция на все Белое море не всегда правомочна. В частности, исследования, VK в Онежском заливе Белого моря (Михайлова, 2006; Yakovis et al. 2008), показали, что формирование обрастаний в этой акватории имеет свои особенности, а именно превалирование в обрастаниях водорослей, асцидий и усоногих раков. Нам удалось показать, что в Онежском заливе мидиевое обрастание, столь характерное для Кандалакшского залива, может не образовываться, по-видимому, из-за относительной малочисленности мидий в бентосе этой части Белого моря.

Таким образом, первый фактор, влияющий на формирование обрастания, – географический. Он сопряжен с гидрологическими особенностями той или иной акватории, превалирующими донными грунтами и с биотическим их населением. Гидрологические условия (скорость течений, соленость, температурный режим) можно рассматривать как отдельные факторы, каковыми они и являются. Однако в полевых условиях исследовать их влияние по отдельности сложно и не всегда возможно. Таким образом, географический фактор оказывается комплексным, включающим большое количество различных параметров среды. К сожалению, до сих пор сведения о географической изменчивости сообществ обрастания в Белом море скудны и требуют дополнительных исследований.

Второй фактор – глубина. Белое море – субарктический водоем, в котором бореальная фауна соседствует с арктической. Поэтому выше летнего термоклина доминирующими формами в обрастаниях оказываются бореальные виды, а ниже – арктические (Ошурков, 1985; Халаман, 2005).

Третий фактор – время. Поскольку формирование обрастаний идет по принципу биологической сукцессии, то на искусственных субстратах, находящихся в одних и тех же условиях, но различающихся по продолжительности экспозиции в воде, присутствуют разные комплексы организмов. При этом продолжительность сукцессии может достигать нескольких десятков лет (Ошурков, 2000; Халаман, 2005). Для молодых сообществ обрастания, формирующихся на искусственных субстратах сроком экспозиции до одного года, существенными оказываются свойства самого искусственного субстрата, которые можно объединить в четвертый фактор. Он включает в себя химизм, фактуру и цвет поверхности, ориентацию субстрата в пространстве.

Сложность и продолжительность формирования обрастания, зависимость этого процесса от многих факторов приводит к большому разнообразию сообществ обрастания и делает прогноз развития этих сообществ весьма непростой задачей. Однако решение этой проблемы имеет большое как теоретическое, так и практическое значение, поскольку позволяет понимать, как функционируют эпибентосные сообщества, а также необходимы для целей марикультуры и разработке средств защиты от обрастаний.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СООБЩЕСТВ РАКОВИННЫХ АМЕБ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДОЕМОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЯХ

**Цыганов А.Н.¹, Малышева Е.А.², Жаров А.А.³, Сапелко Т.В.⁴,
Мазей Н.Г.¹, Мазей Ю.А.¹**

¹*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва,
andrey.tsyganov@bk.ru*

²*Пензенский государственный университет, г. Пенза*

³*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва*

⁴*Институт озераедения РАН, г. Санкт-Петербург*

Раковинные амёбы являются важным компонентом бентосных сообществ пресноводных озёр, в которых они играют важную роль в детритных пищевых цепях. При этом раковинные амёбы широко используются в палеоэкологических реконструкциях благодаря высокому видовому разнообразию, выраженным экологическим предпочтениям и наличию раковинок, устойчивых к разложению. Исследования видовой структуры сообществ раковинных амёб в поверхностных озёрных отложениях необходимы для понимания функционирования озёрных экосистем и повышения точности методов палеоэкологии и биоиндикации, основанных на использовании данных организмов.

Цель данной работы – изучить видовую структуру рецентных сообществ раковинных амёб в поверхностных донных отложениях пяти пресноводных озёр Мещерской низменности (Московская область, Россия) и выявить влияние глубины отбора образцов. Результаты работы свидетельствуют о том, что видовая структура сообществ раковинных амёб изученных водоемов является типичной для пресноводных водоемов и большинство видов относятся к родам *Diffugia*, *Centropyxis*, *Arcella* и *Euglypha*. Выявлена тенденция снижения числа видов с увеличением глубины отбора образцов, особенно четко выраженная на глубинах более 20 м, тогда как максимальное число видов было обнаружено на средних глубинах (3–10 м). В глубоководных биотопах отсутствовали специфичные только для них виды раковинных амёб и преобладали эврибионтные и планктонные виды. В целом, оптимальные условия для формирования и сохранения рецентных сообществ раковинных амёб отмечаются на средних глубинах, которые могут быть рекомендованы для отбора образцов при палеоэкологических исследованиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 24-14-00065.

МАССОВОЕ РАЗВИТИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ВОДОЕМАХ РОССИИ: ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ

Шаров А.Н.

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, sharov@ibiw.ru

Загрязнение водоемов органическими и минеральными соединениями, в том числе биогенными элементами, а также глобальные климатические изменения способствуют массовому развитию микроводорослей. В умеренных масштабах рост водорослей и цианобактерий повышает биологическую продуктивность водоёмов, что связано с поступлением в водную среду продуктов жизнедеятельности водорослей: белков, свободных аминокислот, углеводов, витаминов, макро- и микроэлементов, стимулирующих развитие гидробионтов. «Цветения» ухудшают качество воды, снижают биологическую продуктивность, представляют серьёзную угрозу для жизни и здоровья людей, вызывают болезни и массовую гибель рыб, бентосных, планктонных и нейстонных беспозвоночных, а также водоплавающих птиц и млекопитающих, создают проблемы на водозаборных станциях, водохранилищах, рекреационных водоёмах. Внеклеточные и внутриклеточные цианотоксины становятся факторами экологического риска, так как многие из них обладают высокой биологической активностью, проявляя аллергенные, мутагенные, канцерогенные, антигормональные, бактерицидные и другие свойства.

В настоящее время «цветение» наблюдается во всех природно-климатических зонах Земли: в небольших и крупных реках, их эстуариях, больших и мелких озёрах, прудах и водохранилищах, опреснённых морских акваториях и морях. Об актуальности этой проблемы говорит большое число публикаций в научных и научно-практических изданиях, значительное число международных программ и договоров по исследованию процессов и возбудителей «цветения», финансируемых правительствами и фондами различных государств. Национальная программа по изучению «цветений» в России отсутствует. Также как и нет контроля содержания микроцистинов в воде. Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) была рекомендована ПДК 1 мкг/л для микроцистина-LR в питьевой воде и общее содержание микроцистинов в воде в зонах рекреации – 20 мкг/л. Доминирование цианобактерий в водоемах источниках питьевой воды требует введения дополнительных стадий очистки. Обработка воды должна включать в себя как удаление самих цианобактерий (избегая клеточного лизиса и последующего выделения токсинов), так и ранее выделившихся из клеток растворенных цианотоксинов.

Богатство видового состава планктонных водорослей и цианобактерий в водоемах России связано с морфометрическими характеристиками. Наибольшее видовое разнообразие наблюдалось в самых крупных водохранилищах. Многолетнее изменение видового состава в водохранилищах сопряжено с фазами водности. В летне-осенний период лидировали цианобактерии (64–80 % от средней биомассы). Обычно в этот период доминируют виды родов *Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Anabaena* и *Planktothrix*. Биомасса фитопланктона в июле–октябре может быть >11 мг/л, что характерно для биологического загрязнения вод. На отдельных участках и в заливах за счет нагонных явлений отмечается «гиперцветение» при биомассе фитопланктона >50 мг/л. Содержание цианотоксинов в воде исследованных водоемах России, как правило, не превышает 1 мкг/л, но в отдельных случаях наблюдались концентрации более 40 мкг/л.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ *UROCENTRUM TURBO* NITZSCH, 1827 В ВОДОЕМАХ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Яльцев Г.С.

Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина,
г. Рязань, glebyaltsev@yandex.ru

Инфузории вида *Urocentrum turbo* Nitzsch, 1827 встречаются в пресных водах в течение всего года в основном в детрите, местах обрастаний и пелагиали стоячих и медленно текущих мезосапробных вод, которые богаты растениями. К осени частота встреч обычно возрастает. Классифицируется как β -мезосапробный вид, хотя может встречаться и в α -мезосапробных метаморфозах, а также имеются единичные находки в олигосапробных водоёмах. По литературным данным способен переносить микроанаэробные условия в зоне контакта донного грунта с водой. *U. turbo* предпочитает наличие обильной растительности и/или растительных остатков. Часто встречается вместе с такими видами как *Spirostomum minus* Roux, 1901, *Trithigmostoma cucullulus* Jankowski, 1967, *Paramecium caudatum* Ehrenberg, 1833, *Coleps hirtus* Nitzsch, 1827, *Frontonia leucas* Ehrenberg, 1838 и *Urotricha furcata* Schewiakoff, 1892 (Foissner et al., 1994).

Особи обычно неплотно прикрепляются с помощью слизистой нити к субстрату. В таком состоянии они находятся на одном месте и вращаются вокруг своей оси, отфильтровывая пищевые частицы в расположенный сбоку цитостом (Янковский, 2007). Основными источниками пищи являются бактерии, диатомовые водоросли и частицы детрита. Однако представители этого вида также способны открепляться и достаточно быстро перемещаться в толще воды, продолжая вращательное движение. По литературным данным *U. turbo* обнаруживается в водах со значением pH лежащим в пределах от 5,8 до 9,2, а температурный диапазон проб воды, содержащих представителей этого вида, составляет 0–28,5 °C (Foissner et al., 1994).

Исследование распространения *U. turbo* проводили в 2022–2023 гг. в водоемах, расположенных на территории Рязанского и Клепиковского (национальный парк «Мещерский») районов Рязанской области. Всего было обследовано 18 стоячих водоемов и 3 водотока. Все образцы воды брались в береговой зоне водоёмов. Микроскопирование в основном проводилось с помощью микроскопа Микромед 2 (2–20 inf.). Водородный показатель измерялся с помощью pH метра ТЕХМЕТР ИК-02.

В Клепиковском районе на территории национального парка «Мещерский» вид зарегистрирован в августе 2023 г. только в двух озерах: Негарь и Окунёк, при этом температура воды (t) варьировала от 17 до 25 °C, при pH=5,9; также *U. turbo* отмечен в реках Посерда (pH=6,8; t=26 °C) и Пра в районе города Спас-Клепики (pH=9,1; t=25 °C) и на туристической стоянке «Красный Яр» (pH=8,3; t=26 °C). Данный вид также зарегистрирован в озере Селезнёвское в июне 2022 г. и июле 2023 г.

В Рязанском районе вид обнаружен в с. Дягилово в октябре 2023 г. в ручье Бохот и Барском пруду, а также в д. Хирино в техногенном пруду в сентябре 2022 г. (Яльцев, Трущицына, 2022) и в период с начала сентября по октябрь 2023 г., при этом наблюдался рост pH с 7,9 до 9,2 и понижение температуры воды с 20 до 6,8 °C.

В остальных обследованных водных объектах *U. turbo* отсутствовал. Полученные данные по pH среды и температуре водоемов, в которых встречался данный вид, полностью соответствуют литературным данным (Foissner et al., 1994).

СЕКЦИЯ 4. ЭКОЛОГИЯ И ЭКОФИЗИОЛОГИЯ ВОДНЫХ ОРГАНИЗМОВ

РЕПРОДУКТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АМФИПОД ВОДОЕМОВ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В БИОИНДИКАЦИИ

Березина Н.А.

Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург

Амфиподы – богатая видами группа бентосных животных, которые освоили разные экологические ниши, приспособившись к разным условиям пространства. В водоемах северо-запада России обитают виды из разных эколого-биогеографических групп. Среди них выделено шесть групп: голарктические, западно-палеарктические, североатлантические эстуарные, и эмигранты (инвазионные виды) из Байкало-Сибирского, Понто-Каспийского и Арктического регионов. Данная работа посвящена исследованию эколого-физиологических характеристик разных видов амфипод, массовых в озерах и эстуариях рек, а именно особенностям их эмбрионального развития, оценке их репродуктивного потенциала в условиях воздействия факторов природного и антропогенного характера.

Результаты показали, что амфиподы изучаемого региона характеризуются разными жизненными циклами, которые определяются, прежде всего, температурным режимом конкретного водоема. В то же время для многих видов показано снижение количества генераций в год и репродуктивного потенциала популяций по мере продвижения амфипод в широтном направлении. Индивидуальная плодовитость амфипод зависит от размеров самки. Размер размножающихся самок, средняя плодовитость и репродуктивный потенциал в популяции могут меняться не только при разных температурных условиях, но и под влиянием трофических факторов, а в некоторых случаях и из-за хищного пресса рыб. Также существенное влияние на качественные и количественные характеристики потомства амфипод оказывают антропогенное загрязнение и кислородный режим водной среды в период эмбриогенеза – наиболее чувствительного периода в жизни амфипод. Выявлено, что частота возникновения различных типов пороков развития (аббераций) эмбрионов амфипод зависит от уровня загрязнения среды обитания токсическими веществами. Так, повреждение мембран и сложные пороки развития организма (конечностей, глаз и средней кишки) были определены как специфические для воздействия определенных групп загрязняющих веществ (оловосодержащие соединения, кадмий), тогда как у самок эмбрионы с поврежденными оболочками появлялись при высоких концентрациях нефтепродуктов. Отмечено увеличение частоты эмбрионов с задержкой или остановкой развития при воздействии алкилфенолов, диклофенака и цианотоксинов. Полученные результаты способствуют разработке такого нового индикатора, как состояние эмбрионов амфипод, для оценки воздействия загрязняющих веществ на экосистемы и его внедрению в мониторинговые исследования загрязнения вод.

БИОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ ПЫЖЬЯНОВИДНЫХ СИГОВ (*COREGONUS LAVARETUS*) ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВОДОЕМОВ СИБИРИ

Василенко В.А.^{1,2}, Суханова Л.В.³, Кашинская Е.Н.^{1,2},
Жизберт Э.⁴, Соловьев М.М.^{1,2}

¹*Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск,
vadim.vasilenko.2018@inbox.ru*

²*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва*

³*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск*

⁴*Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias, San Carlos de la Rapita,
Tarragona, Spain*

Пыжьяновидные сиги населяют различные водоемы и водотоки Северной Америки и Евразии. На территории Сибири сиги обитают во всех крупных речных бассейнах (Обь, Енисей, Лена, и др.). Одной из особенностей сигов является их способность образовывать симпатрические формы/виды в озерных экосистемах. Такие формы/виды различаются по ряду морфологических признаков, срокам нереста, плодовитости, продолжительности жизни, зараженности паразитами, типам питания и некоторым другим признакам. Считается, что пищевая специализация является основной причиной диверсификации сигов в озерных экосистемах. Несмотря на многолетние исследования различных аспектов биологии сигов, влияние типов питания на функционирование пищеварительной системы остается практически неизученным. Основная цель нашей работы заключалась в определении ряда ключевых биохимических характеристик основных пищеварительных ферментов сигов из разных водоемов Сибири.

Для достижения поставленной цели нами были собраны пищеварительные тракты от сигов озера Телецкое (Республика Алтай), Баунтовская система озер, бассейна реки Селенга (Республика Бурятия), и реки Колыма (Якутия). У сигов из данных водоемов были определены кинетические характеристики, pH и температурные оптимумы ферментативной активности пепсина (желудок), трипсина, химотрипсина, амилазы и липазы (кишечник). Полученные результаты свидетельствуют о значительной вариабельности уровня активности исследуемых ферментов и относительной стабильности других исследованных характеристик пищеварительных ферментов сигов. Например, pH оптимум пепсина находился в диапазоне значений 2,0–3,0, его температурный оптимум – 30–40 °С. Для амилазы также отмечена стабильность данных параметров среди исследуемых сигов: pH оптимум – 6,5–7,5, температурный оптимум – 40–50 °С.

Биохимический анализ образцов выполнен при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-74-101-01. Метаанализ данных выполнен при поддержке Мегагранта № 075-15-2022-1134.

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВЫХ ВОЛН НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ МАССОВЫХ ВИДОВ АМФИПОД ЛИТОРАЛИ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Верещагина К.П.^{1,2}, Седова С.С.¹, Кондратьева Е.С.¹, Тимофеев М.А.¹

¹Иркутский государственный университет, г. Иркутск, k.p.vereshagina@gmail.com

²Байкальский исследовательский центр, г. Иркутск

В настоящее время все больше внимания уделяется изучению такого явления, как «тепловые волны» (“heat waves”). Основная масса исследований направлена на изучение морских и океанических систем. Однако, очень мало известно о тепловых волнах в озерах, какое влияние они могут оказать на пресноводные экосистемы и их обитателей в условиях глобального потепления климата. Тепловые волны можно охарактеризовать как периоды аномально высоких температур поверхности воды в водоеме. Озеро Байкал может служить актуальной моделью, на которой можно проследить влияние тепловых волн на способность к быстрому стресс-ответу у пресноводных организмов, их выживаемость, рост и размер.

Целью исследования являлось сравнительное изучение влияния тепловых волн на выживаемость байкальских доминантных литоральных видов амфипод *Eulimnogammarus verrucosus* (Gerstfeldt, 1858), *Eulimnogammarus cyaneus* (Dybowsky, 1874) и *Eulimnogammarus vittatus* (Dybowsky, 1874).

Половозрелые особи и молодь исследуемых видов отлавливали с помощью сачка в литорали озера Байкал, недалеко от п. Листвянка. После вылова амфипод разбирали по видам и акклиматизировали две недели в лабораторных условиях по схеме 13/15 °C ночь/день перед началом эксперимента (имитируя среднесуточные колебания температуры в июле–августе, перед началом наступления тепловой волны). Далее, разделяли на две группы: контрольную (параллельный контроль) и экспериментальную. Экспериментальную группу амфипод экспонировали в условиях тепловой волны. Тепловая волна была смоделирована на основании реальных данных мониторинга за температурным режимом в зоне литорали: ночь 16 °C, день 20 °C в течение 10 дней.

Показано, что выживаемость половозрелых особей амфипод вида *E. verrucosus* к окончанию экспозиции составляла 51,43 %, тогда как для *E. vittatus* и *E. cyaneus* отмечали 100 % выживаемость. В случае молоди данных видов, показаны противоположные результаты. Так, для молоди *E. verrucosus* выживаемость составляла 100 %, тогда как для молоди видов *E. vittatus* и *E. cyaneus* – 96,67 и 97,47 % соответственно.

E. verrucosus является холодолюбивым байкальским видом, мигрирующим на большую глубину при повышении температуры литорали. Ранее было показано (Тимофеев, 2010), что данный вид является термочувствительным по сравнению с *E. vittatus* и *E. cyaneus*, что явно подтверждается представленными данными. Развитие сценария глобального потепления и прогрева Байкала ниже зоны литорали может привести к массовой гибели холодолюбивых видов и, как следствие, нарушению баланса в экосистеме озера. Дальнейшее исследование биохимических и молекулярных параметров адаптации амфипод в условиях наступления тепловой волны поможет определить критические точки функционирования метаболизма.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда №23-74-01077, <https://rscf.ru/en/project/23-74-01077>.

МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ СИГОВ К ДЛИТЕЛЬНОМУ ТОКСИЧНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ СУБАРКТИЧЕСКОГО ОЗ. ИМАНДРА

Гашкина Н.А.

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,
г. Москва, ngashkina@gmail.com*

Проблема восстановления экосистем и реакции выживших организмов в период загрязнения на улучшение условий обитания является одной из актуальных современных проблем биогеохимии и экологии. Озерный сиг (*Coregonus lavaretus* L.) – бентофаг, он не мигрирует на большие расстояния и может использоваться как хороший локальный биоиндикатор водной среды. Озеро Имандра, в прошлом интенсивно загрязняемый тяжелыми металлами водоем, является уникальной моделью для исследования физиологических ре-адаптаций рыб к улучшению условий после снижения поступления металлов.

Продолжительное воздействие металлов в период высокой токсичности на популяцию обитающих здесь сигов сформировало у них механизмы контроля гомеостаза металлов в организме, а также компенсаторные реакции на нарушенные функции, позволяя рыбам выжить и выдерживать воздействия высоких концентраций. Доказано повышение эффективности работы антиоксидантной системы организма, как основного эволюционного механизма защиты организма. Смещение отношения S:Se в сторону увеличения у сигов из исторически загрязненной части озера указывает на преобладание селеноцистеина над селенометионином и активацию селеноферментов, в том числе антиоксидантных, что имеет решающее значение в защите как миелоидных и эритроидных клеток, так и других клеток и тканей. Притом защитный механизм сигов из исторически загрязненной части озера активно использует окислительные системы неспецифического иммунитета, тогда как защитный механизм сигов из незагрязненной части озера использует неокислительного пути адаптивного специфического иммунитета.

Защитные реакции сигов из незагрязненной части озера связаны с пролиферативными изменениями жабр (разрастание ламеллярного и филаментного эпителия), обеспечивая структурную поддержку, но ухудшая газообмен. Защитные функции жабр сигов из исторически загрязненной части озера связаны с воспалительными реакциями (включая секрецию слизи), даже если это может провоцировать развитие аневризмы. Адаптивная стратегия сигов из исторически загрязненной части озера направлена на увеличение газообмена путем снижения защитной пролиферации структуры жабр, что подтверждается их морфометрическими параметрами. Если это даже чревато структурными повреждениями, то обеспечивает увеличение функциональной поверхности и уменьшение расстояния до кровотока. Второй путь улучшения газообмена – увеличение гемоглобина в созревающих эритроцитах.

Увеличение моноцитов и макрофагов в периферической крови при снижении мелано-макрофагальных центров в почке рыб из исторически загрязненной части озера может указывать на то, что мононуклеарные фагоциты справляются с утилизацией экзогенных и эндогенных веществ. С другой стороны, повышенная аккумуляция Fe, Cu и Se может служить сигналом патологических поражений печени, таких как фиброз и некроз, то повышенная аккумуляция Zn и Co является сигналом патологических поражений почки, таких как фиброэластоз и некроз.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 22-17-00061.

ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОКАТНИКОВ ГОРБУШИ ИЗ РЕК ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКИ В 2018–2022 ГГ.

Кальченко Е.И.¹, Городовская С.Б.¹, Лозовой А.П.¹, Попков А.А.²

¹*Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Петропавловск-Камчатский,
kalchenko.e.i@kamniro.ru*

²*Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Владивосток*

Западное побережье Камчатки – один из главных районов промысла горбуши на Дальнем Востоке России. В 2018 г. объем ее вылова достиг здесь исторического максимума, хотя в отдельные годы, например, в 2022 г. фактический возврат рыб к побережью был значительно ниже ожидаемого (Бугаев и др., 2022). В связи с этим, важное внимание уделяется исследованиям влияния факторов среды на выживаемость горбуши (Марченко, 2023). Выживаемость лососей зависит от их физиологического состояния. Цель работы – оценка биохимических и гистологических показателей покатников западнокамчатской горбуши в 2018–2022 гг. в качестве индикаторов их выживаемости.

Сбор проб молоди горбуши проводили в период учетных работ по скату в нижнем течении рек Большая, Пымта и Колпакова в мае–июне 2018–2022 гг. Определяли биологические (длина, масса тела, остаток желточного мешка, пол), биохимические (содержание белков, липидов, воды, соотношение вода/белок, калорийность, состав жирных кислот) и гистологические (состояние воспроизводительной системы) показатели рыб.

В результате исследований было установлено, что начиная с 2020 г. произошло изменение качественных показателей покатников горбуши (снижение количества рыб с остатками желточного мешка и массы желточного мешка, содержания белков, липидов и мононенасыщенных жирных кислот в их теле). По нашему мнению, на эти показатели повлияло повышение температуры воды в период ската рыб в реках Западной Камчатки. Биохимический состав молоди в 2021 г. отличался от такового в остальные годы более высоким уровнем воды, но низким – белков и липидов. Это обстоятельство указывало на то, что покатники в этом году имели меньше пластических и энергетических ресурсов, необходимых для их выживания при смене пресноводной среды обитания на морскую.

Оценка степени развития воспроизводительной системы молоди западнокамчатской горбуши в 2018–2022 гг., показала, что семенники у самцов были развиты слабо и находились на начальной фазе I стадии зрелости. В яичниках самок присутствовали ооциты 1-й и 2-й ступени превителлогенеза и клетки на стадии ранней профазы мейоза – мейоциты (клетки резервного фонда). Размеры ооцитов и число клеток резервного фонда были ниже у покатников в 2021 г. Необходимо отметить, что у молоди горбуши в пресноводный период жизни происходит развитие половых клеток, в основном, за счет белков тела. Более низкое содержание белков у покатников горбуши в 2021 г. повлияло на формирование мелких ооцитов и минимальной доли клеток резервного фонда.

Температура и уровень воды в период массового ската молоди горбуши в 2021 г. были выше, чем в остальные годы.

Таким образом, анализ гидрологических условий ската и качественных показателей покатинок западнокамчатской горбуши в 2021 г., позволил сделать вывод о низкой их выживаемости при переходе в морскую среду, что подтверждается возвратом рыб в 2022 г.

СООБЩЕСТВА МНОГОКЛЕТОЧНЫХ ПАРАЗИТОВ СИМПАТРИЧЕКОЙ ПАРЫ СИГОВ *COREGONUS LAVARETUS* ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА

Колмогорова Т.В.^{1,2}, Власенко П.Г.^{1,2}, Кашинская Е.Н.^{1,2}, Соловьев М.М.^{1,2}

¹Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск,
yartak85@mail.ru

²Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва

Видовой состав и структура сообществ паразитов тесно связаны с экологическими особенностями их хозяев. Подобную связь можно наблюдать при исследовании сообществ паразитов в симпатрических пучках форм/видов хозяев. В Телецком озере обыкновенны сиг (*Coregonus lavaretus*) образует симпатрическую пару, представленную телецким сигом (*C. l. pidschian*) и сигом Правдина (*C. l. pravdinellus*). Первый из них по типу питания является бентофагом, второй – планктофагом, оба имеют значительные морфологические и экологические отличия. Целью работы является характеристика влияния пищевой специализации в симпатрической паре сигов Телецкого озера на сообщества их паразитов.

Отлов рыб проводился в северной части Телецкого озера (Республика Алтай). Паразитологическое вскрытие проводилось по методике, указанной Быховской-Павловской (1985) на базе Телецкого научного стационара ИСиЭЖ СО РАН в 2019-2023 гг. Определение видовой принадлежности паразитов проводилось на основании морфологических и молекулярных данных. Всего было осмотрено 455 рыб, из которых 275 телецких сигов и 180 сигов Правдина.

В результате исследования у сигов зарегистрировано 14 видов паразитов. Сообщества бентофага и планктофага отличались как видовым составом паразитов, так и показателями инвазии (экстенсивность и интенсивность инвазии, индекс обилия). У сига телецкого обнаружено 14 видов паразитов из 8 классов, у сига Правдина обнаружено 7 видов паразитов из 5 классов. У обоих сигов зарегистрированы 7 общих видов паразитов: *Henneguya zschokkei*, *Discocotyle sagittata*, *Triaenophorus crassus*, *Dibothriocephalus dendriticum*, *Proteocephalus* sp., *Piscicola geometra*, *Salmincola lavaretus*. Зараженность общими видами у обоих сигов различалась: экстенсивность заражения такими видами, как *H. zschokkei*, *D. sagittata*, *T. crassus*, *Proteocephalus* sp., и *S. lavaretus* больше у сига Правдина при достоверности различий между выборками (U test, $p \leq 0.05$). Сделать выводы о различиях в уровне зараженности между сигами такими видами, как *D. dendriticum* и *P. geometra* нельзя, так как их находки единичны. Также, в сообществе паразитов телецкого сига преобладают виды, реализующие свой жизненный цикл через бентос (*Cystidicola farionis* и *Phyllodistomum umblae*), планктон (*T. crassus*), и свободно расселяющиеся личиночные стадии (*Diplostomum* spp.) у сига Правдина – через планктон (*T. crassus* и *Proteocephalus* sp.) и свободно расселяющиеся личиночные стадии (*D. sagittata*). По всей видимости, видовой состав паразитов и показатели инвазии зависели в большей мере от характера питания и пространственного распределения рыбы в водоеме. Влияние этих факторов реализуется через пути заражения паразитами: особенности питания обоих сигов проявляются в наличии и степени заражения паразитами, передающимися с пищевыми объектами, а

пространственное распределение обуславливает вероятность контакта рыб с подвижными личиночными стадиями паразитов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда № 23-74-10101 (секвенирование цестод рода *Proteocephalus* из кишечника сига) и Мега-гранта № 075-15-2022-1134 (секвенирование остальных таксономических групп паразитов).

СРАВНЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА БАЙКАЛЬСКИХ ЭНДЕМИЧНЫХ ЛИТОРАЛЬНЫХ И ГЛУБОКОВОДНЫХ АМФИПОД

Кондратьева Е.С., Ржечицкий Я.А., Шатилина Ж.М., Тимофеев М.А.

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, lizzarium@gmail.com

Эволюция байкальских литоральных и сублиторальных амфипод происходила в условиях высокой прозрачности воды, что могло обеспечить их устойчивость к УФ-излучению. Напротив, у представителей глубоководной эндемичной фауны озера Байкал устойчивость к УФ-излучению должна быть снижена. Исследование проводили на представителях литорального сообщества амфипод – *Eulimnogammarus verrucosus* (Gerstfeldt, 1858) и *Eulimnogammarus cyaneus* (Dybowsky, 1874), а также представителей глубоководной фауны – *Ommatogammarus flavus* (Dybowsky, 1874) и *Ommatogammarus albinus* (Dybowsky, 1874). Амфипод экспериментальных групп подвергали воздействию УФ-излучения типов А (315–400 нм) и Б (280–315 нм) с помощью ламп с соответствующими спектральными пиками, а амфипод контрольных групп освещали аналогичными лампами с покрытием плёнками, удаляющими УФ.

Смертность амфипод через 10 суток экспонирования составила: *E. verrucosus* – 3 % в УФ-А и УФ-Б; *E. cyaneus* – 17 % в УФ-А, 2 % – УФ-Б; *O. flavus* в УФ-А – 60 %, УФ-Б – 100 %; *O. albinus* в УФ-А – 100 % через 7 суток, и через 5 суток в УФ-Б. Изменений уровня продуктов перекисного окисления липидов (диеновых, триеновых конъюгатов и оснований Шиффа) не происходило как в нейтральных липидах, так и в фосфолипидах. Показано, что у литоральных *E. verrucosus* и *E. cyaneus* в условиях воздействия УФ-А и УФ-Б не происходило изменения активности ферментов антиоксидантной системы (пероксидазы, глутатион-S-трансферазы, каталазы). Напротив, у глубоководного *O. flavus* происходило повышение активности GST на 3 и 6 сутки в УФ-А и УФ-Б. У глубоководного *O. albinus* происходило увеличение активности ПОД и КАТ на 4 сутки в УФ-Б, а также увеличение активности GST на 4 сутки как в УФ-А, так и в УФ-Б. Установлено, что у *O. albinus* в УФ-Б происходят повреждения ДНК гемоцитов, в то время как под воздействием УФ-А этого эффекта не было обнаружено. У двух других изучаемых видов – литорального *E. verrucosus* и глубоководного *O. flavus*, повреждений ДНК не было обнаружено. Показано, что базовый уровень каротиноидов у исследуемых видов снижается в порядке, согласующимся с увеличением глубины обитания изучаемых видов: *E. verrucosus* – 68 мкг/г, *E. cyaneus* – 50 мкг/г, *O. flavus* – 12 мкг/г, *O. albinus* – 4,9 мкг/г.

В ходе исследования показано, что глубоководные амфиподы *O. flavus* и *O. albinus* обладают сниженной устойчивостью к воздействию УФ, по сравнению с литоральными амфиподами *E. verrucosus* и *E. cyaneus*. Снижение устойчивости к УФ может быть связано с процессом формирования этих глубоководных видов. В ходе образования видов у амфипод менялся спектр питания, что в свою очередь отражалось на характере поступления каротиноидов, при этом снижалась и сама потребность в

адаптации к ультрафиолету, что и могло привести к редукции механизмов УФ-устойчивости.

Работа поддержана грантом Российского научного фонда № 23-14-00165.

ТЕЛОМЕРЫ КАК МАРКЕРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ ГИДРОБИОНТОВ

**Королева А.Г., Вахтеева Е.А., Волкова А.А., Суханова Л.В., Глызина О.Ю.,
Яхненко В.М., Черезова В.М., Сидорова Т.В., Елифанцев А.А., Кирильчик С.В.,
Сапожникова Ю.П.**

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, ankor-2015@yandex.ru

Гидробионты имеют свои особенности адаптации к постоянно меняющимся условиям окружающей водной среды. Маркерами успешной или не успешной приспособленности у гидробионтов служат биохимия тканей, активность ряда ферментов и генов, антиоксидантных систем, состояние мембран и других молекулярных структур. В число таких маркеров также входят теломеры, нуклеопротеиновые структуры на концах хромосом, и фермент теломеразы, который их поддерживает (Greider, 1991; Zakian, 1995). Во многих работах показано, что длина теломер реагирует на изменения внешних условий (температуры, химического состава воды, звукового ландшафта) и меняется при изменении физиологии на разных стадиях онтогенеза, в результате болезней и в ответ на стресс (de Punder et al., 2019; Monaghan et al., 2022). В первую очередь в регуляции длины теломер участвует теломераза, однако сейчас все больше появляется данных о вовлечении в регуляцию таких важных белков, как p53 (Henriques et al., 2013), mTOR (Stallone et al., 2019), BMAL1 (Park et al., 2019), RAG1 (Novoa et al., 2019), RAD21 (Idilli et al., 2020). В этой связи использование данного маркера в экологических исследованиях имеет большой потенциал, так как позволяет понимать молекулярные механизмы тех или иных воздействий.

В естественных и искусственных условиях стресс может возникнуть по разным причинам, но наибольший вклад в его развитие вносят абиотические факторы (Lushchak, 2011). На примере нескольких видов байкальских рыб (каменная широколобка, енисейский горбоносый сиг и гибриды) мы показали, что биология теломер чувствительна к шумовому воздействию и температуре (Sapozhnikova et al., 2021, 2023). Данная работа связана с изучением молекулярных и физиологических эффектов температурной акклимации сигов в эмбриогенезе и с ее влиянием на устойчивость рыб к последующему острому температурному стрессу. Было выявлено, что на стадии личинок акклимированные особи имеют пониженную теломеразную активность, но более длинные теломеры по сравнению с контролем. Температурный стресс (+12 °C) приводил к повышению активности теломеразы у акклимированных личинок, но уже не влиял на длину теломер. У шестимесячных рыб активность теломеразы в акклимированных группах практически не отличалась от контрольных, как и длина теломер, а стресс вызывал изменение этих маркеров тканеспецифично. Полученные данные позволяют говорить, во-первых, о большей резистентности акклимированных особей в условиях стресса. Во-вторых, об устойчивости адаптационных свойств с возрастом и специфическом тканевом ответе на острый температурный стресс.

Работа выполнена на базе УНУ «Экспериментальный пресноводный аквариумный комплекс байкальских гидробионтов» в ЛИИ СО РАН и финансировалась РФФИ, номер гранта 23-24-00644 (<https://rscf.ru/project/23-24-00644/>).

ДИНАМИКА АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ АОС У СМОЛТОВ ГОРБУШИ *ONCORHYNCHUS GORBUSCHA* В ХОДЕ ПОКАТНОЙ МИГРАЦИИ

Кочнева А.А., Суховская И.В.

*Институт биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск,
kochnevaalbina@gmail.com, sukhovskaya@inbox.ru*

Процесс смолтификации *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) является неотъемлемой частью жизненного цикла горбуши, от которой зависит выживание популяции (Giroux et al., 2021). Запуск процесса смолтификации связан с фотопериодом и модулируется температурой (Nisembaum et al., 2020). При переходе из пресной воды в соленую в устьевых районах смолты претерпевают значительные физиологические и морфологические изменения (Bjornsson et al., 2011), приводящие к окислительному стрессу. Важную функцию в преодолении этого стресса выполняет антиоксидантная система (АОС). Среди антиоксидантных ферментов супероксиддисмутаза (SOD), каталаза (CAT) и глутатион-S-трансфераза (GST) считаются жизненно важной первой линией защиты организма от окислительного стресса (Ighodaro, Akinloye, 2018). Проведен анализ активности этих ферментов у смолтов горбуши, выловленных в начале и в конце ската при температуре 2,5 °C и 9,1 °C соответственно. А также при выдерживании смолтов в воде с разной соленостью (морская (30 ‰), эстуарий (6 ‰), река (1 ‰)) в течение 24 и 72 часа. Активность SOD и CAT в начальной и конечной точках ската не изменялась. В то же время, активность GST уменьшалась по сравнению с начальной точкой. Вероятно, гидрохимический состав воды в верхней и нижней точках ската значительно отличается, что может быть связано как с местоположением, так и с повышением температуры воды и, как следствие, с увеличением в ней количества растворимых элементов. Последнее, вероятно, приводит к быстрому окислению GSH и, как следствие, истощению функциональных возможностей GST (Pinto et al., 2003). Снижение активности GST может быть компенсаторным (Barata et al., 2005; Ozmen et al., 2006), что согласуется с полученными нами данными о стабильной работе SOD и CAT. Смена солености привела к снижению активности SOD у рыб из морской воды по сравнению со смолтами из реки через 24 часа. Спустя 72 часа от начала эксперимента значения активности SOD у смолтов из морской воды, повышается и становится равным значениям активности SOD у смолтов, выдержанных 72 часа в реке. Активность CAT и GST не изменилась через 24 и 72 часа при перемещении смолтов горбуши из реки в эстуарий и море. Сведения о том, как фотопериод, температура и соленость воды влияют на смолтификацию, необходимы, чтобы лучше понять физиологию и биохимию рыб как в дикой природе, так и на объектах рыбоводства. Такие знания будут способствовать развитию отрасли аквакультуры, а также программ по сохранению рыбного населения.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (ЦКП КарНЦ РАН) при финансовой поддержке ГЗ КарНЦ РАН FMEN-2022-0006 (№ г.р.122032100052-8).

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПИРАЛЕВИДНЫХ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ ГЕТЕРОТРОФНОЙ ДИНОФЛАГЕЛЛЯТЫ *OXYRRHIS MARINA*

Лях А.М., Рауэн Т.В., Муханов В.С.

ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, me@antonlyakh.ru

Подвижные микроскопические организмы часто реагируют на окружающую среду путем изменения характеристик своего движения. Это позволяет использовать особенности движения в качестве индикатора состояния организма, и его реакции на внешние специфические условия. Основная цель данной работы заключалась в анализе спиралевидных движений гетеротрофной динофлагелляты *Oxyrrhis marina*, полученных в ходе изучения влияния разного типа питания на состояние динофлагеллят.

В наших экспериментах мы зафиксировали заметные изменения формы и амплитуды (диаметра) спиралевидных траекторий, расстояния между витками спиралей (длины витков) и скоростей движения особей *O. marina*. Здесь мы приводим предварительные данные о диаметрах и длинах витков спиралей и даем предварительную классификацию траекторий по этим значениям. Более полные результаты будут представлены в докладе.

Предварительный анализ показал, что у многих особей *O. marina* длина витков спиралевидных траекторий лежит в диапазоне 34–36 мкм, а диаметр витка равен 13–16 мкм. Такие характеристики траекторий мы отнесли к *стандартным*. Параллельно с этим мы зафиксировали траектории, не попадающие в стандартный диапазон. По диаметру спирали мы их разделили на *широкие* и *узкие*, а по длине витка на *вытянутые* и *сжатые*.

