Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр Российской академии наук»

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

ГИДРОСФЕРА:

актуальные вопросы изучения и рационального природопользования

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Всероссийской научной конференции
с международным участием,
посвященной 35-летию ИВПС КарНЦ РАН
и 80-летию КарНЦ РАН

г. Петрозаводск, 5—7 октября 2026 г.

Научное электронное издание



Петрозаводск
КарНЦ РАН
2026

ISBN 978-5-9274-1043-9

© Коллектив авторов, 2026
© ФИЦ «Карельский научный центр РАН», 2026
© Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, 2026

УДК 556(063)
ББК 26.22
Г46

Редакционная коллегия:
д. б. н. *Ю. Н. Лукина*, д. г. н. *Н. А. Белкина*, к. х. н. *Н. Е. Галахина*,
к. г. н. *Г. Э. Здоровеннова*, к.б.н. *А. И. Сидорова*, к. б. н. *М. Т. Сярки*,
к. г. н. *А. В. Толстиков*, *Е. В. Кузнецова*

Издано по решению Ученого совета
Института водных проблем Севера КарНЦ РАН

Г46 **Гидросфера:** актуальные вопросы изучения и рационального природопользования : тезисы докладов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 35-летию ИВПС КарНЦ РАН и 80-летию КарНЦ РАН (г. Петрозаводск, 5–7 октября 2026 г.) : научное электронное издание / ред. кол.: Ю. Н. Лукина [и др.] ; ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук», Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2026. – 1 CD-ROM. – Систем. требования: PC, MAC с процессором Intel 1,3 ГГц и выше; Microsoft Windows, MAC OSX; 256 Мб (RAM); видеосистема: разрешение экрана 800×600 и выше, графический ускоритель (опционально); мышь; Adobe Reader; дисковод CD-ROM. – Загл. с титул. экрана. – Текст : электронный.

ISBN 978-5-9274-1043-9

В сборник вошли тезисы докладов Всероссийской научной конференции с международным участием «Гидросфера: актуальные вопросы изучения и рационального природопользования», приуроченной к празднованию 35-летия ИВПС КарНЦ РАН и 80-летия КарНЦ РАН. В тезисах рассматриваются результаты современных теоретических и прикладных исследований пресноводных и морских экосистем, охватывающие особенности структурно-функциональной организации сообществ гидробионтов; специфику гидрофизических процессов и явлений; гидрохимического и гидрологического режимов природных вод; закономерности формирования донных отложений. В материалах также отражены современные методы изучения и мониторинга водных объектов и рационального использования водных ресурсов, опыт взаимодействия академической науки с особо охраняемыми природными территориями (ООПТ) и актуальные вопросы экологического просвещения.

Сборник тезисов представляет интерес для широкого круга специалистов в области изучения водных объектов и функционирования экосистем, а также преподавателей, аспирантов и студентов профильных вузов.

УДК 556(063)
ББК 26.22

Текстовое (символьное) электронное издание

Системные требования: PC, MAC с процессором Intel 1,3 ГГц и выше; Microsoft Windows, MAC OSX; 256 Мб (RAM); от 500 Мб свободного пространства на жестком диске; видеосистема: разрешение экрана 800×600 и выше, графический ускоритель (опционально); мышь; Adobe Reader; дисковод CD-ROM

Для создания электронного издания использованы ПО Adobe InDesign, Adobe Acrobat Pro

Редактор *Е. В. Азоркина*
Компьютерная верстка *М. И. Федорова*

Подписано к использованию 30.09.2026. 1 CD-ROM. 17,5 Мб. Тираж 160 экз. Заказ № 912

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук»
185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11
Телефон (8142) 76-60-40. E-mail: krcras@krc.karelia.ru URL: http://www.krc.karelia.ru

Изготовлено в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук»
185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11
Телефон (8142) 76-60-40. E-mail: krcras@krc.karelia.ru URL: http://www.krc.karelia.ru

© Коллектив авторов, 2026
© ФИЦ «Карельский научный центр РАН», 2026
© Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ. *Н. Н. Филатов* 14

СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ИНСТИТУТА ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ СЕВЕРА КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН 15

Адамская П. Н., Слуковский З. И.
ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР ПОЛУОСТРОВОВ РЫБАЧИЙ И СРЕДНИЙ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ, АРКТИКА) 18

Акулова О. Б., Букатый В. И., Кириллов В. В., Дьяченко А. В., Марусин К. В.
МНОГОЛЕТНИЕ НАТУРНЫЕ ДАННЫЕ БИООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА В ПЕРИОД ОТКРЫТОЙ ВОДЫ 20

Александров С. В.
ЭВТРОФИРОВАНИЕ ВОД ЭСТУАРНОЙ СИСТЕМЫ КАЛИНИНГРАДСКОГО ЗАЛИВА 22

Александров С. В., Семенова А. С.
СТРУКТУРА И ОБИЛИЕ ПЛАНКТОНА В КУРШСКОМ ЗАЛИВЕ И ВПАДАЮЩИХ В НЕГО РЕКАХ 24

Аникиева Л. В., Лебедева Д. И.
МОРФОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ МЕТАЦЕРКАРИЙ РОДА *DIPLOSTOMUM* К ОБИТАНИЮ НА СЕВЕРНОЙ ПЕРИФЕРИИ АРЕАЛА 26

Анохин В. М.
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ЛАДОЖСКОМ ОЗЕРЕ В СВЯЗИ С РЕЛЬЕФОМ ЕГО ДНА 28

Антясова К. С., Шорникова Е. А.
ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОЗЕР СРЕДНЕГО ПРИОБЬЯ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ 30

Асламов И. А., Гнатовский Р. Ю., Блинов В. В., Титова Л. А., Тюрнев И. Н.
К ВОПРОСУ О СОЛЕВОЙ КОНВЕКЦИИ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ В ПОДЛЕДНЫЙ ПЕРИОД 32

Астахова Е. А., Кучерявый А. В.
ПЛАСТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РЕЧНОЙ МИНОГИ *LAMPETRA FLUVIATILIS* (PETROMYZONTIDAE) В ВОДОТОКАХ БАЛТИЙСКОГО БАССЕЙНА 34

Баева Ю. И.
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МАЛЫХ ОЗЕР БАССЕЙНА СЕЛИГЕРА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ЗООБЕНТОСА 36

Бакулина Д. Ю., Кучерявый А. В., Полякова Н. В.
ДИГЕНЕТИЧЕСКИЙ СОСАЛЬЩИК *DIPLOSTOMUM PETROMYZIFLUVIATILIS* У МИНОГИ *LAMPETRA FLUVIATILIS* В РЕКАХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ 38

Барбашова М. А., Трифонова М. С.
СОСТАВ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ АМФИПОД В РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНАХ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА 40

Барышев И. А.
ФОРМИРОВАНИЕ МАКРОЗООБЕНТОСА РЕК ОЛОНЕЦКОГО ПЕРЕШЕЙКА: РОЛЬ ЛОКАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ 42

Барышев И. А., Кулебякина Е. В.
СТРУКТУРА ДОННЫХ СООБЩЕСТВ ЛИТОРАЛИ ОЗЕРА ВОДЛОЗЕРО В УСЛОВИЯХ УГРОЗЫ ИНВАЗИИ *GMELINOIDES FASCIATUS* 44

Батмазова А. А.
РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ФИКСАЦИИ УРОВНЕЙ ВОДЫ В РЕКАХ 46

Белкина Н. А., Рябинкин А. В., Потахин М. С., Ефременко Н. А.
ЗАГРЯЗНЕНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР КАРЕЛИИ ОТХОДАМИ РЫБОВОДНЫХ ХОЗЯЙСТВ 48

Беляков В. П.
СТРУКТУРА И ПРОДУКТИВНОСТЬ МАКРОЗООБЕНТОСА ШЕСТИ ПРИТОКОВ В СРЕДНЕМ И НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ ВУОКСЫ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ 50

Березина Н. А., Терентьев П. М., Зубова Е. М.
ПИТАНИЕ СИГОВЫХ И ОКУНЕВЫХ РЫБ СЕВЕРНЫХ ОЗЕР (ИМАНДРА, КУЭТСЪЯРВИ, КРИВОЕ) 52

Богданова М. С.
АНТРОПОГЕННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛАНДШАФТОВ ВОДОСБОРА ЛОСОСИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА 53

Бойчук М. А.
ПРИБРЕЖНО-ВОДНЫЕ МХИ БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА «МЕТСОЛА» (РОССИЯ) 55

Болотова Н. Л., Воропай Л. М., Кузнецова О. Б.
ТЕНДЕНЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ МЕЛКОВОДНЫХ КРУПНЫХ РЫБОПРОМЫСЛОВЫХ ОЗЕР ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД 57

Борисова Н. В., Ручин А. Б., Есин М. Н., Лобачев Е. А., Лукиянов С. В., Семишин Г. Б.
МАТЕРИАЛЫ ПО ФАУНЕ РУЧЕЙНИКОВ (TRICHOPTERA) НЕКОТОРЫХ РЕГИОНОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ 59

Бородулина Г. С., Изотов Г. А.
ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ КАРЕЛИИ 61

Быстрова А. С., Ерина О. Н., Чалов С. Р.
ФОРМЫ ТРАНСПОРТА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РЕКАХ БАССЕЙНА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА 63

Вахрушев В. И., Болсуновский А. Я.
РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ ЕНИСЕЙ: РАДИОНУКЛИДНЫЙ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ 65

Верхова Е. И., Крыленко С. В., Трухан М. А., Новичкова А. А., Чертопруд Е. С.
ФАУНА И СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА В ВОДОЕМАХ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ОКРЕСТНОСТЕЙ ГОРОДА НОРИЛЬСКА (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ) 67

Веснина Л. В., Безматерных Д. М., Лассый М. В., Веснин Ю. А., Рябова К. К.
СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОПУЛЯЦИЙ РАЧКА *ARTEMIA* SPP. В НЕКОТОРЫХ РАЗНОТИПНЫХ ГИПЕРГАЛИННЫХ ОЗЕРАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ 69

Вокуева С. И., Слуковский З. И.
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА СЕЙДОЗЕРО (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ), В ТОМ ЧИСЛЕ ПО ДИАТОМОВЫМ КОМПЛЕКСАМ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ 71

Воробьева Л. В.,Зелененко В. В., Борисов Р. Р., Жигин А. В., Бубунец Э. В., Никонова И. Н., Жарников В. С.
ПИТАНИЕ ДЛИННОПАЛОГО РАКА *PONTASTACUS LEPTODACTYLUS* И АВСТРАЛИЙСКОГО КРАСНОКЛЕШНЕВОГО РАКА *CHERAX QUADRICARINATUS* ПРИ СОВМЕСТНОМ ВЫРАЩИВАНИИ В ПРУДУ НА ТЕРРИТОРИИ Г. МОСКВЫ 73

Газизова Т. Ю., Сапелко Т. В.
ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВАЯ НАЗЕМНАЯ И ВОДНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ПО ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ ОЗЕРА ЗИМНЯКОВСКОГО (ОСТРОВ ВАЛААМ, ЛАДОЖСКОЕ ОЗЕРО) 75

Галахина Н. Е., Зобков М. Б., Зобкова М. В.
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА ПО ДАННЫМ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ТЕНДЕНЦИИ ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ 77

Галиахметова Л. К., Иванов Д. В., Шурмина Н. В., Мухаметзянова Ф. М., Шакирова И. И., Косова М. В., Игнатьев Ю. А., Валиев В. С., Маланин В. В., Марасов А. А.
ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДАХ РЕКИ КАЗАНКИ 79

Генрих Э. А., Фукс Г. В., Боровской А. В.
БИОЛОГИЯ РЕЧНОЙ КАМБАЛЫ БОЛВАНСКОЙ ГУБЫ ПЕЧОРСКОГО МОРЯ 81

Герасимов Ю. В., Борисенко Э. С.
ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЭС НА ВОДНЫЕ БИОРЕСУРСЫ И СРЕДУ ИХ ОБИТАНИЯ 83

Горбунов Р. П., Любарский Д. С.
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СЕЗОННУЮ ДИНАМИКУ ВОДНЫХ МАКРОФИТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АНАЛИЗА ВЫЖИВАЕМОСТИ 85

Гречушникова М. Г., Морейдо В. М., Ломова Д. В., Андреева М. И., Хачатуров С. Х.
РОЛЬ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ПОСТУПЛЕНИИ МИНЕРАЛЬНОГО ФОСФОРА В ОЗЕРО ПЛЕЩЕЕВО 87

Гришина М. С., Ерина О. Н.
ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ, СВЯЗАННЫХ С ЭВТРОФИРОВАНИЕМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, НА ПРИМЕРЕ МОЖАЙСКОГО И ВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ 89

Гусева М. А., Петрова Т. Н., Протопопова Е. В.
КИСЛОРОДНЫЙ РЕЖИМ ВОДЫ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА И ПОКАЗАТЕЛИ ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА ВОДОЕМА В ПЕРИОД ОТКРЫТОЙ ВОДЫ В 2003–2022 ГГ. 91

Даирова Д. С., Светашева Д. Р.
ОСОБЕННОСТИ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ-ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ И НЕКОТОРЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ДОСТИЖЕНИЮ ИХ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ 93

Даувальтер В. А., Слуковский З. И., Адамская П. Н., Денисов Д. Б., Вакуева С. И.
ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПОЛУОСТРОВОВ РЫБАЧИЙ И СРЕДНИЙ И ХРЕБТА МУСТАТУНТУРИ, МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ 95

Дегтярева Л. В., Попова Н. В., Курапов А. А., Умербаева Р. И., Студников С. Н.
ХЛОРОРГАНИЧЕСКИЕ ПЕСТИЦИДЫ В СЕВЕРНОМ КАСПИИ 97

Дрогобужская С. В., Мазухина С. И., Маслобоев В. А., Королева И. М., Терентьев П. М.
РЕДКИЕ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ВОДАХ ОЗЕРА ИМАНДРА И ОРГАНАХ РЫБ (*LOTA LOTA,* L.) 99

Дрогобужская С. В., Мазухина С. И., Маслобоев В. А., Сафонов С. А.
РЕДКИЕ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ КРАСНОЩЕЛЬЯ И КАМЕНКИ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ) 101

Дудакова Д. С., Мухин И. А., Петров К. А.
ГУБКИ (*PORIFERA*) КАМЕНИСТЫХ ПЛЯЖЕЙ ШХЕРНОГО РАЙОНА ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА 103

Есин Е. В., Маркевич Г. Н., Зиневич Л. С., Паничева Д. М., Левин Б. А.
МАСШТАБЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ДИВЕРСИФИКАЦИИ АРКТИЧЕСКОГО ГОЛЬЦА (*SALVELINUS*, *SALMONIDAE*) НА ЧУКОТКЕ 105

Ефимова Л. Е., Кораблева О. В., Ломова Д. В., Ерина О. Н., Соколов Д. И.
МНОГОЛЕТНИЙ МОНИТОРИНГ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ КЕРЖЕНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА 107

Жернаков И. А., Тюлин Д. Ю., Никитенко А. И., Солодовник А. В., Горячев Д. В.
СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗООПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ ВОДОЕМОВ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ ШАТУРСКОЙ ГРЭС (МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ) 109