Среди вытянутых траекторий мы отметили две разновидности. Это широкая-вытянутая спиралевидная траектория с большой длиной витка 42–56 мкм и большим диаметром 20–33 мкм. Также мы отметили разновидность сильно узкой, но еще более вытянутой траектории с длиной витка 62–74 мкм и диаметром 5–7 мкм. В одних случаях динофлагелляты почти прямолинейно плыли по таким траекториям. В других, особи резко меняли одну разновидность траектории на другую. В третьих, широкая траектория постепенно уменьшалась по амплитуде и длине витка до стандартных размеров и менее.

Среди узких траекторий мы также отметили две разновидности. Первая – *сверхузкая-вытянутая* – с меньшим диаметром, но с чуть большей длиной витка, чем у второй *обычной узкой* разновидности. У первой траектории длина витка 21–24 мкм, диаметр 4–6 мкм; у второй, длина витка 14–17 мкм, диаметр 8–10 мкм. Мы отметили, что динофлагелляты либо просто двигались по узкой траектории, либо переключаются со стандартной траектории на узкую и наоборот.

Мы предположили несколько причин изменения характеристик траекторий *O. marina*. В первую очередь траектория менялась при приближении динофлагелляты к потенциальной жертве. Здесь динофлагеллята сначала использовала широкую хаотичную траекторию, чтобы охватить большой объем пространства и точнее выйти на жертву. После, при сближении с жертвой, динофлагеллята уменьшала как длину, так и диаметр витков траектории, что приводило либо к захвату жертвы, либо к продолжению охоты. Такая же причина возможна и при переключении со стандартной траектории на узкую. Еще одной причиной изменения траектории является встреча динофлагелляты с препятствием. Наконец характеристики траектории также могут зависеть от морфологии и размеров особей, от степени насыщенности и иных физиологических характеристик. Надеемся, что наши дальнейшие эксперименты помогут выявить причину подобных изменений.

Работа выполнена по темам ФИЦ ИнБЮМ № 023032000049-6-1.6.21 и 1023032700553-3-1.6.16;1.6.19.

АНАЛИЗ ВНУТРИВИДОВОЙ КОНКУРЕНЦИИ ГУБОК *HALICHONDRIA PANICEA* (PALLAS, 1766) (PORIFERA: DEMOSPONGIAE)

Манойлина П.А.¹, Комендантов А.Ю.¹, Шапошникова Т.Г.², Халаман В.В.¹

¹Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург, polinamanoilina@yandex.ru

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

Внутривидовая конкуренция – один из основных факторов, определяющих динамику популяции и ее размерно-возрастную структуру (Bürger et al., 2006; Liess, Foit, 2010). Конкуренция снижает скорости роста и регенерации, поскольку на конкурентные взаимодействия расходуется энергия, которая могла бы быть использована для этих первичных процессов (Singh, Thakur, 2016). Приобретение ресурсов и избегание конкурентов достигаются за счёт корректировки форм роста у модульных организмов (Franco, 1986). Размер и форма важны для модульных эпибентосных организмов, поскольку именно они определяют степень контакта с соседями и, следовательно, вероятность любого взаимодействия (Meinig, 1979).

В данной работе была исследована пространственная конкуренция между особями беломорской губки *Halichondria panicea*. В полевом эксперименте оценивали рост соседних изогенных и аллогенных фрагментов губки с изначально одинаковыми и разными размерами. Результаты экспериментов регистрировались через 3 и 13 месяцев экспозиции в морской воде. Параметры роста конкурирующих губок определяли по фотографиям с помощью программы ImageJ.

Между аллогенными особями *H. panicea* была выявлена внутривидовая конкуренция, которая выражалась в снижении относительного роста конкурирующих особей. Размер взаимодействующих особей влиял на выбор конкурентной стратегии. Губки росли наиболее интенсивно, когда их конкуренты изначально были крупнее их. При равном размере конкурентов рост губок был минимальным. Конкуренция между изогенными особями *H. panicea* была слабой или отсутствовала, а возможное слияние изогенных фрагментов увеличивало интенсивность роста и захвата субстрата губкой. Рост аллогенных и изогенных эксплантов до контакта происходит сходным образом. По-видимому, губки *H. panicea* не могут распознать генетическую природу конкурента на расстоянии.

Чтобы подтвердить выводы об отсутствии конкуренции между изогенными губками *Halichondria panicea*, мы проводили исследования зоны контакта губок методами световой и сканирующей электронной микроскопии. Для губок рода *Halichondria* реакция распознавания себя и не себя уже описана в литературе (Saito, 2013). Однако это исследование посвящено первичным процессам распознавания и отторжения, которые происходят в течение нескольких суток.

Мы на нашем материале убедились, что губки *Halichondria panicea* не только могут распознать себя и не себя, а далее слиться в один организм или в процессе аллогенного отторжения нарастить барьер между друг другом, но и поддерживать этот барьер на протяжении долгого времени, в нашем случае больше года.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПАРАЗИТОФАУНЫ РЫБ НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Морозко А.В.

Новосибирский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Новосибирск, nagayka.88@mail.ru

Формирование паразитофауны искусственных водоёмов напрямую зависит от экологических процессов, происходящих в них. В большинстве таких водоёмов это процесс эвтрофикации, однако существуют и исключения.

Новосибирское водохранилище возникло после завершения строительства плотины Новосибирской ГЭС в 1957–1959 годах. Оно, по сравнению с другими подобными водоёмами, имеет малую полезную ёмкость, что обуславливает его высокую проточность и нивелирует эвтрофикационные процессы в нём. Тем не менее, в первые годы своего образования в водохранилище прошли классические стадии формирования водохранилищ: вспышка трофности, депрессия, установление равновесия. Однако в конце 90-х – начале 200-х годов произошла инвазия чужеродного брюхоногого моллюска *Viviparus viviparus*, которая нарушила установившийся баланс.

Паразитические организмы напрямую зависят от хозяев, поэтому все экологические факторы, влияющие на численность и распространение хозяев, отражаются на жизни паразитов.

Целью работы стало проанализировать изменения, произошедшие с паразитофауной рыб в Новосибирском водохранилище, с момента его образования до сегодняшнего момента.

Всего с момента образования водоёма был зарегистрирован 52 вида различных паразитических организмов из 10 систематических групп: простейшие, моногенеи, цестоды, трематоды, нематоды, скребни, пиявки, двусторчатые моллюски, ракообразные и круглоротые. За последние годы произошло сильное обеднение видового состава паразитов. На сегодняшний момент у рыб в водоёме насчитывается всего 20 видов (простейшие – 2 вида, моногенеи – 1 вид, цестоды – 3 вида, трематоды – 9 видов, пиявки – 2 вида, ракообразные – 2 вида, круглоротые – 1 вид).

Данные изменения связаны с комплексом факторов, не только зависящих от процессов, происходящих при формировании искусственных водоёмов, но и от различных факторов, которые действуют на все живые организмы Новосибирского водохранилища: гидрологический режим, изменения климатических условий, вселение гидробионтов и антропогенная нагрузка.

PHRAGMITES AUSTRALIS В БИОТОПАХ ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ

Мосеев Д.С.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, viking029@yandex.ru

Тростник обыкновенный – *Phragmites australis* (Cav.) Trin ex Steud. вид с плюризональным широтным распространением освоивший различные пресноводные биотопы: литораль озёр, берега рек, низинные болота. Но, благодаря видоспецифичным анатомо-морфологическим приспособлениям, тростник широко распространился и на засоленных морских побережьях с выраженной аккумуляцией. На маршах Белого моря, этот вид в настоящее время получил широкое распространение от западного до восточного побережья, где встречается в устьях рек Кулой и Мгла. На морских

побережьях основным биотопом тростника обыкновенного являются солоноватые марши, где засоление грунтов не очень высокое, но они находятся под влиянием солоноватых вод приливов. В таких биотопах тростник обыкновенный образует обширные сообщества, нередко занимая почти всю площадь марша, что характерно для устьев рек Кянда и Нименьгской губы Онежского залива, вершины Унской губы, Кинжугской губы на юго-востоке Унской губы. Его сообщества сейчас занимают и почти все побережье губы Сухое Море на юго-востоке Двинского залива. Обширные ценозы образует тростник в устьях рек Онеги, Уны, на северном побережье Унской губы. На северной границе ареала обитания – в эстуариях рек Кулой и Карговка Мезенского залива ценозы тростника не столь обширны, но все же хорошо выделяются на фоне приморской растительности. Высокая соленость воды препятствует его расселению. Но по нашим данным, он хорошо переносит соленость вод до 20–23 ‰, а при более высокой солености угнетен и образуют низкорослые побеги. Тростник не является галофитом – растением, засоленных местообитаний, он относится к экологической группе растений гликофитов толерантных к засолению грунтов и воды. Стратегия избегания негативного воздействия соленых вод и засоленных грунтов объясняется хорошо развитой мощной корневой системой уходящей на глубину более 0,5 м, где грунты и вода менее соленые.

Проведенные в течение последних 10 лет исследования галофитной растительности показали, что кроме характерных солоноватых маршей, вид осваивает и другие биотопы побережья Белого моря. Так в устье Унской губы *Phragmites australis* образует сообщества на пляжах с видом приморского псаммофитона *Honckenya perloides*. Видимо, ранее являющейся здесь основным доминантом растительности. В Кинжугской губе тростник осваивает соленые марши и входит в состав сообществ с доминированием галофита *Plantago maritima*. На отдельных участках Кинжугской губы обнаружены его сообщества на средней литорали с морскими макрофитами *Zostera marina*, *Ruppia maritima*. В эстуарии р. Кулой выделены сообщества галофита *Carex subspathacea* с участием *Phragmites australis*. Причины активного освоения тростником биотопов побережья Белого моря можно связать с усилением влияния воды на берег, приносом взвешенных наносов и биогенов приливами, что может быть вызвано уменьшением ледоставного периода ввиду тенденции к потеплению климата. Но, по-видимому, освоение морских берегов тростником вполне характерное явление и является результатом смены сообществ галофитной растительности более прогрессивным экологически пластичным видом. Как и предполагалось еще 20 лет назад, согласно исследованиям галофитной растительности западного побережья Белого моря Н.В. Бабиной (2002) – *Phragmites australis* благодаря солеустойчивости может вытеснить галофитные сообщества на обширных площадях берегов.

КОМПЕНСАТОРНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ЛИПИДОВ У СМОЛТОВ ГОРБУШИ (*ONCORHYNCHUS GORBUSHA*) ПРИ ПОКАТНОЙ МИГРАЦИИ

Мурзина С.А., Манойлова Д.И., Хуртина С.Н., Провоторов Д.С.,
Воронин В.П., Немова Н.Н.

Институт биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск,
dianamanoylova90@gmail.com

Горбуша, *Oncorhynchus gorbusha* (Walbaum 1792), является наиболее экологически пластичным видом дальневосточных лососей с высокими адаптивными

возможностями, благодаря чему она успешно интегрирована в пресноводные реки Кольского полуострова в 1950–1960-х гг. (Бакштанский, 1970). Этот промысловый вид совершает массовые нерестовые миграции в нечётные годы, и малочисленные в чётные годы (Веселов и др., 2016) и у него практически отсутствует система морфологических, физиологических и поведенческих адаптаций к речным условиям обитания. В этой связи, личинки горбуши, в отличие от других видов лососевых, могут перейти в миграционное состояние сразу после выхода из нерестовых гнезд. Липидный статус, как один из интегральных показателей уровня обмена веществ, может служить биохимическим индикатором состояния молоди рыб и отражать процессы внутрипопуляционной дифференцировки, а вариации состава жирных кислот способствуют оптимальному протеканию процессов жизнедеятельности и адаптации к изменяющимся факторам среды или степени готовности к ним (например, миграции в море).

Исследовано изменение содержание общих липидов (ОЛ) и их отдельных классов, а также жирных кислот (ЖК) ОЛ у молоди горбуши в период естественного покатного ската из реки Индера в Белое море. Установлено повышение содержания фосфолипидов (ФЛ), холестерина (ХС), эфиров холестерина (ЭХС), моноацилглицеринов, восков у горбуши в период «середины» ската, при этом по завершении ската показано снижение этих показателей. Содержание ОЛ существенно понижается у смолтов к завершению ската (пресноводная экосистема), главным образом, за счет доминирующих ЭХС, что может быть обусловлено интенсивными энергетическими затратами, в том числе на процессы оогенеза. Количество триацилглицеринов (ТАГ) совместно с поступающими только с пищей 18:2(n-6), 20:4(n-6), 18:3(n-3), а также 20:3(n-3), 22:5(n-3), 22:6(n-3) ЖК снижается у рыб к середине ската и повышается у смолтов по завершению ската, что может указывать на восполнение энергетических затрат организма за счет начала питания вблизи устьевой части реки. Обнаруженная динамика липидов, преимущественно энергетических, а также ЖК в процессе покатной миграции смолтов горбуши в реке, свидетельствует в пользу наличия темпоральных группировок молоди, которая в процессе ската завершает смолтификацию. Далее, подходя к устью реки и в эстуарии, происходит окончательное «переключение» липогенеза с пресноводного типа на морской, при этом данный переход осуществляется как под контролем генетических детерминированных процессов (механизмы адаптации к солености и температуре), так и поддерживается экзогенными факторами (трофика).

Исследование проведено на базе лаборатории экологической биохимии ИБ КарНЦ РАН и с использованием научного оборудования ЦКП КарНЦ РАН. Работа выполнена в рамках государственного задания КарНЦ РАН FMEN-2022-0006.

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СТАТУС МОЛОДИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ *SALMO SALAR* L. ЗАВОДСКОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА

Немова Н.Н., Мурзина С.А., Кузнецова М.В., Ильмаст Н.В., Курицин А.

*Институт биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск,
nnnnetova@gmail.com*

Исследование влияния фотопериода и электромагнитного облучения на биохимический статус молоди атлантического лосося, выращиваемой в условиях аквакультуры, включало анализ общих липидов (ОЛ), общих фосфолипидов (ФЛ),

моноацилглицеринов (МАГ), диацилглицеринов (ДАГ), триацилглицеринов (ТАГ), эфиров холестерина (ЭХС), холестерина (ХС), свободных жирных кислот (СЖК), отдельных фосфолипидных фракций – фосфатидилхолина (ФХ), фосфатидилэтаноламина (ФЭА), фосфатидилсерина (ФС), фосфатидилинозитола (ФИ), лизофосфатидилхолина (ЛФХ), сфингомиелина (СФМ) жирных кислот (ЖК) общих липидов, активности ферментов цитохромоксидазы (ЦО), лактатдегидрогеназы (ЛДГ), 1-глицерофосфатдегидрогеназы (1-ГФДГ), глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы (Г6ФДГ), альдолазы и уровня экспрессии генов мышечных белков MyHC, MyoG, MyoD1, Myf5, MSTN в мышцах молоди, а в отдельных случаях – протеомного профиля икры и личинок и гистоморфологическую оценку состояния зрелых яйцеклеток. Икру получали от производителей лосося из реки Кереть (бассейн Белого моря), оплодотворяли и закладывали на инкубацию в контрольные и экспериментальные бассейны на Выгском рыбоводном заводе (Республика Карелия). Данные рыбоводно-ихтиологических и биохимических показателей роста и развития молоди, развитие которой проходило в условиях стандартной технологии, а также при подключении круглосуточного искусственного света LD 24:0 и облучения на стадии бластулы гелий-неоновым лазером низкой интенсивности (длина волны 632,8 нм) в оптимальном дозовом интервале (1,5·10⁻² Дж/см²), свидетельствуют о том, что исследуемые физические факторы оказывают влияние на биохимический статус икры и молоди лосося, следствием чего является повышение их массы, размеров, темпов роста, выживаемости. Эффекты воздействия исследованных физических факторов повышают адаптивные способности молоди лосося и могут отразиться на ее дальнейшем развитии, повлиять на клеточный метаболизм и, в конечном счете, - на готовность смолтов к переходу в морскую среду. Полученные экспериментальные данные дают основание предположить, что подбором оптимальных значений температуры, фотопериода и электромагнитного воздействия в ранний период развития можно добиться наилучшего роста молоди лосося, готовой к выпуску и это может способствовать снижению потерь рыбоводной продукции при искусственном воспроизводстве. При этом следует иметь в виду, что введение одного дополнительного фактора легче поддается «управлению» в условиях заводского выращивания молоди рыб, поскольку следует учитывать и умело сочетать воздействие того или иного фактора с сезонными изменениями в метаболизме и с другими причинами, возникающими в производственных условиях и влияющих на процессы роста и развития молоди.

*Работа проведена при финансовой поддержке проекта Российского научного фонда № 19-14-00081-П «Влияние физических факторов на эффективность искусственного (заводского) воспроизводства молоди атлантического лосося *Salmo salar*: физиолого-биохимическая и молекулярно-генетическая характеристика».*

БАЙКАЛЬСКАЯ НЕРПА (*PUSA SIBIRICA* GM.) НА АКВАТОРИИ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА: ЭКОЛОГИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, КАК РЕКРЕАЦИОННОГО РЕСУРСА

Овдин М.Е.^{1,2}, Петров Е.А.²

¹ФГБУ «Заповедное Подлеморье», п. Усть-Баргузин, ovdin@pdmr.ru

²Байкальский музей СО РАН, п. Листвянка, evgen-p@yandex.ru

Байкальская нерпа (*Pusa sibirica* Gm.) единственное млекопитающее, обитающее в оз. Байкал, является консументом высшего порядка, т.е. замыкает трофическую цепь

экосистемы, в которой она существует. Роль и значение байкальской нерпы столь же велики, как и научный интерес к этому эндемичному виду настоящих тюленей. Однако байкальская нерпа является и перспективным рекреационным ресурсом, востребованным уже в настоящее время.

На акватории, отнесённой или непосредственно прилегающей к Забайкальскому национальному парку, нерпа постоянно не обитает, но благодаря особенностям её экологии она значительную часть годового цикла проводит в границах парка в летне-осенний сезон. Давно известны (Сватош, 1925; Иванов, 1938), но недостаточно изучены, осенние кочёвки многочисленных байкальских нерп в мелководный Чивыркуйский залив, начиная с середины октября, когда начинается значительное охлаждение воды (Пастухов, 1993). К концу месяца в заливе образуется лёд, и численность зверей в заливе увеличивается, а как только лёд окрепнет, животные начинают выбираться на него. Вскоре на льду образуются многочисленные залёжки, насчитывающие сотни особей. В конце ноября – начале декабря звери активно покидают залив и к моменту окончательного ледостава нерп в заливе практически не остаётся (Пастухов, 1993). Указанные сроки были характерны для 70–80-х гг. прошлого века, теперь хронология событий сместилась.

Зашедшие в залив нерпы могут покидать его по своему усмотрению, скорее всего, в заливе они проводят несколько дней, после чего уходят на открытые акватории озера, что подтверждено инструментально (Петров и др., 1993). Функция осенних ледовых залёжек, скорее всего, релаксационная. Уходящие или выносимые на льдах звери из залива рассредоточиваются на акватории вдоль северо-восточного берега оз. Байкал, в том числе в 3-х км прибрежье, которое отнесено к Баргузинскому заповеднику (входит в состав ФГБУ «Заповедное Подлеморье»), однако на зимовку там почти не остаются.

В мае–июне многочисленные нерпы (измеряемые сотнями и тысячами) залегают на плавающих льдах, остатки которых чаще всего концентрируются так же вдоль северо-восточных берегов озера. Залёжки на дрейфующем льду нерпам нужны не только для релаксации. Они выполняют важнейшую функцию – являются субстратом для сезонной линьки нерп. Абсолютно все особи нерп должны ежегодно полностью менять волосяной покров и этот процесс должен проходить в воздушной среде, т.е. на твёрдом субстрате, в данном случае, на льду. Сразу после исчезновения льдов значительная часть тюленей начинают выходить на береговые лежбища. В настоящее время у них несколько функций: это релаксация, оздоровление и завершение линьки (Петров и др., 2021).

В перечисленные сезоны (осень, весна, лето) байкальская нерпа является привлекательным рекреационным ресурсом, чему способствуют пространственная и временная предсказуемость местоположения животных, относительная доступность для наблюдения, правда, в течение ограниченного периода года, и относительная терпимость к вторжению человека. Уже сейчас существует организованное посещение одного из лежбищ на Ушканьих островах. При некотором вложении средств и решении эколого-организационных вопросов, байкальская нерпа может служить объектом наблюдения, как в осенний период, так и весной среди плавающих льдов. Оба направления достаточно перспективные, правда, с чертами эксклюзивности.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПАРАЗИТАРНУЮ СИСТЕМУ «*BITHYNIA TROSCHELII* - *OPISTHORCHIS FELINEUS*»

Пономарева Н.М.¹, Орлова Т.В.^{1,2}, Юрлова Н.И.¹

¹Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск,
Rastyazhenko86@mail.ru

²Новосибирский государственный медицинский университет, г. Новосибирск

Трематода *Opisthorchis felineus* (Rivolta, 1884) кошачья двуустка – возбудитель описторхоза в России. Самый крупный в мире Обской очаг описторхоза расположен в Западной Сибири. Первым промежуточным хозяином для *O. felineus* на территории Западной Сибири служат моллюски *Bithynia troschelii* (Paasch, 1842).

Температура – один из наиболее важных факторов, влияющих на активность холонокровных животных, в том числе моллюсков *B. troschelii*. От температуры окружающей среды также зависит существование паразита на всех стадиях развития. В естественных условиях на территории юга Западной Сибири моллюски бывают активными лишь в теплый период года. Развитие *O. felineus* внутри моллюска-хозяина останавливается на время осеннее-зимней диапаузы. В связи с глобальными изменениями климата в последнее время зафиксировано повышение средней температуры приземного воздуха. Потепление на территории Западной Сибири проявляется в повышении зимних температур и, что важно отметить, в уменьшении продолжительности зимнего сезона.

В настоящем исследовании оценивалось влияние температуры среды на развитие *O. felineus* в моллюске-хозяине и был определен температурный порог, при котором наступает «спячка» (гибернация) *B. troschelii*.

Экспериментально зараженные яйцами *O. felineus* моллюски *B. troschelii* были разделены на 5 температурных групп: +18 °С, +21 °С, +24 °С, +27 °С и +30 °С. Эксперимент длился 79 дней. Зараженность моллюсков паразитами выявлялась с помощью ПЦР-диагностики. При изучении гибернации моллюсков *B. troschelii* была установлена первоначальная температура воды +20 °С, и каждые последующие сутки ее снижали на 1 °С до тех пор, пока все моллюски впади в гибернацию.

Доля *B. troschelii* заразившихся *O. felineus* в различных температурных режимах варьировала от 30 до 45 %. Максимальная зараженность моллюсков трематодой *O. felineus* зарегистрирована при температуре воды в +27 °С. Исследование показало слабую положительную связь ($r=0,2$) зараженности моллюсков с температурой воды. Порог температуры на юге Западной Сибири, при которой наблюдалась полная гибернация *B. troschelii* +10 °С. Становясь неактивными при наступлении температуры +10 °С, моллюски не могут потреблять яйца описторхид и, следовательно, не заражаются.

Наши результаты предоставляют дополнительную информацию о влиянии температуры среды на развитие печеночного сосальщика *O. felineus* в моллюске-хозяине, что важно для понимания паразито-хозяинных отношений в условиях глобального изменения климата на юге Западной Сибири.

Исследование поддержано Программой фундаментальных научных исследований (ФНИ) государственной академии наук на 2021–2025 гг., проект №122011800141-7 и грантом РФФИ № 215470101 е-Азия Климат.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТРАНСКРИПТОМИКА КАК КЛЮЧ К ПОНИМАНИЮ АДАПТАЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ СИГОВЫХ РЫБ К ТЕМПЕРАТУРНОМУ СТРЕССУ

Сапожникова Ю.П., Сидорова Т.В., Потапов С.А., Суханова Л.В.,
Епифанцев А.А., Вахтеева Е.А., Толстикова Л.И., Яхненко В.М.,
Глызина О.Ю., Черезова В.М., Королева А.Г.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, jsap@mail.ru

Независимо от изменений климата, искусственно выращиваемые виды сиговых рыб могут подвергаться температурному стрессу из-за неблагоприятных условий содержания (Korytár et al., 2016). Всесторонний обзор исследований показывает, что тепловой стресс нарушает регуляцию многих генов (Manzon et al., 2022). Тем не менее, сложная и пока малоизученная природа терморегуляции сиговых рыб затрудняет определение физиологического статуса на основе диагностических маркерных генов.

Настоящее исследование направлено на сравнение физиологического воздействия острого и хронического температурного стресса, дифференциальной экспрессии генов у молоди из естественной и искусственной сред, а также эффектов предварительной адаптации молоди. В качестве объектов исследования рассматриваются ключевые виды сиговых рыб, перспективные для аквакультуры в Байкальском регионе: байкальский омуль (*Coregonus migratorius*), байкальский сиг (*C. baicalensis*) и пелядь (*C. peled*). В данной работе мы описываем транскрипционный профиль после воздействия разных температур на одномесечную молодь указанных видов рыб: 9–12 °С в контроле, 21–24 °С при остром и хроническом стрессе, а также у предварительно адаптированных на стадии икры особей. Исследована дифференциальная экспрессия следующих генов: 1) гены, отвечающие за передачу сигнала, активирующего реакцию на стресс (HSPB-11, HSP-30, HSP-40, HSP-47, HSP-70, HSP-90, TRIM16, CRYGD, CRYBA2, C/EBPs); 2) группа генов, ответственных за реакцию на уровень кислорода и факторы роста (MyHC, HbE, HBB, Plumieribetin, SULT4A1); 3) гены, ответственные за регуляцию реакции на стресс (CK, ARFs, DDT, MtCK, FGF-acidic); 4) группа генов, ответственных за регуляцию иммунного ответа (TnI, Myosin VI, Myosin VII, HBA, P450s, LDB3); 5) гены, участвующие в поддержании гомеостаза (RHCG, PRDX2, ATP1B, PPIB, CA, LDH).

Показано повышение экспрессии генов HSP в ответ на острый стресс вне зависимости от предварительной адаптации. Уровень экспрессии генов, ответственных за реакцию на уровень кислорода, факторы роста и иммунный ответ, был выше у особей, предварительно прошедших адаптацию. Гены, ответственные за регуляцию реакции на стресс, напротив, понижали активность у адаптированных особей. Гены, участвующие в поддержании гомеостаза, отличались по уровню экспрессии у особей из естественной и искусственной сред. В качестве наиболее перспективных для дальнейших исследований температурного стресса могут рассматриваться гены HSP-47, HSP-70, HSP-90, MyHC, HbE, HBB, CK, CRYGD и CRYBA2. Исследование показывает, что температурная адаптация на ранней стадии развития повышает последующую стрессоустойчивость молоди сиговых рыб и повышает иммунный ответ, вероятно, за счет эффекта гормезиса. Кроме того, информация о транскрипционных профилях будет способствовать дальнейшему пониманию механизмов адаптации сиговых рыб к окружающей среде.

Работа выполнена на базе УНУ ПАК в ЛИН СО РАН и финансировалась Российским научным фондом, номер гранта 23-24-00644 (<https://rscf.ru/project/23-24-00644/>).

НЕРЕСТОВОЕ ПОВЕДЕНИЕ НЕЛЬМЫ *STENODUS LEUCICHTHYS NELMA*

Семенченко С.М., Смешливая Н.В., Пospelова Е.С.

Тюменский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Тюмень

Нерестовое поведение нельмы ранее не было описано. Комплекс наблюдений за нерестом этого вида проведён на садковом хозяйстве на оз. Волково (Тобольский район) в октябре 2021–2023 гг. при отработке экологического метода сбора икры. В опытах использовали производителей нельмы из популяции р. Северной Сосьвы (Обской бассейн), выращенных в условиях хозяйства. Половозрелых рыб обоих полов отсаживали в устройство для сбора икры экологическим методом садкового типа (Семенченко, Дзюменко, 2006) с габаритами 7,0×7,0×5,5 м, объёмом 184 м³, где происходил их нерест. Возраст нельмы в разные годы колебался от 4+ до 6+, средняя масса самок – 2,07–2,15 кг; самцов – 1,57–1,95 кг. Количество отсаженных в устройство производителей в разных опытах составляло 740–950 экз. при соотношении полов – 1,0:1,0 – 1,0:1,7. Икру в нерестовый период ежедневно откачивали и оценивали её количество объёмным способом. Видеосъёмку нереста осуществляли стационарной камерой Ritmix IPC-270с с инфракрасной подсветкой с последующим анализом файлов.

По трём годам наблюдений нерест нельмы отмечали с 12 по 28 октября на фоне понижающейся температуры воды от 7,8 до 3,3 °С. Продолжительность нерестового периода каждого года составляла 7–8 сут. В течение нерестового периода нерест происходил ежесуточно в вечерне-ночное время с дневными перерывами. Нерест начинался через 10–30 мин после захода солнца. Его интенсивность быстро нарастала в течение первого часа, затем она периодически колебалась обычно с тремя основными пиками. По наблюдениям 2021 г. максимальная интенсивность нереста (до 13 актов/мин) обычно приходилась на первый пик в интервале 18 ч 20 мин – 19 ч 30 мин. В первых двух третях нерестового периода нерест завершался к 6 ч утра за 1 ч до восхода, в конце периода – на 2–4 ч раньше. Общая продолжительность суточной нерестовой активности изменялась от 14 до 9 ч. В период массового сбора икры за сутки регистрировали от 2,2 до 4,0 тыс. нерестовых актов. Нерест нельмы, как и у других сиговых, в основном парный. Акты, в которых к нерестящейся паре присоединялся второй самец, составили всего 2,6 % из 2,5 тыс. просмотренных. Индивидуальный цикл нерестовой активности нельмы включает фазы «ухаживания», собственно нерестового акта и «покоя». Цикл многократно повторяется в течение ночи. Нерестовый акт протекает у поверхности воды и заключается в ритмичном соударении тел параллельно двигающихся рыб с синхронным выделением половых продуктов. В нерестящейся паре самец смещен вперед по отношению к самке приблизительно на длину головы. Самец изгибом хвостового стебля ритмично ударяет в заднюю часть брюшка самки со средней частотой 6,5±0,3 Гц. Преобладающий тип нерестового акта нельмы – горизонтальный (около 80 %), при котором основной вектор движения пары направлен вдоль поверхности воды (Semchenko, Smeshlivaya, 2021). По результатам анализа видеосъёмки 34 актов (2023 г.) длина нерестового трека пары в среднем составляла 2,5±0,2 м (с колебаниями от 1,1 до 6,7 м); продолжительность акта – 3,7±0,2 с; скорость движения пары – 0,7±0,1 м/с. По расчётам за нерестовый акт самка

вымётывает в среднем 1,5 тыс. икринок. Соотношение этой величины с абсолютной плодовитостью (52 тыс. шт. в 2021 г.) позволяет оценить кратность участия самки в нересте – около 35 актов за сезон. В отличие от других сиговых рыб, нельма не потребляет собственную икру. Нерестовое поведение нельмы обеспечивает широкое распределение (рассеивание) икры по площади нерестилища, что снижает вероятность её обнаружения хищниками и потенциально повышает выживаемость зародышей.

ТРИГГЕРЫ И ДРАЙВЕРЫ «КРАСНЫХ ПРИЛИВОВ» ДИНОФЛАГЕЛЛЯТ

Скарлато С.О.

Институт цитологии РАН, г. Санкт-Петербург, sergei.skarlato@mail.ru

Вредоносные цветения планктонных водорослей существенно снижают качество воды в морских прибрежных акваториях, нанося катастрофический ущерб флоре, фауне, рыболовству, аквакультуре, здоровью и хозяйственной деятельности человека. В последнее время эти проблемы осложнились в связи с неуклонно возрастающей антропогенной нагрузкой на водную среду и радикальными изменениями климата в планетарном масштабе. Жгутиконосцы-динофлагелляты – одна из основных групп морского фитопланктона, многие представители которой способны формировать мощные цветения («красные приливы») в прибрежных зонах морей. Значительное число видов этих протистов синтезируют вторичные метаболиты, в том числе опасные для человека и морских животных токсины (сакситоксины, бrevetоксины и др.). Результаты новейших исследований позволили установить многие причины, сочетание которых действует как триггер формирования «красных приливов» динофлагеллят. Сравнительно недавно стало понятно, что геномные, транскриптомные, протеомные и физиологические особенности организации клеток самих динофлагеллят могут выступать в качестве важнейших драйверов их массовых цветений. Клетки динофлагеллят уникальны во многих отношениях. Прежде всего, это относится к организации ядра (динокариона) и генетического аппарата этих протистов. Для клеток динофлагеллят характерно очень высокое содержание ДНК: 3–250 пг ДНК, что соответствует 3000–215 000 млн. п. осн., которые упакованы в 4–325 хромосом. При этом ДНК содержит уникальные модификации азотистых оснований. Хромосомы остаются конденсированными (в полукристаллическом состоянии) на протяжении всего клеточного цикла и содержат в 10 раз меньше хромосомных белков, чем обычно. Основным структурным белком хроматина являются так называемые гистоноподобные белки (HLPs) и диновиральные нуклеопротеины (DVNPs). Классические гистоны экспрессируются в незначительном количестве, нуклеосомы отсутствуют, а ядерная оболочка сохраняется в митозе. Размер недавно собранного гаплоидного генома у модельного вида *Prorocentrum cordatum* (штамм CCMP 1329) составляет 4150 млн. п. осн. Протеомный анализ выявил 4052 белка, из них 39 % с невыявленными функциями (418 обеспечивают ядерные функции, 531 размещены около ядра). Среди этой группы ядерных белков с пока не известными функциями следует в первую очередь искать гены, отвечающие за массовые всплески численности, регуляцию фаз жизненного цикла (в т.ч. образование покоящихся форм – цист) и производство опасных вторичных метаболитов. Специальное внимание продолжает уделяться изучению разнообразия способов питания у динофлагеллят, прежде всего миксотрофии. Способность клеток плавать со скоростью 200–500 мкм/с отличает динофлагеллят от подавляющего большинства других микроорганизмов

фитопланктона. Получен большой объем знаний о разнообразии и назначении ионных каналов, которые играют ключевую роль практически во всех функциях динофлагеллят. Новые представления о триггерах и драйверах «красных приливов» позволяют лучше понять сложные взаимодействия в водных экосистемах и обеспечить прогресс в области концептуального и математического моделирования этих явлений.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-14-00056).

О ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ ИКРЫ СИГОВЫХ РЫБ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Смешливая Н.В., Семенченко С.М., Поспелова Е.С.

Тюменский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Тюмень, n.smeshlivaya@gosrc.vniro.ru

Промерзание нерестилищ является одной из основных причин гибели икры сиговых рыб (Мишарин, 1953; Стариков, 1953; Богданов, 2007 и др.). Однако ряд авторов утверждает, что сиговые выработали адаптацию к длительному существованию икры при слабоотрицательной температуре и эмбрионы способны успешно развиваться во льду в состоянии «пагона» (Юданов, 1939; Черняев, 1971, 1977, 2013; Богданов, 2006; Решетников, 2011). При этом убедительного экспериментального обоснования данной позиции нет.

Цель исследования – экспериментально изучить влияние отрицательных температур на выживаемость зародышей сиговых рыб в эмбриогенезе.

Опыты проводили в холодильной витрине, обеспечивающей отрицательный фон температуры воздуха на уровне -5°C . В витрине размещали контурный термостатирующий аквариум, заполненный 15 %-ным раствором сахарозы для предотвращения ледообразования. Необходимую температуру поддерживали при помощи термореле с нагревательным элементом в сочетании с активным перемешиванием раствора микрокомпрессором. В контурный аквариум устанавливали опытный аквариум, заполненный в разных сериях водой или раствором сахарозы на 3 см. Затем в опытный аквариум помещали порции икры чира *Coregonus nasus* и пеляди *C. peled* на разных этапах эмбриогенеза, рядом с которой закрепляли датчик электронного термометра.

В первой серии опытов оценивали зависимость выживания икры во льду от температуры при суточной экспозиции. Максимальная выживаемость эмбрионов (96–100 %) зафиксирована в опытах при $-0,5$ – $-0,2^{\circ}\text{C}$. В диапазоне от $-1,0$ до $-2,0^{\circ}\text{C}$ на разных стадиях развития выживало от 20 до 64 % икринок. Минимальная температура, при которой зафиксировано выживание икры, равна $-4,0^{\circ}\text{C}$. При данной температуре выжило 20 % икры пеляди и 44 % икры чира на стадии начала пульсации сердечной трубки. При температуре $-4,5^{\circ}\text{C}$ вся икра погибала. На более поздних стадиях развития икра полностью погибала при температуре $-3,0^{\circ}\text{C}$.

Во второй серии опытов определяли влияние продолжительности нахождения икры во льду при температурах максимально близких к 0°C ($-0,4\pm 0,2^{\circ}\text{C}$). Выживаемость икры чира и пеляди в опытах при экспозиции 2 и 3 сут составила 45–100 %, через 4 сут выживаемость снижалась до 15–35 %. Полная гибель икры происходила на 6–8 сут опыта, что составляет около 4 % общей продолжительности эмбриогенеза.

В третьей серии, за счет размещения икры в 7 %-ом растворе сахарозы, удавалось избежать льдообразования в опытах при температуре до $-0,5^{\circ}\text{C}$. В данных условиях в опытах с икрой пеляди при экспозиции 40 сут на этапах от бластуляции до органогенеза гибель икры не происходила. Следовательно, лёд является средой, ограничивающей продолжительность выживания икры при слабоотрицательной температуре. Вероятная причина – невозможность обеспечения кислородных потребностей зародыша при нахождении икры во льду.

Таким образом, результаты исследований не подтвердили возможность значимого по продолжительности развития икры сиговых рыб во льду при слабоотрицательных температурах, что ставит под сомнение обоснованность выделения сиговых рыб в отдельную экологическую группу пагофилов (Черняев, 2013).

ОРГАНИЗМЫ В УСЛОВИЯХ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ (БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ)

Солдатов А.А., Рычкова В.Н., Кухарева Т.А., Головина И.В.,
Богданович Ю.В., Шалагина Н.Е., Кохан А.С.

ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей
им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, alekssoldatov@yandex.ru

Нарушение баланса между окислением органического вещества и поступлением кислорода приводит к формированию в водной толще устойчивых во времени редокс-зон с высоким содержанием сероводорода (СВ). К подобным акваториям можно отнести ряд норвежских фиордов, впадину Карьяко, Черное море и др. СВ токсичен для большинства организмов, использующих аэробный тип дыхания. Это определяется его способностью ингибировать цитохром-с-оксидазу, переводить гемсодержащие белки в сульф-форму, подавлять экспрессию транскрипционного фактора, индуцируемого гипоксией (hypoxic inducible factor, HIF). При этом многие организмы проявляют выраженную устойчивость к присутствию СВ в воде, природа которой до конца не понятна. Обсуждается участие сульфидоокисляющей микрофлоры, поселяющейся на респираторных поверхностях, и ее участие в нейтрализации сероводородной нагрузки, способность ряда организмов переводить сульфиды в тиосульфаты. В ряде работ отмечается присутствие в гемолимфе моллюсков особого транспортного белка, наличие нечувствительных к сероводороду гемоглобинов, а также присутствие в эритроцитах ряда видов особых зернистых включений, содержащих гематин, способных окислять сульфиды.