Жихарев В. С., Ерина О. Н., Соколов Д. И., Терешина М. А.
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА ВОДОХРАНИЛИЩА ДОЛИННОГО ТИПА В ПЕРИОД ЛЕТНЕЙ МЕЖЕНИ (НА ПРИМЕРЕ МОЖАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА, МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ) 111

Жмур В. В., Травкин В. С., Белоненко Т. В., Красильников Д. С., Фомин Ю. В.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ АГЕОСТРОФИЧЕСКИХ МОРСКИХ ТЕЧЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ 113

Зацаринная Д. В.
МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ КАРСТОВО-СУФФОЗИОННЫХ БОЛОТ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ТУЛЬСКИЕ ЗАСЕКИ» 115

Здоровеннова Г. Э., Здоровеннов Р. Э.
СЕЗОННАЯ И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ, ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И МУТНОСТИ ВОДЫ В ГЛУБОКОМ ДИМИКТИЧЕСКОМ ОЗЕРЕ 117

Здоровеннова Г. Э., Здоровеннов Р. Э., Пальшин Н. И., Митрохов А. В., Новикова Ю. С., Ефремова Т. В., Смирнов С. И., Богданов С. Р.
МЕТОДИКИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ОЗЕРАХ КАРЕЛИИ — МНОГОЛЕТНИЙ ОПЫТ ЛАБОРАТОРИИ ГИДРОФИЗИКИ ИВПС КАРНЦ РАН 119

Зимин А. В., Максимовская Т. М.
ТЕНДЕНЦИИ МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК АРКТИЧЕСКОЙ ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЯХ (1995–2025 ГГ.) 121

Золотовская Е. Д., Гурков А. Н., Саранчина А. Е., Дроздова П. Б., Ржечицкий Я. А., Базарсадуева С. В., Щапова Е. П., Тимофеев М. А.
АДАПТИВНЫЕ РАЗЛИЧИЯ ЭНДЕМИЧНЫХ БАЙКАЛЬСКИХ АМФИПОД *EULIMNOGAMMARUS VERRUCOSUS* И *EULIMNOGAMMARUS OLIGACANTHUS* 123

Иванов Д. В., Шагидуллин Р. Р., Валиев В. С.
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ В ОЗЕРАХ 125

Иванчева Е. Ю., Бознак Э. И.
КСЕНОРАЗНООБРАЗИЕ ОЗЕР ВЫСОКОЙ ПОЙМЫ ОКИ И ФАКТОРЫ, ЕГО ОБУСЛОВЛИВАЮЩИЕ 127

Иванченко Р. О., Зубова Е. М., Кашулин Н. А., Терентьев П. М.
ВОЗРАСТ И РОСТ ЕВРОПЕЙСКОГО ОКУНЯ *PERCA FLUVIATILIS* (PERCIDAE, PERCIFORMES) ПЛЕСА БАБИНСКАЯ ИМАНДРА ОЗЕРА ИМАНДРА (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ) 129

Иешко Е. П., Мюге Н. С., Соколов С. Г., Паршуков А. Н., Ефремов Д. А.
ПАРАЗИТОФАУНА МОЛОДИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ *SALMO SALAR* L. (ПРОХОДНЫЕ И ПРЕСНОВОДНЫЕ ФОРМЫ) ОЗЕРНО-РЕЧНОЙ СИСТЕМЫ РЕКИ КЕМИ (БАССЕЙН БЕЛОГО МОРЯ) 131

Изотов Г. А.
НИТРАТЫ В ГРУНТОВЫХ ВОДАХ КАРЕЛИИ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ПЕТРОЗАВОДСКА) 132

Илларионова А. Е.
ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ГУБЫ ЯНДОВА БЕЛОГО МОРЯ ЗА ПЕРИОД 2021–2025 ГГ. 134

Ильин Г. В., Усягина И. С., Лукашенко С. Н., Эдомская М. А.
НАКОПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ $^{239+240}$PU И ^{137}CS В ДОННЫХ ОСАДКАХ МУРМАНСКОГО ПРИБРЕЖЬЯ (БАРЕНЦЕВО МОРЕ) 136

Ильмаст Н. В., Савосин Д. С., Милянчук Н. П., Рекин Е. В.
БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОСОБО КРУПНОЙ ФОРМЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ РЯПУШКИ ВОДОЕМОВ КАРЕЛИИ 138

Иофина И. В.
ЭКОЛОГО-ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА МИКОБИОТЫ ПРИТОКОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА И РЕКИ НЕВЫ 140

Исаев А. В., Рябченко В. А., Коник А. А.
МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОТЕРМОДИНАМИКИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА В ПЕРИОД 1980–2020 ГГ. ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ 142

Каинова С. А., Казанцев В. С., Кривенок Л. А.
МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ (НА ПРИМЕРЕ КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА) 144

Калинкина Н. М., Теканова Е. В., Белкина Н. А., Баклагин В. Н., Галахина Н. Е., Ефремова Т. В., Здоровеннова Г. Э., Здоровеннов Р. Э., Зобков М. Б., Зобкова М. В., Исакова К. В., Коновалов Д. С., Коросов А. В., Макарова Е. М., Сидорова А. И., Смирнова В. С., Сярки М. Т.
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ 146

Канзепарова А. Н., Кровнин А. С., Сумкина А. А.
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ТИХОГО ОКЕАНА НА УРОЖАЙНОСТЬ ПОКОЛЕНИЙ ВОСТОЧНОКАМЧАТСКОЙ ГОРБУШИ 148

Карпова Е. П., Ку Нгуен Динь
БИОИНВАЗИИ В ИХТИОФАУНЕ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА 150

Каюкова Е. П.
ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНЫХ СКЛОНОВ КРЫМСКИХ ГОР (ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ) ... 152

Кирпичникова Н. В.
СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОННЫХ БАЗ ДАННЫХ ПО ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ) 154

Кирпичникова Н. В., Воронина К. П.
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СМЫВА ЗАГРЯЗНЕНИЙ С УРБАНИЗИРОВАННЫХ ВОДОСБОРОВ НА ОСНОВАНИИ ПОСТВОРНОГО МОНИТОРИНГА В РЕКЕ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ЯУЗЫ) 156

Киселева М. Н., Митрюшкина Д. К., Апаликова О. В.
К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ЯДЕРНОГО ГЕНА *RAG1* ДЛЯ ПРОЯСНЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ГИБРИДИЗАЦИИ МУКСУНОВ И ПЫЖЬЯНОВ В СИМПАТРИЧЕСКИХ ПОПУЛЯЦИЯХ 158

Козлов И. Е., Копышов И. О., Гайский П. В., Шутов С. А.
ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА, ПРИЛИВНАЯ И СУБПРИЛИВНАЯ ДИНАМИКА ВОД ПРОЛИВА ВЕЛИКАЯ САЛМА БЕЛОГО МОРЯ 160

Козлов И. Е., Копышов И. О., Кузьмин А. В.
КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ТУРБУЛЕНТНЫЙ ОБМЕН В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ 162

Козлова М. А.
ВЛИЯНИЕ ЛЕКАРСТВЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА КАЧЕСТВО ПРИРОДНЫХ ВОД 163

Кондратьев С. А., Голосов С. Д., Зверев И. С., Расулова А. М.
ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ НЕИЗУЧЕННЫХ ОЗЕР СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ .. 165

Кондратьев С. А., Голосов С. Д., Зверев И. С., Расулова А. М.
ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМИЧЕСКОГО И КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМОВ ЭКОСИСТЕМ ОЗЕР РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН ЕВРАЗИИ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ) 167

Коновалов Д. С.
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СООБЩЕСТВ ПЕЛАГИЧЕСКОГО ЗООПЛАНКТОНА КОНДОПОЖСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА 169