Объектом настоящего исследования является двустворчатый моллюск-вселенец *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906). В условиях эксперимента исследовали сочетанное действие аноксии и СВ на особенности течения метаболических процессов в тканях и состояние клеточных систем (гемоциты) у данного вида. Контрольная группа моллюсков содержалась в воде с концентрацией O_2 7,0–7,1 мг л⁻¹. Экспериментальная группа подвергалась действию СВ. В воде, где находились моллюски, растворяли Na_2S до финальной концентрации 6 мг S^{2-} л⁻¹. Предварительно из воды удаляли O_2 . Это достигалось путем барботажа ее газообразным азотом. Экспозиция – 72 ч. Показано, что СВ не оказывал значимого влияние на аденилатную систему тканей моллюска. Это выражалось в сохранении пула аденилатов, величины заряда Аткинсона и поддержании на сравнительно высоком уровне фракции АТФ. При

этом отмечали ряд адаптивных перестроек со стороны тканевых оксиредуктаз: рост активности СДГ, подавление активности ЛДГ при сохранении высокоэффективной МДГ. Действие СВ вызывало изменение и функционального состояния клеточных систем анаэробы (эритроциты гемолимфы). Оно выражалось в увеличении мембранного потенциала митохондрий при одновременном сокращении их числа в клетках, снижении осмотической стойкости эритроцитов на фоне повышения продукции активных форм кислорода. Существенно возрастал средноклеточный объем, что определялось повышением содержания макроцитов. Происходило массовое поступление зернистых включений эритроцитов, содержащих гематин, в гемолимфу моллюска на фоне снижения их числа в эритроидных клетках, что позволяло нейтрализовать СВ. Допускается, что рассмотренная выше совокупность процессов была направлена на адаптацию моллюска к существованию в условиях высоких концентраций СВ.

Работа выполнена в рамках госзадания № 1023032700557-9-1.6.16;1.6.19.

ПАТТЕРНЫ РАЗВИТИЯ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ РЫБ В РАННЕМ ОНТОГЕНЕЗЕ

**Соловьев М.М.^{1,2}, Гусенков А.Н.¹, Василенко В.А.^{1,2},
Кашинская Е.Н.^{1,2}, Жизберт Э.³**

¹*Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск,
yarmak85@mail.ru*

²*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва*

³*Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias, San Carlos de la Rapita,
Tarragona, Spain*

Пищеварение – это сложный многоуровневый процесс, состоящий из физико-химического расщепления и абсорбции большого количества органических и неорганических веществ, поступающие в организм. Ключевую роль в этом процессе играют пищеварительные ферменты, различающиеся по многим параметрам: происхождение (поджелудочная железа, желудок, кишечник, объекты питания, симбионтная микробиота и др.), субстратная специфичность (белки, углеводы, липиды и т. д.), локализация (полость желудка и кишечника, щеточная кайма энтероцитов, внутриклеточная), зависимость от pH, активаторов, ингибиторов, и т. д. Для рыб к наиболее важным ферментам относят пепсин, трипсин, химотрипсин, амилаза, липаза, аминопептидаза, мальтаза, щелочная фосфатаза и некоторые другие, отвечающие за гидролиз пищевых субстратов как у желудочных, так и безжелудочных (за исключением пепсина) рыб. Большинство ферментов (за исключением пепсина) обнаруживаются в пищеварительной системе рыб в первые сутки после выклева и в течение онтогенеза могут демонстрировать несколько пиков активности. Несмотря на решающую роль этих ферментов в гидролизе белков, липидов и углеводов в пищеварительном тракте, остается плохо изученным вопрос сопряженного развития данных ферментов в раннем онтогенезе рыб.

Цель данной работы – провести мета-анализ изменения активности ключевых пищеварительных ферментов в раннем онтогенезе разных видов рыб.

На основании корреляционного анализа и анализа главных компонент (РСА) на примере трипсина, химотрипсина и общей активности щелочных протеаз (ОАП) нами были выделены четыре группы рыб: 1) значимая положительная корреляционная связь

($r=0,61-0,97$) между активностью химотрипсина и ОАП (28,6 % видов рыб); 2) значимая положительная корреляционная связь между активностью трипсина ($r=0,59-0,97$), химотрипсина ($r=0,78-0,97$) и ОАП (52,4 % видов рыб); 3) значимая положительная корреляционная связь ($r=0,65$) между активностью трипсина и ОАП (4,8 % видов рыб); 4) отрицательная корреляционная связь между трипсином (r от -0,38 до -0,57), химотрипсином (r от -0,22 до -0,49) и ОАП (14,3 % видов рыб). Особое значение имеет тот факт, что все виды с высокими показателями активности только химотрипсина (группа 1) и трипсина (группа 3) по сравнению с ОАП принадлежали к желудочным видам рыб с преобладанием хищных видов. Однако все виды рыб из группы 2, у которых влияние обоих ферментов (трипсина и химотрипсина) на ОАП было значительным и сходным, относились как к желудочным, так и к безжелудочным видам с разным типом питания. В группу 4, характеризующуюся отрицательной корреляционной связью между изученными протеазами, вошли только амазонские сомы (сем. Pimelodidae).

Биохимический анализ образцов выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-74-101-01. Метаанализ данных выполнен при поддержке Мегагранта № 075-15-2022-1134.

РАЗМЕР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НИШИ ОПРЕДЕЛЯЕТ ЧАСТОТУ ОПАСНЫХ ЦВЕТЕНИЙ ЦИАНОБАКТЕРИЙ И ДИНОФЛАГЕЛЛЯТ

Телеш И.В.

Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург, Irena.Telesh@zin.ru

Массовое размножение планктонных водорослей эпизодически формирует большие скопления их биомассы в поверхностных горизонтах водоемов, называемые «цветением воды». Эти вредоносные цветения часто бывают мощными и продолжительными; они способствуют эвтрофированию водоемов, оказывая негативное воздействие на водную флору и фауну. При разложении скоплений водорослей ухудшается качество природных вод, что наносит вред рыболовству и рыбоводству, аквакультуре, туризму и здоровью населения. Эти явления наиболее широко распространены в пресных водоемах, но часто происходят также и в прибрежных морских акваториях. Существует немало данных о «красных приливах» динофлагеллят и цветениях цианобактерий, однако их пока недостаточно для прогнозирования и четкого описания особенностей этих губительных явлений в солоноватых водах.

Нами была проанализирована многолетняя (1972–2016 гг.) динамика физико-химических параметров среды, состава и обилия фитопланктона, а также частоты вредоносных цветений цианобактерий и динофлагеллят в солоноватых прибрежных водах южной части Балтийского моря. Предложен оригинальный критерий для определения «цветений воды», базирующийся на статистическом анализе данных по частоте встречаемости каждого вида водорослей при различной плотности популяции. Установлено, что для понимания специфики массового размножения водорослей необходимы сведения о диапазоне их толерантности к изменению факторов внешней среды и данные о размерах видоспецифичных экологических ниш этих организмов.

В ходе исследования впервые определены экологические ниши 13 массовых видов цианобактерий и 17 видов динофлагеллят, образующих «цветения воды» в Балтике. Ниши измерены на основании данных по температуре воды, солености, pH, а

также по концентрации соединений фосфора и кремния, растворенного неорганического азота (DIN), общего азота (TN), общего фосфора (TP) и по соотношению TN/TP. Размеры экологических ниш определяли методами математической статистики.

На большом массиве многолетних данных впервые проверена гипотеза о том, что цианобактерии и динофлагелляты с более широкой экологической нишей чаще достигают высокой плотности популяций, чем виды с узкой нишей. Выявлена статистически значимая ($p < 0,05$) положительная корреляция ширины соленостной ниши, фосфатной ниши и DIN-ниши с частотой встречаемости цианобактерий при их высокой концентрации (Telesh et al., 2023; <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108571>). Для динофлагеллят методом главных компонент установлено также, что DIN, TN, Chl *a* и температура воды – важнейшие параметры, определяющие их массовое размножение (Telesh et al., 2024; <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26495>).

Таким образом, впервые для цианобактерий и динофлагеллят статистически доказано, что более широкие экологические ниши гарантируют более частые вспышки численности этих планктонных прокариот и протистов в солоноватых водах. Предложена концептуальная модель связи между встречаемостью вида, шириной его экологической ниши и частотой массового размножения водорослей, приводящего к «цветению воды» в прибрежных солоноватоводных акваториях Балтийского моря.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-14-00056).

ПИЩЕВАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ СТИХЕЕВЫХ РЫБ (STICHAEIDAE) В ПРИКАМЧАТСКИХ ВОДАХ

Токранов А.М.

*Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский, tok_50@mail.ru*

Стихеевые (Stichaeidae) – одно из наиболее разнообразных в систематическом отношении в Северной Пацифике семейств донных рыб, представители которого обитают преимущественно в прибрежной зоне, и лишь отдельные виды опускаются на глубину до 400 м и более. В шельфовых водах ряда районов дальневосточных морей некоторые виды стихеевых обладают достаточно высокой численностью и биомассой, а потому играют заметную роль как кормовые организмы промысловых видов рыб и морских птиц, а также рассматриваются как потенциальные объекты прибрежного рыболовства (Токранов, 2009; Токранов, Орлов, 2016). Однако до настоящего времени сведения о питании большинства видов стихеевых довольно ограничены и фрагментарны. Обобщение материалов, собранных в период с 1986 по 2023 гг. в прикамчатских водах (проанализировано содержимое более 2,2 тыс. желудков), позволяет получить представление о пищевой специализации 6 видов стихеевых рыб (колючего *Acantholumpenus tascayi*, стреловидного *Lumpenus sagitta* и длиннорылого *Lumpenella longirostris* люмпенов, стихея Невельского *Stichaeopsis nevelskoi*, длиннопёрой мшанковой собачки *Bryozoichthys lysimus* и бурого морского петушка *Alectrias alectrolophus*), встречающихся у берегов Камчатки.

Согласно нашим данным, все 6 видов – типичные мезобентофаги, которые, за исключением обитающего в литоральной зоне бурого морского петушка и питающегося преимущественно бокоплавами (81,7 % по массе), используют в пищу в

основном многощетинковых червей (соответственно 69,2, 79,9, 87,3, 81,6 и 90,1 % по массе) (табл.).

Таблица. Основные пищевые объекты стихеевых рыб прикамчатских вод (в % по массе)

Пищевой объект	1	2	3	4	5	6
Polychaeta	69,2	79,9	87,3	81,6	90,1	6,0
Amphipoda	10,5	13,7	7,1	1,0	0,2	81,7
Прочие	20,3	6,4	5,6	17,4	9,7	12,3

1 – колючий люмпен, 2 – стреловидный люмпен, 3 – длиннорылый люмпен, 4 – стихей Невельского, 5 – длиннопёрая мшанковая собачка, 6 – бурый морской петушок

Однако каждый из них специализируется на потреблении представителей вполне определённых семейств. Если в пище более мелководных колючего и стреловидного люмпендов доминируют виды сем. Phyllodocidae и Pectinariidae, то у относительно глубоководного длиннорылого люмпена и стихея Невельского – сем. Maldanidae и Oweniidae, а длиннопёрой мшанковой собачки – сем. Sabellidae и Serpulidae. По мере роста значение многощетинковых червей в пище колючего люмпена и стихея Невельского несколько сокращается, и в рационе наиболее крупных особей первого из них заметную роль играют различные двустворчатые моллюски (17,7 %), а второго – эхиурус *Echiurus echiurus* и мелкие креветки рода *Spirontocaris* (соответственно 4,5 и 7,7 % по массе). Подобная пищевая специализация, наряду с частичным расхождением батиметрических диапазонов обитания и участков шельфа и верхней батии, на которых концентрируются эти рыбы, на наш взгляд, обеспечивает снижение пищевой конкуренции между ними и более полное использование доступных кормовых ресурсов.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛЯРНОГО ТРИГЛОПСА *TRIGLOPS NYBELINI* (COTTIDAE) МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Токранов А.М.¹, Орлов А.М.^{2,3}, Емелин П.О.⁴

¹Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский, tok_50@mail.ru

²Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, г. Москва,

³Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва,
orlov.am@ocean.ru

⁴ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва, emelin@vniro.ru

Полярный триглопс *Triglops nybelini* Jensen, 1944 – самый северный представитель рогатковых рода *Triglops*, распространенный в Арктике и прилегающей к ней северной Атлантике (Парин и др., 2014). Сведения о биологии этого редкого вида, обитающего, по литературным данным (Долгов и др., 2018) на глубинах 30–930 (обычно 200–600) м, в море Лаптевых до настоящего времени крайне ограничены (Андряшев, 1950; Орлов и др., 2020). Материалы, собранные здесь в сентябре 2019 г. во время рейса НИС «Профессор Леванидов», позволяют охарактеризовать некоторые черты его биологии.

В период траловой съёмки этот триглопс был отмечен на всей обследованной акватории на глубинах 110–752 м при температуре у дна от -1,30 до +1,38 °С. Его уловы варьировали от 1 до 30 (в среднем – 11) экз., плотность – от 20 до 653 экз./кв. км.

Результаты выполненных исследований свидетельствуют, что полярный тригlops – сравнительно мелкий, короткоцикловый вид рогатковых, который в сентябре 2019 г. в траловых уловах был представлен особями размером 66–110 (в среднем 85 ± 1) мм с массой тела 1,46–11,42 (в среднем $4,90 \pm 0,30$) г в возрасте от 2 до 6 (в среднем $4,0 \pm 0,1$) лет. Доминировали рыбы 3–5 лет (81 %) длиной 70–90 мм (30,2 %) с массой тела 2–6 г (65,1 %).

Как и у других видов этого рода, у полярного тригlopsа хорошо выражен половой диморфизм в экстерьерных признаках – окраске (пятна и полосы на теле у самцов ярче, чем у самок) и наличии у самцов урогенитальной папиллы (заметна при длине свыше 65 мм). Кроме того, у этого тригlopsа существуют значительные различия в размерах плавников у особей разного пола, три из которых (высота второго *hDII* спинного, длина грудного *IP* и брюшного *IV*) достоверны на уровне значимости $P > 0,001$.

Наряду с половым диморфизмом в экстерьерных признаках, у полярного тригlopsа он также проявляется в различных размерах половозрелых самцов и самок, максимальные значения которых в сентябре 2019 г. в море Лаптевых у первых составляли 99 мм и 7,09 г, а у вторых – 110 мм и 11,42 г. Если среди мелких экземпляров этого вида (66–80 мм) соотношение полов примерно равное, то в группе особей длиной 81–95 мм доминируют самцы, а все рыбы размером свыше 100 мм являются самками. В целом же, по нашим данным, в море Лаптевых у полярного тригlopsа самцы более чем в 1,6 раза преобладают над самками, что, возможно, обусловлено их малыми размерами и даже при плодовитости самок всего 300–600 икринок необходимостью участия в нересте более, чем одного самца.

Согласно нашим данным, основа биомассы (89 %) полярного тригlopsа в море Лаптевых формируется лишь за счет двух групп планктонных ракообразных – гиперид и эвфаузиид, концентрирующихся в придонных слоях. С увеличением размеров, пищевой спектр этого тригlopsа суживается в два раза, и из него полностью выпадают бентосные организмы (многощетинковые черви, бокоплавы, молодь креветок и др.). Главными же объектами питания становятся исключительно гипериды и эвфаузииды. Причем, если, по мере роста значение первых из них в рационе полярного тригlopsа увеличивается более, чем в два раза, то доля вторых, наоборот, сокращается почти в 7 раз.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ МЕЗОНЕФРОСА ЩУКИ И ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ЛОСОСЕОБРАЗНЫХ

Флёрова Е.А.

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль,
katarinum@mail.ru

Для изучения дивергенции тканей мезонефроса важно в сравнительно-эволюционном аспекте рассмотреть группу *Salmoniformes*, обладающую некоторыми примитивными чертами морфологии. Е. *lucius* интересен тем, что Ю.С. Решетников (2002) по ряду морфологических признаков относит данный вид к отряду *Salmoniformes*. По международной классификации вид отнесен к отряду *Esociformes*.

Была описана структура мезонефроса следующих видов рыб: *T. thymallus* (р. Унья), прибрежная морфо-экологическая группа *C. migratorius* (оз. Байкал), глубоководная морфо-экологическая группа байкальского омуля *C. migratorius*,

C. baicalensis, *C. baicalensis* × *C. pidshian*, (Большереченский рыб. завод), *C. albula* (оз. Плещеево), *E. lucius* (р. Сутка).

Лимфоциты, плазматические клетки, макрофаги, макрофагальные центры и эозинофилы не имеют каких-либо видовых особенностей в тонком строении. Особенности нейтрофилов – вытянутые гранулы с различным распределением фибрилл. Отсутствие базофилов подтверждено рядом работ других авторов. У видов байкальского комплекса лейкоциты крупнее. Количество митохондрий на срезах лейкоцитов лососеобразных ближе к морским рыбам. Размеры лейкоцитов щуки соответствуют таковым, описанным для пресноводных костистых рыб. В клетках с радиально расположенными везикулами ультраструктура везикул различна. Площадь митохондрий ионотранспортирующих клеток у видов байкальского комплекса была ближе к значениям, полученным для ионотранспортирующих клеток морской стадии *S. salar*. Тогда как площадь митохондрий щуки, европейской ряпушки и европейского хариуса соответствовала значениям, полученным для пресноводных рыб.

Почечное тельце нефронов исследованных видов имеет единый план строения. Более толстая базальная мембрана почечных телец видов байкальского комплекса, наличие у омуля мезангиальных клеток указывают на более низкую скорость клубочковой фильтрации этих видов по сравнению с пресноводными лососеобразными. В нефронах обнаружены эпителиоциты шейного отдела, эпителиоциты I и II типа проксимального канальца, эпителиоциты промежуточного канальца, эпителиоциты Ia, Ib, II типа дистального канальца. Эпителиоциты Ia типа дистального канальца, обнаруженные у байкальского омуля, описаны впервые. Ультраструктура эпителиоцитов промежуточного канальца омуля и Ib типа дистального канальца исследованных видов соответствовала таковой пресноводных костистых рыб. Ультраструктура эпителиоцитов II типа дистального канальца европейского хариуса и европейской ряпушки подобна таковой для клеток миног *L. planeri* и *L. fluviatilis*. Ультраструктурное подобие эпителиоцитов II типа дистальных канальцев с клетками нефрона миноги, а также морфологическое разнообразие клеток дистального канальца омуля, позволяет сделать вывод о сохранившихся более древних морфологических признаках у лососеобразных по сравнению с пресноводными корпообразными и окунеобразными, связанных с механизмом регуляции объема выделяемой мочи.

Для всех исследованных видов особенности ультраструктуры клеток интерстиция и нефрона характеризуют адаптационную способность клеточных структур мезонефроса поддерживать гомеостаз организма в условиях обитания, приуроченных к различным географическим зонам.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, проект № FENZ-2023-0004.

ЛИПИДНЫЙ СТАТУС ЖЕМЧУЖНИЦЫ ОБЫКНОВЕННОЙ *MARGARITIFERA* *MARGARITIFERA* ИЗ РАЗНЫХ РЕК БАССЕЙНА БЕЛОГО МОРЯ

**Хуртина С.Н., Воронин В.П., Фокина Н.Н.,
Ефремов Д.А., Иешко Е.П., Мурзина С.А.**

*Институт биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск,
pek-svetlana@mail.ru*

Обыкновенная жемчужница *Margaritifera margaritifera* – двухстворчатый моллюск, который является одним из самых долгоживущих пресноводных

беспозвоночных, населяющих в северном полушарии ручьи и реки только с низким уровнем первичной продукции и растворенной в воде извести. *M. margaritifera* находится под угрозой исчезновения, ее численность стремительно снижается во всем мире (IUCN, 2001; Красная книга России, 2021). Популяции жемчужницы из рек бассейна Белого моря остаются наиболее многочисленными (Зюганов и др., 1993; Зюганов, 2008; Вихрев, 2013), в том числе за счет большой площади нерестово-выростных участков лососевых рыб, на жабрах которых прикрепляются личинки (глохидии) этого моллюска (Махров, Болотов, 2010). Большое количество работ о жемчужнице связаны с изучением популяционной динамики ее численности, тогда как биохимические исследования на данный момент единичны (Мурзина и др., 2017а,б; Реккоева et al., 2023). В данной работе проанализирован липидный и жирнокислотный профиль мантии, ноги и пищеварительной железы *M. margaritifera* из разных биотопов бассейна р. Кемь – эстуарий р. Кемь, р. Ухта, р. Вожма и р. Тетри. Наибольшее содержание общих липидов было установлено в пищеварительной железе жемчужницы, особенно у моллюсков из реки Вожма, в которой популяция жемчужницы является одной из наиболее «старых» (особи более 100 лет). Среди липидных классов доминировали эфиры холестерина, свободные жирные кислоты, фосфолипиды, холестерин. По количественному содержанию во всех тканях преобладали 16:0, 18:0, 20:1(n-11) и 20:4(n-6) ЖК, содержание которых было выше 10-15 % суммы ЖК. Установлено, что в ноге и мантии моллюска доминировали насыщенные ЖК за счет более высокого содержания 16:0 и 18:0 ЖК, тогда как в пищеварительной железе было выше количество полиненасыщенных ЖК (ПНЖК), а именно 20:5(n-3) и 22:6(n-3) ЖК. Следует отметить, что только в пищеварительной железе было высокое содержание ПНЖК n-3 семейства, а в других тканях – n-6 семейства. Содержание 20:1(n-11), 20:4(n-6) и 20:5(n-3) ЖК было более высоким в ноге и пищеварительной железе у моллюсков из эстуария р. Кемь, что может быть вызвано влиянием соленостного режима и привносимыми с Белого моря водорослями и детритом. Полученные результаты указывают на тканеспецифичность ЖК состава жемчужницы, а также могут отражать влияние биотических (питание) и абиотических факторов мест обитания. Сравнительное исследование содержания липидов и ЖК, которые могут быть биомаркерными и индикаторными, у жемчужницы из различных водотоков может иметь значение для изучения ее физиолого-биохимического состояния. Данные могут найти применение для проведения мониторинговых исследований и быть полезны при разработке подходов для восстановления сокращающихся популяций *Margaritifera margaritifera*. Исследования проведены с использованием оборудования лаборатории экологической биохимии и ЦКП КарНЦ РАН.

Работа выполнена в рамках государственного задания КарНЦ РАН № FMEN-2022-0006, международного проекта SALMUS ENI-CBC Kolarctic.

ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕДИЦИНСКИХ ПИЯВОК ИЗ ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ И ГИРУДОКУЛЬТУРЫ

Черная Л.В., Ковальчук Л.А.

*Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург,
kovalchuk@ipae.uran.ru, Chernaya_LV@mail.ru*

Представлены результаты многолетних (2003–2023 гг.) исследований эколого-физиологических особенностей представителей двух ресурсных видов медицинских

пиявок – лечебной *Hirudo medicinalis* (Linnaeus, 1758) и аптечной *H. verbana* (Carena, 1820) из природных популяций 12 водных объектов Евразии и гирудокультуры пяти биофабрик России. Показана видовая, географическая, сезонная и возрастная специфика микроэлементного и аминокислотного спектра тканей *H. medicinalis* и *H. verbana*. Изучены закономерности накопления эссенциальных и токсичных металлов в тканях пиявок, обитающих в оптимальных и периферийных частях ареалов. Показано, что абиотические и биотические факторы оказывают существенное влияние на состояние элементного и аминокислотного спектра в тканях медицинских пиявок.

Полученные новые данные по эколого-физиологическим особенностям *H. medicinalis* и *H. verbana* легли в основу разработки практических рекомендаций и предложений по оптимизации технологии разведения и рационального использования природных ресурсов медицинских пиявок.

Определенный в ходе исследований диапазон фоновых концентраций тяжелых металлов (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Cd, Pb) в тканях медицинских пиявок различных эколого-физиологических групп, а также в донных отложениях из мест их обитания, рекомендуется использовать при организации мониторинговых мероприятий по сохранению природных популяций ресурсных видов *H. medicinalis* и *H. verbana*, а также в качестве физиологической нормы для особей-производителей в гирудокультуре.

Результаты выполненных исследований позволяют рекомендовать использование медицинских пиявок в качестве биоиндикаторов при мониторинге загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами (Cu, Fe, Ni, Cd, Pb) в различных регионах России.

Выявленные физиологические потребности особей *H. verbana* в эссенциальных макро- и микроэлементах и свободных аминокислотах на разных этапах роста и развития могут использоваться для оптимизации технологии разведения медицинских пиявок в гирудокультуре.

Для рационального использования медицинских пиявок *H. verbana* в промышленных целях как природного ресурса биологически активных соединений установлен оптимальный период голодания особей (5 месяцев), обеспечивающий высокий уровень содержания эссенциальных макро- и микроэлементов, полифункциональных свободных аминокислот и низкие концентрации экотоксикантов в тканях.

Материалы по региональным особенностям микроэлементного и аминокислотного спектра тканей медицинских пиявок *H. medicinalis* и *H. verbana*, выращенных на биофабриках России, рекомендуются к использованию в качестве критерия состояния здоровья особей в гирудокультуре, а также для целевого подбора биологически активных соединений при разработке новых гирудофармакологических препаратов.

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЛИЧИНОЧНОЙ СТАДИИ У ПЯТНИСТОГО ЛЕПТОКЛИНА *LEPTOCLINUS MACULATUS* FRIES, 1838 (STICHAEIDAE) В БЕРИНОВОМ МОРЕ

Шелехов В.А., Баланов А.А.

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

Пятнистый лептоклин *Leptoclinus maculatus* широко распространен в арктической и бореальной областях северного полушария. Личинки лептоклина

пелагические. Известно, что выклев происходит при длине *SL* менее 8 мм. Метаморфоз отмечается при длине *SL* около 70 мм. Личинки этого вида преобладают в уловах в весенне-летний период. Однако в районе о. Шпицберген они облавливаются практически круглогодично (Meyer Ottesen et al., 2011; Matarese et al., 2013). Продолжительность жизни лептоклина для прибрежных вод о. Шпицберген оценивается в 10–12 лет. При этом считается, что личинки лептоклина проводят в пелагиали до 3 лет, что существенно больше, чем у других представителей этого семейства (Meyer Ottesen et al., 2011; 2014).

Для нашей работы использованы постличинки и молодь пятнистого лептоклина, собранные в Анадырском заливе 25 июля–18 августа 2018 г. Было промерено 1568 экз. Отолиты (сагитта) отбирали у зафиксированных этиловым спиртом постличинок с длиной *TL* менее 70 мм и у замороженных особей длиной 71–155 мм (*SL* 65–141 мм) (всего 32 экз.). Дополнительно в анализе мы использовали отолиты еще 4 особей лептоклина с длиной *TL* 103–147 мм (*SL* 94–134 мм), собранных 09 сентября 2018 г. в Чукотском море из улова донного трала. Отолиты просматривали и измеряли на микроскопе Zeiss Axio Imager Z2 при 50–100 кратном увеличении. Микроприросты подсчитывали и измеряли при 800-кратном увеличении с иммерсией.

В уловах постличинок лептоклина доминировала одна размерная группа с длиной *TL* 35–65 мм (в среднем 47,4 мм) (*SL* 32–59 мм). Особи, с длиной *TL* от 89 до 153 мм (*SL* 81–139 мм), в уловах встречались единично. Это согласуется с предположением о норном образе жизни данного вида после оседания (Meyer Ottesen et al., 2014). Оседающая молодь (всего 4 экз.) имела длину *TL* в диапазоне 89–95 мм (в среднем 92,5 мм) (*SL* 81–87 мм). Особи с окраской взрослых рыб, имели длину *TL* 105 и 153 мм (*SL* 96–139 мм).

У постличинок с размерами 35,9–63,6 мм (*SL* 33,2–58,2 мм) на сагитте количество суточных микроприростов было в пределах 72–125 (в среднем 91), что говорит об их выклеве в апреле-мае (в массе в первой декаде мая). Полученные данные, совпадают с литературными о массовом появлении личинок лептоклина в планктоне именно весной (Григорьев, 1992; Matarese et al., 2013; Suzuki et al., 2015; Пеккоева и др. 2017). У особей с длиной тела 89 мм и более отмечено наличие гиалиновых зон на отолите. Наибольшее количество гиалиновых зон, семь, было обнаружено на сагитте у особей с *TL* 147 и 153 мм.

Для описания роста личинок и постличинок до оседания больше подходит уравнение Гомперца: $TL = 103,05 * \exp(-2,25658 * e^{(-0,343829 * t)})$, $R = 0,94265$, где *t* – возраст в месяцах. Расчетные размеры на момент выклева при этом около 10,8 мм (*SL* = 10,5 мм) оказались близки к наблюдаемым. Данные уравнения показывают, что рост личинок идет наиболее быстро до возраста порядка 5 месяцев (*SL* около 64 мм), то есть примерно до начала оседания (Meyer Ottesen et al. 2011).

Полученные нами данные в пользу того, что длительность пелагического периода у личинок лептоклина составляет до полугода, а не 2–3 года, как это предполагалось ранее (Meyer Ottesen et al., 2011, 2014) хорошо согласуются с данными по встречаемости личинок и постличинок данного вида на других акваториях северной Пацифики и на связанных с ней Беринговым проливом акваториях Ледовитого океана.

УТРАТИЛИ ЛИ ЭНДЕМИЧНЫЕ АМФИПОДЫ СПОСОБНОСТЬ РЕАГИРОВАТЬ НА ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СРЕДЫ В ПРОЦЕССЕ АДАПТАЦИИ К УСЛОВИЯМ БАТИАЛИ ОЗЕРА БАЙКАЛ?

Широкова Ю.А.¹, Мадьярова Е.В.¹, Мутин А.Д.¹,
Шатилина Ж.М.^{1,2}, Тимофеев М.А.^{1,2}

¹Иркутский государственный университет, г. Иркутск, yuliashirokova2501@gmail.com

²Байкальский исследовательский центр, г. Иркутск

Температура батиали озера Байкал стабильно равна ~3,5–4,0 °С, поэтому населяющие батиаль глубоководные амфиподы могли утратить способность реагировать на ее изменения. Целью исследования была оценка влияния градиентной гипо- и гипертермии на показатели энергетического метаболизма и антиоксидантной защиты у байкальских глубоководных амфипод с учётом глубины их обитания.

В качестве объектов исследования были использованы байкальские эндемичные амфиподы *Ommatogammarus flavus* (Dyb., 1874) и *O. albinus* (Dyb., 1874), диапазоны предпочитаемых глубин которых составляют 100–600 м и глубже 300 м соответственно. Амфипод *O. flavus* отлавливали с глубины 100, 150 и 300 м, *O. albinus* – с глубины 200 и 300 м на юге Байкала возле п. Большие Коты, затем акклиматизировали в течение 7 сут. при 4 °С. В ходе экспериментальной экспозиции амфипод проводили постепенное (1 °С/ч) понижение и повышение температуры среды от 4 °С. Амфипод фиксировали в жидком азоте при достижении следующих температур: 0,5, 1, 2, 4 (контроль), 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 и 22 °С, после чего проводили измерение содержания глюкозы, гликогена, аденилатов (АМФ, АДФ и АТФ), активности лактатдегидрогеназы (ЛДГ) и антиоксидантных ферментов (каталазы, пероксидазы и глутатион S-трансферазы (ГСТ)) с помощью спектрофотометра и вычисляли уровень энергии аденилатов.

Реакцию на понижение температуры среды отмечали лишь у *O. albinus*. При 1 и 0,5 °С происходило статистически значимое увеличение активности ГСТ.

При постепенном повышении температуры у *O. flavus* и *O. albinus* происходило статистически значимое повышение содержания глюкозы при 14 и 16 °С соответственно и оставалось повышенным до конца экспериментов без изменений в содержании гликогена. В случае остальных исследуемых показателей непродолжительные статистически значимые отличия от контроля были выявлены только у *O. albinus*. У данного вида при 12 °С снижалось содержание АМФ и повышался уровень энергии аденилатов, а при 20 °С происходило снижение содержания АДФ. Среди исследуемых ферментов наблюдали понижение активности ЛДГ при 10 и 16 °С и повышение активности ГСТ при достижении 18 °С.

Известно, что при стрессовом воздействии организмам требуется большее количество энергии для активации защитных механизмов, поэтому происходит увеличение содержания глюкозы. У исследуемых амфипод глюкоза могла образоваться из запасенных липидов в процессе β-окисления жирных кислот, а также в ходе глюконеогенеза. Наблюдаемое безостановочное увеличение содержания глюкозы может быть и следствием нарушения работы метаболизма из-за повреждения митохондрий при повышении температуры. Отсутствие долгосрочных изменений в активности ферментов может быть связано с замедлением метаболизма у глубоководных видов, обитающих в условиях низкой температуры и дефицита пищи.

Таким образом, в процессе эволюции у байкальских эндемичных глубоководных амфипод *O. flavus* и *O. albinus* сохранились механизмы энергетической компенсации в

ответ на повышение температуры. При этом активность механизмов антиоксидантной защиты поддерживается на стабильном уровне.

СЕКЦИЯ 5. ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ И КАЧЕСТВА ВОДНОЙ СРЕДЫ

СОДЕРЖАНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В МАКРОФИТАХ Р. ЕНИСЕЙ В ЧЕРТЕ Г. КРАСНОЯРСКА

Анищенко Ю.Д.¹, Анищенко О.В.¹, Иванова Е.А.²

¹Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, anishhenko.1996@bk.ru,
hydrakr@rambler.ru

²Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, elenivalg@mail.ru

В черте г. Красноярск расположена Абаканская протока реки Енисей. Верхняя часть протоки перекрыта дамбой; ниже дамбы в протоку отведен выпуск теплых вод от ТЭЦ-2, рядом с которым расположено садковое рыбное хозяйство. В летний период наблюдается зарастание протоки макрофитами, высшей водной растительностью (ВВР) и зеленой водорослью спирогирой, что ухудшает ее рекреационную привлекательность.

Объект исследования – макрофиты Абаканской протоки р. Енисей. Цель работы – изучить элементный состав макрофитов Абаканской протоки. В задачи входило: 1) исследовать видовой состав макрофитов протоки р. Енисей; 2) определить содержание макро- и микроэлементов (в том числе биогенных элементов и тяжелых металлов) в воде и макрофитах протоки р. Енисей.

Исследования проводили в 2018–2019 гг. на пяти станциях у берега на острове Отдыха в протоке р. Енисей. Содержание элементов в воде и растениях определяли с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) iCAP 6300-Duo (Thermo Scientific, Англия). Образцы растений минерализовали в азотной кислоте с помощью микроволновой печи «МС-6» («Вольта», Санкт-Петербург). Статистическую обработку данных проводили с помощью теста Краскела-Уоллеса с *post-hoc* анализом, а также линейного дискриминантного анализа в среде R (R development core team, 2011).

ВВР в Абаканской протоке представлена 6 видами типичных гидрофитов, широко распространенных в реке Енисей. Для сравнительного анализа были отобраны: *Elodea canadensis* Michx., *Stuckenia pectinata* (L.) Böerner, *Potamogeton perfoliatus* L., *Myriophyllum* sp., *Ceratophyllum demersum* L. и *Spirogyra* sp.

В воде ниже дамбы на участках, подверженных антропогенному воздействию, отмечено повышение минерализации, концентрации В, Ва, Са, Mg, Li, Na, Sr, Mn, Cu, К, NO₂. В нижней части протоки зарегистрированы максимальные значения содержания макро- и микроэлементов у всех исследованных видов растений. Статистически достоверное увеличение содержания Ва, Са, Sr, Cu, Zn отмечено в элодее, Са, Cu, Li, Sr, Pb – урути по сравнению с фоновым участком. Содержание элементов в спирогире значительно отличалось от такового в ВВР. Дискриминантный анализ позволил выделить три группы по содержанию элементов среди исследованных макрофитов: 1 – *Spirogyra* sp., 2 – *Elodea canadensis* и *Potamogeton perfoliatus*; 3 –

Myriophyllum sp., *Stuckenia pectinata* и *Ceratophyllum demersum*, что может определяться морфологическими и физиологическими и различиями растений.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЕТАБОЛОМА ПРЕСНОВОДНЫХ МАКРОФИТОВ КАК ИНДИКАТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ СИСТЕМ

Аникина В.В.^{1,3}, Явид Е.Я.²

¹Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Санкт-Петербург, niorh@vniro.ru

²ООО «ГЭС-Строй», г. Новый Уренгой, info@gesrv.ru

³Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН,
г. Санкт-Петербург

В процессе жизнедеятельности водные растения продуцируют и накапливают большое количество веществ, часть из которых являются биологически активными. Предметом исследования послужили низкомолекулярные органические соединения (НОС), входящие в состав метаболома нескольких видов высших водных растений, рассматриваемые как объект исследования. Для изучения изменчивости метаболома пресноводных макрофитов как индикатора экологического состояния водных систем были рассмотрены 4 пресноводных макрофита в различных биотопах. В работе обсуждаются результаты изучения изменения метаболома пресноводных макрофитов для индикации экологического состояния водных экосистем за 2014–2021 года. Рассматриваются лимнологические показатели водных экосистем, их динамика, характер фитопланктонных сообществ в исследуемых водоемах. Изучается внутривидовая и межвидовая изменчивость метаболомов пресноводных макрофитов, произрастающих, как внутри одного биотопа, так и в разных. Показаны определенные закономерности изменчивости низкомолекулярного метаболома водных макрофитов, которые могут использоваться для оценки среды обитания, и определять наличие антропогенного воздействия, действия других факторов, неблагоприятных для жизнедеятельности растений, или давать заключение о стабильности водной экосистемы в разные года. Основной исследовательский метод работы – газовая хромато-масс-спектрометрия, с помощью которой были выявлены все летучие НОС, входящие в состав метаболитических профилей водных растений. В результате качественного и количественного исследования компонентного состава водных растений было обнаружено от 71 до 173 НОС в зависимости от водного объекта и вида растения. Всего было определено 1283 НОС, из которых 110 соединений остались неидентифицированными. Суммарное содержание НОС в пересчете концентрации на сухой вес растения (мкг/г сухой массы растения) варьировало значительно и составляло от 45,01 до 4010,25 мкг/гр. сухой массы растения.

МАКРОЗООБЕНТОС КАК ИНДИКАТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДГОРНЫХ ОЗЕР АЛТАЯ

Безматерных Д.М., Вдовина О.Н.

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул,
bezmater@iwep.ru, olgazhukova1984@yandex.ru*

Методы биоиндикации качества воды и экологического состояния рек и озер имеют ряд различий, как по биотическим, так и по абиотическим компонентам.

Различия эти в основном связаны с особенностями гидрофизических и гидрохимических условий в текучих и стоячих водах (Семенченко, 2010). В методиках расчета и в рекомендациях по использованию биотических индексов должны учитываться глубина, площадь, характер биотопа и тип донных отложений озер. Решить эти проблемы может внедрение системы эталонных озер, а также использования некоторых биотических индексов для озерных экосистем. Для этого необходима стандартизация методов анализа и отбора проб зообентоса, составление баз данных донных беспозвоночных озер различных регионов мира (Solimini et al, 2006).

В 2022 г. исследовано современное состояние макрозообентоса и основные показатели водной среды и донных отложений шести предгорных озер Алтайского края: Ая (Айское), Белое, Киреево, Кокша, Колыванское и Светлое. Для всех озер характерно рекреационное или сельскохозяйственное воздействие на их водосбор. Для оценки экологического состояния озер использовали комплексный подход, включающий 9 биоиндикационных показателей. Среди них индексы, традиционно используемые в отечественных гидробиологических исследованиях и принятые в Росгидромете: количество видов в сообществе, индекс видового разнообразия по Шеннону, хирономидный индекс Балуткиной, олигохетный индекс Гуднайта и Уитлеа, определяемый по доле олигохет в численности зообентоса. Кроме того, использовали индексы, применяемые в странах ЕС, рекомендованные Водной Рамочной Директивой (Water Framework Directive – WFD): ЕТО (Ephemeroptera, Trichoptera, Odonata), Фламандский мультиметрический индекс (MMIF). Для сравнительного анализа использовали индексы, основанные на показателях численности: D/N_{ex} (доля двукрылых по отношению к общей численности организмов) и $\%N_{Ch+O}$ (суммарная доля хирономид и олигохет к общей численности макробеспозвоночных). По значениям биомассы зообентоса определяли характерный уровень трофности озер (Китаева, 2007).