Кононенко Г. П., Буркин А. А.
ТРОСТНИК ОБЫКНОВЕННЫЙ КАК ОБЪЕКТ МИКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА 171

Королева И. М., Терентьев П. М.
ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГОНАДОСОМАТИЧЕСКОГО ИНДЕКСА ДЛЯ БИОИНДИКАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ОБЫКНОВЕННОГО СИГА В ОЗЕРАХ СЕВЕРО-ЗАПАДА МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ 173

Косова А. Л., Денисов Д. Б., Слуковский З. И.
ВЛИЯНИЕ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ НА ДИАТОМОВУЮ ФЛОРУ ОЗЕРА СЕМЕНОВСКОГО ЗА ПОСЛЕДНЕЕ СТОЛЕТИЕ (Г. МУРМАНСК) (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИАТОМОВОГО И ГЕОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗОВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ) 175

Косова М. В., Деревенская О. Ю., Унковская Е. Н., Палагушкина О. В., Шурмина Н. В., Мухаметзянова Ф. М., Игнатьев Ю. А., Маланин В. В., Валиев В. С.
СОВРЕМЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ ОЗЕР ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА 177

Кочева Л. С., Рачкова Н. Г., Шапошникова Л. М., Карманов А. П., Игнатьев Г. В.
ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ПРЕССИНГА НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ВБЛИЗИ БЫВШЕГО РАДИЕВОГО ПРОМЫСЛА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ 179

Краснова М. А., Гайдукова Е. В.
ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИРОДНЫХ ЗАКАЗНИКОВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ 181

Крашенинникова С. Б., Сысоев А. А., Сысоева И. В., Силаков М. И., Темных А. В., Копытина Н. И., Законнов В. В.
ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАРСКОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ (ЕВРОПЕЙСКАЯ АРКТИКА) 183

Кублицкий Ю. А., Христев М. И., Потахин М. С., Левкова Д. Н., Орлов А. В., Брылкин В. В., Пронина А. В., Лудикова А. В., Леонтьев П. А., Кузнецов Д. Д., Субетто Д. А., Белкина Н. А.
НОВЫЕ ДАННЫЕ О РАННЕГОЛОЦЕНОВОЙ РЕГРЕССИИ БЕЛОГО МОРЯ: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ НОВОГО РАЗРЕЗА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА БОЛЬШОЕ КОРЗИНО (СОЛОВЕЦКИЙ АРХИПЕЛАГ) 185

Кузнецов Д. Д., Лудикова А. В.
РЕЗКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ ОБСТАНОВОК В ОТЛОЖЕНИЯХ МАЛЫХ ОЗЕР ПРИЛАДОЖЬЯ КАК ИНДИКАТОР ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ ГОЛОЦЕНА 187

Кузнецов О. Л.
ВОДНО-БОЛОТНЫЕ УГОДЬЯ КАРЕЛИИ, ИХ РАЗНООБРАЗИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ 189

Курашев Д. Г., Манасыпов Р. М.
ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДА И ПАРАМЕТРЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕР ЗОН СПЛОШНОЙ И ПРЕРЫВИСТОЙ МЕРЗЛОТЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ 191

Курбатова И. Е., Мулин М. О.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРОЗОНАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДИНАМИКИ ЗАЛИВОВ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА 193

Кутенков С. А.
РЕКОНСТРУКЦИЯ РАЗВИТИЯ БОЛОТА ЧУДЕСНАЯ ЛАМБА (ЗАПОВЕДНИК «КИВАЧ», КАРЕЛИЯ) 195

Кутявина Т. И., Кочурова Т. И., Шихова Т. Г.
КОМПЛЕКСНЫЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЙМЕННЫХ ОЗЕР ЗАПОВЕДНИКА «НУРГУШ» (КИРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ) 197

Кучерявый А. В., Полякова Н. В., Юрчак М. И., Мурзина С. А., Воронин В. П., Павлов Д. С.
ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ И БАКТЕРИИ КАК ОСНОВА ПИТАНИЯ ЛИЧИНОК РЕЧНОЙ МИНОГИ В РЕКАХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ 199

Лебедева Д. И., Зайцев Д. О., Мэндсайхан Б., Лумме Я.
К ИЗУЧЕНИЮ ПАРАЗИТОВ РЫБ ВОДОЕМОВ МОНГОЛИИ: УТОЧНЕНИЕ ВИДОВОГО СОСТАВА С ПОМОЩЬЮ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МЕТОДОВ 201

Леман В. Н.
РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ЗАПОВЕДНЫЕ ЗОНЫ — ОПЫТ СОЗДАНИЯ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ОПАЛА (ЗАПАДНАЯ КАМЧАТКА) 203

Ли Цзинъюань
ОЦЕНКА ЛЕДОВО-СНЕЖНОГО ПОКРОВА ВОДОЕМОВ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА ПО ДАННЫМ SENTINEL-1 И SENTINEL-2 205

Литвинов Л. В., Заров Е. А., Иванова И. С.
ОЦЕНКА ПОТЕРЬ РОУ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ РАСХОДОВ ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА МУХРИНО 207

Лосюк Г. Н., Кокрятская Н. М.
НАКОПЛЕНИЕ СЕРОВОДОРОДА В МОРСКИХ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ОЗЕРАХ 209

Лудикова А. В., Кузнецов Д. Д.
ЭВОЛЮЦИЯ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА В ГОЛОЦЕНЕ ПО ДАННЫМ ЛИТО- И БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ: НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ 211

Лукьянова О. Н., Гангнус И. А., Артамонова К. В.
СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОМ РАЗРЕЗЕ ПО 39° В.Д. В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ 213

Ляшенко О. А.
ЗИМНИЙ ФИТОПЛАНКТОН ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА 215

Мазухина С. И., Маслобоев В. А., Дрогобужская С. В., Королева И. М., Терентьев П. М.
ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОЙ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЗЕРА ИМАНДРА И ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ОРГАНОВ РЫБ (НА ПРИМЕРЕ НАЛИМА) 217

Майор Т. Ю., Федотов А. П.
ОЦЕНКА РАЗНООБРАЗИЯ ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕРА БАЙКАЛ ДНК-МЕТАБАРКОДИРОВАНИЕМ 219

Макаренко Т. И., Ратникова О. Н., Агейчик И. В., Борш А. Т.
ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ ЧЕРЕЗ ЗНАКОМСТВО С ВОДНО-БОЛОТНЫМИ УГОДЬЯМИ БЕЛАРУСИ (НА ПРИМЕРЕ БОЛОТА ЕЛЬНЯ) 221

Малинина Ю. А.
СТРУКТУРА ЛИТОРАЛЬНОГО ЗООПЛАНКТОНА НЕКОТОРЫХ ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ 223

Малов А. И.
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПИТЬЕВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ АРКТИЧЕСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ 225

Малов А. И., Находа В. А., Дружинин С. В.
ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ — ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМОВ В МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГИПСА 227

Медведева И. В., Студенок Г. А., Уфимцев К. А., Медведева О. М.
МИКРО- И НАНОПЛАСТИК В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ: ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА И ИННОВАЦИОННЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ 229

Межеловская С. В., Вальков А. Н.
РЕЗУЛЬТАТЫ КАРЕЛЬСКОЙ УЧЕБНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ НА ТЕРРИТОРИИ КАЛЕВАЛЬСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА 231

Мельников Ю. И.
ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ПРИБРЕЖНЫХ ПТИЦ НА ВОДОЕМАХ С ГОРНО-ПОЙМЕННЫМ ВОДНЫМ РЕЖИМОМ 233

Минакова Е. А., Шлычков А. П., Кондратьев С. А., Минакова Д. А.
ИНДИКАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВНЕШНЕЙ БИОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ НА ВОДОСБОРАХ РАВНИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ 235

Михайлов А. В.
СОСТОЯНИЕ ПОПУЛЯЦИЙ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ БИОРЕСУРСАМИ ОСТРОВА КУНАШИР 237

Михалейко Б. А., Воробьев С. Н., Курашев Д. Г., Колесниченко Ю. Я., Покровский О. С.
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ЭМИССИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ТОРФЯНЫХ ОЗЕРАХ НА СЕВЕРНЫХ ОТРОГАХ БОЛЬШОГО ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА 239

Моисеенко В. В., Семенова А. С.
ЗООПЛАНКТОН ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА И ОБВОДНЕННЫХ КАРЬЕРОВ ЕГО БАССЕЙНА В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ 241

Мосейченко И. Н.
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ И РАДИОТРАССЕРНАЯ ДАТИРОВКА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ЭКОСИСТЕМАХ РЕК КРЫМА 243

Мясникова Н. А.
ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДОХРАНИЛИЩА ЛОСОСИНСКОГО 245

Науменко М. А., Гузиватый В. В.
ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ЛАДОЖСКОГО И ОНЕЖСКОГО ОЗЕР: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ, РЕЗУЛЬТАТЫ И ПРОБЛЕМЫ 247

Наумов И. А., Кравчишина М. Д., Паутова Л. А., Силкин В. А., Политова Н. В.
ОБОБЩЕНИЕ МНОГОЛЕТНИХ ДАННЫХ О ЦВЕТЕНИЯХ *EMILIANIA HUXLEYI* В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ (НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЛИТЕРАТУРЫ И НАБЛЮДЕНИЙ) 249

Незванова Д. В., Беляков В. П.
ПРОДУКЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОПУЛЯЦИЙ МАССОВЫХ ФОРМ ХИРОНОМИД В РАЗЛИЧНЫХ БИОТОПАХ ЭСТУАРИЯ РЕКИ НЕВЫ 251

Немова Н. Н., Мурзина С. А., Кузнецова М. В., Ефремов Д. А., Воронин В. П., Хуртина С. Н., Манойлова Д. И., Шульгина Н. С.
БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ГОРБУШИ (*ONCORHYNCHUS GORBUSCHA*, W.), ИНТРОДУЦИРОВАННОЙ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РОССИИ 253

Новичкова А. А., Трухан М. А., Чертопруд Е. С., Гарибян П. Г., Барабанщиков Е. И.
РЕГИОНАЛЬНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА ТАКСОЦЕНОВ РАКООБРАЗНЫХ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ ЧУКОТСКОГО АО 255

Новоселов А. П.
ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ (ООПТ) ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ (АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ, НЕНЕЦКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ, РЕСПУБЛИКА КОМИ) 257

Новоселова Е. В., Будянский М. В., Улейский М. Ю., Белоненко Т. В., Дидов А. А., Удалов А. А., Файман П. А.
АНАЛИЗ ТРЕХМЕРНОЙ ДИНАМИКИ ЛОФОТЕНСКОГО ВИХРЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАГРАНЖЕВА МЕТОДА ОКОНТУРИВАНИЯ ВИХРЕЙ LEBDA 259

Паршуков А. Н., Иешко Е. П.
НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПАРАЗИТАХ РОДА GYRODACTYLUS У САДКОВОЙ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ *ONCORHYNCHUS MYKISS* (WALBAUM, 1792) В КАРЕЛИИ 261

Погожева М. П., Грант Е. М., Спирина В. А., Жданов И. А., Морозов И. В.
СОДЕРЖАНИЕ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА 262

Погосян В. Р., Исаева О. М., Доброхотова Д. М., Рутенко О. А.
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА И ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ МАКРОЗООБЕНТОСА ПРИКАМЧАТСКИХ ВОД ПОД ВЛИЯНИЕМ ГЛУБИНЫ И ТИПА ГРУНТА (ЭКСПЕДИЦИЯ 2025 Г.) 264

Погосян В. Р., Коваленко В. Н., Ригонен Ю. В., Сидорова А. И.
РЫБНОЕ СООБЩЕСТВО ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ КИЖСКИХ ШХЕР: ПО ДАННЫМ ТРЕХЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА 266

Полетаева В. И., Хомматлиев Г. Б., Цветкова Е. А., Пастухов М. В.
ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ОСНОВНЫХ ИОНОВ В ВОДЕ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ОЗЕРА БАЙКАЛ 268

Попова О. Н.
СВЯЗЬ ЧИСЛЕННОСТИ СТРЕКОЗ С ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ В БАССЕЙНЕ ОЗЕРА ЧАНЫ 270

Потахин М. С., Белкина Н. А., Богданова М. С., Выборова Н. В., Гатальская Е. В., Здоровенов Р. Э., Ефременко Н. А., Кравченко И. Ю., Морозова И. В., Мясникова Н. А., Орлов А. В.
ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ИВИНСКОГО РАЗЛИВА ВЕРХНЕ-СВИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА 272

Пронина А. В., Белкина Н. А., Сысоев В. В.
КОНЦЕНТРАЦИИ ОБЩЕГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ ОЗЕР ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ НА ТРАНСЕКТЕ ОТ ЮГА МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ ДО КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ 274

Рак А. Н., Борисова Е. П., Борисов Р. Р., Чертопруд Е. С.
ЗООПЛАНКТОН И МАКРОЗООБЕНТОС ГОРНЫХ ОЗЕР КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕСИИ (СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ): СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ И РЕГУЛИРУЮЩИЕ ЕЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ 276

Решетников Ю. С.
СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МАКРО- И МИКРОСИСТЕМАТИКЕ РЫБ 278

Рижинашвили А. Л.
ЭВТРОФИРОВАНИЕ И ТРОФИЧЕСКАЯ ТИПОЛОГИЯ ВОДОЕМОВ: НОВЫЙ ВЗГЛЯД 280

Ронжин А. Л., Ле В. Н., Дудакова Д. С., Савельев А. И.
ВИДЕОАНАЛИТИКА ИНДУСТРИАЛЬНОЙ АКВАКУЛЬТУРЫ: НАБОРЫ ДАННЫХ, НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ И РОБОТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ 282

Руднева И. И., Котельянец Е. А., Шайда В. Г., Шайда О. В.
СОДЕРЖАНИЕ СТРОНЦИЯ И БАРИЯ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ВОДОЕМОВ САКСКОГО ОЗЕРА (РЕСПУБЛИКА КРЫМ) 284

Русанов А. Г., Траберт Ж., Киш К. Т., Ач Е.
РОЛЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА И СЕТЕВОЙ СВЯЗНОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВА ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ПЕРИФИТОНА В ПЕРЕСЫХАЮЩИХ РЕКАХ 286

Рыбкина И. Д., Седова Е. Ю.
ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ РЕКРЕАЦИОННЫХ НАГРУЗОК НА ТУРИСТСКИЕ ТРОПЫ В ПРЕДЕЛАХ ООПТ (НА ПРИМЕРЕ ПРИРОДНОГО ЗАКАЗНИКА «КАСКАД ВОДОПАДОВ НА РЕКЕ ШИНОК») 288

Савосин Е. С., Кучко Я. А.
ДИНАМИКА СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА И МАКРОЗООБЕНТОСА ОЗЕРА КАМЕННОГО: РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА 290

Сапелко Т. В., Игнатьева Н. В.
ВЫЯВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ОЗЕРА В ЕСТЕСТВЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА ПО ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИМ И ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ 292

Свергун Е. И., Зимин А. В., Коник А. А., Толстиков А. В., Здоровеннов Р. Э.
СУБПРИЛИВНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СТРУКТУРЫ ВОД В ГУБЕ ЧУПА БЕЛОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ПОДЛЕДНЫХ КОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ 294