По уровню биомассы зообентоса озера Ая и Киреево соответствовали олиготрофным, озера Белое и Колыванское – мезотрофным, озерах Кокша и Светлое – эвтрофным водоемам. Уровень видового разнообразия и обилия макробеспозвоночных, значения большинства биоиндикационных индексов свидетельствовали о неблагоприятных условиях для развития зообентоса в озерах с наибольшей рекреационной нагрузкой – Ая и Киреево, и благоприятных условиях в озерах, в наименьшей степени подверженных воздействию туристической – Кокша и Светлое. Согласно большинству биоиндикационных индексов, вода озер Белое и Колыванское характеризовалась как «очень чистая» и «чистая» по шкале Росгидромета. Несмотря на оказываемую антропогенную нагрузку, в этих озерах значимых последствий этого воздействия пока не выявлено, поскольку они отличаются значительно большими размерами и, соответственно, более лучшими условиями самоочищения за счет разбавляющей способности (Скорняков и др., 1997).

НЕКОТОРЫЕ АДАПТИВНЫЕ ПЕРЕСТРОЙКИ МЕТАБОЛИЗМА У ДВУХ ВИДОВ БЕЛОМОРСКИХ МОЛЛЮСКОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Высоцкая Р.У., Бахмет И.Н., Мурзина С.А.

Институт биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск

Наиболее распространенными и опасными для водных экосистем загрязняющими веществами являются нефть и нефтепродукты. Нарастание

масштабов разведки и добычи углеводородов в зоне Арктики и Субарктики, интенсификация их перевозок по Северному морскому пути повышают риски загрязнения среды данными поллютантами и нанесения ущерба уязвимой северной природе. Учитывая недостаточную изученность воздействия нефтепродуктов на морскую среду и ее обитателей, целью настоящего исследования являлось изучение реакции ферментной системы лизосом, представляющих «вторую линию защиты» от различных токсикантов, у типичных представителей беломорской биоты.

Эксперименты проведены на базе «Картеш» ЗИН РАН им. О.А. Скарлато. Объектами исследования были 2 вида моллюсков семейства Mytilidae: *Mytilus edulis* L. 1758, и *Modiolus modiolus* L. 1758, различающихся экологическими предпочтениями. Моллюсков обоих видов выдерживали в течение 1, 5 и 10 суток в трех концентрациях сырой нефти (0, 05; 0,25 и 2,5 мл/л). Соленость в ходе эксперимента поддерживали равной 25 ‰, температура воды составляла 10 °С. В жабрах и гепатопанкреасе моллюсков определяли активность 6 лизосомальных гидролаз: кислой фосфатазы, β -глюкозидазы, β -галактозидазы, β -глюкуронидазы, ДНКазы и РНКазы. Исследования продемонстрировали высокую чувствительность жабр и гепатопанкреаса моллюсков к наличию в среде нефтяного загрязнения, при этом выявлена видоспецифичность этой реакции. В жабрах мидии съедобной особенно значительно повышалась активность кислой фосфатазы, ДНКазы, β -галактозидазы и β -глюкуронидазы. В гепатопанкреасе аналогичные изменения активности этих ферментов имели меньшую величину. Это свидетельствует об активном участии лизосом в реализации специфических функций по пищеварению, иммунитету, реутилизации поврежденных структур и молекул, а также детоксикации некоторых компонентов нефти. У модиолусов (мидии конской) в жабрах также отмечено значительное повышение активности тех же ферментов, что и у мидии съедобной, но на меньшую величину. В гепатопанкреасе модиолусов активность изученных ферментов практически во всех вариантах опыта была ниже, чем в контроле. Это позволяет сделать заключение о большем адаптивном потенциале мидии съедобной, обитающей в весьма переменчивых условиях литорали и сублиторали. Адаптация к изменению одних факторов повышает резистентность их организма к воздействию других неблагоприятных факторов. Мидии конские, живущие в более постоянных условиях, такими возможностями не обладают.

Исследования выполнены при финансовой поддержке федерального бюджета РФ (государственное задание FMEN-2022-0006).

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКО- И НИЗКОНАПОРНЫХ ГЭС НА РЫБНОЕ НАСЕЛЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ

Герасимов Ю.В.

*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок
gu@ibiw.ru*

Покатные миграции являются неотъемлемой частью миграционного цикла у рыб (Павлов и др., 1999, 2007). К сожалению, рыба, мигрирующая вниз по течению зарегулированной реки, проходя через гидроагрегаты ГЭС, подвергается риску травмирования различной степени тяжести (Павлов, Нездолий, 1981, Mueller et al., 2017; Algera et al., 2020; Pleizer, et al., 2020). Данное явление наиболее изучено на примере низконапорных Волжских ГЭС (Павлов и др., 1985, 1999, 2007 и др.), но процесс формирования ската гидробионтов через высоконапорные ГЭС (к которым

относится Братская и Красноярская ГЭС) имеет существенные отличия от низконапорных Волжских ГЭС.

Сток на низконапорных Волжских ГЭС с поверхностным водозабором формируется в поверхностном наиболее продуктивном слое воды, где обитает пелагический комплекс гидробионтов, представленный пелагическими хищниками, их жертвами (мелкими пелагическими видами и молодь практически всех видов рыб, обитающих в водохранилище) и кормовыми планктонными беспозвоночными. Если у рыб старших возрастных групп есть механизмы, препятствующие их скату (Поддубный и др., 2003), то вероятность массового ската молоди значительно выше. На ранних стадиях развития их физические возможности не позволяют им сопротивляться потоку. На более поздних стадиях у части особей появляется генетически обусловленная мотивация к покатной миграции, которая провоцирует их активный выход на течение (Павлов и др., 2007).

Основное отличие высоконапорных ГЭС заключается в том, что верхний свод водозаборных отверстий находится на значительной глубине (у Братской ГЭС на глубине более 20 м). При весенне-летнем прогреве воды образуется температурная стратификация, которая в высоконапорных водохранилищах находится выше свода водозаборных отверстий (в Братском водохранилище на глубине 7–10 м). В июле–августе средняя многолетняя температура воды в верхнем слое (0–10 м) – 17,3 °С, в слое 10–20 м – 10,5 °С, придонные воды холодные (4–6 °С) и летним прогревом не охватываются (Понкратов, 2013). Слой температурного скачка в течение всего вегетативного периода располагается значительно выше водозаборных отверстий. Зона изъятия стока гидроузла формируется ниже, в слабозаселённых холодных водах пелагиали верхнего бьефа Братского водохранилища (Понкратов, 2013).

Температурная стратификация в значительной мере определяет вертикальное распределение рыб в Братском водохранилище. В настоящее время основу рыбного населения водохранилища составляют окунь (*Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758) и плотва (*Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758)) (Мамонтов, 1977; Купчинский, Купчинская, 2006). Эти виды по данным гидроакустики в период температурной стратификации обитают в слое воды над температурным скачком в 10 метровом слое воды. Здесь же держится основная масса их покатной молоди, скат которой приходится на начало лета (июнь–июль), когда уже наблюдается выраженная температурная стратификация, вследствие чего её попадание в водозаборные отверстия на глубине более 20 м маловероятно. Ниже температурного скачка в слое формирования стока держаться сиговые, в основном вселяемый в водохранилище омуль (*Coregonus autumnalis* (Pallas, 1776)), в настоящее время имеющий очень низкую численность и, соответственно, низкую вероятность массового попадания в водозаборные отверстия.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОТОКОВ ПО ЗООБЕНТОСУ (НА ПРИМЕРЕ РЕК МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Гончаров А.В.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва,
tata15333@mail.ru*

Биологическая индикация водотоков по зообентосу – распространённый и востребованный метод определения степени загрязнённости. Как правило, он позволяет достаточно просто произвести оценку – с использованием таких показателей, как видовое разнообразие, индикаторная значимость организмов (крупных таксонов),

например, с помощью известного индекса Вудивисса. При этом, очевидно, что наиболее ярко методы биоиндикации проявляются при рассмотрении участков рек, которые сильно различаются между собой по степени загрязнения.

С помощью таких методов в 2022–2023 гг. нами было проведено обследование малой реки Радомли, протекающей на территории городского округа Солнечногорск Московской области. Это приток р. Клязьмы длиной около 12 км; в его верховье расположена крупная свалка твердых бытовых отходов. Исследование показало, что в районе свалки донные биоценозы Радомли находятся в подавленном состоянии. Вниз по течению происходит самоочищение, в результате чего увеличивается видовое разнообразие, и появляются организмы – показатели чистых вод.

Летом 2015 г. было проведено изучение более крупных рек (Клязьмы, Москвы, Нары, Протвы, Пахры) в пределах Московской области. Места обследования назначались выше и ниже городов – на участках рек со сходными гидрологическими характеристиками (скорость течения, тип донных отложений). Ниже городов пробы отбирали в 50–100 м ниже выпуска в реки сточных вод с городских очистных сооружений. Оценка загрязненности производилась с помощью биотического индекса Вудивисса (БИ). Показано, что наибольшему антропогенному воздействию подвержены р. Пахра ниже г. Подольска и р. Клязьма ниже г. Щелково, воды которых охарактеризованы, как «грязные» и «загрязненные» (по классификации Росгидромета). Р. Протва ниже г. Верея является «чистой». Выявлена тесная связь между численностью населения городов и значениями БИ в реках, на которых они расположены (для точек ниже очистных сооружений).

Эти результаты можно сопоставить с данными более ранних, регулярных наблюдений, которые проводились Росгидрометом на реках Московской области, примерно, до 1995 г. Это гидробиологические и гидрохимические материалы Центрального УГМС по 37 участкам 15-ти рек за период 1978–1995 гг. Согласно классификации качества вод по гидробиологическим показателям, принятой в Росгидромете, участки рек Московской области, на которых производился мониторинг, распределились следующим образом (по средним многолетним значениям БИ): "чистые" – 11 участков, "умеренно загрязненные" – 15, "загрязненные" – 6, "грязные" – 5, "очень грязные" – 1 участок. Была выявлена тесная связь между БИ и индексом загрязнённости воды (ИЗВ); коэффициент корреляции составляет –0,81.

Таким образом, сравнительно простые методы биологической индикации позволяют адекватно оценивать степень загрязненности различных водотоков. Проведенный анализ показал, что наиболее загрязненным является верховье малой реки Радомли в районе крупной свалки. Сильному загрязнению подвержены также водотоки Московской области на участках ниже выпуска сточных вод крупных городов. Сравнение результатов биологической индикации в 2015 г. с данными за 1978–1995 гг. для одних и тех же участков рек, показал, что различия между ними невелики.

ОПОРТУНИСТИЧЕСКИЕ МАКРОВОДОРОСЛИ КАК КОМПОНЕНТ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДНОЙ СРЕДЫ

Губелит Ю.И.

Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург, Yulia.gubelit@zin.ru, gubelit@list.ru

Макроводоросли играют ключевую роль в функционировании прибрежных экосистем. В последние десятилетия увеличение антропогенной нагрузки и связанные с

этим эвтрофирование и загрязнение вызвали изменения в водных экосистемах. В прибрежных экосистемах это часто приводит к массовому развитию оппортунистических макроводорослей и снижению биоразнообразия сообществ. Большинство оппортунистических видов, которые образуют «цветения» относятся к Chlorophyta и Ochrophyta. «Цветения», вызванные представителями этих родов, получили название «зеленых» и «золотых» приливов. В свете вышесказанного возникла необходимость в методах оценки состояния водных экосистем с помощью оппортунистических видов водорослей. Анализ публикаций в базе Scopus показал, что интерес к этой теме стал возрастать в 2000-х, а кратное увеличение количества публикаций произошло в 2010-х. Это отражает возрастание количества «зеленых» приливов во всем мире. Поскольку это явление распространено как в морских, где биоразнообразие макроводорослей велико, так и в пресноводных экосистемах, где сообщество макроводорослей, как правило, монодоминантно, то критерии оценки различны. Изначально массовое развитие зеленых водорослей (*Cladophora glomerata*) было описано в середине XX века на Великих Американских озерах и тогда же были разработаны и использованы первые критерии оценки на основе биомассы и было установлено пороговое значение в 50 г сух. массы/м², которое можно считать началом «цветения» (Higgins et al., 2008). В Балтийском море, где оппортунистические водоросли образуют плавающие и погруженные водорослевые маты, за основу оценки легли биомасса, проективное покрытие, а также толщина водорослевых матов. Более того, последний критерий был предложен как предиктор кислородных условий на дне (Lauringson, Kotta, 2006). Позднее, для Российской части Финского залива были разработаны Березиной и др. (Berezina et al., 2017) несколько индексов: на основе проективного покрытия водорослями (AC), толщины водорослевых матов (TAL), и признаков гипоксии (по шкале от 1 до 5). С продвижением к Датским проливам соленость в Балтийском море возрастает, а вместе с тем возрастает количество видов макроводорослей. Для солоноватоводных районов Балтийского моря были разработаны индексы на основе кумулятивного покрытия водорослями и соотношения оппортунистических и многолетних (*Fucus vesiculosus*) видов водорослей (Rinne et al., 2018). На основе измерений концентраций фосфора в *C. glomerata* было обнаружено, что этот показатель коррелирует с удаленностью от источника поступления биогенов и может быть использован в оценке длительной биогенной нагрузки (Salo, Salovius-Lauren, 2022). Для морских и эстуарных экосистем, где присутствует множество многолетних и оппортунистических видов, критериев гораздо больше и разработано множество методов оценки, начиная со спутниковой и аэро съемки и заканчивая различными индексами. Например, для северного побережья Атлантики был разработан индекс Opportunistic Macroalgal Blooming Tool (OMBT), основанный на 5 метриках. В заключение можно выделить следующие основные критерии для использования оппортунистических видов водорослей для оценки качества водной среды: для пресноводных и солоноватоводных экосистем – покрытие оппортунистическими водорослями, биомасса, толщина водорослевых матов, признаки гипоксии, общее покрытие водорослями, соотношение многолетних и оппортунистических водорослей, площадь покрытия водорослевыми матами. Для морских и эстуарных местообитаний – видовой состав, количество характерных видов, общее покрытие водорослями, покрытие оппортунистическими видами, соотношение многолетних и оппортунистов, площадь покрытия водорослевыми матами.

ИЗМЕНЕНИЕ СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА В ПРОЦЕССЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Деревенская О.Ю.

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань,
oderevenskaya@mail.ru*

Антропогенное воздействие различных видов приводит к загрязнению водных объектов, нарушению структуры сообществ гидробионтов. Водоемы теряют свои первоначальные качества, иногда полностью исчезают, что может привести к дефициту воды, снижению рекреационной ценности ландшафтов, экономическим потерям. В связи с этим, актуальной становится проблема восстановления водоемов. Изменения сообществ зоопланктона были исследованы в процессе восстановления глубоководных озер системы Кабан и мелководных озер г. Казани (озер системы Лебяжье, Чишмяле, Комсомольское, Марьино). Отбор проб зоопланктона, измерение физико-химических показателей воды проводили до начала оздоровительных мероприятий, в период их проведения и после окончания на протяжении нескольких лет.

Мероприятия, проведенные на озерах системы Кабан, включали запрет на сброс промышленных сточных вод, изъятие загрязненных донных отложений, установление временной проточности, аэрацию воды. Проведенные мероприятия привели к снижению уровня загрязнения озер и снижению трофического статуса, что прослеживается по результатам анализа физико-химических показателей воды и показателей сообществ зоопланктона. Мероприятия, проведенные на озерах Кабан, имели положительный эффект и привели к их восстановлению.

В озерах системы Лебяжье после применения гидротехнических мероприятий, в первые годы существования водоема, наблюдалось существенное усложнение сообществ зоопланктона, появление новых видов, усложнение трофических сетей, появление облигатных хищников. Но существенные колебания количественных показателей на протяжении вегетационного периода и межгодовые колебания характеризовали сложившуюся экосистему как неустойчивую. В отсутствии высших водных растений озера развиваются по «фитопланктонному» пути, и уже на третий год существования водоемов наблюдается переход системы в другое устойчивое состояние, характеризующееся более выносливым по составу сообществом зоопланктона с невысоким видовым богатством, низким видовым разнообразием, невысокими количественными показателями. Аналогичные изменения наблюдались и в сообществе зоопланктона озера Чишмяле.

Оздоровительные мероприятия, выполненные на озерах Марьино, Комсомольское, Малое Чайковское, включали изъятие части донных отложений с использованием технологии «Геотьюб», удаление излишней биомассы высших водных растений, благоустройство прибрежной зоны. Во всех случаях наблюдалось снижение трофического статуса в водоемах увеличение прозрачности воды, снижение концентраций биогенных элементов. В зоопланктоне увеличилось видовое богатство, количественные показатели увеличились незначительно. В первый год, после завершения мероприятий наблюдалась частая смена доминирующих видов, монодоминирование. На следующий год уже образуются комплексы из доминирующих видов, два-три вида доминируют более-менее длительное время или периодически возвращаются в состав доминирующих видов. В целом структура зоопланктона становится характерной для мелководных озер урботерриторий.

ПРИМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ПРИМЕРЕ ЛОКАЛЬНОГО УЧАСТКА РЕКИ ТУРЫ (ГОРОД ТЮМЕНЬ) ДЛЯ РЕШЕНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗАДАЧ

Захарова И.Н.

Бассейн реки Туры на 90 % расположен в Свердловской области, где в основном формируется качество воды реки. Оставшаяся часть бассейна приходится на Тюменскую область, на территории которой река приобретает большое хозяйственное значение. Потенциальными источниками загрязнения воды р. Туры на территории г. Тюмени являются ливневой сток, выпуски промышленных и коммунальных предприятий, а также бытовые стоки не канализованных селитебных территорий.

Представленное исследование затрагивает частный вопрос локального выпуска сточных вод коммунального предприятия г. Тюмени, в частности аквапарк ООО «Лето-Лето», в реку Туру. Состояние биоресурсов выше и ниже водовыпуска аквапарка оценивалось по изучению такого важного компонента гидробиоценоза как макрозообентос. Материал по составу и структуре макрозообентоса на двух створах р. Туры собирался летом 2022 г. ежемесячно в течение 3-х месяцев посредством экспонирования искусственных субстратов в воде. При камеральной обработке материала использовались стандартные методы гидробиологического анализа. Для оценки состояния экосистем по биотическим методам использовались 5 широко апробированных и хорошо зарекомендовавших себя метода биоиндикации: биотический индекс Вудивисса и олигохетный индекс Гуднайта и Уитлея, индекс трофической комплектности, Бельгийский биотический индекс ВВІ, метод BMWP'. Средние величины и стандартное отклонение использовались в качестве статистических величин оценки достоверности результатов.

Биотический индекс Вудивисса, принцип оценки которого основан на количестве индикаторных групп, стабильно на обоих створах показывал II класс качества – «чисто», из шести возможных классов.

Показания олигохетного индекса Гуднайта-Уитлея, на всех створах за все даты отбора проб указывали на I класс качества – «очень чисто», из шести возможных классов.

Индекс BMWP' также достаточно объективно выдает оценки экологического качества воды по структуре сообщества макрозообентоса. В нашем случае с июля по сентябрь оценки по этому методу колебались между II и III классами качества («чисто – умеренно загрязненно»). Между створами по экологическому качеству отличий не было, за исключением сентября, когда на контрольном створе качество воды оказалось на один класс ниже.

Индекс трофической комплектности (ИТК) – метод биологической индикации, который указывает на полноту трофических связей макрозообентоса в пределах водной экосистемы. По оценке ИТК экологическое качество воды на створах с июля по сентябрь находилось в диапазоне I–II класса («отлично – хорошо»).

Оба створа по ВВІ характеризуются как реки «хорошего качества» (II класс по 5-и балльной системе, широко принятой в экологической оценке в Европе), а в августе даже как реки «отличного качества» (I класс качества по 5-и балльной системе).

Таким образом, изучение макрозообентоса р. Туры на фоновом и контрольном створах продемонстрировало идентичность этих сообществ, а значит и высокую сопоставимость экологических условий на этих речных створах. Ответ на вопрос о наличии негативного воздействия выпуска ООО «Лето-Лето» на структуру сообщества макрозообентоса, а значит и биоценоз р. Туры в целом на локальном участке,

отрицательный и признаков ущерба водной экосистеме на обследованном отрезке р. Туры в меженный период 2022 г. не установлено.

МИНЕРАЛЬНЫЙ, ЭЛЕМЕНТНЫЙ И РАДИОНУКЛИДНЫЙ СОСТАВ ЧАСТИЦ, АССОЦИИРОВАННЫХ С ВОДНЫМ МХОМ Р. ЕНИСЕЙ

Зотина Т.А.^{1,2}, Сухоруков В.В.², Коновалова Д.А.¹,
Александрова Ю.В.¹, Карпов А.Д.³

¹Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, *t_zotina@ibp.ru, dariakon@inbox.ru, yuliyana_aleksandrova@mail.ru*

²Сибирский федеральный университет, г. Красноярск,
vladislav.sukhorukov.biophys@gmail.com

³Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации
лесного хозяйства, г. Пушкин, *karpov@roslesrad.ru*

Водные мхи считаются хорошими индикаторами загрязнения водотоков благодаря способности эффективно накапливать ксенобиотики в своей биомассе. Помимо этого, водный мох улавливает частицы взвешенного вещества, переносимые водным потоком, и накапливает их на поверхности листьев в течение своего жизненного цикла. Частицы, ассоциированные с биомассой водного мха, сами содержат ксенобиотики, поэтому перед анализом их удаляют с проб биомассы мха различными способами. Однако внеклеточные частицы водного мха можно рассматривать, как самостоятельный монитор техногенного загрязнения. Поэтому в данной работе был проанализирован морфометрический, минеральный, элементный и радионуклидный состав частиц, ассоциированных с водным мхом *F. antipyretica* из р. Енисей. Пробы водного мха отбирали на участке среднего течения р. Енисей, загрязненном техногенными радионуклидами. Частицы удаляли с водного мха с помощью многократной промывки проб сырой биомассы водой в пропорции 30 л/кг мха. Содержание радионуклидов в пробах определяли гамма-спектрометрическим методом, элементный и размерный состав частиц – методом сканирующей электронной микроскопии, минеральный состав – с помощью рентгеноструктурного анализа, элементный состав – с помощью рентгенофлуоресцентного анализа, содержание органического вещества – по потере веса после озоления при 450 °С. Вклад частиц в пробы мха составлял до 40 % от сухой массы проб. После промывки на листьях водного мха осталось некоторое количество минеральных частиц и большое количество эпифитных диатомей. В частицах, смытых со мха, содержалось значительная доля радионуклидов: до 80 % ¹³⁷Cs, до 45 % ⁶⁰Co, до 55 % ¹⁵²Eu и ¹⁵⁴Eu, до 70 % ²⁴¹Am, до 40 % плутония от их содержания в исходной пробе мха. Кластерный анализ выявил сходство минерального состава внеклеточных частиц мха и донных отложений, однако частицы отличались от донных отложений по содержанию радионуклидов. Проведенное исследование показало, что взвешенное вещество, захваченное водным мхом из водотока, может быть использовано для мониторинга переноса техногенных радионуклидов в водотоках.

СЭМ-анализ выполнен в Красноярском региональном ЦКП ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск; РФА, элементный анализ, выделение и измерение плутония – в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, Новосибирск; гамма-спектрометрический анализ – в ИБФ СО РАН, Красноярск и во ВНИИЛМ, Пушкино.

Работа поддержана грантом Красноярского краевого Фонда поддержки научной и научно-технической деятельности и Российского научного фонда № 23-27-10049, <https://rscf.ru/project/23-27-10049>.

ПОПУЛЯЦИОННЫЕ И ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ *GLYPTOTENDIPES GLAUCUS* MG. (DIPTERA, CHIRONOMIDAE) ИЗ ВОДОЕМОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Калинина Е.А., Винокурова Н.В.

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград,
vinokurova.bfu@gmail.com

Известно, что личинки вида *Glyptotendipes glaucus* Mg. (Diptera, Chironomidae) широко распространенные в пресноводных водоёмах являются удобным объектом для биотестирования и проведения экологического мониторинга водной среды. С этой точки зрения ценными и интересными являются, не только популяционные показатели, но кариотипические характеристики этого вида.

Гетерозиготные инверсии, в изобилии встречающиеся в кариотипах особей, являются источником разнообразных инверсионных последовательностей, которые расширяют диапазон хромосомной полиморфности вида и в целом обогащают геном. Поэтому показатели природного хромосомного полиморфизма многие исследователи предлагают использовать как геномные тест-системы отражающие состояние водоёмов.

В данной работе представлены результаты исследования популяционных и цитогенетических параметров личинок *G. glaucus* 6-ти водоёмов городской черты г. Калининграда и озера Чайка национального парка «Куршская коса» Зеленоградского района Калининградской области. Также в донных отложениях исследуемых водоёмов были определены количественные показатели нескольких тяжелых металлов (Zn, Cr, Co, Fe, Mn, Cu).

Полученные величины индекса доминирования Папия-Ковнацки позволили констатировать доминантность и эврихорность *G. glaucus* в исследуемых таксоценозах. Также было установлено, что в исследуемых водоёмах популяции данного вида активно приобретают и аккумулируют адаптивные инверсии.

В природных популяциях *G. glaucus* за период исследования (2012–2015 гг.) обнаружено и локализовано 8 новых для вида хромосомных последовательностей дисков. Часть инверсий показала высокую частоту, что указывает на тенденцию их преобладающей фиксации в составе новых хромосомных последовательностей, формирующих характерный облик кариотипов природных популяций *G. glaucus* в водоёмах региона.

Так было показано, что одна из комбинаций – A11 B12 C11 D11 E11 F11 G11 (glaB2) имела наибольшую частоту (54 %) и вытеснила стандартную последовательность в геномах природных популяций *G. glaucus* водоёмов города Калининграда и области.

Известно, что эта последовательность ранее была обнаружена в зоне чернобыльских выбросов Брянской области и в водоёмах г. Саратова с высоким уровнем антропогенного загрязнения.

Сравнительный и корреляционный анализ показал прямую зависимость показателей хромосомного инверсионного полиморфизма *G. glaucus* от уровня загрязнения водоёмов Калининградской области ионами ряда тяжелых металлов.

Можно предположить, что выявленные флуктуации кариотипа калининградских природных популяций также демонстрируют и микроэволюционные процессы *G. glaucus*.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА (ПО МАТЕРИАЛАМ 2019-2023 ГГ.)

Климовский Н.В.

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, klimovskiy.nikolay@yandex.ru*

Водоснабжение во многих городах и поселениях России осуществляется из поверхностных источников, качество воды в которых с каждым годом ухудшается – главным образом из-за постоянно возрастающей антропогенной нагрузки на компоненты природной среды. Именно поэтому значение пресной воды как природного сырья постоянно возрастает. Большая часть всех загрязняющих веществ, поступающих в компоненты природной среды, – продукт хозяйственной деятельности человека и результат действия вполне определенных источников распространения загрязнений. В полной мере это коснулось р. Северная Двина, т. к. по ее берегам располагалось большое количество промышленных предприятий.

Наблюдения проводились в зимнюю межень, в период весеннего половодья, послепаводковый период и осенью.

По результатам исследований можно отметить, что изменение содержания фосфора фосфатного в поверхностном горизонте носило четко выраженный характер, складывающийся под влиянием сезонности вегетативных процессов и гидрологических факторов. Концентрация фосфатного фосфора изменялась в интервале от 4,0 до 36,0 мкгР/л, максимальные значения были зафиксированы в черте города в районе ж/д моста в зимний период 2023 г.

Преобладающей формой соединений минерального азота в настоящее время являются нитраты. В период проведения исследований, максимальное содержание азота нитратного (378 мкгN/л) отмечалось в зимний период 2021 г. в черте города в районе ж/д моста, так как зимой при наименьшем потреблении азота происходит разложение органических веществ и переход азота из органических форм в минеральные. Минимальные их значения отмечены в осенний период 2020 г. повсеместно, что вероятнее всего, связано с увеличением массы воды из-за продолжительных дождей в это время. Их концентрация не превышала 87 мкгN/л. Концентрация нитритов из-за их нестойкости была очень незначительной и в среднем составляла 3,24 мкгN/л. Среднее содержание азота аммонийного за 2019–2023 гг. оказалось равным 26 мкгN/л при колебаниях по годам в диапазоне от 4,8 до 100,0 мкгN/л. Максимальная концентрация отмечалась в зимний период 2023 г. на участке приустьевое взморье в зоне смешения морских и речных вод.

Исходя из полученных данных, наибольшую однородность в исследуемом районе имеет содержание кремния. Для него характерен отчётливо выраженный сезонный ход с зимним максимум (6425 мкг/л) и летним минимумом (249 мкг/л).

Насыщение воды кислородом изменялось от 5,7 мг/л в зимнюю межень до 13,9 мг/л в осенний период.

Загрязнение нефтепродуктами наиболее опасно из-за их токсичности, высокой стойкости, особенно в холодных водах, и способности распространяться на сотни

километров. По полученным нами данным содержание нефтяных углеводородов в исследуемой акватории в среднем составляло 0,026 мг/л. Превышение ПДК (0,05 мг/л) было зафиксировано в 2020 г. на всех участках.

В целом, проведение комплексного мониторинга среды обитания экосистемы нижнего течения р. Северная Двина позволило выявить основные характеристики ее современного состояния. Установлено, что концентрации солей фосфора, азота и кремния за весь период наблюдений не превысили предельно допустимых значений для рыбохозяйственных водоемов. Содержание нефтяных углеводородов на большинстве исследованных станций, также оставалось в границах предельно допустимых концентраций. Повышенные концентрации нефтяных углеводородов были зафиксированы на всех участках в зимний период 2020 г. Все эти районы являются зонами промышленной и транспортной активности и, как следствие, местами локальных загрязнений.

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА Р. ОБЬ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ

Меркушина Г.А.

Тюменский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Тюмень g.merkushina@gosrc.vniro.ru

Река Обь с притоками относится к бассейну Карского моря и представлена большим количеством рек и малых речек. Вместе с её главным притоком р. Иртыш по длине и площади водосбора находится на ведущей позиции среди рек РФ, а по водности на третьей (после рек Лена и Енисей). Важнейшим элементом гидрографии Оби является сильно развитая предустьевая пресноводная зона – до 30 тыс. км². Обская губа служит естественным продолжением р. Обь длиной более 800 км и шириной 20–80 км, являясь важнейшим местом нагула и зимовки полупроходных видов рыб: нельмы, муксуна, чира, пеляди, сига-пыжьяна, сибирского осетра и налима.

Наблюдения за гидрохимическим режимом Нижней Оби осуществляются сотрудниками Тюменского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («Госрыбцентром») на протяжении длительного времени. С 2012 г. качество среды обитания ВБР в р. Обь исследуется в районе пос. Ямбура (13 км от устья, замыкающий створ) в период «вонзевого» подъёма рыбы в июне месяце.

По химическому составу вода гидрокарбонатного класса, кальциевой группы, преимущественно мало минерализованная. Кислотно-основные свойства воды изменяются от слабокислых в левобережье до нейтральных в русле и правобережье. В многоводные годы происходит смещение pH в кислую сторону, так как возрастает поступление кислых болотных вод.

В воде Нижней Оби в анионном составе преобладают гидрокарбонаты. В период исследования величина их изменялась от менее 10 (2020–2021 гг.) до 73 (2013 г.) мг/дм³. Содержание хлоридов и сульфатов не превышает 10 мг/дм³. Из-за низких концентраций кальция и магния вода по общей жёсткости «мягкая». Максимальное значение жёсткости за весь период исследования не превышало 1,2 °Ж.

Для вод Нижней Оби характерно поступающее с водосборной площади органическое вещество гумусового происхождения, вымываемое из почв, торфяников, лесного перегноя. Органическое вещество по ПО в градации для речных вод по О. А. Алёкину в основном указывает на повышенные значения (10–20 мг/дм³). Общий интервал многолетних наблюдений колеблется от 8,2 до 17 мг/дм³. В период

исследований 2012–2015 гг., а также в 2023 г. значение БПК₅ превысило пределы установленной ПДКр.х (2,1 мгО₂/дм³) в 1,1–2,2 раз.

Биогенные соединения, как важный фактор биологической продуктивности водного объекта характеризуются значениями не превышающими ПДКр.х, за исключением концентрации общего железа и содержания аммоний-иона. Максимальные значения NH_4^+ -ионов зафиксированы в многоводном 2020 г.

С развитием нефтегазового комплекса Западной Сибири основными приоритетными загрязнителями водных объектов Обь-Иртышского бассейна выступают нефтепродукты. Нефть, попавшая в водные объекты непосредственно, или с паводковыми и грунтовыми водами, в силу своей многокомпонентности, загрязняет водоемы от поверхности до дна. Общая динамика в течение периода наблюдения свидетельствует о накоплении НП в донных отложениях р. Обь.

Таким образом, анализ многолетних данных говорит об относительном постоянстве химического состава воды и хорошей самоочищающей способности речной экосистемы, не смотря на постоянный антропогенный пресс.

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ РЕК АБХАЗИИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Мингазова Н.М.¹, Шигапов И.С.¹, Дбар Р.С.², Набеева Э.Г.¹, Назаров Н.Г.¹,
Мингазова Д.Ю.³, Ахатова В.М.¹, Халиуллина А.А.¹, Валиуллина Д.Х.¹

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, nmingas@mail.ru

²Институт экологии АН Абхазии, г. Сухум, Абхазия

³Королевский технологический университет, г. Мельбурн, Австралия

Республика Абхазия (РА) хорошо обеспечена речными ресурсами. Гидрографическая сеть РА представлена большим количеством водотоков, многие из них обладают хорошо развитой речной сетью с сотнями притоков. Гидрографическая сеть очень развитая, притоки характеризуются большим количеством, но малой длиной. Реки Абхазии своеобразны, многие имеют подземные русла, выходят из горных массивов, а многие притоки временные. По кадастровым исследованиям 1970-х гг. в СССР для 26 основных рек Абхазии с учетом их речных бассейнов было выявлено 4049 водотоков общей длиной 8256 км.

С 2007 по 2022 годы было проведено 17 совместных с Институтом экологии АН РА комплексных экспедиций по изучению водных объектов и их состояния. В 2013–2014 гг. по гранту РФФИ-Абхазия исследовалось более 70 рек Абхазии, впадающих в Черное море, и их влиянию на качество воды Черноморского побережья.

По результатам инвентаризации рек, ручьев и временных водотоков в Республике Абхазия по космоснимкам к 2020–2022 гг. выявлено 4751 водотоков, общей длиной около 8000 км. Всего в Черное море впадает 87 рек и ручьев (1–3 км). В западной части Абхазии больше коротких ручьев с болотных территорий, а также сероводородных. Многие реки короткие, т.к. имеют подземное русло (рр. Холодная речка, Репруа, Басла, Псырцха, Мааниквара и др.) и не являются ручьями.

Источниками водоснабжения по близости местоположения, мощности речных ресурсов и качеству вод для г. Гагра могут послужить такие большие реки как рр. Псоу, Бзыбь (в добавление к р. Репруа); для г. Гудаута и г. Новый Афон – рр. Хипста и Аапста; для г. Сухум – рр. Гумиста, Келасур; для пгт. Гульрыпш – р. Кодор; для г. Очамчира – рр. Кодор, Тоумыш, Моква, Галидзга, Окум; для г. Ткуарчал – р. Галидзга; для г. Гал – рр. Моква и Окум. Во многих городах Абхазии в послевоенных

условиях наблюдаются сложности с водоснабжением и загрязнение устьевых участков рек.

Наибольшее количество водотоков выявлено для Гагрского (1945 водотоков) и Гульрипшского (1346) районов, наименьшее (67) выявлено для Ткварчалского района. Самыми крупными реками РА являются Бзыбь и Кодор, они играют значительную роль для водообеспеченности районов, на которых они протекают. Районы, где протекают эти реки, являются самыми водообеспеченными. Данные реки Бзыбь имеют следующие значения: расход воды равен 95,8 м³/сек, модуль стока 63,4 л/(с/км²), объем стока 3,03 км³. Данные реки Кодор: расход воды равен 119 м³/сек, модуль стока 58,6 л/(с/км²), объем стока 3,75 км³. Общий расход воды по рекам Абхазии составляет, по нашим расчетам, 545,5 м³/сек., а общий годовой объем стока рек Абхазии – 17,4 км³. Соотношение объема речных вод (стока за год) и объемов водопотребления (за год) для небольшого по численности населения РА показывает, что объемы речных вод превышают водопотребление в среднем в 550 раз. Общий годовой объем стока рек Абхазии составляет, по нашим расчетам, 17,4 км³ (по литературным данным ранее – 13 км³/год, вносят до 6 % речного стока в Черное море).

Данные по водообеспеченности позволяют рационально решать вопросы водного хозяйства и водопользования страны, имеют стратегическое значение.

ОБОБЩЕННЫЕ ДАННЫЕ ОБ УРОВНЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ БАРЕНЦЕВА МОРЯ РТУТЬЮ, КАДМИЕМ И СВИНЦОМ

Новиков М.А.

Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Мурманск, mnovik@pinro.ru

Тяжелые металлы (ТМ) – одни из приоритетных загрязнителей окружающей среды, в том числе воды и донных отложений морей и океанов – среды обитания промысловых гидробионтов. Загрязнение морской воды и донных отложений металлами может приводить не только к отравлению гидробионтов, нарушению их биологических функций, но и накоплению токсикантов в их организме. Известно, что загрязнение живых организмов ТМ способно к биомагнификации, т. е. накоплению при переносе по трофическим цепям. Таким образом, накопление ТМ промысловыми рыбами создает опасность для их конечных потребителей, морских млекопитающих и человека.

Ртуть, кадмий и свинец одни из самых токсичных металлов, поэтому их содержание в промысловых гидробионтах нормируется. Согласно Техническому регламенту Таможенного союза (ТРТС 021/2011) в мышцах и печени морских промысловых рыб содержание Hg не должно превышать 0,5 мг/кг сырой массы, Pb – 1,0 мг/кг, а Cd – 0,2 мг/кг в мышцах и 0,7 мг/кг в печени.

Цель исследования – на основе многолетних данных оценить уровень содержания Hg, Cd и Pb в мышцах и печени основных промысловых рыб Баренцева моря. Материал для исследований собирался в рамках комплексных научных экспедиций, главным образом, на судах «ПИНРО» им. Н.М. Книповича «Смоленск», «Фритьоф Хансен», «Вильнюс» в рамках выполнения программ государственного мониторинга водных биологических ресурсов.

В работе представлены результаты анализа проб мышечной ткани и печени шести промысловых рыб Баренцева моря – атлантической трески *Gadus morhua*, пикши *Melanogrammus aeglefinus*, камбалы-ерша *Hippoglossoides platessoides*, черного, или

синекорого палтуса *Reinhardtius hippoglossoides*, морской камбалы *Pleuronectes platessa* и пестрой, или пятнистой зубатки *Anarhichas minor* – пойманных в результате учетных тралений в период с 2009 по 2021 гг. включительно практически на всей акватории Баренцева моря. Всего с целью отбора материала было выполнено более 500 донных траловых станций.