Сивохип Ж. Т.
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ВОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК СТЕПНОЙ ЗОНЫ (НА ПРИМЕРЕ РЕК УРАЛ И ТОБОЛ) 296

Сидорова А. И.
МАКРОЗООБЕНТОС ОЗЕРА ВЫГОЗЕРО (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ) 298
Сидорова А. И.
ОПЫТ СОТРУДНИЧЕСТВА ИВПС КАРНЦ РАН И ООПТ
НА ПРИМЕРЕ ЗИМНИХ ЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ ШКОЛ 2025, 2026 ГГ. 299
Сластина Ю. Л.
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА МУНОЗЕРО 300
Сластина Ю. Л., Комулайнен С. Ф.
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА И ФИТОПЕРИФИТОНА
ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ БАССЕЙНА ОЗЕРА ВЫГОЗЕРО 302
Слуковский З. И., Адамская П. Н.
ПЕРВЫЕ ПРЯМЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ГЕОХИМИЧЕСКИХ
АНОМАЛИЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОЗЕРАХ НА СЕВЕРЕ КАРЕЛИИ 304
Слуковский З. И., Даувальтер В. А., Адамская П. Н., Денисов Д. Б.
МЕТОДОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ
МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕР МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ (АРКТИКА) 306
Смирнова В. С.
МНОГОЛЕТНЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ФИТОПЛАНКТОНА КОНДОПОЖСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА
В УСЛОВИЯХ МНОГОФАКТОРНОГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ 308
Смирнова Е. В., Карамушко О. В.
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗНООБРАЗИЯ НЕПРОМЫСЛОВЫХ
ВИДОВ РЫБ И НАБЛЮДАЕМЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ЕГО ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ
В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ 310
Софьина Е. В., Романенков Д. А.
ВНУТРЕННИЙ ПРИЛИВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
В РЕГИОНЕ НЕРЕСТА ВОСТОЧНОКАМЧАТСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ МИНТАЯ 312
Столяров А. П.
ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ, ВИДОВОЙ И ТРОФИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ
МАКРОБЕНТОСА ЭСТУАРНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЛАГУННОГО ТИПА
(КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ) 314
Суворов В. Н., Горенко П. С.
МОНИТОРИНГ ГИДРОЛОГО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
СЕСТРОРЕЦКОГО БОЛОТА 316
Сулейманов М. А., Самохин А. А., Гайдукова Е. В.
АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ АНСАМБЛЕВЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ
ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ДАТ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ 318
Сярки М. Т.
ЦИФРОВИЗАЦИЯ В ГИДРОБИОЛОГИИ 320
Тарасова Н. Г., Быкова С. В., Мухортова О. В.
КОМПОНЕНТЫ ПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА
В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД 322
Тархов С. В., Кузнецова Е. В.
ОПЫТ СОТРУДНИЧЕСТВА ЗАПОВЕДНИКА «КОСТОМУКШСКИЙ»
В ПРОВЕДЕНИИ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДОЕМОВ
С ИНСТИТУТАМИ КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН 324
Теканова Е. В., Сиделев С. И., Калинкина Н. М., Чернова Е. Н., Шаров А. Н., Смирнова В. С.
СОВРЕМЕННОЕ ТРОФИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ТОКСИГЕННЫЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ
В ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ 326
Терентьев А. С.
СООБЩЕСТВО *NEPHTYS HOMBERGII* В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ
(АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ РЕГИОН) 328
Терентьев П. М., Зубова Е. М., Королева И. М.
ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О СОСТОЯНИИ ФАУНЫ РЫБ В ЗОНЕ РАЗРАБОТКИ
КОЛМОЗЕРСКОГО ЛИТИЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ) 330
Тихонова Д. А., Дмитриев В. В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОПАДАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ОРГАНИЗМЫ
ЗООПЛАНКТОНА ПРИ ПИТАНИИ 332

Токранов А. М.
ПИЩЕВАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ КРЮЧКОРОГОВ РОДОВ *ARTEDIELLUS* И *ARTEDIELLICHTHYS* (COTTIDAE) В ПРИКАМЧАТСКИХ ВОДАХ 334

Травкин В. С., Белоненко Т. В.
ХАРАКТЕРИСТИКИ МОРСКИХ ВОЛН ТЕПЛА БЕРИНГОВА МОРЯ ЗА 1993–2022 ГГ. 336

Троицкая Е. С., Тюрнев И. Н.
ИЗМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ В 1993–2025 ГОДЫ 338

Трухан М. А., Новичкова А. А., Чертопруд Е. С.
СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ ПЛАНКТОННЫХ МИКРОРАКООБРАЗНЫХ (CLADOCERA, COPEPODA) НА ГРАДИЕНТЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ) 340

Усипбекова Я. Г., Зеленников О. В., Герасимова А. В., Марченко Ю. Т.
ОСОБЕННОСТИ ГАМЕТОГЕНЕЗА МИДИЙ *MYTILUS EDULIS* L. И *MYTILUS TROSSULUS* GOULD В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОМ МОРЕ) 342

Усов Н. В.
ЗООПЛАНКТОН БУХТЫ БЛАГОПОЛУЧИЯ (СОЛОВЕЦКИЙ АРХИПЕЛАГ) 344

Устинова Е. И.
ИЗМЕНЕНИЯ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РАЙОНАХ ВОСПРОИЗВОДСТВА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ САРДИНЫ 346

Фокин А. Д., Ефимов В. А., Ефимова Л. Е.
ИОННЫЙ СОСТАВ МАЛЫХ РЕК МОСКОВСКОГО МЕГАПОЛИСА (РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ 2024–2026 ГОДОВ) 348

Цветкова Е. А., Полетаева В. И.
ВЗАИМОСВЯЗЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТАЛЫХ ВОД И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА (Г. УСОЛЬЕ-СИБИРСКОЕ) 350

Цветкова Е. А., Полетаева В. И., Колчин С. А.
ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА РЕЧНЫХ СИСТЕМ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «УДЭГЕЙСКАЯ ЛЕГЕНДА» (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ) 352

Цуй Юйсюань, Фролова Н. Л.
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАТОРОВ ЛЬДА С ПОМОЩЬЮ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 354

Цуканова К. Н., Иванов М. В., Полякова Н. В.
БЕНТОСНЫЕ СООБЩЕСТВА ПОЛУИЗОЛИРОВАННЫХ ВОДОЕМОВ БЕЛОГО МОРЯ 356

Чернов А. В., Чалова Е. Р.
ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РЕЧНЫХ ДОЛИН И РУСЕЛ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ И ИХ СВЯЗЬ С ПОСЛЕДНИМ ОЛЕДЕНЕНИЕМ 358

Чернягина О. А.
ИНВАЗИОННЫЕ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ИНВАЗИОННЫЕ ВИДЫ РАСТЕНИЙ В ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА 360

Чертопруд Е. С., Новичкова А. А., Быков А. Д.
ПРИЗНАКИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРЕСНОВОДНЫХ СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА В ВЫСОКОЙ АРКТИКЕ (ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА) 362

Чеснокова И. И., Статкевич С. В., Ку Нгуен Динь, Аблязов Э. Р., Чан Ван Тьен
ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ *PALAEMON CURVIROSTRIS* NGUYÊN, 1992 (DECAPODA: PALAEMONIDAE) (ВЬЕТНАМ) 364

Чугунова Ю. К.
ПАРАЗИТОФАУНА И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВИДОВОГО БОГАТСТВА ПАРАЗИТАРНЫХ СООБЩЕСТВ ЩУКИ *ESOX LUCIUS* (L.) И ОКУНЯ *PERCA FLUVIATILIS* (L.) БОГУЧАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА 366

Чэнь Хаотянь
АНАЛИЗ РЕАКЦИИ МОРСКИХ РЕСУРСОВ НА РЕГИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ КИТАЯ 368