Выполнению исследования предшествовало заполнение электронной базы данных по загрязнению промысловой ихтиофауны результатами собственных химико-аналитических исследований ПИНРО, и создание на ее основе электронного атласа распределения содержания Hg, Cd и Pb на акватории Баренцева моря и прилегающих морских районов. Полученный материал подвергали статистической обработке и анализу.

В ходе проведенных исследований показано, что для промысловой ихтиофауны Баренцева моря характерно относительно невысокое природное содержание общей ртути, свинца и кадмия в мышцах и печени. Случаев превышения установленных нормативов почти не наблюдалось. Каких-либо признаков устойчивого антропогенного загрязнения исследованных промысловых рыб изученными ТМ не обнаружено. Предложены расчетные фоновые уровни содержания общей Hg, Cd и Pb в мышцах промысловых рыб Баренцева моря. Фоновые уровни отражают современное естественное содержание нормируемых ТМ в ихтиофауне региона и могут быть использованы для выявления антропогенного воздействия на экосистему.

СЕРИЯ АТЛАСОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ЭКОСИСТЕМЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Новиков М.А.

Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Мурманск, mnovik@pinro.ru

Представленные атласы из серии «Загрязнение среды обитания и гидробионтов Баренцева моря» – первые в своем роде уникальные издания, посвященные системному обобщению многолетних данных о загрязнении воды и донных отложений в окраинных морях России (Драганов, Новиков, 2020; Новиков, Драганов, 2021; Новиков и др., 2024).

Баренцево море является средой обитания важнейших промысловых видов рыб и беспозвоночных животных – трески, пикши, черного палтуса, камбалы-ерша, морской камбалы, северной креветки, камчатского краба, краба-стригуна опилио и др. Промысел водных биоресурсов и их переработка – существенная составляющая развития агропромышленного комплекса РФ. Загрязнение Баренцева моря в свете качества и безопасности добываемых здесь водных биоресурсов одна из важнейших региональных проблем. Баренцево море – открытый водоем, весьма уязвимый в свете поступления загрязнения из Европы, Северной Америки, Азии, и, как это не странно на первый взгляд, из Арктики, Северного Ледовитого океана и арктических архипелагов. Для региона характерно совместное влияние дальнего трансграничного переноса загрязнения и региональной составляющей.

Атласы представляют собой собрание карт, отражающих распределение содержания широкого перечня токсичных загрязняющих веществ в среде и биоте Баренцева моря. Атласы составлены на основе собственной базы данных Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича), включающей в себя обработанные пробы воды, донных отложений и промысловых гидробионтов (мышцы,

печень), собранные в морских экспедициях в период с 2003 по 2021 гг. Ареал исследований также включал в себя прилегающие к Баренцеву морю районы Карского и Норвежского морей.

Атласы выполнены на основе результатов химико-аналитических исследований проб морской воды, донных отложений и промысловых гидробионтов на содержание загрязняющих веществ. Пробы отобраны на более чем 800 станциях в ходе выполнения 51 рейса научно-исследовательских судов. В атласах представлены карты содержания 17 органических: нефтяные углеводороды, полихлорбифенилы (ПХБ), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ, включая бенз(*a*)пирен), ДДТ, гексахлорбензол, гексахлорциклогексаны, хлорданы, и неорганических загрязняющих веществ (тяжелых металлы и мышьяк). Тяжелые металлы представлены Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb и Zn.

Всего в три атласа вошли 971 стандартная карта распределения содержания загрязняющих веществ на морской акватории и 79 отдельных тематических карт. Последние включают в себя карты расположения станций, интегрированные карты распределения загрязнения по акватории, карты гранулометрического состава осадков, карту водных масс Баренцева моря, содержания органического углерода, карты превышения фоновых уровней для тяжелых металлов и др. С помощью карт превышения фоновых уровней рассматривается проблема локализации техногенного загрязнения в Баренцевом море и источников их поступления. Атлас донных отложений также содержит уникальные сведения о встречаемости антропогенного мусора, главным образом пластика, на дне Баренцева моря.

ПАЗИТОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРА МЕТОДОМ E-DNA

Паршуков А.Н.¹, Иешко Е.П.¹, Мюге Л.Н.², Черенков А.В.², Мюге Н.С.²

¹Институт биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск,
aleksey.nik.parshukov@gmail.com

²ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва

Садковое форелеводство на Северо-Западе России относится к приоритетному направлению рыбохозяйственной деятельности, ввиду стабильного роста объемов и темпов выращивания товарной рыбопродукции. Интенсивное развитие аквакультуры, и значительные объемы завоза посадочного материала из соседних регионов России, имеют высокий риск эпизоотического воздействия на аборигенных лососевых рыб, населяющих естественные водоемы севера. В последние годы массово отмечены случаи заражения разводимой форели и молоди лосося рыб паразитом *Gyrodactylus salaris*. В связи с этим, актуальной задачей ихтиопаразитологических исследований является применение новых методов, с помощью которых эффективно решались бы проблемы видовой диагностики патогенов, контроля эпизоотической ситуации на объектах аквакультуры и обеспечения проведения карантинных мероприятий.

Цель настоящего исследования состоит в оценке встречаемости и численности моногеней рода *Gyrodactylus* на форелевых хозяйствах (бассейны Онежского и Ладожского озер), и апробация современной, неинвазивной, диагностической системы environmental DNA (e-DNA), или ДНК окружающей среды, обнаружения паразитов в воде на разной дистанции от действующих садков.

С целью проведения паразитологического и генетического анализа (e-DNA) выполнили сезонные выезды на рыболовные хозяйства с мая по октябрь 2023 года, в результате которых исследовали 325 экз. рыб и получили 206 фильтров с осадками для 103 точек из Прионежского, Кондопожского, Медвежьегорского, Сортавальского, Лахденпохского и Питкярантского районов Карелии. Работы, связанные со сбором и обработкой материала, проводили стандартными ихтиопаразитологическими методами (Быховская-Павловская, 1985). Для количественной характеристики зараженности рыб использовали показатели экстенсивности и интенсивности инвазии. Дрифт получали прокачиванием озерной воды (5л x 2) при помощи вакуумного насоса через стекловолоконные фильтры (47 мм AP25 Millipore, с размерами пор 2 мкм, Billerica, USA), которые далее хранили при 4 °С в индивидуальных пакетах с адсорбирующим элементом (силикагель) до начала проведения анализа (лаборатория генетических исследований ВНИРО).

Проведение сбора генетических проб воды в акватории форелевых хозяйств и видовая идентификация опасного паразита разводимых рыб, позволят получить данные для оценки эффективности метода e-DNA с перспективами его дальнейшего использования ветеринарными службами в сфере карантинных мероприятий при транспортировке посадочного материала как внутри, так и между регионами.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда №23-24-10073/ФВИ РК №18-P23 от 25.04.2023.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕР ИШМЕНЕВСКОЕ И АНДРЕЕВСКОЕ В СВЯЗИ С ЗАБОЛЕВАНИЕМ НАСЕЛЕНИЯ «ГАФФСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ»

Рыбина Г.Е.^{1,2}

¹*Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень*

²*Тюменский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Тюмень, ecotoxic@gosrc.ru*

«Гаффская болезнь» – алиментарно-токсическая пароксизмальная миоглобинурия (АТПМ), юксовская, сартланская болезнь – редкое заболевание человека, животных и рыбоядных птиц, возникающее при употреблении токсичной рыбы и проявляющееся поражением скелетных мышц, нервной системы и вторично – почек. В Тюменской области данное заболевание было зарегистрировано дважды: первое – в 2000–2002 гг. в Тюменском, второе – в 2019 и 2021 гг. в Тобольском районах. Одни авторы считают, что высокая токсичность рыбы связана со сточными водами, содержащими смоляные и карбаминные кислоты, другие – с токсинами растительного происхождения (семена тростника, камыша, жабрея, пикульника; хвоща речного; сине-зеленых водорослей и т. д.). Ни одно из предположений не было подтверждено экспериментально.

В работе представлена экологическая оценка озер Ишменевское и Андреевское методами биотестирования. Воду и донные отложения (ДО) отбирали в период открытой воды – осенью (2021 г.), весной и летом (2022 г.). Подготовку проб воды, ДО и процедуру биотестирования выполняли согласно утвержденных методик. В качестве тест-объектов использовали: водоросли (*Scenedesmus quadricauda*), простейших (*Paramecium caudatum*), низших ракообразных (*Ceriodaphnia affinis*). Полученные в экспериментах результаты были подвергнуты стандартной статистической обработке.

Наибольшее токсическое действие оказывали вода и ДО исследуемых озер весеннего и летнего отбора. Вода озер угнетала численность *S. quadricauda* и *P.*

caudatum, стимулировала плодовитость *C. affinis* на 160,7–172,1 и 21,0–80,7 % весеннего и летнего отборов, соответственно. Максимальной токсичностью обладали ДО исследуемых озер, численность простейших была выше уровня контроля (К), особенно, в весенних пробах ДО – 72,5–205,8 %. ДО оказывали острое и хроническое летальное действие на *C. affinis*, выживаемость рачков была снижена на 30,0–100 %. При максимальной выживаемости наблюдали снижение плодовитости *C. affinis* на 67,6–98,4 %. Наименьшей токсичность обладали вода и ДО исследуемых озер осеннего отбора. Вода озер не оказывала острого токсического действия на *S. quadricauda* и *C. affinis*, численность водорослей и выживаемость рачков была на уровне К, но стимулировала численность *P. caudatum* (на 75,2–140,6 %). При хроническом воздействии снижение выживаемости рачков *C. affinis* отмечали только в воде оз. Андреевское (на 20,0–40,0 %) и изменение плодовитости – от угнетения (53,9–73,9 %) до стимуляции (на 33,7–75,0 %). Вода оз. Ишменевское не оказывала хронического летального действия и стимулировала процессы репродукции рачков на 41,3–85,9 %. ДО озер осеннего отбора не оказывали острого токсического действия на *C. affinis*, но при удлинении времени экспозиции выживаемость рачков снижалась по сравнению с К на 20,0–100,0 %. Плодовитость рачков изменялась – от угнетения (47,5–91,3 %) до стимуляции (на 17,4–184,8 %). ДО стимулировали численность *P. caudatum* (на 67,9–285,7 %), но угнетали численность *S. quadricauda* (на 14,7–50,0 %).

ЭКОЛОГО-ГЕНОТОКСИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ОЦЕНКИ ИХ СОСТОЯНИЯ

Соловых Г.Н., Кольчугина Г.Ф., Осинкина Т.В.

*Оренбургский государственный медицинский университет, г. Оренбург,
gal.nik.solovix@mail.ru*

Урал – третья по длине река Европы, общая протяженность 2428 км. На территорию Оренбургской области приходится 1164 км её русла и около 78 тыс. км² площади бассейна (Чибилёв, 1996) и является главнейшей водной артерией региона. Бассейн р. Урал расположен в приграничных областях России и Казахстана и последствия межгосударственного раздела реки проявляются в регионе достаточно остро, подтверждением чему являются результаты проводимых нами многолетних (1960–2023 гг.) исследований Уральского бассейна на территории Оренбургской области. Установлен вклад отдельных поллютантов в экологическое состояние водных экосистем бассейна реки, а также выявлены водные экосистемы с высоким уровнем антропогенной нагрузки. Ранжирован спектр обнаруженных в водной вытяжке ДО химических элементов (64) и проведена оценка соответствия компонентов неорганического загрязнения имеющимся нормативам. Установлено, что ведущим среди приоритетной группы токсикантов является ртуть, для которой в воде выявлены превышения ПДК р.х. на всех участках исследования в среднем в 9,5 раз. В тоже время, во всех экотопах ДО реки выявлено значительное превышение экологического норматива по содержанию ртути (в среднем в 1000 раз) и отсутствие превышений по кадмию и свинцу. Факт значительного увеличения концентрации ртути в экотопах среднего течения р. Урал возможно связан с несколькими факторами: активацией природных источников соединений ртути в результате повышения температуры воды и обмеления некоторых участков реки, следствием чего, по-видимому, явился запуск процессов перехода глубинных неактивных сульфидных соединений ртути в более

активные, переходящие в водную фазу. Очаг активной диффузии ионных форм поллютанта мог возникнуть и по причине интенсивного гниения вегетативной части и корней макрофитов, которые, как известно, аккумулируют токсиканты из экосистемы, а также наличие антропогенных источников ртути и её поступление в водоток с водосборной площади бассейна р. Урал во время паводка. Показано, что наименьшее влияние на накопление токсиканта оказывало значение рН воды, а наибольшее содержание органических соединений.

Оценки экологических последствий как для бассейна, так и населения, использующего воду с превышением допустимых нормативов выявленных поллютантов, для питьевого и хозяйственного водоснабжения свидетельствуют о процессах аккумуляции приоритетных токсикантов двустовчатыми моллюсками: по уровню накопления ТМ в тканях моллюски могут выступать как *макроконцентраторы*, если ($K_d > 2$); *микроконцентраторы*, если ($1 < K_d < 2$); *деконцентраторы*, если ($K_d < 1$). Последствия воздействия аккумулированных токсикантов на генетический аппарат организмов проявлялись в генных, геномных и хромосомных мутациях и коррелировали с типом химического загрязнения цельного грунта и водной вытяжки донных отложений: наибольшим генотоксическим эффектом обладали редкоземельные металлы. Один из биологических эффектов воздействия токсикантов проявлялся в снижении литической активности фермента лизоцима у моллюсков и механизме его антибактериального действия, что нарушало saniрующие функции моллюсков-фильтраторов, следствием чего может стать ухудшение санитарно-экологического режима природного водотока в целом.

ЦИАНОБАКТЕРИИ ПЛАНКТОТРИХЕТОВОГО КОМПЛЕКСА В АЛЬГОЦЕНОЗЕ МАЛОГО ВОДОЕМА УРБАНИЗИРОВАННОГО ЛАНДШАФТА (НА ПРИМЕРЕ ОЗ. ЛУНСКОЕ, НИЖНИЙ НОВГОРОД)

Старцева Н.А., Гаврилко Д.Е.

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, startseva@bio.unn.ru*

В последние десятилетия отмечается активная экспансия в водоемы умеренной зоны и быстрое завоевание лидирующих позиций в альгоценозах мелководных эвтрофных озер нитчатыми безгетероцистными цианобактериями, которые согласно функциональной классификации фитопланктона, предложенной К. Рейнольдсом, относятся к кодону S1 («*planktotrichetum*», планктотрихетовый комплекс). Это *Limnothrix redekei* (Van Goor) Meffert, *L. planctonica* (Wołoszyńska) Meffert, *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et Kom., *Planktolyngbya limnetica* (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg, *Pseudanabaena* spp. и др. Небольшие водоемы, расположенные в городской черте, часто обладают условиями, благоприятными для развития данных микроорганизмов (высокое содержание биогенных элементов, низкая прозрачность воды, низкий водообмен), в том числе до уровня «цветения» воды.

В г. Нижний Новгород ежегодное интенсивное «цветение» воды наблюдается в оз. Лунское – пойменном малом гиперэвтрофном водоеме, расположенном на окраине города и используемом в рекреационных целях. В 2023 г. отбор проб фитопланктона на данном водоеме осуществляли ежемесячно в летний сезон (июнь–сентябрь) с 5-ти станций, расположенных на биотопически разнородных участках озера. Обработку проб проводили общепринятыми в гидробиологии методами.

За период исследований в планктоне оз. Лунское обнаружено 163 видовых и

внутривидовых таксона водорослей: Chlorophyta – 58 таксонов рангом ниже рода, Ochrophyta – 51 (Bacillariophyceae – 41, Chrysophyceae – 10), Euglenophyta – 20, Cyanobacteria – 17, Charophyta – 3, Cryptophyta – 6, Dinophyta – 8. Численность фитопланктона на разных станциях изменялась от 52,64 до 965,64 млн кл./л, а биомасса – от 2,18 до 28,14 г/м³. В доминирующий комплекс входило небольшое число видов, преимущественно цианобактерий, с варьированием биомассы данной группы от 1,21 до 23,68 г/м³. В июне-июле на всех станциях доминировали безгетероцистные нитчатые цианобактерии *L. redekei* и *P. agardhii*, а также diaзотрофная цианобактерия *Raphidiopsis raciborskii* (Woloszynska) Aguilera & al. В августе и сентябре единственным доминантом стал *L. planctonica*, который создавал от 12,8 до 95 % общей численности и от 53,3 до 82,7 % общей биомассы фитопланктона с частотой доминирования до 64,7 %. Степень «цветения» воды в озере в этот период определялась как «интенсивная» (более 10 г/м³), а численность цианобактерий превышала пороговые значения, определенные для безопасного использования водоемов в рекреационных целях ($2 \cdot 10^6$ кл./л). Кроме того, известно, что некоторые виды планктотрихетового комплекса являются потенциально токсичными видами (pp. *Planktothrix* и *Limnothrix*). Доминирование в июне некоторых видов из данной группы (*L. redekei*, *P. agardhii*,) обусловило высокий уровень 7 структурных вариантов микроцистинов (более 1000 нг/л), обнаруженных в биомассе фитопланктона оз. Лунское в 2023 г. Полученные результаты исследований говорят о необходимости ведения мониторинга развития видов S1 типа и содержания цианотоксинов в социально значимых водных объектах города и области.

При поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ БИОТЫ ЛУЖСКОЙ ГУБЫ ФИНСКОГО ЗАЛИВА В УСЛОВИЯХ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКОГО ПОРТА УСТЬ-ЛУГА

Суслопарова О.Н., Богданов Д.В., Зуев Ю.А., Ляшенко О.А.,
Максимова О.Б., Стратаненко Е.А., Хозяйкин А.А., Шурухин А.С.

Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Санкт-Петербург,
susloparova@niorh.vniro.ru

Представлены результаты исследований биоты (фито-, зоопланктон, зообентос, рыба) Лужской губы Финского залива Балтийского моря в период с 1994 по 2023 гг., выполненных в связи со строительством и эксплуатацией морского порта Усть-Луга.

Фитопланктон Лужской губы формировали преимущественно космополитные эврибионтные водоросли. Основными доминантами по биомассе в 2000–2023 гг., как и до начала строительства порта, в весенний период были диатомовые и динофитовые водоросли, в летне-осенний – цианопрокариоты, диатомовые, криптомонады, в отдельных случаях – зелёные. Максимальные величины биомассы (до 13 мг/л) отмечались весной, минимальные (от 0,03 мг/л) – осенью. В течение всего периода наблюдений фитопланктон сохранял свойственную ему до начала строительства порта структуру, количественные показатели и характер сезонной динамики.

Концентрация хлорофилла «а» в 2001–2023 гг. варьировала от 2,83 до 16,39 мкг/л; отмечен небольшой тренд ее снижения, отражающий общую тенденцию, наблюдаемую в Финском заливе.

С 2000 г. (начало строительства порта) происходило обеднение видового состава зоопланктона, в основном, за счёт редко встречающихся видов и зарослевых форм (безраковинных коловраток и кладоцер). Численность варьировала от 8,30 до 658,12 тыс. экз./м³; средняя биомасса за вегетационный период составляла от 0,20 до 0,92 г/м³, в отдельные годы возрастала до 1–2 г/м³. При значительных локальных флуктуациях численности зоопланктона сохраняется достаточно высокий уровень его биомассы.

В период интенсивного строительства порта, из-за изменения гидрологического режима, из зообентоса исчезли пресноводные личинки насекомых, моллюски, олигохеты, увеличилась доля солоноватоводных и эвригалинных видов, в первую очередь полихет *Marenzelleria* sp. и моллюсков *Macoma balthica*. Зообентос не всегда отмечался на некоторых участках в южной, юго-восточной и центральной частях губы. Со снижением объемов гидротехнических работ обилие бентоса восстановилось, возросла доля ракообразных (амфипод и изопод). Так, численность бентоса в центральной части губы в 2022 г. составила 3100 экз./м², биомасса – 34,75 г/м².

Ихтиофауна Лужской губы в 1994–2023 гг. включала 38 видов рыб и миногу. Видовое разнообразие до настоящего времени сохранилось на высоком уровне. Количественные показатели исследованных биотопов до 2011–2012 гг. коррелируют с величиной рыбных запасов в водоеме, межгодовые различия связаны с климатическими факторами и естественной динамикой численности рыб. В юго-восточной части Лужской губы, вследствие проведенных гидротехнических работ при строительстве порта, на месте существовавшей продуктивной литорали сформировался биотоп, характеризующийся низкими показателями обилия рыбного населения. В районе порта после 2012 г., несмотря на общую тенденцию к увеличению рыбных запасов в Финском заливе, существенного увеличения количественных показателей ихтиоценоза отмечено не было.

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМОВ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ ВЕРХНЕТАГИЛЬСКОЙ ГРЭС ЗА ПЕРИОД 2011–2023 ГОДОВ

Ушакова О.С.

Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, г. Екатеринбург, darilindan@gmail.com

Верхнетагильская ГРЭС находится в городе Верхний Тагил в Свердловской области. Система охлаждения включает в себя три водоема-охладителя: Вогульское водохранилище (впадает р. Вогулка), Водохранилище № 4 (впадает р. Тагил) и Верхнетагильское водохранилище (принимает в себя воды Вогульского и Водохранилища № 4). Наибольшую тепловую нагрузку испытывают Водохранилище № 4 и Верхнетагильское водохранилище. До 2016 г. ВТГРЭС работала на угле, с 2016 г. топливом стал природный газ. Была проведена модернизация оборудования: новый энергоблок оснащён системой подавления оксидов азота, что обеспечивает существенное сокращение выбросов в атмосферу. Также модернизация позволила снизить средний уровень сброса тепла в систему охлаждения почти в 2 раза.

В данной работе приведены результаты многолетних наблюдений за некоторыми гидрохимическими параметрами водоемов-охладителей. Отбор проб производили ежегодно с 2011 по 2023 гг. в следующие месяцы: февраль, март, май, июнь, август, сентябрь. Мониторинг включал в себя оценку следующих физико-

химических показателей: температура воды, водородный показатель, минерализация и электропроводность, концентрация аммоний-иона, нитрат- и нитрит иона, концентрация фосфат-иона, БПК₅, ХПК, ПО. Анализ воды производили в лаборатории НИИВХ по общепринятым методикам.

В Верхнетагильском водохранилище и Водохранилище № 4 прослеживается тенденция к снижению среднегодовых температур воды. Кластерный анализ показал, что температура воды Вогульского водохранилища связана с температурой воздуха. Тогда как температура в Верхнетагильском водохранилище и Водохранилище № 4 зависит от температуры воды в сбросных каналах ВТГРЭС.

До 2016 г. усредненная рН всех исследованных водоемов была выше, чем в последующие годы, уровень максимальных рН воды также был выше на всех исследованных водоемах. Прослеживается тенденция к слабому закислению водоемов.

В Верхнетагильском водохранилище, Водохранилище № 4 и Вогульском водохранилище после 2016 г. прослеживается тенденция снижения концентрации минеральных форм азота: нитратного, нитритного и аммонийного. До 2015 г. отмечались резкие перепады концентрации минерального азота как в Верхнетагильском и Водохранилище № 4, так и в Вогульском водохранилище, в последующие периоды – подобных явлений не наблюдалось.

Концентрация фосфора фосфатного в Верхнетагильском водохранилище, Водохранилище № 4 и Вогульском водохранилище имела тенденцию к снижению в период 2016–2023 гг. В подавляющем большинстве случаев Верхнетагильское и Водохранилище №4 можно охарактеризовать как «мезотрофные». Вогульское в 2015–2016 гг. переходит от категории «мезотрофный» к категории «олиготрофный» водоем.

Показатели окисляемости вод Верхнетагильского водохранилища, Водохранилища № 4 и Вогульского водохранилища в период исследований изменялись неоднозначно: на всех трех водоемах отмечалось снижение уровня БПК₅, слабое повышение уровня ХПК. Индексы окисляемости и сапробности в водоемах-охладителях ВТГРЭС в период 2011–2023 гг. имели тенденцию к снижению. Это говорит об улучшении качества воды, однако в то же время растет содержание сложноокисляемых органических веществ.

МАКРОЗООБЕНТОС ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЛУЖСКОЙ ГУБЫ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ МТП УСТЬ-ЛУГА

**Филиппов А.А., Жигульский В.А., Былина Т.С.,
Тимофеева М.А., Мовчан Е.А.**

ООО «Эко-Экспресс-Сервис», г. Санкт-Петербург, filippov@ecoexp.ru

Лужская губа – важная с рыбохозяйственной точки зрения часть Финского залива, которая служит местом воспроизводства многих видов рыб Финского залива и транзитным участком для нерестовых миграций лососевых рыб. Строительство порта на восточном берегу губы оказывает существенное влияние на состояние всех компонентов ее экосистемы.

Первый этап строительства порта, продолжавшийся с 1993 по 2015 гг., завершился постройкой большей части существующих в настоящее время терминалов. Дальнейшее развитие портовой инфраструктуры связано с реконструкцией существующих и строительством новых терминалов, при этом территория порта расширяется как в северном, так и в южном направлении, вплоть до устьевых участков реки Луга.

В 20-м веке в Лужской губе наблюдалась тенденция роста биомассы бентоса, что связывали с эвтрофированием многих районов Балтийского моря (Максимов, 2018). С 1934 по 1997 гг. на илистых песках Лужской губы суммарная биомасса бентоса увеличилась с 16,91 до 126 г/м² при доминировании двустворчатых моллюсков *Macoma balthica* (Кудерский, 1982; Романова и др., 1993; Максимов, 2018). На илах суммарная биомасса бентоса выросла за этот же период с 31,75 г/м² до 47,6 г/м². В 1934 г. здесь преобладали олигохеты, а в 1997 г. – *Saduria entomon* (52,4 % от общей биомассы), *M. balthica* (36,9 %) и олигохеты (7,1 %) (Максимов, 2018). В 1970-х гг. здесь также в массе отмечалась понтопорейя (Кудерский, 1982).

В начале 2000 гг., в результате интенсивных строительных работ в зоне подводного отвала грунта, бентосные организмы практически перестали встречаться. На остальной акватории Лужской губы средняя биомасса бентоса снизилась в 5–10 раз, а биомасса моллюсков и ракообразных – до 20 раз (Мицкевич, Зуев, 2010). Но уже в 2011 г. наметилась тенденция к восстановлению донных сообществ. При этом в донных сообществах в массе стали встречаться инвазивные полихеты *Merenzelleria sp.* (Суслопарова и др., 2012).

В ходе наших наблюдений в 2016–2023 гг. в юго-восточной части Лужской губы (в наибольшей степени подверженной влиянию нового строительства) было собрано и обработано более 60 количественных проб макрозообентоса. Средняя суммарная биомасса бентоса за весь период наблюдений в районе строящихся терминалов составила 16,3 г/м². В районе подводного отвала грунта средняя биомасса бентоса составила 27,8 г/м² (2016 г.). По биомассе на всех исследованных участках доминировали двустворчатые моллюски *M. balthica*, по численности – полихеты рода *Merenzelleria sp.* (в большинстве случаев), либо бокоплавы *Corophium volutator*.

Таким образом, зообентос обследованного участка Лужской губы в 2016–2023 гг. в основном сохранял свои черты, отмеченные для него на первом этапе строительства МТП Усть-Луга. Ухудшения состояния донных сообществ по сравнению с началом 2000х гг. не прослеживается. Наоборот, отмечаются тенденции восстановления донных сообществ (по крайней мере, в районе подводного отвала грунта). В целом, в 2016–2023 гг. исследованная часть Лужской губы сохраняла, хотя и не в такой степени, как во второй половине прошлого века, свое рыбохозяйственное значение.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ РАЙОНА О. КИЖИ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА ПО ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИМ И ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

**Фомина Ю.Ю., Сидорова А.И., Макарова Е. М., Смирнова В.С.,
Зобкова М.В., Ефремова Т.А., Сластина Ю.Л.**

*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН,
г. Петрозаводск, rambler7780@rambler.ru*

С целью оценки современного состояния экосистемы по гидрохимическим и гидробиологическим показателям были проведены исследования акватории Кижских шхер в 2022 и 2023 гг.

В районе Кижских шхер за период открытой воды 2023 г. отмечен близкий химический состав воды на всех исследованных станциях, по большинству химических показателей аналогичен центральной части озера. Вода в шхерном районе характеризовалась низкой минерализацией воды и низким содержанием органических веществ и биогенных элементов. Превышение ПДК выявлено по нефтепродуктам, что

связанно с нагрузкой от водного транспорта, а также железу, марганцу и меди, что является региональной особенностью.

Оценка обилия различных групп бактериопланктона показала, что в летний период 2023 г. вся акватория Кижских шхер, кроме литоральных станций, характеризовалось как удовлетворительной чистотой вод по содержанию фенольных соединений. Наиболее загрязненными нефтепродуктами были станции на выходе судового пути из Кижских шхер и района выпуска сточных вод музея-заповедника. Санитарно-бактериологическое состояние воды свидетельствовало о присутствии потенциально патогенной микрофлоры, превышающей нормативы для водоемов рекреационного использования.

В августе 2022 г. в районе Кижских шхер отмечено интенсивное развитие фитоценоза. В сообществе зафиксированы потенциально опасные виды, способные к выработке цианотоксинов. Однако их обилие не угрожало жизни и здоровью человека. Состояние экосистемы по показателям фитопланктона характеризовалось, как мезо-эвтрофное. По содержанию хлорофилла *a* шхерный район более продуктивный, чем центр озера. В 2023 г. концентрация хлорофилла *a* в Кижских шхерах была в несколько раз выше, чем в центральном плесе, и характеризовала данный район как мезотрофный.

Сравнительный анализ весеннего зоопланктона в 2023 г. выявил, что видовой состав и доминантные виды в центре озера и районе Кижские шхеры относятся к характерному для крупных озер Северо-Запада России северному планктонному комплексу видов. В отличие от глубоководного района в структуре зоопланктона Кижских шхер по численности и по биомассе преобладали циклопы и коловратки. Показатели уровня трофии в центре озера соответствовали олиготрофному типу, в шхерном районе – варьировали от олиготрофного до β -мезотрофного.

За вегетационный период 2023 г. обнаружена 21 таксономическая единица макрозообентоса. В доминирующем комплексе донных ценозов преобладали эврибионтные формы. По частоте встречаемости и доли в общей биомассе доминировали устойчивые к загрязнению хирономиды (*Chironomus* sp.) и малощетинковые черви (*Tubifex tubifex* и *Limnodrilus hoffmeisteri*).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-20018, <https://rscf.ru/project/23-17-20018>, проводимого совместно с органами власти Республики Карелия с финансированием из Фонда венчурных инвестиций Республики Карелия (ФВИ РК).

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПЛАНКТОННЫХ И БЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ В РАЙОНАХ ПОДВОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЕСКА НА АКВАТОРИИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

Хозяйкин А.А., Ляшенко О.А., Тамулёнис А.Ю.

*Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Санкт-Петербург,
Anatolijx@yandex.ru*

Добыча песка и песчано-гравийного материала на подводных месторождениях сопряжена с нарушением структуры дна водоёма и повышением мутности воды, что вызывает ряд негативных эффектов, в той или иной степени влияющих на гидробионты.

Исследования состояния гидробионтов восточной части Финского залива на участках добычи песка проводили в 2010–2023 гг. на акваториях трех месторождений: «Стирсудден-Кюренниemi», «Стирсудденские банки» и «Остров Сескар». Сбор и

обработка материалов производили стандартным оборудованием по общепринятым методикам.

Фитопланктон акваторий месторождений был представлен водорослями 8 систематических групп: цианопрокариоты, золотистые, диатомовые, криптофитовые, динофитовые, желтозелёные, эвгленовые, зелёные, а также фотосинтезирующая инфузория *Myrionecta rubrum*. Доминантами по численности, в основном, были цианопрокариоты, по биомассе – цианопрокариоты, диатомовые, криптомонады, в отдельных случаях – зелёные водоросли. Максимальная биомасса летом достигала $6,45 \text{ г/л}$, минимальная ($0,012 \text{ г/м}^3$) отмечалась осенью. Наибольшие величины были характерны для акваторий месторождений «Стирсудденские банки» и «Стирсудден-Кюррениеми», минимальные – для акватории месторождения «Остров Сескар». Основными доминантами были цианопрокариоты *Aphanizomenon flosaquae*, *Planktothrix agardhii*, криптомонады рода *Cryptomonas*, диатомовая *Diatoma tenuis*. Воздействие работ по добыче песка на фитопланктон отмечалось эпизодически и выражалось в структурных перестройках доминирующего комплекса и в уменьшении биомассы.

В период наблюдений в составе зоопланктона было отмечено порядка 50 таксонов, общее число которых варьировало в отдельные годы наблюдений от 17 до 37, снижаясь в зоне работ. Зоопланктон на акватории месторождений имел сходный состав доминирующих организмов. В число массовых входили пресноводные и солоноватоводные виды, последние преобладали на месторождении «Остров Сескар». Диапазон варьирования количественных показателей зоопланктона составлял: численность – $1,24\text{--}183,96$ тыс. экз./ м^3 , биомасса – $0,015\text{--}3,770 \text{ г/м}^3$. В периоды добычи песка отмечалось снижение количественных показателей зоопланктона (в 1,5–10 раз), в зависимости от интенсивности и продолжительности работ. Негативное воздействие работ носило локальный характер, сообщество зоопланктона быстро восстанавливалось в летний период, осенью восстановление замедлялось или не происходило.

Анализ результатов исследований зообентоса, полученных за весь период работ по добыче песка на месторождениях, показал, что негативное влияние производственной деятельности на бентоценозы выразилось в снижении его количественных характеристик и видового состава на всех месторождениях. Так с 2010 по 2023 гг. величины биомассы «кормового» бентоса на месторождениях «Стирсудден-Кюррениеми» снизились в 22 раза, «Стирсудденские банки» – в 8 раз, «Остров Сескар» – в 80 раз. В периоды, когда добыча песка на месторождениях не велась, отмечалось восстановление донной фауны за счёт вселения бентосных организмов с сопредельных, нетронутых работами участков акватории. Кроме этого прослеживалась тенденция увеличения доли инвазивных видов, таких как полихета *Marenzelleria* spp.

ВЛИЯНИЕ СТОЧНЫХ ВОД МОЛОКОЗАВОДА НА ПОКАЗАТЕЛИ МАКРОЗООБЕНТОСА РЕКИ УВА

Холмогорова Н.В.

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, nadjaholm@mail.ru

Река Ува-правый приток реки Вятки третьего порядка, Камский речной бассейн. Бассейн реки расположен в границах Удмуртской Республики. Длина реки 112 км, ширина русла в среднем течении 10–12 м, в нижнем – 15–22 м, глубина – 0,4–2,5 м. Скорость течения – 0,2 до 0,5 м/сек. Основные загрязнители реки – это

деревообрабатывающие, коммунальные предприятия ПГТ Ува и молокозавод. Начиная с 2010 г., на реке регулярно фиксируются заморы рыбы, и отмечается сильный неприятный запах воды.

Сбор макрозообентоса проводили с июня 2021 г. по сентябрь 2022 г. на реке Ува по стандартным методикам. Всего отобрано 38 количественных проб макрозообентоса на 14 створах.

Ниже выпуска стоков молокозавода дно сплошь покрыто хлопьями серо-белого оттенка, образующими слизистые сгустки, отмечается резкий неприятный запах воды и донных отложений. Стоит отметить гибель макрофитов (рдестов, элодеи канадской) в среднем течении, изредка встречаются останки растений желто-коричневого цвета со слизистым налетом. По всей реке преобладают песчаные донные отложения, с примесями ила и детрита на разных створах.

В составе макрозообентоса р. Ува зарегистрировано 123 вида и таксона более высокого ранга: 2 вида ракообразных, 1 – клещей, 7 – малощетинковых червей, 1 – круглых червей, 5 – пиявок, 8 – двусторчатых моллюсков, 17 видов брюхоногих моллюсков и 82 видов насекомых. Из насекомых по числу отмеченных видов преобладали личинки Diptera (26 видов), Ephemeroptera (14 видов), Coleoptera (14 видов). На каждой станции отмечалось от 2-х до 27 видов.

В верхнем течении по численности и биомассе в бентосе доминировали мелкие двусторчатые моллюски *Pisidium amnicum* (O.F. Mueller, 1774), постоянной частью сообщества были нимфы стрекоз (*Calopteryx splendens* (Harris, 1782), *C. virgo* L., 1758, *Platycnemis pennipes* (Pallas, 1771), *Gomphus vulgatissimus* (L., 1758), *Somatochlora metallica* (Van der Linden, 1823), *Cordulia aenea* (L., 1758)), личинки ручейников (*Hydropsyche angustipennis* Curtis, 1834, *H. pellucidula* Curtis, 1834, *Neureclipsis bimaculata* (L., 1758), *Polycentropus flavomaculatus* Pictet, 1834, *Brachycentrus (B) subnubilis* Curtis, 1834) и подёнок (семейств Baetidae и Caenidae). Также 100 % встречаемость отмечена для олигохет семейства Tubificidae.

Отмечено резкое сокращение числа видов макрозообентоса на участке от выпуска сточных вод молокозавода до села Вавож. В месте выпуска сточных вод отмечено только два вида макробентоса: *Tubifex nevaensis* (Michaelsen, 1902) и личинки семейства Simuliidae. В нижнем течении макрозообентос полностью восстанавливается, появляются оксифильные личинки ручейников и поденок, двусторчатые и брюхоногие моллюски, проективное покрытие макрофитов становится выше, чем в верхнем течении.

Численность макрозообентоса на реке Ува менялась в пределах от 184,17 до 82476,2 экз./м². Биомасса – от 0,48 до 488,25 г/м². Минимальная плотность и биомасса бентоса отмечена на песчаном грунте в верхнем течении. Максимальные количественные показатели бентоса зарегистрированы в 500 м ниже выпуска с очистных сооружений п. Ува, что связано с массовым развитием олигохет. В некоторых местах плотность олигохет была настолько велика, что дно приобретало розовый цвет.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Биоразнообразие природных экосистем Заволжско-Уральского региона: история его формирования, современная динамика и пути охраны» (FEWS-2024-0011).

ВЛИЯНИЕ МИКРОПЛАСТИКА НА ПРЕСНОВОДНЫХ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ

Чуйко Г.М.¹, Холмогорова Н.В.^{2,3}

¹*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок,
gchuiko@ibiw.ru*

²*Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, nadjaholm@mail.ru*

³*Томский государственный университет, г. Томск, nadjaholm@mail.ru*

Проблема антропогенного загрязнения окружающей водной среды микропластиком (МКП) впервые была обозначена в начале 70-х годов XX столетия. В настоящем она является одной из наиболее актуальных, но наименее изученных проблем современной экотоксикологии. В результате постоянно возрастающего производства и использования пластика во всех сферах деятельности человека, данный тип антропогенного загрязнения приобретает все более масштабный и глобальный характер (Plastics Europe, 2021). К МКП относятся пластиковые частицы <5000 мкм. При этом частицы <1 мкм часто выделяют в отдельную группу нанопластика (НП). Обе группы подразделяют на первичный, получаемый специально на производстве, и вторичный, образующийся в результате деградации и фрагментации крупного пластика и первичного МКП. Как и для других загрязняющих веществ (ЗВ) конечным накопителем МКП являются континентальные воды и Мировой океан (Chen et al., 2022). Показано, что МКП распределяется по всем компонентам пресноводных экосистем. Одной из наиболее распространенных групп гидробионтов, находящихся на начальных трофических уровнях и активно поглощающих МКП из воды и донных отложений (ДО), являются активные фильтраторы двустворчатые моллюски (Bivalvia) (Su et al., 2018). На основе обзора литературных данных делается анализ результатов исследований в области поглощения, биоаккумуляции и биологических эффектов воздействия МКП у пресноводных двустворчатых моллюсков. Всего к настоящему времени проведено 22 исследования на представителях трех семейств: Cyrenidae (45 %), Unionidae (25 %) и Dreissenidae (30 %). Они включают полевые наблюдения (43,5 %), натурные (8,7 %) и лабораторные (47,8 %) эксперименты. В этих исследованиях принимали участия представители 16 стран. Чаще всего из США и Канады (по 16 %), КНР (10,8 %) и Германии (8,1 %). Остальные страны были представлены единичными исследователями. В России аналогичных исследований до сих пор не проводилось. Ученые Европы участвовали в 18, Северной Америки – в 12, Азии – в 4, Австралия – в 2 исследованиях. Показано, что пресноводные двустворчатые моллюски способны поглощать и аккумулировать в мягких тканях частицы МКП как из воды, так и из ДО, воспринимая их в качестве пищевых объектов. В природных условиях в моллюсках обнаруживаются частицы МКП любого химического состава, формы, размера и цвета, но чаще прозрачные и синие волокна или неравномерные фрагменты размером около 1000 мкм. Частицы МКП могут локализоваться как в полостях пищеварительного тракта (жабры, кишка, гепатопанкреас, выпускной сифон), так и непосредственно внутри самих тканей. Последнее более характерно для частиц <2 мкм. Биоаккумуляция МКП в моллюсках приводит к структурно-функциональным и молекулярно-генетическим нарушениям в организме. Совместное действие МКП и химических загрязняющих веществ (кадмий, полихлорированные бифенилы, фармакологические препараты и др.) может вызывать как синергические, так и антагонистические эффекты в биологических ответах моллюсков. Исходя из

проведенных исследований, предлагается использовать двустворчатых моллюсков в качестве биоиндикаторов загрязнения пресных вод МКП.

Работа выполнена в рамках плановой бюджетной темы № з/р 121050500046-8.

КОМПЛЕКСНАЯ БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ ОЦЕНКА ЭКОСИСТЕМ МАКРОФИТНЫХ ЗАРОСЛЕЙ НЕВСКОЙ ГУБЫ ПРИ ТЕХНОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Шуйский В.Ф., Жигульский В.А., Чебыкина Е.Ю.

ООО «Эко-Экспресс-Сервис», г. Санкт-Петербург, shuisky.v@mail.ru

Прибрежные макрофиты экосистем Невской губы (традиционно, хотя и не вполне корректно называемые её «плавнями») высоко ценны и значимы в масштабе не только довольно крупных биомов, но и всей экосферы. Но биотопы плавней явно привлекательны также и для многопланового хозяйственного освоения. Притом ценность их различных участков весьма вариабельна, и для эффективной охраны и рационального многоцелевого использования плавней требуется метод их локальной комплексной экологической оценки, позволяющий обоснованно принимать соответствующие управленческие решения. Разработка такого метода являлась одной из задач научно-исследовательской программы «Плавни Невской губы», инициированной и выполненной Санкт-Петербургской негосударственной научной организацией «Эко-Экспресс-Сервис» в 2016–2022 гг. В рамках программы в Невской губе и сопредельной акватории изучались плавни различного возраста и генезиса под разными уровнями воздействия гидротехнических работ. Была подобрана сеть таких эталонных участков плавней, для которых значения этих факторов были распределены в гиперпространстве последних достаточно равномерно. Весной, летом и осенью выполнялся комплексный экологический мониторинг эталонных участков с определением индикационных признаков, характеризующих сообщества макрофитов, приуроченные к ним миграционные процессы и размножение птиц, нерест и нагул ранней молоди фитофильных видов рыб, характеристики фито- и зоопланктона, макрозообентоса, воды и донных грунтов.

Далее были отобраны и протестированы наиболее информативные индикационные показатели, позволяющие судить о локальной экологической ценности различных участков плавней. Критериями сравнительной оценки информативности показателей являлись: (1) мера их *смысловой индикационной значимости* для общей оценки «экосистемных услуг» (по результатам экспертных оценок профильных специалистов) и (2) мера их вариабельности в Невской губе и сопредельной акватории, отражающая *чувствительность* показателя. Наиболее информативными оказались около 30 показателей, характеристики самой водной растительности и её использования фитофильными видами рыб и водоплавающими и околоводными птицами. Для дальнейшей результирующей оценки предложены 4 альтернативных сводных показателя, объединяющих значения всех перечисленных характеристик, предварительно единообразно нормализованных по пятибалльной шкале). Сочетанный учёт обоих критериев информативности показателей в их сводной оценке обеспечивает её точность на 26 % большую, чем при их игнорировании. Наибольшую ценность демонстрируют плавни "старовозрастные" (более 45 лет) и "средневозрастные" (20–45 лет), причём вторые более продуктивны и устойчивы к техногенному воздействию. На стадии формирования "новых" плавней их "экосистемные услуги" ещё неполны – их

потенциал раскрывается лишь после 10–15 лет сукцессии. Затем плавни техногенного происхождения обеспечивают достаточно полноценную замену исходных экосистем.

Выполнен количественный учёт ресурсов основных массивов плавней Невской губы и сопредельной акватории, определена их ценность. Создана и зарегистрирована в Роспатенте база данных. Даны рекомендации по оптимальному использованию и охране плавней, а также выделен ряд их уникальных участков, требующих особой охраны и максимального вывода из-под воздействия.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНОГО МЕТАБОЛОМА МАКРОФИТОВ РАЗНОТИПНЫХ ВОДОЕМОВ АКВАТОРИИ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Явид Е.Я.¹, Аникина В.В.^{2,3}

¹ООО «ГЭС-Строй», г. Санкт-Петербург, eyavid@mail.ru

²Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН,
г. Санкт-Петербург, vapity94@mail.ru

³Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Санкт-Петербург

Водные растения играют значительную роль в формировании химического состава органических веществ как в пресных, так и морских водных экосистемах, продуцируя в окружающую среду метаболиты. Важное значение имеет изучение летучих низкомолекулярных органических соединений (ЛНОС), входящих в состав первичных и вторичных метаболитов водных растений, так как именно к ним относится совокупность веществ, характеризующихся высокой биологической активностью. Впервые проведен сравнительный анализ состава эфирных масел структурообразующих макрофитов (*Nuphar lutea* (L.) Sm., *Ruppia maritima* L., *Zostera marina* L., *Fucus vesiculosus* L., *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis.), произрастающих в пресноводных и соленоводных объектах Кандалакшского залива Белого моря. Рассматриваемые растения являются типовыми, структурообразующими для своих мест обитания и произрастают в разнотипных водных объектах, различающихся по солености, происхождению, размеру, циркуляции, температуре, трофности, биологическому разнообразию. Растительный материал был отобран в ходе проведенных экспедиций 2019–2021 гг. в водных объектах, незатронутых антропогенной деятельностью и которые могут рассматриваться как модельные гидроэкосистемы, обеспечивающие «нормальное» функционирование макрофитов.

Данные по метаболическому профилю макрофитов получены хроматомасс-спектрометрическим методом на приборе SHIMADZU GCMS-QP2010 Ultra.

В ходе сравнительного исследования эфирных масел было обнаружено, что растения из пресноводных местообитаний содержат большее количество ЛНОС, чем из морских местообитаний. Общими для всех исследованных образцов явились 6 соединений, большинство из которых являются представителями карбоновых кислот. Как в пресноводных, так и в морских местообитаниях у макрофитов наиболее значимыми (% по отношению к цельному эфирному маслу) мажорными компонентами являлись карбоновые кислоты, а именно: гексадекановая, тетрадекановая, линолевая и линоленовая кислоты.

Показано, что компонентный состав низкомолекулярного метаболома макрофитов зависит как от видовой специфики растения, так и от условий местообитания растений (гидрологические особенности, трофность). Полученные

результаты подтверждают, что обилие карбоновых кислот является индикаторным признаком благополучного состояния среды обитания макрофитов. Особое внимание уделено сравнению мажорных и общих соединений метаболома растений.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ВИДОВОГО СОСТАВА И МИГРАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ РЫБ, ОБИТАЮЩИХ В ЭПОХУ БРОНЗЫ – РАННЕГО ЖЕЛЕЗНОГО ВЕКА НА ТЕРРИТОРИИ БАРАБИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

Ядренкина Е.Н.¹, Мыльникова Л.Н.², Некраш А.А.², Титова А.В.²

¹Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск,
Yadrenkina_EN@mail.ru

²Институт археологии и этнографии СО РАН, г. Новосибирск

В полевой сезон 2022 г. исследователями ИАЭТ СО РАН проведены раскопки многослойного памятника «Усть-Тартасские курганы», в объектах эпохи бронзы – раннего железного века которого обнаружены останки рыб. Последние включали чешую, кости висцерального и мозгового отделов черепа, фрагменты осевого скелета (позвонки, включая веберов аппарат и уrostиль, реберные кости) и глоточные зубы. При установлении таксономического статуса рыб в качестве привязки использовали экспонаты остеологической коллекции рыб ИСиЭЖ СО РАН. Комплекс диагностически значимых признаков костистых рыб включал: тип чешуи (циклоидная, ктеноидная), морфологические особенности чешуи (рисунок внешнего края, соотношение показателей длины и ширины, расположение центроида), морфологические особенности костей висцерального отдела (жаберные крышки *operculum* и *praeoperculum*, окологлазничные кости *sub-orbitale*, кости челюстного аппарата *dentale*) и морфология глоточных зубов карповых рыб (сем. *Cyprinidae*). Присутствие представителей хрящевых ганоидов (осетровых рыб, сем. *Asipenseridae*) устанавливали по структуре первого луча грудных плавников. Возраст рыб фиксировали по числу годовых колец на склеритограммах чешуи. Сезон вылова определялся по относительной ширине прироста на внешнем крае годового кольца чешуи. Численность оценивалась по числу парных костей (жаберные крышки – *operculum*, предкрышки – *praeoperculum*, челюстные кости – *dentale*) и по числу уrostиля (конечный отдел осевого скелета, представляющий собой комплекс из четырех сросшихся позвонков). Реконструкция массы рыб оценивалась методом аналогов: по средней массе представителей разных видов в зависимости от возраста.

В своем большинстве скопления рыб из объектов раннего железного века представлены крупными особями старших возрастных групп (от 7+ лет, преимущественно 10+ и более). Эта особенность может быть связана не только с отбором крупных особей для ритуала захоронений, но и с техническими приемами отлова рыб. Например, снасти, используемые для отлова рыб, могли иметь относительно крупные промежутки между рядами плетений, через которые мелкая рыба уходила из ловушек. Идентифицированный видовой состав рыб в образцах раннего железного века включает представителей сем. *Cyprinidae* – язь *Leuciscus idus*, серебряный карась *Carassius gibelio*; сем. *Percidae* – окунь *Perca fluviatilis*. В объектах эпохи бронзы, кроме перечисленных видов, зафиксированы останки сем. *Acipenseridae* – стерляди (*Acipenser ruthenus*) и сем. *Cyprinidae* – золотой карась *C. carassius*. Анализ склеритограмм чешуи показал, что в период весеннего паводка язи единым стадом шли на нерест вверх по течению рек Иртыш, Омь и Тартас, в летний период они

распределяются по всему бассейну, в осенний спускались в основное русло Иртыша, перемещаясь на зимовальные ямы. Стерлядь осуществляла нерестовые миграции в течение июня, придерживаясь придонных горизонтов крупных рек. Карасям миграционная активность не свойственна, они размножаются в летний период, агрегируя в скопления в хорошо прогреваемых мелководьях озер и на разливах поймы рек.

ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ, ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ СООБЩЕСТВ: ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В БИОМОНИТОРИНГЕ

Яныгина Л.В.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, уап_lv@mail.ru

Увеличение антропогенной нагрузки на водные объекты и их водосборные бассейны ведет к трансформации водных экосистем во всем мире, что приводит к потере экосистемных услуг, ухудшению качества воды, и, в конечном счете, угрожает здоровью населения. Важным этапом разработки мероприятий по охране водных экосистем является оценка экологического состояния водных объектов, которая, в свою очередь, включает оценку состояния их водных биоценозов. Традиционно системы экологического мониторинга разных стран базируются преимущественно на оценках таксономического разнообразия сообществ. Благодаря длительному использованию таксономических подходов в системах экологического мониторинга разных стран, накоплен значительный опыт их применения, разработано большое число показателей и методических рекомендаций по их использованию. Основные проблемы применения таксономических подходов при экологическом мониторинге – использование крупных таксономических единиц, различия чувствительности индикаторных таксонов в разных регионах, недостаточность региональных модификаций индикационных показателей.

Многочисленные исследования последних десятилетий показывают, что не только таксономический состав, но и функциональные характеристики сообществ предсказуемо реагируют на изменения качества воды, гидроморфологические нарушения русла и другие факторы трансформации среды обитания, что позволяет рассматривать их в качестве перспективных показателей качества окружающей среды. Функциональное разнообразие количественно определяет изменчивость или разнообразие функциональных признаков в сообществе, под которыми понимаются любые измеримые характеристики организма, определяющие экологическую роль вида в сообществе (Schmera et al., 2017). Использование функционального подхода при биоиндикации помогает лучше понять взаимосвязи между структурой сообществ и их функционированием, а также оценить, какие функции в первую очередь теряются при различных антропогенных воздействиях. Несмотря на многообещающие перспективы, показатели функционального разнообразия пока слабо интегрированы в системы экологического мониторинга, важной проблемой их использования в биомониторинге является субъективность выбора функциональных признаков, недостаточность данных о функциональных особенностях видов.

Использование в биомониторинге филогенетических подходов, выявляющих родственные связи между таксонами, имеет сравнительно недавнюю историю. Развитию этих подходов способствовало получение большого объема филогенетических данных, полученных на основе молекулярных исследований, что стало возможным во многом благодаря появлению новых методов анализа ДНК.

Основными проблемами применения в практике биомониторинга является недостаточность эмпирических данных относительно связи этих показателей со структурой и функциями экосистем, а также слабый охват данными ДНК-анализа гидробионтов, особенно в отдаленных и малоизученных регионах.

Информативность комплексного использования показателей таксономического, филогенетического и функционального разнообразия в биомониторинге продемонстрирована на примере сообществ макробеспозвоночных горных водотоков Алтая.

СЕКЦИЯ 6. БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

НАУЧНЫЙ МОНИТОРИНГ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В АТЛАНТИЧЕСКОМ ОКЕАНЕ И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

Архипов А.Г.^{1,2}

¹*Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Калининград*

²*Калининградский государственный технический университет, г. Калининград,
arkhipov@atlant.vniro.ru*

Научный мониторинг водных биоресурсов (ВБР) и среды их обитания в океанических районах ведётся Атлантическим филиалом ВНИРО (АтлантНИРО) многие годы, что позволяет получать объективные данные, которые способствуют более эффективному и рациональному ведению промысла отечественным рыбодобывающим флотом. Основные океанические районы исследований института – Северо-Восточная Атлантика (совместно с ПИНРО), Центрально-Восточная Атлантика и Юго-Восточная часть Тихого океана (Промысловое описание..., 2013; Бандурин, Архипов, 2019; Бандурин и др., 2024; FAO Yearbook, 2022; <http://fish.gov.ru/otraslevaya-deyatelnost/>).

Северо-Восточная Атлантика (СВА). Сырьевая база российского рыболовства в СВА представлена пелагическими видами – путассу, пикшей и морскими окунями. Российскими научными наблюдателями в регионе осуществляется весьма действенный мониторинг промысла в рамках международных региональных организаций, АтлантНИРО также участвует в международных съёмках по оценке запасов морских окуней. Ежегодные суммарные мировые уловы водных биоресурсов в последние годы находились на уровне 8,0–9,3 млн т. Всего в СВА (без уловов в Баренцевом и Норвежском морях) Россия может добывать до 80–100 тыс. т.

Центрально-Восточная Атлантика (ЦВА). Российские специалисты из АтлантНИРО ведут мониторинг отечественного промысла и проводят практически ежегодные съёмки по оценке пополнения массовых пелагических рыб. Основой сырьевой базы промысла в ЦВА являются запасы массовых пелагических рыб – европейской сардины, европейской и западноафриканской ставриды, каранкса, круглой и плоской сардинеллы, африканской скумбрии и некоторых других видов. Суммарный вылов ВБР всеми странами, ведущими промысел в этом районе, в последние годы колебался в пределах 4,2–5,1 млн т. В настоящее время вылов России в ЦВА (в ИЭЗ иностранных государств) находится на уровне 140–240 тыс. т/год. Нарращивание вылова

возможно, в основном, за счет сардины, численность которой остается на стабильном уровне, и в некоторой степени за счет скумбрии.

Юго-Восточная часть Тихого океана (ЮВТО). Основными промысловыми видами в ЮВТО являются перуанская ставрида, восточная скумбрия, перуанский анчоус и перуанская сардина. Запасы основных объектов промысла и, соответственно, их уловы испытывают значительные межгодовые колебания, которые вызваны периодически повторяющимися изменениями абиотических условий. В последние годы колебания суммарного вылова ВБР всеми ведущими в этом районе промысел странами изменяются от 12,3 до 6,3 млн т. Возможный ежегодный вылов России, составляет около 30 тыс. т. ставриды. Вылов скумбрии пока не лимитируется. В последние годы в ЮВТО работают 1–2 российских рыбопромысловых судна, на которых осуществляют мониторинг научные наблюдатели АтлантНИРО. Отечественные уловы за год достигают 60 тыс. т.

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОМЫСЛОВЫХ ЗАПАСОВ ЛИЧИНОК ХИРОНОМИД (*CHIRONOMUS*: DIPTERA) В ВОДОЕМАХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Зуев Ю.А., Шацкий А.В.

*Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Санкт-Петербург,
hydrobiology@niorh.vniro.ru, yzuyev@yandex.ru*

Мотыль (личинки комаров-хирономид *Chironomus* sp.) – единственная группа насекомых, которую добывают в промышленных масштабах в водоёмах Ленинградской области. Мониторинг за промысловыми запасами мотыля в водоёмах области ведется с 2010 г. В настоящий момент из 53 исследованных водоемов мотыль обнаружен в 43. Промысловые запасы отмечены в некоторых районах Финского залива, а также озерах Вишневское и Победное.

В этих озерах проводится активный коммерческий промысел личинок комаров-хирономид. Добыча хирономид ведется, как правило, в центральной части озер. При этом достоверная статистика по объемам промысла отсутствует, что не позволяет оценивать межгодовые изменения запасов мотыля и влияние на них промысла. Пространственное распространение мотыля в озерах исследуется с 2018 г. Показано, что максимальная концентрация личинок хирономид, приходится на прибрежную полосу. Несмотря на относительно небольшую ширину полосы, запасы мотыля здесь в отдельные годы составляют до половины от запасов всего озера. Корректная оценка межгодовых изменений и влияния промысла в озерах невозможны без учета личинок в этой зоне. Изменение запасов в прибрежной полосе показательно, так как эта зона недоступна для обычных методов промысла.

Среднегодовая общая биомасса личинок хирономид в зимний период в озере Вишневское составляет 99,5 тонн и в озере Победное – 20,2 тонн, соответственно. Максимальный запас отмечен в марте 2023 г. на озере Вишневское и составил 350 тонн, минимальный – на озере Победное в 2017 г. в объеме 5 тонн. Запас личинок хирономид не зависит от промыслового изъятия и может колебаться на два порядка от года к году. Изменчивость зимних запасов может быть связана с температурой периода последней закладки личинок осенью.

ВОЗРАСТ И РОСТ ОБЫКНОВЕННОГО СУДАКА *SANDER LUCIOPERCA* В РАЗНОТИПНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Интересова Е.А., Сукнев Д.Л., Шаталин В.А., Кабиев Т.А.,
Дорогин М.А., Цапенков А.В.

Новосибирский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Новосибирск, zapsibniro@vniro.ru

В Западной Сибири обыкновенный судак *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) – чужеродный вид. Его интродукция в бассейн р. Обь началась в 1956 г. В оз. Чаны судак впервые был вселен в 1962 г. В Верхней Оби он появился в начале 1960-х годов после того, как с 1959 по 1964 гг. в Новосибирское водохранилище было завезено около 31 млн. икринок и личинок этого вида из разных водоемов европейской части России. Постепенно он расселился вверх и вниз по течению реки. В настоящее время судак распространен от верховий Оби и Иртыша вплоть до Обской и Тазовской губы.

Судак – ценный вид водных биологических ресурсов, объект промысла в крупных разнотипных водных объектах на юге Западной Сибири: оз. Чаны (расположено в Обь-Иртышском междуречье; глубина до 8 м, в среднем 2 м; площадь около 2 тыс. км²; с повышенной минерализацией воды), Новосибирском водохранилище (образовано в Верхней Оби; глубина до 25 м, в среднем 8 м; площадь 1,07 тыс. км²), в бассейне Средней Оби в пределах Томской области. Однако большого значения в общем объеме добываемой рыбы судак не имеет: в оз. Чаны в последние 10 лет его вылов (согласно данным официальной рыбопромысловой статистики) составляет в среднем 279 т (около 5,1 % уловов), в Новосибирском водохранилище – 18 т (2,4 %), в бассейне Средней Оби в пределах Томской области – 66 т (2,1 %).

Известно, что показатели линейного и весового роста судака сильно различаются в разных водоемах и колеблются год от года. Анализ средних за последние 10 лет размерных характеристик разновозрастных особей (наиболее массовых возрастных групп) данного вида из промысловых уловов в разнотипных крупных водных объектах юга Западной Сибири показал, что судак в оз. Чаны несколько мельче, чем в Новосибирском водохранилище и Средней Оби (рисунок).

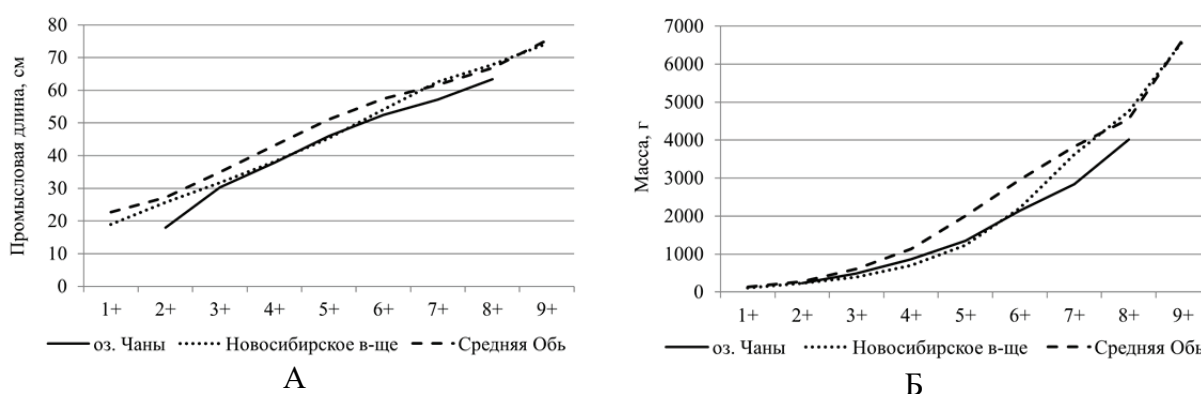


Рисунок. Размерные характеристики (А – промысловая длина, см; Б – масса, г) обыкновенного судака *Sander lucioperca* в крупных разнотипных водных объектах юга Западной Сибири.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00101, <https://rscf.ru/project/24-26-00101>.

СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ГОЛЬЦОВ Р. *SALVELINUS* ИЗ ОЗЕРА СОБАЧЬЕ

Карпов В.А.^{1,2}, Рудченко А.Е.¹

¹Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, vlkarpov2@gmail.com

²Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск

Гольцы р. *Salvelinus* являются уникальными представителями ихтиофауны, образующими большое количество форм внутри одного водоема, которые могут обладать уникальными признаками. В свою очередь, некоторые формы гольцов вида *Salvelinus alpinus complex* (Mina, 1986) из оз. Собачье, обладают высокой биохимической ценностью как источника омега-3 полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК). Кроме того, некоторые исследователи отмечают высокую скорость роста данных форм. Перечисленные особенности делают данные формы гольцов перспективными объектами аквакультуры. Однако, возникает вопрос, сохранят ли гольцы свои уникальные свойства и высокую биохимическую ценность при аквакультурном выращивании. Для этого необходимо понимать, какие факторы могут оказывать влияние на ценность данного вида (формы).

Цель работы – сравнить состав и содержание жирных кислот (ЖК) в мышечной ткани (филе) гольцов разного пола, возраста и стадии онтогенеза из оз. Собачье.

Объектом нашей работы послужили гольцы *Salvelinus alpinus complex* (Mina, 1986) разного возраста, пола и стадии онтогенетического развития из оз. Собачье. Для всех особей был проведен полный биологический анализ, отобраны регистрирующие структуры для определения возраста и пробы мышечной ткани для проведения биохимического анализа. Определение состава и содержания ЖК в мышечной ткани гольцов проводилось с использованием метода газовой хроматографии и масс-спектрометрии.

Сравнение содержания ЖК в мышечной ткани гольцов из оз. Собачье выявило достоверные отличия в содержании физиологически ценных эйкозапентаеновой (ЭПК) и докозагексаеновой (ДГК) кислот между особями разной стадии онтогенеза и разного возраста, тогда как половая принадлежность не оказывала достоверного влияния. Отличия в составе ЖК у особей гольцов из оз. Собачье, выявлены не были.

Для ювенильных особей суммарное содержание ЭПК и ДГК составило $2,96 \pm 0,57$ мг/г сырой массы, а для особей, пропускающих нерест оно составило $8,34 \pm 0,68$ мг/г, тогда как для нерестующих особей получена величина $12,41 \pm 1,38$ мг/г. Таким образом, значительное увеличение содержания ЭПК и ДГК наблюдается у гольцов в возрасте 5+ лет, после чего данное содержание сохраняется на стабильно высоком уровне.

ПОПУЛЯЦИОННЫЙ ПОДХОД К КЛАССИФИКАЦИИ ФАУНИСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ОЗЕР ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Козлов О.В.¹, Асманова А.А.¹, Коноводова Е.А.¹, Татарникова Е.И.², Енова Ю.А.²,
Накоскин А.Н.¹, Аршевский С.В.¹, Шаров А.В.¹, Филистеев О.В.¹, Чирухин А.В.³

¹Курганский государственный университет, г. Курган, hydrobiology@list.ru

²Тюменский государственный университет, г. Тюмень, yuliya_2000en@mail.ru

³ООО НИИ «Региональный исследовательский научно-консультационный
центр экспертизы», г. Курган, ooo.olimp.ru@mail.ru

Вопросами классификации континентальных лентических систем, к которым относятся и мелководные озера лесостепной зоны юга Западно-Сибирской равнины, начали заниматься в середине XX века. В это время обосновывается популяционный подход к описанию фаунистических комплексов не только наземных экосистем, но и лимноэкосистем. Изначально упор в классификации последних делался на наиболее стабильные и представляющие коммерческий интерес популяции рыб, которые обычно являются в озерных экосистемах высшим трофическим уровнем, аккумулирующим автохтонное органическое вещество. Начиная с 90-х годов XX века, классификация фаунистических комплексов, особенно малых озер, развивается и дополняется на основе многочисленных данных об относительной численности и биомассе популяций беспозвоночных гидробионтов, их системах доминирования в зоопланктоне и зообентосе. В совокупности с использованием популяционных показателей представителей ихтиофауны и макрофитов это создает более полное представление о типологии фаунистических комплексов малых лимнических систем.

Высшие водные растения в неглубоких хорошо прогреваемых озерах юга Западной Сибири формируют экологические зоны надводного и подводного зарастания и промежуточную зону, сформированную полупогруженными макрофитами. В них складываются различные стабильные условия обитания представителей зоопланктона и зообентоса, что позволяет точнее дать характеристику их популяциям и проследить формирование в каждом отдельном водоеме различных трофических уровней. Учитывая динамичную площадь водоема и его глубину, которые напрямую связаны с меняющимися климатическими условиями и гидрологическим режимом, существует возможность классифицировать фаунистические комплексы озер с использованием организмов беспозвоночных гидробионтов.

Для малых лимноэкосистем лесостепной зоны Курганской, Тюменской, Омской, Новосибирской областей и Алтайского края с учетом химического состава озерных вод четко выделяются следующие фаунистические комплексы: артемиевый (с доминированием *Artemia salina parthenogenetica*), амфиподный (с доминированием *Gammarus lacustris*), амфмодно-хаоборидный (с доминированием *G. lacustris* и субдоминированием представителей *Chaoborus sp.*), амфмодно-хирономидный (с доминированием *G. lacustris* и субдоминированием представителей *Chironomus sp.*), хирономидный (с доминированием представителей *Chironomus sp.*), кладоцерный (с доминированием представителей *Daphniidae*), копеподный (с доминированием представителей *Calanoida* и *Cyclopoida*). Смешанные фаунистические комплексы описываются как промежуточные исходя из видового обилия и выравненности зоопланктоценозов и зообентоценозов.

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЛОСОСЕВЫХ РЫБ В ВОДОТОКАХ ЛЕТНЕГО БЕРЕГА БЕЛОГО МОРЯ

Коноплева Е.С.¹, Челпановская О.А.¹, Вихрев И.В.¹, Дворянкин Г.А.^{1,2},
Футоран П.А.^{1,2}, Кондаков А.В.¹

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, es.konopleva@gmail.com

²ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский», г. Архангельск, dga130157@gmail.com

Онежский полуостров известен своими многочисленными реками и ручьями, в которых обитают представители семейства Salmonidae, такие как атлантический лосось или семга (*Salmo salar*) и кумжа (*S. trutta*). Однако популяции данных видов остаются малоизученными, в особенности с точки зрения генетической структуры. Целью данной работы было оценить генетическое разнообразие и дифференциацию лососевых рыб из водотоков Летнего берега Белого моря. Для лососевых из р. Большая Сярта, Лопшеньга (включая ручей Каменный), Усть-Яреньга, Галдарея, Госдарея и Летняя Золотица были получены нуклеотидные последовательности двух фрагментов митохондриальных генов (I субъединица цитохром-с-оксидазы COI и цитохром b cyt b), ядерный маркер (RAG1) использовался для выявления возможных гибридов. Во всех изученных реках выявлен один гаплотип COI у *Salmo trutta* и один гаплотип у *S. salar*, которые идентичны вариантам широко распространенным по всему миру. В популяциях кумжи обнаружено два гаплотипа гена cyt b. Оба гаплотипа встречаются во всех обследованных реках, кроме бассейна Лопшеньги, где обнаружен только один из них.

В популяциях семги выявлено 3 гаплотипа гена cyt b, один встречается в Усть-Яреньге и Летней Золотице, остальные два – в Усть-Яреньге (уникальные). В реке Большая Сярта был обнаружен один гибрид *S. salar* и *S. trutta*, который имеет свой уникальный гаплотип гена cyt b (*S. salar*). Генетическое разнообразие было оценено по гену cyt b. Уровень гаплотипического разнообразия Hd в популяциях кумжи варьирует от 0 в бассейне Лопшеньги, где встречается только один гаплотип, до $0,55 \pm 0,07$ в реке Госдарея. В среднем уровень Hd для популяций кумжи водотоков Летнего берега небольшой и составляет $0,30 \pm 0,06$. Уровень нуклеотидного разнообразия π варьирует аналогичным образом с максимальным значением для популяции р. Госдарея ($0,0011 \pm 0,0009$). Популяция кумжи из р. Госдарея также является наиболее дивергентной согласно значениям Fst и р-дистанций (K2P). В то же время уровень генетического разнообразия популяции семги в р. Усть-Яреньга относительно высокий: $Hd = 0,73 \pm 0,07$, $\pi = 0,0015 \pm 0,0011$, что может свидетельствовать о более высоком эволюционном потенциале *S. salar* по сравнению с *S. trutta*, обитающей в том же водотоке. Ни для одной из исследованных популяций лососевых не было выявлено отклонений от нейтральности (тесты Tajima's D и Fu's FS), что может говорить об их относительной стабильности. Популяции кумжи из р. Госдарея и семги из р. Усть-Яреньга кажутся наиболее благополучными из-за более высоких уровней генетического разнообразия. Наличие уникальных гаплотипов cyt b, которые не обнаружены за пределами Онежского полуострова, как у семги, так и у кумжи делают такие популяции важными с точки зрения изучения генетического разнообразия, охраны и мониторинга.

Исследования проведены при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-24-10028 (<https://rscf.ru/project/23-24-10028/>). Работы на территории национального парка «Онежское Поморье» были проведены в рамках

договора № 502 от 22.05.2023 г., заключенного между ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский» и ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕИНВАЗИВНОГО МЕТОДА УЗД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ ОСЕТРОВЫХ И ЛОСОСЕВЫХ ВИДОВ РЫБ

Корентович М.А.

*Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень,
korentovichma@gausz.ru*

Катастрофическое сокращение численности естественных популяций осетровых и лососевых рыб, ранее отлавливаемых для промышленного воспроизводства, привело к ускоренному формированию маточных стад различных видов на рыбоводных предприятиях России. Разработка неинвазивных методов (ультразвук, эхокардиография, спектрофотометрия), позволяющих проводить анализ состояния гидробионтов с минимальными для них повреждениями, является очень актуальным направлением в биологии и особенно в аквакультуре. Ультразвуковой экспресс-метод раннего определения пола и стадий зрелости гонад, разработанный сотрудниками Южного филиала ФГУП «Федеральный селекционно-генетический центр рыбоводства» (Чебанов и др., 2010) для осетровых видов рыб, в последние десятилетия интенсивно применяется при выращивании рыбы в аквакультуре.

В то же время, помимо определения пола необходимо проводить УЗ мониторинг состояния каждой особи с ранним выявлением патологических изменений, что приводит к принятию мер по своевременному лечению и, соответственно, минимизации ущерба для рыбного хозяйства (Korentovich etc., 2024). Использование ультразвукового скрининга РМС осетровых, выращиваемых на 15-ти рыбоводных предприятиях Урала, Западной и Восточной Сибири, позволило обобщить данные многолетних исследований, оценить частоту встречаемости и степень проявления ряда патологий воспроизводительной системы (кистоз и поликистоз семенников и яичников, гидроцеле, жировое перерождение гонад, атрофия и перекрут семенников, новообразования, гермафродитизм и др.), печеночной железы и желчевыводящей системы. При визуализации крупных кист у особо ценных особей, содержащихся в РМС, предложен метод проведения аспирационной биопсии под контролем ультразвука для выявления патогенных микроорганизмов, уточнения диагноза заболевания и определения способов лечения. Помимо биопсии возможно введение контрастных препаратов (Соновью и др.). УЗ-метод позволяет осуществлять экспресс-мониторинг половой структуры, динамики гаметогенеза при проведении фундаментальных исследований по оценке гиногенетического потомства от различных видов осетровых, диспермного андрогенеза редких и исчезающих видов, влияния различных факторов на регуляцию развития гонад и других направлений экспериментальных работ, проводившихся с различными видами осетровых.

В последние годы, в связи со строительством новых рыбоводных предприятий, занимающихся заводским воспроизводством ценных объектов аквакультуры семейства лососевых, при формировании высокопродуктивных маточных стад возникла настоятельная необходимость разработки методики УЗД внутренних органов. С помощью импульсно-волновой и постоянно-волновой доплерографии, тканевой гармонической визуализации, энергетического доплера, эластографии, панорамного изображения впервые в России проведены комплексные УЗ-исследования

атлантического лосося, форели, муксуна, чира, выращиваемых на Кольском полуострове, в Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском Автономных округах, и предложены подробные рекомендации раннего определения пола рыбы, стадий зрелости гонад, выявления особей с патологиями внутренних органов.

СРАВНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТОКСИЧНЫХ И ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РЫБЕ ИЗ РАЗНЫХ РЕГИОНОВ АЗРФ

Коробицына Р.Д., Соболев Н.А., Аксёнов А.С., Сорокина Т.Ю.

*Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Архангельск, r.korobicina@narfu.ru*

Проблема накопления тяжелых металлов в органах и тканях рыб является особо актуальной в связи с климатическими изменениями и увеличением антропогенной нагрузки в Арктике. Токсичные элементы в водных экосистемах существуют длительное время, способны к биомагнификации, что может оказывать негативное воздействие на организмы высших трофических уровней. С другой стороны, отрицательное влияние загрязняющих веществ может быть компенсировано положительными эффектами от действия жизненно необходимых элементов, которые также накапливаются в организме гидробионтов. Цель исследования – сравнение уровня эссенциальных и токсичных элементов в рыбах из разных регионов Арктической Зоны Российской Федерации.

Методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, в лаборатории арктического биомониторинга САФУ было определено содержание 4 токсичных (As, Hg, Pb, Cd) и 5 эссенциальных элементов (Co, Cu, Zn, Se, Ni) в 75 пробах рыб (морские, пресноводные, анадромные). Пробы были отобраны в: Архангельской области (АО), Ненецком (НАО) и Чукотском (ЧАО) автономных округах. Точность результатов измерений устанавливалась с применением сертифицированных стандартных образцов мышечной ткани рыб ERM-BB422 и IAEA-436. Для сравнительного анализа использовалось программное обеспечение Microsoft Office Excel 2016.

В НАО и ЧАО проанализированы 2 одинаковых вида рыбы: горбуша и чир. Для проб горбуши из НАО характерны более высокие концентрации: As (0,8 мг/кг), Pb (6,7 мг/кг), Cd (6,1 мкг/кг), Se (0,5 мг/кг), Cu (0,5 мкг/кг) и Zn (7,3 мг/кг), для ЧАО – Hg (71 мкг/кг) и Ni (21 мкг/кг). Пробы чира из ЧАО отличались высокими средними концентрациями: Cu (0,3 мг/кг), Hg (72 мкг/кг) и Cd (1,1 мкг/кг). Средние концентрациями: Se (381 мкг/кг) и Ni (15,4 мг/кг), были выше в пробах чира из НАО, а уровень As и Pb был ниже ПКО. В АО и НАО проанализированы 3 одинаковых вида рыбы: навага, семга и камбала. В АО пробы наваги отличались более высокими концентрациями: Co (13 мкг/кг), Ni (35,3 мкг/кг), Hg (0,1 мг/кг), As (34,5 мг/кг) и Pb (12,9 мкг/кг), в НАО – Cu (0,6 мг/кг). Для проб семги из НАО были характерны более высокие средние концентрации: As (2,7 мг/кг), Pb (2,6 мкг/кг), Cd (1 мкг/кг), Cu (в 3 раза), Co (в 4 раза), Se (на 30 %) и Zn (на 50 %), а уровень Hg был ниже ПКО по сравнению с пробами семги из АО. Для проб камбалы из НАО были характерны более высокие средние концентрации: Co (в 3 раза), Se (в 5 раз), Ni (в 7 раз) по сравнению с пробами камбалы из АО. Для проб камбалы из АО отмечена более высокая концентрация Zn (14,5 мг/кг), по сравнению с камбалой из НАО (9,6 мг/кг).

Таким образом, определены средние концентрации токсичных и эссенциальных элементов в популярных видах рыб арктического регион, наибольшая концентрация

была характерна для As и Zn в пробах наваги. Выявлены географические различия в содержании элементов в представителях одного семейства из разных экосистем АЗРФ, а именно: более высокие концентрации Se, Co, Cu, Cd, Pb, Ni характерны для НАО; Zn, Hg, As для АО; в ЧАО выявлены самые низкие концентрации токсичных и эссенциальных элементов, по сравнению с двумя другими регионами.