Шавриев Д. Г., Иськив А. В.
СТРУКТУРА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И СОПУТСТВУЮЩИХ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗАХ ДАННЫХ 370

Шакирова Ф. М., Латыпова В. З.
ЧУЖЕРОДНЫЕ ВИДЫ ИХТИОФАУНЫ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА, ВЕКТОРЫ И СКОРОСТЬ ПРОНИКНОВЕНИЯ ВСЕЛЕНЦЕВ 372

Шалгин Д. А., Дудакова Д. С., Надточий Е. В., Гузева А. В.
ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ВИДЕОАНАЛИТИКИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ В ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗАБОЛЕВАНИЙ РЫБ 374

Шалунова Е. П., Ма И., Слуковский З. И., Весман А. В.
МИКРОПЛАСТИК В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕР ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ОСТРОВА КИНГ-ДЖОРДЖ (АНТАРКТИКА) 376

Шевкунова Т. В., Патова Е. Н.
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЕКРЕАЦИОННЫХ ВОДОЕМОВ В ЧЕРТЕ ГОРОДА СЫКТЫВКАРА НА ОСНОВЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ИНДЕКСА ТОКСИЧНОСТИ 378

Шишкин М. А., Дмитриева В. А.
АНАЛИЗ ОБЪЕМОВ СТОЧНЫХ ВОД, ПОСТУПАЮЩИХ В ГИДРОГРАФИЧЕСКУЮ СЕТЬ БАССЕЙНА РЕКИ ДОН В ПРЕДЕЛАХ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ 380

Шмакова М. В.
СТОК АРКТИЧЕСКИХ РЕК: МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА И ПРОГНОЗ 382

Шульгина Е. В.
ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАВЫЧИ *ONCORHYNCHUS TSHAWYTSCHA* (WALBAUM, 1792) НА ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКЕ 384

Шулькин В. М., Болдескул А. Г., Луценко Т. Н., Шамов В. В., Юрченко С. Г.
ФАКТОРЫ, КОНТРОЛИРУЮЩИЕ СЕЗОННОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЧНЫХ И ОЗЕРНЫХ ВОД БАССЕЙНА ОЗЕРА ХАНКА, ПРИМОРСКИЙ КРАЙ РФ 386

Щапова Е. П., Гурков А. Н., Ржечицкий Я. А., Титов Е. А., Верещагина К. П., Тимофеев М. А.
ОПТИМАЛЬНЫЕ УЧАСТКИ ДЛЯ ИМПЛАНТАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ У ЭНДЕМИЧНЫХ БАЙКАЛЬСКИХ АМФИПОД (CRUSTACEA: AMPHIPODA) РАЗНОГО РАЗМЕРА 388

Щапова Е. П., Черкашина С. А., Ржечицкий Я. А., Гассиев Д. Д., Шадрин Н. В.
ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОЕМОВ С ЭКСТРЕМАЛЬНЫМИ УСЛОВИЯМИ НА БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ 390

Эпштейн А. Д.
ВКЛАД СФЕРЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В ПРИРОДНЫЙ КАПИТАЛ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ 392

Яковлева Г. А.
ГЕЛЬМИНТОФАУНА СИЗОЙ ЧАЙКИ АКВАТОРИИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА 394

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сборник тезисов подготовлен по материалам Всероссийской научной конференции с международным участием «Гидросфера: актуальные вопросы изучения и рационального природопользования», приуроченной к двум значимым юбилейным датам — 35-летию Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН и 80-летию КарНЦ РАН.

Круг проблем, связанных с водными ресурсами, в настоящее время чрезвычайно широк. Актуальными остаются вопросы оценки состояния водных экосистем под влиянием природных и антропогенных факторов, рационального водопользования и сохранения биоразнообразия, совершенствования методов мониторинга и моделирования гидрологических процессов, а также интеграции научных результатов в практику управления водными объектами и природоохранную деятельность.

Научная программа конференции позволила охватить широкий спектр фундаментальных и прикладных исследований. В рамках мероприятия обсуждались вопросы изучения сообществ гидробионтов в пресноводных и морских экосистемах; гидрофизических процессов и явлений в озерах и морях; гидрохимических особенностей природных вод; характеристик донных отложений озерно-речных и морских систем; проблем водных ресурсов, их рационального использования и современных методов исследования. Отдельное внимание уделено взаимодействию научных учреждений с особо охраняемыми природными территориями, а также вопросам экологического просвещения как важному элементу формирования научно обоснованного подхода к управлению природными системами.

Авторитет ИВПС КарНЦ РАН как одной из ведущих организаций в области изучения водных объектов в структуре Российской академии наук обусловил высокий интерес к юбилейной конференции: в сборник вошло около 200 тезисов докладов, подготовленных при участии порядка 500 ученых из более чем 100 организаций. Разнообразие подходов к исследованию водных объектов, их ресурсов и экосистем, продемонстрированное в представленных работах, подчеркивает уникальность и научную ценность подобных мероприятий, а масштабная вовлеченность научного сообщества свидетельствует о востребованности подобных мероприятий для междисциплинарного диалога и обмена результатами исследований.

член-корреспондент РАН
Николай Николаевич Филатов

СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ИНСТИТУТА ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ СЕВЕРА КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

1946 г. — распоряжением Президиума АН СССР была создана Карело-Финская научно-исследовательская база, в состав которой вошел Сектор гидрологии и водного хозяйства. Его организатором и первым руководителем стал выдающийся инженер-гидротехник С. В. Григорьев. В дальнейшем Сектор был преобразован в Отдел гидрологии и водного хозяйства, а позднее — в Отдел водных проблем. На протяжении всей своей истории подразделение успешно сочетало выполнение фундаментальных научных задач с решением прикладных вопросов, имевших важное значение для социально-экономического развития региона.

1950-е гг. — учеными были развернуты масштабные работы по инвентаризации водных ресурсов республики. Особое внимание уделялось исследованию влияния гидротехнического строительства на развитие водного хозяйства, а также изучению вопросов комплексного использования внутренних вод.

1960-е гг. — ключевыми направлениями деятельности Отдела водных проблем становятся исследования по оценке питьевого водоснабжения городов и крупных населенных пунктов Карелии, разработке практических рекомендаций по созданию современных систем очистки сточных вод и охране водоемов от загрязнений. Сбор данных проходил на ключевых водных объектах региона: озерах Ладожское, Онежское и Суоярви, Выгозерском водохранилище. Итогом исследований этого периода стали справочно-картографические издания: «Каталог озер Карелии» (1959 г.), «Водно-энергетический кадастр Карельской АССР» (1960 г.) и монография «Внутренние воды Карелии и их хозяйственное использование» (1961 г.).

1970-е гг. — Отдел осуществляет научное сопровождение проектирования и строительства г. Костомукши и Костомукшского горно-обогатительного комбината, включавшее оценку водных ресурсов для обеспечения инфраструктуры нового промышленного узла. В этот же период проводятся комплексные исследования Выгозерского водохранилища, направленные на изучение распространения загрязняющих веществ, содержащихся в сточных водах Сегежского ЦБК, их влияния на гидрохимический режим, донные отложения и биоту. На базе стационара в д. Вендеры в южной Карелии начинаются работы по изучению функционирования малых водоемов, различающихся по гидрологическим, гидрохимическим и гидробиологическим показателям. В структуре Отдела создается лаборатория гидробиологии, где впервые в республике начинается целенаправленное и системное изучение различных групп водных организмов: бактерио-, фито-, зоо- и протозойного планктона.