Настоящая работа была выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (договор от 22.03.2022 № 22-15-20076).

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОПУЛЯЦИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ АРТЕМИИ ПО БИОХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ ЦИСТ С ЦЕЛЬЮ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ИХ ННН-ПРОМЫСЛА

Литвиненко Л.И.¹, Захарова Т.В.², Куцанов К.В.²

¹*Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень,
litvinenkoli@gausz.ru*

²*Тюменский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Тюмень, grc-zakharova@mail.ru*

В России артемия относится не только к ценным, но и стратегически важным видам биоресурсов. Это связано и со значимостью этого объекта в мировой аквакультуре, и с наличием больших природных запасов цист. На мировом рынке цист Россия, Казахстан и Узбекистан занимают 3 позицию после США и Китая. Большая часть производимых в нашей стране цист артемии идет на экспорт в основном в страны Юго-Восточной Азии. Прimitивность промысла цист, огромная территория расположения артемиевых озер, а также высокая стоимость этого вида биоресурсов порождает ННН-промысел. Для предотвращения этого российскими учеными предпринимаются попытки идентификации популяций артемии генетическими, морфометрическими методами по показателям цист, структуре их оболочки, цвету. Изучаются показатели вылупляемости цист, роста рачков, морфометрии взрослых рачков, соотношение полов. Ни по одному параметру не найдено четкого разграничения популяций, за небольшим исключением.

Так, генетически дифференцируются некоторые популяции на восточной части ареала артемии в пределах России. Единичные популяции имеют закрепленный признак пятнистости оболочки, малого диаметра цист, тонкого или толстого хориона; размеры рачков, выращенных в культуре, несут информацию о солености материнского водоема. Биохимический состав цист артемии, как отражение не только генетики, но и окружающей среды, может нести информацию о популяционных различиях. Целью нашей работы было оценить возможность популяционной идентификации артемии по биохимическому составу цист. Всего было исследовано 14 популяций (11 озер юга Западной Сибири, Б.Яшалтинское – из Калмыкии, Сиваш – из Крыма и Арал – из Узбекистана) по 20 пробам. Для анализа закрепленности признака в разные годы – по 6 популяциям Западной Сибири были изучены пробы разных лет сбора. Исследования проведены на декапсулированных цистах. Содержание белка по сухому веществу в цистах было в пределах от 34,7 (Невидим, 2015 г.) до 57,3 % (Б. Медвежье, 2017 г.). В тех же популяциях были отмечены предельные показатели содержания аминокислот: 34,85–44,80 % сух. в-ва. Но признак оказался не закрепленным, о чем свидетельствуют данные в этих популяциях в другие годы исследования. Суммарное количество незаменимых аминокислот было выше в цистах Сиваш (19,3 %) и относительно мелких цистах оз. Гашково (19,0 %) и наименьшее в цистах оз. М.Медвежье в 2017 г. (15,2 %).

Минимальное количество заменимых аминокислот отмечено для цист Арала (13,6 %) и максимальное для цист Б. Медвежье в 2017 г. (22,11 %). Наиболее изменчивы в цистах одной популяции в разные годы: концентрации His, Asp+Asn и Cys, напротив концентрация серина отличается наибольшей стабильностью в популяциях, и его содержание, возможно, может служить дифференцирующим признаком. Содержание тяжелых металлов в цистах исследованных популяций находилось в последовательности: $Hg < Cd < Pb < As < Cu < Zn$. Наибольшая концентрация Zn и Pb отмечена для цист Арала, Cd и Hg – для цист Б.Медвежье в 2017 г.; Cu – для цист Невидим в 2011 г., As – для цист Кучукское, 2017. Полученные данные свидетельствуют о перспективности этого метода идентификации. Однако из-за малого количества выборок серьезные выводы делать преждевременно.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ЛИМНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПО БИОРЕСУРСАМ ОЗЕР

Мингазова Н.М., Галеева А.И.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, nmingas@mail.ru

Многопараметровые классификации озер, позволяющие учитывать совокупность параметров, являются наиболее сложными лимнологическими классификациями. В течение 2007–2022 гг. на кафедре природообустройства и водопользования и лаборатории оптимизации водных экосистем КФУ (на основе данных инвентаризации озер г. Казани, Республик Татарстан и Марий Эл, республики Абхазия) были разработаны структура, параметры, признаки и показатели новой многопараметровой классификации. На основе лимнологических, гидрохимических и биоресурсных параметров (по запасам фитопланктона, макрофитов, зоопланктона, зообентоса и ихтиофауны) можно фактически типизировать любое озеро любого региона по совокупности показателей. Авторское название – универсальная лимно-экологическая классификация (УЛЭК). Основным отличием УЛЭК является объединение предлагаемых параметров, признаков и показателей классифицирования озер в виде единой формулы. С прицелом дальнейшей автоматической обработки была внедрена методика кодирования признаков и показателей: для обозначения признака используется первая буква его названия в английском варианте, а показатель обозначается числовым индексом. Проработана также графическая интерпретация УЛЭК в табличной форме и в виде полярной диаграммы, что позволяет получить графический портрет озера, наглядно визуализируя значения показателей.

Для Республики Марий Эл, РФ (уровень области, республики) при анализе 45 озер (5 % озер республики) выявлено, что преобладающий тип озера имеет формулу $Z_3 Sl_1 G_6 A_4 D_{3/4} W_{3/4} T_3 Mix_1 S_{2/3/4} M_3$. Для Республики Абхазии при анализе 15 озер (6 % озер страны) с использованием УЛЭК установлено, что преобладающий тип озера среди исследуемой группы имеет формулу $Z_1 Sl_5 G_2 A_5 D_3 W_3 T_1 S_3 M_1$.

Для г. Казань при анализе 175 озёр (100 % озер) с использованием УЛЭК выявлено, что преобладающий тип озера имеет формулу $Z_3 Sl_1 G_4 A_4 D_4 W_4 T_2 Mix_5 S_5 M_4 I_{1(1)} Ph_1 Tr_4 Fl_3 Fa_3$. По происхождению преобладают пойменные, по площади – малые, по глубине – мелководные озера, по водному балансу – бессточные озера, по минерализации – олигогалинные озера (более 0,5 г/л), гидрокарбонатно-кальциевого типа. В озерах г. Казани выявлено 190 таксонов альгофлоры, 51 вид макрофитов, 204 вида зоопланктона, 163 вида зообентос и 15 видов ихтиофауны.

С учетом региональных особенностей разработана региональная модификация УЛЭК для оценки биоресурсов (УЛЭК-БР) озер г. Казани. Признак «Флора» делится по степени зарастания и разнообразию макрофитов: Fl_1 – слабозарастающее; Fl_2 – макрофитное, с богатым видовым составом; Fl_3 – макрофитное озера с низким видовым разнообразием; Fl_4 – планктонное озера. Признак «Фауна» делится: 1) по рыбных ресурсам: Fa_1 – рыбное с редкими видами; Fa_2 – рыбное с богатым видовым составом; Fa_3 – рыбное с фоновыми видами; Fa_4 – безрыбное озера; 2) по биомассе зоопланктона: BZ_1 – с биомассой менее 1 г/м^3 , BZ_2 – с биомассой от 1 до 5 г/м^3 , BZ_3 – с биомассой от 5 до 10 г/м^3 и BZ_4 – с биомассой более 10 г/м^3 ; 3) по биомассе зообентоса: BB_1 – с биомассой менее 1 г/м^2 , BB_2 – с биомассой от 1 до 5 г/м^2 , BB_3 – с биомассой от 5 до 10 г/м^2 , BB_4 – с биомассой более 10 г/м^2 . Большая часть озёр города по биомассе зоопланктона (64 %) и зообентоса (58 %) относится к низкопродуктивным.

Авторы считают, что возможности УЛЭК и региональных модификаций по биоресурсам (УЛЭК-БР) весьма широки и позволяют типизировать любое озеро мира.

ВОЗРАСТ И РОСТ ПЛОТВЫ *RUTILUS RUTILUS* В РАЗНОТИПНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

**Морозко А.В., Пасечкина В.Ю., Кабиев Т.А., Шаталин В.А.,
Цапенков А.В., Дорогин М.А., Интересова Е.А.**

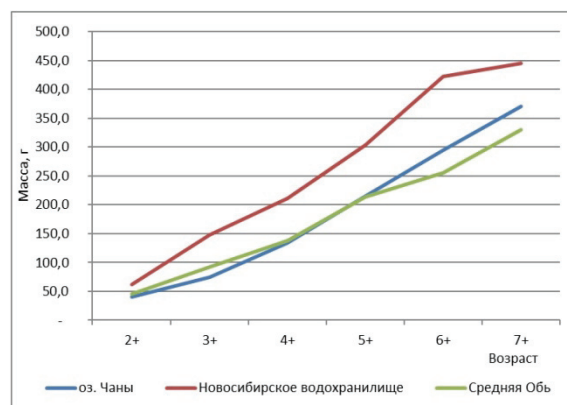
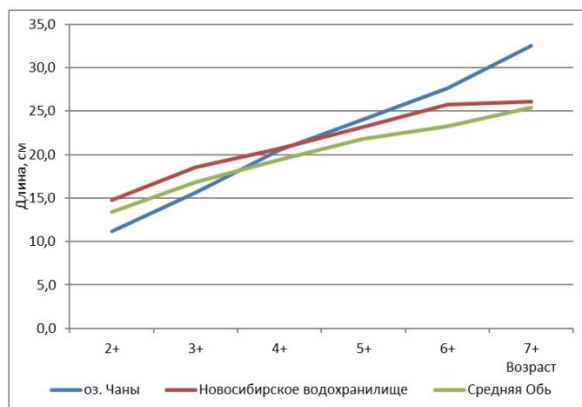
Новосибирский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Новосибирск, zapsibniro@vniro.ru

Рыбы – пойкилотермные животные и на их рост и развитие напрямую влияют факторы окружающей среды. Водоёмы на юге Западной Сибири разнообразны не только по типу, но и по условиям.

Оз. Чаны является крупнейшим бессточным рыбохозяйственным водоемом юга Западной Сибири. Новосибирское водохранилище — искусственный водоём на реке Обь на территории Новосибирской области и Алтайского края. Водоём, по сравнению с другими водохранилищами России, не крупный, поэтому имеет высокую проточность. Верхний участок речного типа, средний и нижний – озерного. Средняя Обь это участок Оби расположенный на территории Томской области и Ханты-Мансийского автономного округа (от устья Томи до устья Иртыша). Он являлся периодически заморным участком, через который проходила нерестовая миграция проходных рыб. Целью работы стало сравнить изменения темпов роста и набора массы у плотвы из трёх разнотипных водоёмов юга Западной Сибири за последние десять лет.

В работе были проанализированы данные об изменении длины и массы плотвы по возрастам (рисунок) из отчётов Новосибирского филиала ФГБНУ «ВНИРО» за последние десять лет (с 2013 по 2022 гг.).

На начальном этапе наибольшие показатели длины (у рыб возрастом 2+) наблюдаются у плотвы из Новосибирского водохранилища, далее соответственно у рыб из Средней Оби и оз. Чаны. При этом у плотвы из оз. Чаны наблюдается наиболее равномерный рост рыб, чем в других водоёмах: так в три года она обгоняет по темпам роста плотву из Средней Оби, а в четыре – из Новосибирского водохранилища. К семи годам плотва из оз. Чаны опережает по длине рыб из двух других водоёмов в среднем на 5 см. Набор массы тоже значительно различается. Тут наиболее высокие показатели, как по темпам набора, так и отдельно по возрастам, у плотвы из Новосибирского водохранилища.



А

Б

Рисунок. Размерные характеристики (А – промысловая длина, Б – масса) плотвы *Rutilus rutilus* в крупных разнотипных водных объектах юга Западной Сибири

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00101, <https://rscf.ru/project/24-26-00101>.

СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ (ИХТИОФАУНА) ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Новоселов А.П.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, alexander.novoselov@rambler.ru

Все эволюционные преобразования в водных экосистемах региона определяются двумя глобальными факторами: природным (естественно-историческим) и антропогенным, вызванным хозяйственной деятельностью человека. В историческом аспекте наиболее важным фактором, определившим современный облик ихтиофауны в водоемах Палеоарктики, был природный (естественно - исторический). Он обусловил периодические колебания климата в северном полушарии, перестройки рельефа, гидросети региона, крупные колебания уровня океана, оледенения, что оказало влияние на многие экологические и биологические стороны жизни рыб, изменение границ биотопов, определивших их "экологические ниши" и эколого-биологические особенности в процессе эволюции. Не меньшие изменения в состав ихтиофауны региона вносят и антропогенные факторы. Практика показала, что любые виды хозяйственной деятельности на водоемах, их берегах или площади водосбора, оказывают на водные экосистемы многофакторное негативное воздействие, приводя в конечном итоге к частичному или полному их разрушению.

Экологические последствия, вызванные совокупным воздействием природных и антропогенных факторов, проявляются как в прямом, так и косвенном выражении. В первом случае это или непосредственная гибель рыб при их изъятии из водоемов (промысел, любительское рыболовство и браконьерство), или дополнительное

получение рыбной продукции при развитии аквакультуры. Во втором – проявление сукцессионных процессов на популяционном и организменном уровнях, как следствие изменений условий обитания в результате климатических изменений и ухудшения качества водной среды (снижение численности промысловых видов рыб, осложнение эпизоотической обстановки на водоемах, биологические инвазии рыб).

Возможности хозяйственного использования рыбных ресурсов внутренних водоемов Европейского севера России должны базироваться на интенсификационных мероприятиях, основанных на переходе от простых форм эксплуатации водоемов к культурным способам ведения рыбного хозяйства. Они включают: 1) Сиговодство, дающее возможность получать в определенных объемах рыбный продукт высокой пищевой ценности. 2) Разведение частиковых рыб, предусматривающее формирование сети нерестово-выростных хозяйств (НВХ) на базе пойменных заливных водоемов полويного типа, а также создание управляемых хозяйств любительского рыболовства на базе малых озер 3) Индустриальное выращивание рыб (включая садковое выращивание товарной форели в естественных водоемах). 4) Формирование агрогидробиоценозов, позволяющее комплексно, т.е. наиболее оптимально, использовать природные ресурсы водоемов благодаря различным формам поликультур, используемых на малых озерах.

Намеченные пути интенсификации имеют реальную базу для дальнейшего развития и могут способствовать обеспечению населения Европейского севера России рыбной продукцией высокого качества.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ЗОН АПВЕЛЛИНГА ЦЕНТРАЛЬНО-ВОСТОЧНОЙ АТЛАНТИКИ С ВКЛЮЧЕНИЕМ МНОГОВИДОВОЙ МОДЕЛИ СООБЩЕСТВА РЫБ

Подгорный К.А.

Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Калининград, karpborok@mail.ru

В последнее время большое внимание уделяют разработке моделей водных экосистем, которые включают в себя и многовидовые модели рыб. Использование соответствующих моделей рассматривают в качестве основы реализации экосистемного подхода к организации рыболовства.

Цель данной работы состоит в определении методологических подходов и разработке модели экосистемы зон апвеллинга Центрально-Восточной Атлантики (ЦВА). Структура комплексной модели состоит из нескольких основных блоков. Наиболее важными из них являются термогидродинамический и биологический блок.

Термогидродинамический (трехмерный или боксовый) блок необходим для расчета пространственно-временной структуры течений, пространственно-временных изменений, переноса взвешенных и растворенных в воде химических и биотических компонентов экосистемы зон апвеллинга ЦВА.

Биологический блок модели состоит из двух основных подмоделей: четырехкомпонентной N–P–Z–D модели планктонной системы и многовидовой размерно-структурированной модели Fishes. N–P–Z–D-модель в качестве модельных переменных включает в себя растворенные в воде неорганические биогенные вещества (N), фито- (P), зоопланктон (Z), планктонный детрит (D). Многовидовая размерно-структурированная модель Fishes построена с учетом конкретной структуры пищевой сети экосистемы зон апвеллинга района ЦВА и описывает динамику основных видов

промысловых рыб (сардины, круглой и плоской сардинеллы, европейской и западноафриканской ставриды, скумбрии).

Вес организма является важным параметром, который регулирует многие биологические процессы. Использование спектра весов для характеристики водной экосистемы представляет собой достаточно новый и перспективный подход, который позволяет свести сложную пищевую сеть к простому ее представлению. Многовидовая модель Fishes построена с использованием весовых характеристик особей разных видов рыб и источников их питания. Модель основана на признаках. Поэтому она не является моделью трофической сети в традиционном ее понимании, когда все виды в ней представлены явно. Применение аллометрического масштабирования при описании процессов на основе индивидуального и асимптотического размера делает количество управляющих параметров в модели относительно небольшим. В модели описаны процессы, которые имеют место на индивидуальном уровне для каждого вида рыб – встречи с разными источниками пищи, роста, смертности и воспроизводства. На этой основе моделируется временная динамика весового спектра сообщества рыб.

В модели N–P–Z–D–Fishes для каждого вида рыб, включенного в модель, одновременно рассматривают и динамику их численности, и динамику биомассы в каждом выбранном весовом классе. Количество весовых классов задают исходя из общего диапазона изменений весов для каждого вида рыб. Такой подход на каждом временном шаге моделирования позволяет одновременно получать и распределение численности рыб, и распределение биомассы по весовому спектру. Модель открывает новые возможности для применения при оценке запасов с недостаточным объемом данных, а также оценке тех изменений, которые вызваны ведением промысла.

СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ И ПЕЧЕНИ МОЛОДИ НЕКОТОРЫХ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ РЫБ ИЗ ЕСТЕСТВЕННОЙ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ И АКВАКУЛЬТУРЫ

Рудченко А.Е.^{1,2}, Карпов В.А.^{1,2}

¹Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, arudchenko@sfu-kras.ru

²Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск

Аквакультурное выращивание ценных видов водных биологических ресурсов является одним из способов снижения промысловой нагрузки на природные популяции. Аквакультура в целях искусственного воспроизводства ценных видов рыб помогает восполнить численность популяций редких и малочисленных видов. Одним из важных вопросов при аквакультурном выращивании рыб является подбор оптимальных условий выращивания и, в особенности, кормления. Сбалансированные корма позволяют получить здоровую молодь рыб, которую можно использовать для восполнения численности природных популяций. Одними из наиболее важных веществ, входящих в состав кормов для аквакультуры, являются жирные кислоты (ЖК), в особенности длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты омега-3 серии, такие как эйкозапентаеновая кислота (ЭПК) и докозагексаеновая кислота (ДГК). Особенную роль они играют для молоди рыб, которая нуждается в этих ЖК для развития нервной системы, органов чувств и плавательных способностей.

Мы провели анализ состава и содержания ЖК в мышечной ткани молоди стерляди (*Acipenser ruthenus*), нельмы (*Stenodus leucichthys nelma*) и арктического гольца (*Salvelinus alpinus*) из естественной среды обитания (р. Енисей) и аквакультуры, для оценки влияния аквакультурного выращивания на содержание отдельных ЖК в

молоди рыб. Кроме того, был проведен гистологический, морфологический анализ и анализ ЖК состава печени аквакультурной молодежи рыб, для оценки метаболизма липидов в организме молодежи рыб. Анализ ЖК состава проводился методом газовой хроматографии и масс-спектрометрии.

В результате анализа состава ЖК в мышечной ткани молодежи рыб было установлено, что аквакультурная молодежь всех исследуемых видов отличалась высоким содержанием олеиновой кислоты (18:1n-9) и линолевой кислоты (18:2n-6), общая доля которых составляла от 45 до 65 % (от Σ ЖК), тогда как доля ценных ПНЖК - ЭПК и ДГК была значительно ниже чем у молодежи из р. Енисей. Так процент ЭПК у аквакультурной нельмы достигал менее 2 %. ЖК профиль печени аквакультурной молодежи показал накопление большой доли мононенасыщенных ЖК, прежде всего олеиновой кислоты. Гепатосоматический индекс молодежи стерляди и нельмы из аквакультуры в два раза превышал таковой у молодежи данных видов рыб из естественных популяций. Гистологические исследования тканей печени молодежи аквакультурных рыб указывают на развитие жировой дистрофии печени, в особенности у молодежи нельмы.

Липидный профиль и морфологическое состояние печени у аквакультурных рыб указывает на несбалансированный состав кормов при выращивании молодежи, что может повлечь повышенную смертность среди молодежи в процессе осуществления мероприятий по искусственному воспроизводству водных биологических ресурсов.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ МИКРОФЛОРЫ БАЛТИЙСКОЙ СЕЛЬДИ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Рыков Н.А.

*Калининградский государственный технический университет, г. Калининград,
rykol3@bk.ru*

Постоянно меняющиеся экологические условия вследствие хозяйственной деятельности человека изменяют условия обитания рыб в естественных водоёмах и могут приводить к возникновению новых болезней или уже известные проявляются в новых формах. Все это заставляет проводить постоянный контроль за состоянием здоровья рыб, численностью возбудителей и осуществлять разработку мероприятий, способствующих предотвращению возникновения заболеваний и снижению ущерба от них.

Балтийская сельдь – промысловый вид, обитающий в юго-восточной части Балтийского моря. Регулярный мониторинг состояния её здоровья способствует обеспечению пищевой безопасности населения области.

Изучением микрофлоры данной рыбы занимаются ихтиопатологи Калининградского государственного технического университета. Микрофлора балтийской сельди может быть индикатором состояния рыбы, т.к. поступление хозяйственно-бытовых сточных вод в водоём так же воздействует на её микробиоценоз.

Было исследовано 105 экземпляров балтийской сельди. Посев осуществлялся согласно общепринятой в ихтиопатологии методике. Бактерий определяли до рода и вида с помощью Определителя Берджи. Микробиоценоз балтийской сельди состоит из сапрофитных бактерий, условно-патогенных бактерий и бактерий группы кишечной палочки.

Основу микрофлоры балтийской сельди составляли сапрофитные бактерии: *Camphylobacter mucosalis*, *Acinetobacter junii*, *Camphylobacter concisus*, *Bacillus sphaericus*, *Streptococcus iniae*, *Streptococcus agalactide*, *Anaerobis cocci*, *Bacillus fitmus*, *Bacillus subtilis*, *Acinetobacter iwoffi*, *Kurthia zoptii* и *Microbacteria lactucum*. Среди них преобладают обычные представители микрофлоры рыб бациллы, микрококки и стрептококки. В группе бактерий группы кишечной палочки обнаружили 2 вида энтеробактеров: *Enterobacter nimipressuralis* и *Enterobacter agglomerans*. Из группы условно-патогенных бактерий выделили 6 видов бактерий: *Pseudomonas diminuta*, *Aeromonas hydrophila*, *Aeromonas schubertii*, *Aeromonas caviae*, *Listeria murrayi*, *Pseudomonas alkaligenis*. Среди патогенных бактерий выявлены *Aeromonas hydrophila*, которые могут быть патогены не только для рыб, но и для человека.

Анализ изменений микрофлоры показал, с 2014 по 2023 гг. показал, что наибольшее видовое разнообразие бактерий было обнаружено в 2022–2023 гг., за счёт увеличения числа сапрофитных бактерий. Анализ наших данных по видам условно-патогенных бактерий свидетельствует о том, что их состав в микрофлоре балтийской сельди приблизительно одинаков и представлен аэромонадно-псевдомонадной группой.

К ВОПРОСУ О РЫБНОМ ПОТЕНЦИАЛЕ ОЗЕР СЕВЕРНОЙ МОНГОЛИИ

Тувшинжаргал Н.

Институт Биологии АН Монголии, г. Улан-Батор, tuvshinjargaln@mas.ac.mn

Дархатская котловина – крупнейшая впадина на севере Монголии, простирающаяся с севера на юг на 120 км и с запада на восток на 40–50 км. В долине около 300 озер. Озеро Дод-Цаган – крупнейшее озеро Дархатской котловины. Высота озера на уровне моря 1540 м. Общая длина оз. Дод-Цаган 18 км, наибольшая ширина 7 км, площадь около 64 км². Озеро Дод-Цаган является первостепенным в рыбохозяйственном отношении среди других водоемов Дархатской системы. Впервые промысел был организован в 1943 г. Добыча рыбы с 1957 по 1973 гг. зарегистрирована в пределах 20–120 тонн. Сиг-пыжьян (*Coregonus lavaretus* s.l.) является основной промысловой рыбой. Он составляет 70–90 % от общего улова. Кроме него здесь добывают тайменя (*Hucho taimen*), ленка (*Brachymystax lenok*) и сибирского хариуса (*Thymallus arcticus*) (Дулмаа, 2015).

С помощью молекулярно-филогенетической реконструкции на основе полиморфизма нуклеотидных последовательностей мтДНК определены родственные связи пыжьяновидных сигов Монголии. Показано родство монгольских форм с представителями рода *Coregonus*. Выявлен факт сосуществования двух дивергентных линий мтДНК пыжьяновидных сигов в озерах дархатской котловины. Предложена история их возможных миграций в оз. Дод-Цаган через верховья р. Енисей. Показано, что сиг-пыжьян, обитающий в оз. Дод-Цаган конспецифичен *Coregonus lavaretus* (*C. fluviatilis* Issatchenko) (Tuvshinzhargal, 2023 в печати).

Для оценки трофического статуса озера использованы количественные показатели (численность, биомасса), индекс Шеннона по биомассе и структурные показатели и продукция зоопланктона. Зоопланктон играет существенную роль в пищевом рационе всех видов рыб на их ранних стадиях развития. Кормовая ценность зоопланктона определяется его продуктивностью, главным образом продукцией ракообразных. Чем выше относительное значение биомассы и продукции фауны рачков

по сравнению с коловратками, тем выше кормовая ценность всего зоопланктона. Известно, что наибольшая калорийность у старших копепоидных стадий и циклопоидов весеннего комплекса. Яйценосные особи имеют более высокие энергетические характеристики.

Анализ современного состояния зоопланктона оз. Дод-Цаган проведен по пробам, собранным в первой декаде июля 2023 г. Получены данные о видовом составе зоопланктона. По качественному составу оно является кладоцерно-копепоидным (20 и 16 видов соответственно) (Sheveleva et al., 2023). Основу численности и биомассы определяют ракообразные, в основном веслоногие – диаптомиды и циклопоиды. Количественные показатели ветвистоусых ракообразных в период исследований не превышали 20 % от общей биомассы и численности зоопланктона. Доминантом по биомассе в таксономической группе ветвистоусых выступала *Daphnia turbinata*.

Основу численности (50 %) и биомассы (80 %) зоопланктона определяли веслоногие ракообразные. В таксономической группе каланоидных копепоид по биомассе доминантами выступали крупные каляниды *Mixodiaptomus incrassatus* (Sars) (33 %), *Arctodiaptomus anudarini* Borutzky (6 %), *Arctodiaptomus paulseni* (Sars) (7 %), которые являются ценными в пищевом отношении объектами для рыб-планктофагов. Численность циклопоидных копепоид превышала таковую каланоидных копепоид из-за обилия науплиальных стадий. Среди относительно большего разнообразия циклопоидов (9 видов) по биомассе лидировали *Cyclops scutifer* Sars (22 %) и *Mesocyclops leuckarti* (Claus) (7 %).

Максимальные значения биомассы 2,0 г/м³ и 2,4 г/м³ зоопланктона отмечены в северной части озера. Также здесь зарегистрирован максимум численности (196 тыс. экз./м³) за счет коловраток. Средняя численность зоопланктона в озере составляла 86,3±24,3 тыс. экз./м³, биомасса 1460±415 мг/м³.

Большую часть 78 % из суммарной продукции зоопланктона (72,3 кал/м³) составляли растительноядные ракообразные, среди которых лидировали каланоидные копепоиды (*M. incrassatus*, *A. paulseni*, *A. anudarini* и *A. denticornis*). Основу биомассы (540,702 кал/м³ сутки) и продукции (52,67 кал/м³ сутки) составлял нехищный зоопланктон (Sheveleva et al., 2023 в печати).

Так по численности и биомассе фауны коловраток и ракообразных озеро Дод-Цаган оценивается как α-мезотрофный средnekормный водоем. Мезотрофный статус озера подчеркивают и структурные показатели, такие как отношения биомассы циклопов к биомассе каланид и индекс разнообразия по биомассе.

ГЕНОГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЗИАТСКОЙ НЕРКИ *ONCORHYNCHUS NERKA* И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЕЕ ПОПУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ НА ТЕРРИТОРИИ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

Хрусталева А.М.

Институт биологии гена РАН, г. Москва, mailfed@mail.ru

Нерка входит в тройку самых многочисленных видов тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке России. Она характеризуется анадромным образом жизни, длительным пресноводным периодом, высоким хомингом и представлена на всем ареале множеством изолированных стад. Динамика численности и продуктивность

нерки существенным образом зависят от условий воспроизводства популяций, при этом наиболее критическими с точки зрения выживания молоди и формирования численности поколений являются климатические и гидробиологические условия нерестово-выростных водоемов.

Исследован адаптивный полиморфизм по однонуклеотидным заменам (SNP) нерки на азиатской части ее ареала, в 23 выборках из 16 озерно-речных систем Камчатки, Чукотки, материкового побережья Охотского моря, Курильских и Командорских островов. Среди 45 проанализированных SNP выявлены потенциально селективно нагруженные локусы, которые могут быть непосредственно или опосредованно (в результате фоновой отбора, селективного выметания или эффекта генетического попутчика) вовлечены в формирование локальных адаптаций к условиям воспроизводства отдельных популяций. Идентификация генов-кандидатов и факторов окружающей среды, которые могут быть ассоциированы с их изменчивостью в популяциях нерки, проведена с помощью корреляционного анализа и анализа избыточности (RDA). Климатические индексы (в сумме 7 индексов), отражающие абиотические условия в пресноводных водоемах воспроизводства нерки, и характеризующие температурный режим в бассейне реки, его вариабельность в течение года, количество атмосферных осадков, а также высоту максимального прилива в эстуарии соответствующей реки были использованы в качестве факторов-предикторов.

Определены гены-кандидаты, потенциально вовлеченные в адаптивный полиморфизм у нерки, обнаружен градиентный характер изменчивости аллельных частот некоторых локусов вдоль северо-западного побережья Тихого океана с учетом его рельефа и зональности. Однонуклеотидные замены, локализованные в генах, продукты которых участвуют в регуляции или реализации иммунного и воспалительного ответа в организме рыб, чаще других оказывались ассоциированы с климатическими индексами или иными гидрологическими условиями в natalных реках. Помимо этого гены, кодирующие ферменты, активность которых чувствительна к температуре, и некоторые гормоны, в том числе осуществляющие регуляцию ионного гомеостаза у рыб в течение анадромной миграции и смолтификации также предположительно эволюционируют под давлением отбора, обуславливающего генетическую дивергенцию популяций азиатской нерки. Полученные в данной работе результаты позволяют анализировать связи между вариациями факторов окружающей среды и потенциально адаптивной генетической изменчивостью нерки, а также оценить влияние локальных условий в водоемах воспроизводства на формирование ее запаса.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-24-00307.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ	3
<i>Адамович Б.В.</i> Простое поведение сложных систем	3
<i>Андрущенко С.В.</i> Состав и содержание полиненасыщенных жирных кислот в зообентосе реки Обь и ее притоков	4
<i>Ануфриева Е.В., Шадрин Н.В.</i> Биологическое разнообразие в градиенте солености в гиперсоленых водах мира	5
<i>Афанасьев Д.Ф., Кульба С.Н., Мирзоян А.В.</i> Методические подходы к оценке приемных емкостей рыбохозяйственных водоемов	6
<i>Афоница Е.Ю., Ташлыкова Н.А.</i> Планктонные сообщества геотехногенных экосистем	7
<i>Базарова Б.Б.</i> Экологические условия и динамика растительного покрова озера Кенон – водоема-охладителя теплоэлектроцентрали	8
<i>Башинский И.В., Прокин А.А.</i> Малые водоёмы: критерии и определение	9
<i>Белевич Т.А., Воробьева О.В., Демидов А.Б.</i> Мельчайшие продуценты Карского моря: состав, обилие и экосистемная роль	10
<i>Бонк Т.В., Блохин И.А.</i> Результаты мониторинга зоопланктона и макрозообентоса локального участка Авачинской губы (Камчатка) в 2023 г.	11
<i>Ващенко А.В.</i> Показатели обилия и особенности распределения пелагических бактерий северо-восточной части Баренцева моря в осенний период	12
<i>Ващенко П.С.</i> Опыт применения аэрофотосъемки для оценки запасов и распределения литоральных водорослей в условиях Мурмана	13
<i>Вежновец В.В., Журавлев М.Д.</i> Сравнительная характеристика вертикального распределения зоопланктона равнинных и горных озер	14
<i>Верес Ю.К., Адамович Б.В.</i> Баланс углерода Нарочанских озер (Беларусь)	15
<i>Вецлер Н.М., Шабуров А.Ю., Богданова К.В., Бонк Т.В.</i> Многолетняя динамика и современное состояние зоопланктонного сообщества Авачинской губы (Камчатка)	16
<i>Визер Л.С.</i> Изменения в структуре зоопланктонных сообществ в бессточном озере Чаны (Западная Сибирь)	17
<i>Водопьянова В.В.</i> Влияние сезонного пикноклина на вертикальное распределение некоторых компонентов планктонных сообществ Баренцева моря	18
<i>Головатюк Л.В., Зинченко Т.Д., Канапацкий Т.А., Уманская М.В.</i> Функциональные особенности донных сообществ высокопродуктивных соленых рек аридной зоны юга России	19
<i>Голубков М.С.</i> Влияние строительства портовых сооружений на структуру и функционирование фитопланктона	20

<i>Дименко О.С., Рудченко А.Е., Борисова Е.В.</i> Роль водных экосистем как источника омега-3 полиненасыщенных жирных кислот для консументов, обитающих в околотовных биотопах	21
<i>Дмитриева О.А., Семенова А.С.</i> Вертикальное распределение планктонных сообществ в юго-восточной части Балтийского моря	22
<i>Дубовская О.П., Толмеев А.П., Кравчук Е.С., Анищенко О.В., Дроботов А.В.</i> Горизонтальные неоднородности функционирования фито- и зоопланктона в озере с ветровыми течениями	23
<i>Ермолаева Н.И., Феттер Г.В.</i> Сезонная динамика зоопланктона на различных участках реки Обь	24
<i>Жихарев В.С., Воденеева Е.Л., Терешина М.А., Соколов Д.И., Ерина О.Н.</i> Структура сообществ зоопланктона Можайского водохранилища и ее связь с факторами окружающей среды	25
<i>Загумённая О.Н., Загумённый Д.Г., Герасимова Е.А., Тихоненков Д.В.</i> Метабаркодинговый и микроскопический анализ планктонных раковинных амёб озёр лесоболотной и лесостепной зон Западной Сибири	26
<i>Иванова Е.А., Вразовская Е.И., Морозова И.И.</i> Первичная продукция макрофитов в Абаканской протоке р. Енисей	28
<i>Исакова К.В.</i> Районирование Онежского озера по динамическим характеристикам гидробиоценозов	29
<i>Калинкина Н.М., Исакова К.В., Коновалов Д.С., Макарова Е.М., Сидорова А.И., Сластина Ю.Л., Смирнова В.С., Сярки М.Т., Теканова Е.В.</i> Реакция экосистемы Онежского озера на многофакторное воздействие: эвтрофирование, потепление климата, биоинвазии	30
<i>Коваль М.В.</i> Основные экологические факторы формирования эстуарной ихтиофауны Камчатки	31
<i>Коновалов Д.С., Сярки М.Т.</i> Сезонная динамика зоопланктона Кондопожского залива Онежского озера	32
<i>Корнева Л.Г.</i> Закономерности флоры – и ценогенеза фитопланктона крупных равнинных водохранилищ бассейна Волги при эвтрофировании и изменении климата	33
<i>Котовщиков А.В., Ширинина М.К., Сафонова М.А., Парадосский В.Л.</i> Сезонная динамика развития и первичного продуцирования фитопланктона в русловых и пойменных водах Верхней Оби	34
<i>Крылов А.В., Шаров А.Н., Сабитова Р.З., Гладышев М.И.</i> Фито- и зоопланктон озёр полуострова Таймыр в условиях гуанотрофикации	35
<i>Лепская Е.В.</i> Явление вредоносного «цветения» водорослей у берегов Камчатки – «виновники», причины, следствия, мониторинг	36
<i>Литвиненко Л.И., Зенкович П.А.</i> Токсичные виды фитопланктона в рыбоводных солоноватых водоемах Тюменской области	37
<i>Ловдина Т.И., Аксенов А.С., Воробьева Т.Я.</i> Прокариотические сообщества пресноводных меромиктических озёр севера России	38

<i>Макаревич О.А.</i> Пространственное распределение макрозообентоса в озерах разного трофического статуса	39
<i>Малинина Ю.А.</i> Консортивные связи макрофитов пойменных участков Волгоградского водохранилища	40
<i>Матишов Г.Г., Криксунов Е.А., Розенберг Г.С., Остроумов С.А.</i> О развитии некоторых идей В.И. Вернадского о гидросфере и водных экосистемах	41
<i>Милянчук Н.П., Стерлигова О.П., Ильмаст Н.В., Распутина Е.Н., Рекин Е.В.</i> Влияние товарного рыбоводства на ихтиофауну озера Сямозеро (Республика Карелия)	42
<i>Моисеенко Т.И.</i> Биогеохимическое развитие озерных экосистем в условиях потепления климата и снижения загрязнения: восстановление или эволюция?	42
<i>Осипов В.В., Башинский И.В.</i> Рыбное население как индикатор состояния систем пойменных водоёмов р. Хопер	44
<i>Павлюк Т.Е., Попов А.Н., Ушакова О.С., Мухутдинов В.Ф., Падалка А.А.</i> Методические вопросы коррекции альгоценозов с помощью хлореллы: предыстория вопроса и состояние проблемы	45
<i>Переладов М.В.</i> Гидрологические предпосылки динамики численности камчатского краба в северной части Японского моря	46
<i>Полякова Н.В., Кучерявый А.В.</i> Сравнительная гидрохимическая характеристика резидентного и миграционного биотопов личинок речной миноги <i>Lampetra fluviatilis</i>	47
<i>Празукин А.В., Шадрин Н.В., Фирсов Ю.К., Ануфриева Е.В., Гассиев Д.Д.</i> Зеленые нитчатые водоросли <i>Cladophora</i> spp. в гиперсоленых водоемах: экосистемные инженеры и ценные ресурсы	48
<i>Прокин А.А.</i> Особенности формирования сообществ макрозообентоса водных объектов суши в свете концепции субклимаксов	49
<i>Рижинашвили А.Л.</i> Многолетние колебания трофического статуса малого мелководного озера на Северо-Западе Европейской России – «климат-контроль»	50
<i>Саушкина Д.Я., Варкентин А.И., Тепнин О.Б., Зимин А.В.</i> Распределение и суточная продукция икры минтая начальной стадии развития по шкалам Т.С. Расса и Д.М. Блад	51
<i>Селивончик И.Н.</i> Сезонная динамика развития зоопланктона в озерах разного трофического статуса (на примере Нарочанских озер, Республика Беларусь)	52
<i>Ситникова Т.Я., Наумова Т.В., Сиделева В.Г., Тетерина В.И., Максимова Н.В., Кияшко С.И., Механикова И.В., Хлыстов О.М., Черницына С., Кучер К.М., Земская Т.И.</i> Состав фауны, ее распределение и трофические взаимоотношения в районах гидротермальных, газогидратных и нефтегазовых выходов оз. Байкал	53
<i>Стогов И.А., Полякова Н.В., Мовчан Е.А.</i> Зоопланктон арктических эфемерных водоемов: 30 лет исследований	54
<i>Сярки М.Т., Коновалов Д.С.</i> Вертикальное распределение зоопланктона в Онежском озере в годовом цикле	55
<i>Ташлыкова Н.А., Афонина Е.Ю.</i> Развитие планктонных сообществ в соленых	56

озерах Юго-Восточного Забайкалья

Тихоненков Д.В. Эволюционная и экологическая важность хищных протистов морских и пресноводных экосистем 57

Толмеев А.П., Дроботов А.В., Задереев Е.С., Яскеляйнен Д.Д. Обзор современных технологий анализа сообществ зоопланктона 58

Толмеев А.П., Дроботов А.В., Яскеляйнен Д.Д., Задереев Е.С. Анализ зоопланктона с помощью подводной проточной видеосистемы 59

Филиппова Н.А., Стодольская А.Н., Максимович Н.В. Влияние количества повторностей при пробоотборе на результаты классификации сообществ макробентоса литорали губы Чупа Белого моря 61

Шадрин Н.В., Латушкин А.А., Празукин А.В., Яковенко В.А., Ануфриева Е.В. Суточные изменения в экосистемах мелководных гиперсоленых водоемов Крыма 62

Шашуловская Е.А., Мосияш С.А. Динамика некоторых трофических показателей нижеволжских водохранилищ в период климатической трансформации 63

Шурганова Г.В., Жихарев В.С., Гаврилко Д.Е., Кудрин И.А., Золотарева Т.В., Колесников А.А. Многолетняя пространственно-временная динамика видовой структуры планктонных сообществ Чебоксарского водохранилища 64

Юрлова Н.И., Пономарева Н.М. Продукция и биомасса церкарий пресноводных трематод: потенциально упускаемый путь энергетического потока в озерно-речных экосистемах 65

СЕКЦИЯ 2. БИОРАЗНООБРАЗИЕ, ЗООГЕОГРАФИЯ И РОЛЬ ВИДОВ-ВСЕЛЕНЦЕВ 66

Архипов А.Г., Пак Р.А. Оценка видового разнообразия ихтиопланктона в северной и южной частях Марокко 66

Батурина М.А., Новаковский А.Б. Новые подходы к изучению разнообразия малощетинок червей Европейского Севера 67

Беляев А.О., Карпов С.А., Тихоненков Д.В. Ультроструктура «грызущих» протистов и новый представитель супергруппы *Prozoa* 68

Беспалая Ю.В., Кропотин А.В., Аксёнова О.В., Винарский М.В., Кондаков А.В., Травина О.В., Палатов Д.М., Болотов И.Н. Таксономия, филогения, генетическое разнообразие и биогеография моллюсков рода *Corbicula* (Bivalvia: Cyrenidae): итоги и перспективы исследований 69

Вишняков В.С., Ефремов А.Н. Новые данные о водной флоре Грузии 70

Герб М.А., Володина А.А. Многолетние исследования видового состава макрофитов и зарастания южной части Куршского залива Балтийского моря 71

Денисенко Н.В. Некоторые итоги изучения биоразнообразия мшанок (Bryozoa) Арктического региона 72

Еремкина Т.В., Климова Н.Б., Цурихин Е.А. Роль видов-вселенцев в формировании структуры фито- и зоопланктона в водохранилищах Свердловской области (Средний Урал) 73

Загумённый Д.Г., Тихоненков Д.В. Разнообразие и биогеография центрохелидных солнечников 74

Злотник Д.В. Современный состав ихтиофауны и распространение чужеродных видов рыб реки Чулым (бассейн реки Обь)	75
Иванова Н.А., Андронов В.Н. Сравнительный анализ расположения покровных пор на абдомене веслоногих рачков <i>Nannocalanus minor</i> (Claus, 1863) из Тунисского пролива, <i>N. major</i> Sewell 1929 и <i>N. sewelli</i> Kazus 2009 (Calanidae, Calanoida) из северной части Индийского океана	76
Иззатуллаев З.И., Боймуродов Х.Т., Алиев Б.А., Эгамкулов А.Н. Распространение и экологические группы зообентоса в биотопах Южно-Сурханского водохранилища	77
Изотова Г.В., Власенко П.Г., Маркевич Г.Н., Романенко Г.А., Кашинская Е.Н., Andree K.B., Соловьев М.М. Филогенетические взаимоотношения паразитов рыб рода <i>Diplostomum</i> (Digenea, Trematoda) водоёмов Сибири и Западной Евразии	78
Ильмаст Н.В., Стерлигова О.П., Милянчук Н.П., Кучко Я.А., Распутина Е.Н., Реккин Е.В. Результаты вселения судака в экосистему озера Сундозеро (Южная Карелия)	79
Казакова Е.Ю. Распространение <i>Actinocyclus normanii</i> во внутренних пресноводных водоемах Калининградской области	79
Карабанов Д.П., Котов А.А. Митогеномика как необходимый этап создание базы для ДНК-метабаркодинга чужеродных видов Cladocera (Crustacea)	80
Киприянова Л.М., Вишняков В.С., Гонonenko А.Ю. О разнообразии и экологии сообществ харовых водорослей озёр Алтая	81
Киприянова Л.М. Эколого-географические особенности высшей водной и прибрежно-водной растительности озёр Алтая	82
Кирюхин Б.А., Тихоненков Д.В. Разнообразие гетеротрофных пикозукариот во льду Кандалакшского залива (Белое море, Россия) на основе высокопроизводительного секвенирования генов рРНК	84
Коровчинский Н.М. Судьбы Российской пресноводной зоологии	85
Котов А.А., Карабанов Д.П., Перебоев Д.Д. Расселение гидробионтов в континентальных водоемах Понто-Каспийского бассейна как непрерывный ряд событий от палеогеновых миграций и неогеновых волн вселения из Паратетиса к плейстоценовым пульсациям ареалов и современным антропогенным инвазиям	86
Лесковская Л.С., Михайлова Л.В. Ротан в озерах юга Тюменской области	86
Макаренко А.И., Вежновец В.В., Макаренко Т.В. Плодовитость чужеродных видов амфипод (Crustacea, Amphipoda) в водотоках Беларуси	88
Марченко Ю.В., Голубев М.А., Велегжанинов И.О. Первые результаты изучения криптических видов олигохет в бассейне р. Вычегда	89
Матафонов П.В. Зообентос озера Арейского – водоема Забайкальской части Главного водораздела Земли	90
Минаков И.Д., Путилин И.Р. Таксоны шелковников (<i>Ranunculus</i> sect. <i>Batrachium</i> , Ranunculaceae) и их формы в среднем течении реки Енисей	91
Митрофанова Е.Ю. Центрические диатомовые водоросли в фитопланктоне глубокого озера: разнообразие и вклад в обилие	92
Науменко Е.Н., Голубкова Т.А., Рудинская Л.В., Гусев А.А. Трансформация экосистемы Вислинского залива Балтийского моря под воздействием инвазий в планктонное и донное сообщества	93

Подгорный К.А., Дмитриева О.А., Семенова А.С., Гусев А.А. Биологическое разнообразие планктонных и бентосных сообществ в юго-восточной части Балтийского моря	94
Пономарева Е.В., Строганов А.Н., Малютина А.М., Пономарева М.В. К вопросу о видовом статусе представителей рода <i>Liopsetta</i> на примере полярной камбалы <i>L. glacialis</i> (Pallas, 1776)	95
Прокопчук И.П., Шамрай Т.В. Распределение личинок инвазийного краба-стригуна <i>Chionoecetes opilio</i> в Карском море	96
Сажнев А.С. Водные жесткокрылые (Coleoptera) бобровых прудов Рдейского заповедника (Новгородская область, Россия)	97
Семенова А.С., Дмитриева О.А., Подгорный К.А. Планктонные виды-вселенцы в юго-восточной части Балтийского моря и Финском заливе	98
Семенченко В.П., Липинская Т.П. Современное состояние проблемы биологических инвазий в водной фауне Беларуси	99
Семенченко В.П., Липинская Т.П., Ризевский В.К. Классификация чужеродной водной фауны на территории Беларуси согласно критериям Environmental Impact Classification for Alien Taxa (EICAT)	100
Сендек Д.С., Бочкарев Н.А. Проблемы сохранения внутривидового разнообразия сиговых рыб при искусственном воспроизводстве	101
Сиделева В.Г., Жидков З.В., Мелентьев Д.А. Разногласие между генетическими и морфологическими трансформациями при освоении морским видом <i>Trigloporus quadricornis</i> (Cottidae) пресных вод Ладожского озера	102
Стратаненко Е.А., Тамулёнис А.Ю. Встречаемость и распространение нового вида полихет <i>Laonome xeprovala</i> Bick & Bastrop, 2018 в Финском заливе	103
Строганов А.Н., Пономарева М.В., Пономарева Е.В., Жукова К.А., Малютина А.М. О влиянии тектонических взаимодействий на макро- и микроэволюционные процессы у морских рыб	104
Тарасова Н.Г., Быкова С.В., Микрякова И.С., Мухортова О.В., Семенова А.С., Стройнов Я.В., Карабанов Д.П. Особенности планктонного сообщества в динамичных условиях шлюзовых камер Волго-Донского судоходного канала им. В.И. Ленина	105
Уманская М.В., Быкова С.В., Горбунов М.Ю., Тарасова Н.Г., Краснова Е.С., Мухортова О.В., Шерышева Н.Г., Агапов А.А. Метабаркодинговые исследования планктонных про- и эукариот в водоемах Средней Волги в период цианобактериального цветения	106
Фефилова Е.Б., Велегжанинов И.О., Голубев М.А., Бакашкина А.С., Новиков А.А., Гусаков В.А., Чугунов В.К. Перспективы филогеографических исследований пресноводных Harpacticoida (Crustacea: Copepoda)	107
Юнусов Х.Б., Боймуродов Х.Т., Элмуродов А.А., Нурниёзов А.А. Влияние абиотических факторов на распространение зообентоса в водных экосистемах	108
Яковенко В.А., Шадрин Н.В., Ануфриева Е.В. Техногенные водоемы как двери для видов-вселенцев в новые регионы: Крымские примеры	109

СЕКЦИЯ 3. ПОПУЛЯЦИИ И СООБЩЕСТВА ГИДРОБИОНТОВ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ 110

- Андрущенко П.Ю., Зуев И.В.* Распределение особей байкальского хариуса в бассейне среднего течения р. Енисей по типам миграционной активности 110
- Арашин С.Ю.* Зимний зоопланктон водных объектов урбанизированной территории (на примере г. Вологда) 111
- Артемов С.Н., Пряничникова Е.Г.* Макрозообентос озер Холмовское и Лахта Архангельской области (по результатам съемки 2023 г.) 112
- Батурина М.А., Кононова О.Н.* Состояние экосистемы малого водотока на территории подверженной сплошным рубкам (средняя тайга, Республика Коми) 114
- Белых О.И., Сорокикова Е.Г., Тихонова И.В., Краснопеев А.Ю., Гутник Д.И., Сулова М.Ю., Потапов С.А., Кузьмин А.В., Федорова Г.А.* Современное состояние экосистемы оз. Хубсугул (Монголия): качество воды, разнообразие планктонных и бентосных микроорганизмов, токсичные цианобактерии 115
- Бурмагин М.В.* Изменение количественных показателей зообентоса в зимне-летний период 2023 года в озере Банное (Соловецкий архипелаг) 116
- Визер Л.С., Шаруха Ю.В., Мухина А.А.* Структура и динамика зоопланктона Верхней Оби в черте города Новосибирска 117
- Винокурова Г.В., Кириллов В.В.* Сезонная и многолетняя динамика фитопланктона значительно изменённой экосистемы озера Манжерокское (Республика Алтай) 118
- Гаврилко Д.Е., Жихарев В.С., Кудрин И.А., Терешина М.А., Ерина О.Н., Бубнов В.А., Шурганова Г.В.* Видовая структура сообществ зоопланктона зарослей макрофитов в трофическом градиенте в устьевых областях притоков водохранилищ Средней Волги 119
- Герасимова А.В., Филиппова Н.А., Максимович Н.В., Тимофеева М.А., Сидорская П.О.* Специфика популяционных характеристик двустворчатых моллюсков *Arctica islandica* (Linnaeus, 1767) в Белом море – краевой части ареала 120
- Герасимова Е.А., Балкин А.С., Катаев В.Я., Филончикова Е.С., Миндолина Ю.В., Тихоненков Д.В.* Метабаркодинговые исследования таксономического и функционального разнообразия протистов в соленых и гипергалинных континентальных водоемах России 121
- Головатюк Л.В., Селезнев Д.Г., Курина Е.М.* Анализ видовых ассоциаций макрозообентоса на территории бассейна Нижней Волги в условиях смены природно-климатических зон 122
- Дгебуадзе П.Ю.* Роль адаптаций при формировании симбиотических ассоциаций брюхоногих моллюсков и иглокожих 123
- Джаяни Е.А.* Весенний фитопланктон р. Урал и Ириклинского водохранилища в условиях снижения уровня воды и колебаний суммы атмосферных осадков 124
- Довгаль И.В., Гаврилова Н.А.* Основные тренды при становлении отношений «эпибионт-базобионт» на примере инфузорий (Ciliophora) и изопод (Crustacea) 125
- Долматов И.Ю.* Глубоководные экосистемы северо-западной части Тихого океана: особенности и биоразнообразие 126

<i>Евсеева А.А.</i> Летний зоопланктон водотоков и водоемов Средней и Нижней Оби	127
<i>Евсеева А.А.</i> Зообентос горных водотоков Рудного Алтая (бассейн Верхнего Иртыша)	128
<i>Змётная М.И., Имант Е.Н.</i> Динамика видового разнообразия зоопланктона нижнего течения реки Северная Двина	129
<i>Иванов М.В., Подлевских А.Л., Иванова Т.С., Генельт-Яновская А.С., Кондакова Е.А., Лайус Д.Л.</i> Каннибализм беломорской трехиглой колюшки (<i>Gasterosteus aculeatus</i> L.), что это дает популяции?	130
<i>Имант Е.Н., Дворянкин Г.А., Новоселов А.П.</i> Первые сведения о зоопланктоне озера Мураканское	131
<i>Карасева Е.М.</i> 100 лет ихтиопланктонных исследований в Балтийском море: колебания численности икры пелагофильных рыб под влиянием режимных сдвигов	132
<i>Каспарсон А.А., Полищук Л.В.</i> Выявление сезонной динамики относительной силы эффектов пищи и хищника в популяциях пелагических кладоцер с помощью анализа рождаемости	133
<i>Касьян В.В., Ахметова К.М.</i> Межгодовая изменчивость летне-осеннего зоопланктона в заливе Восток (северо-запад Японского моря)	134
<i>Кашинская Е.Н., Симонов Е.П., Власенко П.Г., Поддубная Л.Г., Соловьев М.М.</i> Микробиота паразита и хозяина на примере жизненного цикла цестод рода <i>Triaenophorus</i>	135
<i>Кислицина Н.И.</i> Доминирующий комплекс видов и функционально-трофическая структура сообществ макрозообентоса малых притоков Среднего Енисея в летний период	135
<i>Коновалова Д.А., Андрущенко С.В., Зотина Т.А.</i> Сезонная динамика ручейников <i>Apatania corythophila</i> , ассоциированных с водным мхом, на термически изменённом участке р. Енисей	136
<i>Коргина Е.М.</i> Структурно-функциональная характеристика сообщества турбеллярий водохранилища Верхней Волги (Иваньковское водохранилище)	138
<i>Косова М.В., Деревенская О.Ю., Унковская Е.Н.</i> Характеристика зоопланктона озер Волжско-Камского заповедника, пострадавших от аварийных сбросов	138
<i>Кочурова Т.И.</i> Структура речного зообентоса на заповедном участке Средней Тайги	140
<i>Крюк Д.В.</i> Динамика популяции <i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771) в Нарочанских озёрах (Республика Беларусь) с момента вселения по настоящее время	141
<i>Лоскутова О.А., Батурина М.А.</i> Сообщества беспозвоночных малых арктических водоемов	142
<i>Лукина В.А., Матвеев Н.Ю.</i> Видовой состав и питание рыб озера Холмовское Архангельской области	143
<i>Мазей Н.Г., Цыганов А.Н., Мазей Ю.А.</i> Сукцессии биогидроценозов в процессе зарастания озер в голоцене и восстановления после торфоразработок (по данным болот Валдайской возвышенности и Мещерской низменности)	144

Мазей Ю.А., Садоков Д.О., Цыганов А.Н., Мазей Н.Г., Сапелко Т.В., Пастухова Ю.А., Камыгина А.В., Суворова А.Н., Савельева Л.А., Еришова Е.Г. Методы палеоэкологического анализа в реконструкциях озерно-болотных сукцессий, антропогенной активности и климата в голоцене	145
Макаревич П.Р., Дружкова Е.И., Ларионов В.В., Олейник А.А. Структура сообщества микроводорослей в краевой ледяной зоне Баренцева моря в период интенсивного формирования сезонного льда	146
Макаревич Т.А. Оценка метаболической поверхности харовых водорослей	147
Максимов А.А. Межгодовая изменчивость вторичной продукции: результаты долговременных исследований популяции амфипод <i>Monoporeia affinis</i> в субарктическом озере	148
Максимович Н.В., Герасимова А.В., Филиппова Н.А. О развитии методологии экологического мониторинга акваторий при использовании популяционных показателей массовых форм бентоса	149
Машонская Ю.О., Зуев И.В., Андрущенко П.Ю., Глущенко Л.А., Михеев П.Б., Махутова О.Н. Влияние спектров питания на жирнокислотный состав и содержание омега-3 ПНЖК в головном мозге, мышечной и жировой тканях рыб рода <i>Thymallus</i>	150
Медвинский А.Б., Адамович Б.В., Минаев И.С., Минаев Н.С., Нуриева Н.И., Радчикова Н.П., Русаков А.В., Тихонов Д.А. Математическое моделирование vs мониторинг экологических процессов. Конвергенция	151
Мехова Е.С. Структура популяций мизостомид Вьетнама в связи с их локализацией на хозяине	152
Морозов Т.Б., Коломейцев В.В. Траловый макрозообентос юго-западного шельфа п-ва Камчатка (Охотское море) до и после 2020 года	153
Мухин И.А. Структура поверхности субстрата как фактор управления мшанковым сообществом	154
Новикова Ю.В., Матвеев Н.Ю. Фитопланктон нижнего течения реки Северная Двина в 2023 году	155
Пастухова Ю.А., Цыганов А.Н., Сысоев В.В., Мазей Н.Г., Мазей Ю.А. Тафоценозы кладоцер в поверхностных донных отложениях озера Глубокое (Московская область) и их использование для реконструкции прибрежного заболачивания	156
Попова О.Н. Место и трофическая роль стрекоз в водных сообществах в зависимости от свойств местообитания	157
Селезнев Д.Г. Анализ ассоциированности видов в экологических сообществах	158
Стодольская А.Н., Филиппова Н.А., Максимович Н.В. Анализ распределения организмов макробентоса в условиях мягких грунтов литоральной зоны губы Чупа (Кандалакшский залив, Белое море)	159
Столь Э.Э., Винокурова Н.В. Общая кариологическая характеристика популяций <i>Chironomus (Camptochironomus) tentans</i> F. водоемов города Калининград	160
Сысова Е.А. Структура сообществ перифитона на экспериментальных субстратах в зависимости от глубины экспозиции в мезотрофном водоеме	161

<i>Таскаева К.Р., Смолина Н.В.</i> Динамика видового состава и количественного развития основных компонентов кормовой базы рыб оз. Большой Тараскуль	162
<i>Тимофеева М.А., Герасимова А.В., Филиппова Н.А., Крапивин В.А., Стодольская А.Н., Максимович Н.В.</i> Методические подходы к анализу распределения макробентоса и многолетних изменений в его структуре в сублиторальной зоне губы Чупа (Кандалакшский залив, Белое море)	163
<i>Тихонова И., Геворгян Г., Краснопеев А., Мамян А., Хачикян Т., Агаян С., Сороковикова Е., Белых О.</i> Микробное сообщество озера Севан	165
<i>Унковская Е.Н., Палагушкина О.В., Деревенская О.Ю., Косова М.В.</i> Планктонные сообщества озер Волжско-Камского заповедника	166
<i>Феттер Г.В., Ермолаева Н.И.</i> Факторы распределения зоопланктона по продольному профилю реки Оби	167
<i>Фомина Ю.Ю., Сидорова А.И.</i> Весенний зоопланктон и зообентос в районе о. Кизи в Онежском озере	168
<i>Халаман В.В.</i> Факторы, обуславливающие структуру и развитие мелководных сообществ обрастания. Пример Белого моря	169
<i>Цыганов А.Н., Малышева Е.А., Жаров А.А., Сапелко Т.В., Мазей Н.Г., Мазей Ю.А.</i> Распределение современных сообществ раковинных амёб в донных отложениях водоемов и их использование в палеоэкологических реконструкциях	170
<i>Шаров А.Н.</i> Массовое развитие цианобактерий в водоемах России: причины и последствия	171
<i>Яльцев Г.С.</i> Распространение <i>Urocentrum turbo</i> Nitzsch, 1827 в водоемах Рязанской области	172
СЕКЦИЯ 4. ЭКОЛОГИЯ И ЭКОФИЗИОЛОГИЯ ВОДНЫХ ОРГАНИЗМОВ	173
<i>Березина Н.А.</i> Репродуктивные характеристики амфипод водоемов северо-запада России и их использование в биоиндикации	173
<i>Василенко В.А., Суханова Л.В., Кашинская Е.Н., Жизберт Э., Соловьев М.М.</i> Биохимические характеристики пищеварительных ферментов пыжьяновидных сига (<i>Coregonus lavaretus</i>) из различных водоемов Сибири	174
<i>Верецагина К.П., Седова С.С., Кондратьева Е.С., Тимофеев М.А.</i> Влияние тепловых волн на выживаемость массовых видов амфипод литорали озера Байкал	175
<i>Гашкина Н.А.</i> Механизмы адаптации сига к длительному токсичному загрязнению субарктического оз. Имандра	176
<i>Кальченко Е.И., Городовская С.Б., Лозовой А.П., Попков А.А.</i> Изменения физиолого-биохимических показателей поклатников горбуши из рек Западной Камчатки в 2018–2022 гг.	177
<i>Колмогорова Т.В., Власенко П.Г., Кашинская Е.Н., Соловьев М.М.</i> Сообщества многоклеточных паразитов симпатрической пары сига <i>Coregonus lavaretus</i> Телецкого озера	178
<i>Кондратьева Е.С., Ржечицкий Я.А., Шатилина Ж.М., Тимофеев М.А.</i> Сравнение влияния УФ-излучения на байкальских эндемичных литоральных и глубоководных амфипод	179

Королева А.Г., Вахтеева Е.А., Волкова А.А., Суханова Л.В., Глызина О.Ю., Яхненко В.М., Черезова В.М., Сидорова Т.В., Епифанцев А.А., Кирильчик С.В., Сапожникова Ю.П. Теломеры как маркеры экологического благополучия гидробионтов	180
Кочнева А.А., Суховская И.В. Динамика ферментов АОС у смолтов горбуши <i>Oncorhynchus gorbusha</i> в ходе покатной миграции	181
Лях А.М., Рауэн Т.В., Муханов В.С. Некоторые характеристики спиралевидных траекторий движения гетеротрофной динофлагелляты <i>Oxyrrhis marina</i>	182
Манойлина П.А., Комендантов А.Ю., Шапошникова Т.Г., Халаман В.В. Анализ внутривидовой конкуренции губок <i>Halichondria panicea</i> (Pallas, 1766) (Porifera: Demospongiae)	183
Морозко А.В. Экологические условия, влияющие на формирование паразитофауны рыб Новосибирского водохранилища	184
Мосеев Д.С. <i>Phragmites australis</i> в биотопах побережья Белого моря	184
Мурзина С.А., Манойлова Д.И., Хуртина С.Н., Провоторов Д.С., Воронин В.П., Немова Н.Н. Компенсаторное изменение состава липидов у смолтов горбуши (<i>Oncorhynchus gorbusha</i>) при покатной миграции	185
Немова Н.Н., Мурзина С.А., Кузнецова М.В., Ильмаст Н.В., Курицин А. Влияние физических факторов на биохимический статус молоди атлантического лосося <i>Salmo salar</i> L. заводского воспроизводства	186
Овдин М.Е., Петров Е.А. Байкальская нерпа (<i>Pusa sibirica</i> Gm.) на акватории Забайкальского национального парка: экология и использование, как рекреационного ресурса	187
Пономарева Н.М., Орлова Т.В., Юрлова Н.И. Влияние температуры на паразитарную систему « <i>Bithynia troschelii</i> - <i>Opisthorchis felinus</i> »	189
Сапожникова Ю.П., Сидорова Т.В., Потапов С.А., Суханова Л.В., Епифанцев А.А., Вахтеева Е.А., Толстикова Л.И., Яхненко В.М., Глызина О.Ю., Черезова В.М., Королева А.Г. Сравнительная транскриптомика как ключ к пониманию адаптационных механизмов сиговых рыб к температурному стрессу	190
Семенченко С.М., Смешлия Н.В., Поспелова Е.С. Нерестовое поведение нельмы <i>Stenodus leucichthys nelma</i>	191
Скарлато С.О. Триггеры и драйверы «красных приливов» динофлагеллят	192
Смешлия Н.В., Семенченко С.М., Поспелова Е.С. О возможности развития икры сиговых рыб при отрицательной температуре	193
Солдатов А.А., Рычкова В.Н., Кухарева Т.А., Головина И.В., Богданович Ю.В., Шалагина Н.Е., Кохан А.С. Организмы в условиях восстановительной среды (биоэнергетические аспекты)	194
Соловьев М.М., Гусенков А.Н., Василенко В.А., Кашинская Е.Н., Жизберт Э. Паттерны развития пищеварительных ферментов рыб в раннем онтогенезе	195
Телеш И.В. Размер экологической ниши определяет частоту опасных цветений цианобактерий и динофлагеллят	196
Токранов А.М. Пищевая специализация стихеевых рыб (Stichaeidae) в	197

прикамчатских водах

Токранов А.М., Орлов А.М., Емелин П.О. Биологическая характеристика 198
полярного триглопса *Triglops nybelini* (Cottidae) моря Лаптевых

Флёрова Е.А. Особенности структурной организации мезонефроса щуки и 199
представителей лососеобразных

Хуртина С.Н., Воронин В.П., Фокина Н.Н., Ефремов Д.А., Иешко Е.П., 200
Мурзина С.А. Липидный статус жемчужницы обыкновенной *Margaritifera*
margaritifera из разных рек бассейна Белого моря

Черная Л.В., Ковальчук Л.А. Эколого-физиологические особенности медицинских 201
пиявок из природных популяций и гирудокультуры

Шелехов В.А., Баланов А.А. Продолжительность личиночной стадии у пятнистого 202
лептоклина *Leptoclinus maculatus* Fries, 1838 (Stichaeidae) в Бериновом море

Широкова Ю.А., Мадьярова Е.В., Мутин А.Д., Шатилина Ж.М., Тимофеев М.А. 204
Утратили ли эндемичные амфиподы способность реагировать на изменение
температуры среды в процессе адаптации к условиям батиаля озера Байкал?

СЕКЦИЯ 5. ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ И КАЧЕСТВА 205 ВОДНОЙ СРЕДЫ

Анищенко Ю.Д., Анищенко О.В., Иванова Е.А. Содержание макро- и 205
микроэлементов в макрофитах р. Енисей в черте г. Красноярск

Аникина В.В., Явид Е.Я. Изменчивость метаболома пресноводных макрофитов как 206
индикатор экологического состояния водных систем

Безматерных Д.М., Вдовина О.Н. Макрозообентос как индикатор экологического 206
состояния предгорных озер Алтая

Высоцкая Р.У., Бахмет И.Н., Мурзина С.А. Некоторые адаптивные перестройки 207
метаболизма у двух видов беломорских моллюсков под воздействием нефтяного
загрязнения

Герасимов Ю.В. Влияние высоко- и низконапорных ГЭС на рыбное население 208
водохранилищ

Гончаров А.В. Биологическая индикация загрязнения водотоков по зообентосу (на 209
примере рек Московской области)

Губелит Ю.И. Оппортунистические макроводоросли как компонент оценки 210
качества водной среды

Деревенская О.Ю. Изменение сообществ зоопланктона в процессе восстановления 212
озерных экосистем

Захарова И.Н. Применение биологического мониторинга на примере локального 213
участка реки Туры (город Тюмень) для решения водохозяйственных задач

Зотина Т.А., Сухоруков В.В., Коновалова Д.А., Александрова Ю.В., Карпов А.Д. 214
Минеральный, элементный и радионуклидный состав частиц, ассоциированных с
водным мхом р. Енисей

Калинина Е.А., Винокурова Н.В. Популяционные и цитогенетические 215
характеристики *Glyptotendipes glaucus* Mg. (Diptera, Chironomidae) из водоемов
Калининградской области

<i>Климовский Н.В.</i> Экологическое состояние нижнего течения реки Северная Двина (по материалам 2019–2023 гг.)	216
<i>Меркушина Г.А.</i> Гидрохимическая характеристика р. Обь в нижнем течении	217
<i>Мингазова Н.М., Шигапов И.С., Дбар Р.С., Набеева Э.Г., Назаров Н.Г., Мингазова Д.Ю., Ахатова В.М., Халиуллина А.А., Валиуллина Д.Х.</i> Инвентаризация рек Абхазии для целей водопользования	218
<i>Новиков М.А.</i> Обобщенные данные об уровнях загрязнения промысловых рыб Баренцева моря ртутью, кадмием и свинцом	219
<i>Новиков М.А.</i> Серия атласов загрязнения компонентов экосистемы Баренцева моря	220
<i>Паришуков А.Н., Иешко Е.П., Мюге Л.Н., Черенков А.В., Мюге Н.С.</i> Паразитологический мониторинг пресноводных экосистем севера методом e-DNA	221
<i>Рыбина Г.Е.</i> Оценка экологического состояния озер Ишменевское и Андреевское в связи с заболеванием населения «гаффской болезнью»	222
<i>Соловых Г.Н., Кольчугина Г.Ф., Осинкина Т.В.</i> Эколого-генотоксический мониторинг устойчивого развития водоемов и водотоков Оренбургской области и разработка способов оценки их состояния	223
<i>Старцева Н.А., Гаврилко Д.Е.</i> Цианобактерии планктотрихетового комплекса в альгоценозе малого водоема урбанизированного ландшафта (на примере оз. Лунское, Нижний Новгород)	224
<i>Суслопарова О.Н., Богданов Д.В., Зуев Ю.А., Ляшенко О.А., Максимова О.Б., Стратаненко Е.А., Хозяйкин А.А., Шурухин А.С.</i> Результаты многолетних исследований биоты Лужской губы Финского залива в условиях строительства и эксплуатации морского порта Усть-Луга	225
<i>Ушакова О.С.</i> Динамика изменения экологического состояния водоемов-охладителей Верхнетагильской ГРЭС за период 2011–2023 годов	226
<i>Филиппов А.А., Жигульский В.А., Былина Т.С., Тимофеева М.А., Мовчан Е.А.</i> Макрозообентос юго-восточной части Лужской губы в условиях развития МТП Усть-Луга	227
<i>Фомина Ю.Ю., Сидорова А.И., Макарова Е. М., Смирнова В.С., Зобкова М.В., Ефремова Т.А., Сластина Ю.Л.</i> Современное состояние водной экосистемы района о. Кижы Онежского озера по гидробиологическим и гидрохимическим показателям	228
<i>Хозяйкин А.А., Ляшенко О.А., Тамулёнис А.Ю.</i> Многолетняя динамика планктонных и бентосных сообществ в районах подводных месторождений песка на акватории Финского залива	229
<i>Холмогорова Н.В.</i> Влияние сточных вод молокозавода на показатели макрозообентоса реки Ува	230
<i>Чуйко Г.М., Холмогорова Н.В.</i> Влияние микропластика на пресноводных двустворчатых моллюсков	232
<i>Шуйский В.Ф., Жигульский В.А., Чебыкина Е.Ю.</i> Комплексная балльно-рейтинговая оценка экосистем макрофитных зарослей Невской губы при техногенном воздействии	233

<i>Явид Е.Я., Аникина В.В.</i> Сравнительный анализ низкомолекулярного метаболома макрофитов разнотипных водоемов акватории Кандалакшского залива Белого моря	234
<i>Ядренкина Е.Н., Мыльникова Л.Н., Некраш А.А., Титова А.В.</i> Реконструкция видового состава и миграционной активности рыб, обитающих в эпоху бронзы – раннего железного века на территории Барабинской низменности (Западная Сибирь)	235
<i>Яныгина Л.В.</i> Таксономическое, филогенетическое и функциональное разнообразие сообществ: проблемы оценки и перспективы использования в биомониторинге	236
СЕКЦИЯ 6. БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ	237
<i>Архипов А.Г.</i> Научный мониторинг водных биологических ресурсов в Атлантическом океане и юго-восточной части Тихого океана	237
<i>Зуев Ю.А., Шацкий А.В.</i> Изменение промысловых запасов личинок хирономид (<i>Chironomus</i> : Diptera) в водоемах Ленинградской области	238
<i>Интересова Е.А., Сукнев Д.Л., Шаталин В.А., Кабиев Т.А., Дорогин М.А., Цапенков А.В.</i> Возраст и рост обыкновенного судака <i>Sander lucioperca</i> в разнотипных водных объектах юга Западной Сибири	239
<i>Карпов В.А., Рудченко А.Е.</i> Состав и содержание жирных кислот гольцов р. <i>Salvelinus</i> из озера Собачье	240
<i>Козлов О.В., Асманова А.А., Коноводова Е.А., Татарникова Е.И., Енова Ю.А., Накоскин А.Н., Аршевский С.В., Шаров А.В., Филистеев О.В., Чирухин А.В.</i> Популяционный подход к классификации фаунистических комплексов озер лесостепной зоны юга Западной Сибири	241
<i>Коноплева Е.С., Челпановская О.А., Вихрев И.В., Дворянкин Г.А., Футоран П.А., Кондаков А.В.</i> Генетическое разнообразие лососевых рыб в водотоках летнего берега Белого моря	242
<i>Корентович М.А.</i> Использование неинвазивного метода УЗД для исследований внутренних органов осетровых и лососевых видов рыб	243
<i>Коробицына Р.Д., Соболев Н.А., Аксенов А.С., Сорокина Т.Ю.</i> Сравнение содержания токсичных и эссенциальных элементов в рыбе из разных регионов АЗРФ	244
<i>Литвиненко Л.И., Захарова Т.В., Куцанов К.В.</i> Оценка возможности популяционной идентификации артемии по биохимическому составу цист с целью предотвращения их ННН-промысла	245
<i>Мингазова Н.М., Галеева А.И.</i> Универсальная лимно-экологическая классификация и региональная модификация по биоресурсам озер	246
<i>Морозко А.В., Пасечкина В.Ю., Кабиев Т.А., Шаталин В.А., Цапенков А.В., Дорогин М.А., Интересова Е.А.</i> Возраст и рост плотвы <i>Rutilus rutilus</i> в разнотипных водных объектах юга Западной Сибири	247
<i>Новоселов А.П.</i> Состояние водных биологических ресурсов (ихтиофауна) пресноводных экосистем Европейского севера России в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия	248

<i>Подгорный К.А.</i> Методологические подходы к построению имитационной модели водной экосистемы зон апвеллинга Центрально-Восточной Атлантики с включением многовидовой модели сообщества рыб	249
<i>Рудченко А.Е., Карпов В.А.</i> Состав и содержание жирных кислот в мышечной ткани и печени молоди некоторых промысловых видов рыб из естественной среды обитания и аквакультуры	250
<i>Рыков Н.А.</i> Анализ изменений микрофлоры балтийской сельди в юго-восточной части Балтийского моря	251
<i>Тувшинжаргал Н.</i> К вопросу о рыбном потенциале озер Северной Монголии	252
<i>Хрусталева А.М.</i> Геногеографическое исследование азиатской нерки <i>Oncorhynchus nerka</i> и оценка влияния некоторых климатических и гидрографических факторов на формирование ее популяционной структуры на территории Дальнего Востока России	253

ООО «Компания Хеликон» — один из ведущих российских поставщиков лабораторного оборудования, реагентов и расходных материалов с 1997 года.

Компания оказывает комплекс услуг и сопровождает Клиентов на всех этапах — помогает в проектировании лабораторий, подбирает и доставляет необходимую продукцию, проводит пуско-наладку оборудования, обучает персонал на местах, обеспечивает квалифицированное сервисное обслуживание.

20 000+

наименований
продукции

60+

производителей



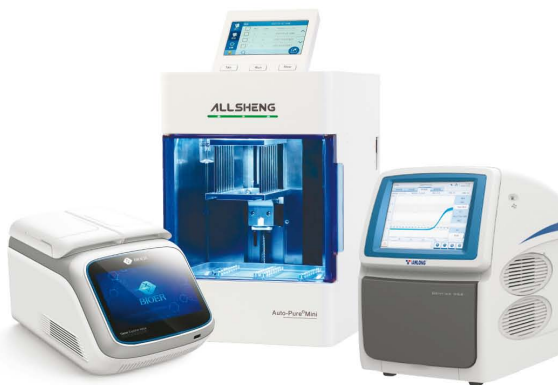
Развитая логистическая
и складская сеть



доставка
в кратчайшие сроки

Направления деятельности:

- Молекулярная и клеточная биология.
- Клиническая диагностика.
- Ветеринария.
- Пищевая безопасность.
- Агрогеномика.
- Биоиндустрия.
- Криминалистика.



Для своих ключевых клиентов Компания предоставляет возможность тестирования продукции до принятия решения о покупке.

«Компания Хеликон» также имеет собственную производственную базу и выпускает лабораторное оборудование, расходные материалы и мебель под торговой маркой Helicon.

Региональные представительства Компании находятся в Санкт-Петербурге, Новосибирске, Казани, Ростове-на-Дону, Владивостоке и Екатеринбурге.

helicon

ЛУЧШИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЛАБОРАТОРИИ

Единый телефон

8 800 770 71 21

бесплатный звонок по России

Адрес: 121374, Москва,
Кутузовский проспект, д. 88

Е-mail: mail@helicon.ru

Сайт: www.helicon.ru



13-й СЪЕЗД ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА ПРИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

*посвященный 300-летию Российской академии наук,
Десятилетию науки и технологий в России и
5-летию Архангельского отделения ГБО при РАН*

Тезисы докладов

16-20 сентября 2024 г.

г. Архангельск, Россия

Редактор А.П. Новосёлов

Оригинал-макет: Е.Н. Имант

Дизайн обложки: Ю.В. Новикова, О.В. Аксёнова

Электронное научное издание

Минимальные системные требования:

Процессор – 3,5 ГГц; Оперативная память – 512 Мб;
минимум 52 Мб свободного места на жестком диске; привод CD-ROM.

Операционная система: Windows XP+/MacOS X+/Linux.

Программное обеспечение: Adobe Acrobat Reader

Подписано к использованию 27.09.2024. Электронное издание

Тираж 12 экз. Заказ № 24043.

Издательство «КИРА»

163000, г. Архангельск, ул. Поморская, 34

Тел. (8182) 65-47-11, e-mail: oookira@yandex.ru