1980-е гг. — по заданию Государственного комитета по науке и технике СССР выполняются крупные научно-прикладные работы: «Прогноз комплексного использования и охраны водных ресурсов в связи с развитием производительных сил Карельской АССР на период до 2000 г.», «Разработка научно-технических основ территориального перераспределения водных ресурсов», «Водные ресурсы и водное хозяйство Европейского Севера». Одновременно ведутся исследования по оценке запасов, состава и качества подземных вод Карелии, изучению минеральных вод и водоемов с лечебными грязями, а также оценке эвтрофирования, токсического загрязнения и закисления поверхностных вод. В этот период положено начало исследованиям продукции и деструкции органического вещества на разных

трофических уровнях, а также изучению перифитона, мейо- и макрозообентоса в водных объектах Карелии. Совместно с Институтом озероведения АН СССР осуществляются комплексные исследования экосистем Онежского и Ладожского озер, итогом которых стала коллективная монография «Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения» (1990 г.).

1991 г. — на базе Отдела водных проблем Карельского филиала АН СССР создается самостоятельный Институт водных проблем Севера. Первым директором-организатором стал доктор географических наук Н.Н. Филатов. Основными направлениями деятельности ИВПС являются: оценка водно-экологического потенциала и разработка научных основ управления водными ресурсами Европейского Севера России; изучение фундаментальных закономерностей функционирования озерно-речных систем и их изменчивости под влиянием климатических и антропогенных факторов; обоснование природоохранных и восстановительных мероприятий; разработка научных основ прогнозирования состояния водных экосистем.

1990-е гг. — продолжены комплексные исследования Онежского и Ладожского озер, а также разностороннее изучение многочисленных озерно-речных систем Карелии. Полученные данные легли в основу монографии «Современное состояние водных объектов Республики Карелия» (1998 г.) — масштабный свод данных по экологическому качеству поверхностных вод региона. Институт активно участвует в программе государственного мониторинга водной среды республики и выполняет важные практические разработки по республиканской программе «Обеспечение Республики Карелия питьевой водой». На базе активно развивающихся гидробиологических исследований оформляются новые направления — экологическая биохимия, экологическая токсикология и ихтиопатология. Совместно с Институтом проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова (ИПЭЭ РАН, Москва) разворачиваются ихтиологические исследования современного статуса сиговых рыб. Положено начало совместным с Санкт-Петербургским экономико-математическим институтом РАН (СПб ЭМИ РАН) работам по оценке реакции экосистем Онежского и Ладожского озер на изменения климата и влияние антропогенных факторов, результатом которых стала монография «Моделирование экосистем больших стратифицированных озер» (2003 г.). Итоги многолетних исследований физики глубоких озер представлены в работах «Процессы формирования термического режима глубоких пресноводных водоемов» (1991 г.) и «Гидродинамика озер» (1991 г.). На озерах южной Карелии продолжаются исследования гидрофизических процессов в зимний период, результаты которых использовались для верификации модели FLake, разработанной в рамках международного сотрудничества с Институтом озероведения РАН (ИНОЗ РАН, СПб) и Немецкой службой погоды.

2000-е гг. — в проводимых исследованиях усиливается междисциплинарный подход, укрепляется международное сотрудничество. В структуре Института создается лаборатория управления ресурсами водных объектов. Итогом многолетних гидробиологических исследований Онежского озера стал выход монографии «Биоресурсы Онежского озера» (2008 г.), заложившей научные основы сохранения и рационального использования сырьевой базы водоема. Гидрохимические исследования сосредоточены на разработке геохимической классификации поверхностных вод гумидной зоны и балльной методики интегрированной оценки качества природных вод. Ключевым направлением становится оценка реакции водоемов и водосборов на климатическую изменчивость, этот аспект работ отражен в монографии «Климат Карелии: изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы» (2004 г.). Отдельное внимание уделяется комплексному изучению экосистемы Белого моря, прогнозированию ее динамики при различных сценариях изменений климата и интенсивности антропогенных воздействий, оценке перспектив развития марикультуры. Результаты этих исследований представлены в работе «White Sea: Its Marine Environment and Ecosystem Dynamics Influenced by Global Change» (2005 г.). Параллельно продолжается деятельность по созданию методической базы для формирования кадастров и геоинформационных систем. Важным практическим результатом этой работы стала публикация «Каталог озер и рек Карелии» (2001 г.). На основе созданной в Институте базы данных совместно с СПб ЭМИ РАН начаты работы по классификации и типизации озер Севера России с разработкой экспертной

системы с использованием методов теории искусственного интеллекта, а совместно с ИПМИ КарНЦ РАН разработана автоматизированная система «Озера и реки Карелии». Исследования этого периода заложили основу для выхода таких знаковых трудов, как «Атлас Онежское озеро» (2010 г.) и справочник «Озера Карелии» (2013 г.).

2010-е гг. — традиционные комплексные исследования водных систем дополняются применением цифровых инструментов и прогнозных моделей. Модель FLake активно используется для расчета термического режима и перемешивания в озерах Карелии. На примере Вендюрского и Онежского озер ведутся детальные исследования зимнего термического и газового режима водоемов. Проводится изучение ледового режима ряда озер Карелии и его изменений на фоне региональной климатической изменчивости. В рамках изучения последствий изменений климата собираются и анализируются сведения о гидрологическом и химико-биологическом режимах озер Восточной Фенноскандии, включая крупнейшие озера Европы, озера Арктической зоны России, а также 27 озер Восточной Антарктиды. При поддержке фонда ЭЛЕМО (Швейцария) впервые в лимнологической практике выполнены комплексные подледные исследования состояния экосистем Онежского и Ладожского озер. В этот же период активно развивается принципиально новое научное направление, связанное с оценкой загрязнения водных объектов микропластиком. В структуре Института создается лаборатория палеолимнологии. Результаты ее многолетних изысканий по истории и эволюции озер позднее легли в основу коллективной монографии «Палеолимнология Онежского озера: от приледникового периода к современным условиям» (2022 г.).

2020-е гг. — ИВПС совместно с Санкт-Петербургским филиалом Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН (СПбФ ИО РАН) и ИНОЗ РАН создана информационно-аналитическая система (ИАС) Онежского озера и его водосбора — инструмент для комплексной оценки состояния экосистемы и сценарного моделирования. При участии сотрудников Санкт-Петербургского политехнического университета им. Петра Великого разработана численная модель подледной конвекции, внесен существенный вклад в теорию турбулентности природных вод, идентифицированы механизмы перемешивания малых озер. Появляется направление, связанное с мониторингом климатически активных веществ: в рамках консорциума «РИТМ углерода» ИВПС участвует в разработке системы мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов в водных экосистемах.

На сегодняшний день исследования ИВПС охватывают наиболее острые региональные и глобальные проблемы водопользования: эвтрофирование и изменение качества вод, сокращение эндемичных видов и распространение видов-вселенцев, влияние вторичного загрязнения от накопленных источников и миграция токсических веществ, распространение микропластика и нановзвесей, последствия потепления климата и проблемы управления ресурсами. Продолжаются комплексные исследования текущего состояния водных объектов, направленные на оценку влияния климатических изменений и антропогенной нагрузки на озера и озерно-речные системы.

Всего за прошедшие 35 лет ИВПС принял участие в более чем 60 международных (ИНТАС, ТАСИС, ИНКО-Коперникус, RASP, ELEMO) и российских (Интеграция, РФФИ, РНФ, РГО) грантах и проектах. Институтом выполнялись исследования по ФЦП «Мировой океан», Всероссийской программе «Чистая вода России», научно-исследовательским программам изучения Арктики и программам Совета по водным ресурсам ОНЗ РАН.

Итоги 35-летней деятельности ИВПС КарНЦ РАН демонстрируют сочетание фундаментальной науки и практической пользы: результаты многолетних исследований, реализованных в том числе в рамках крупных грантов и федеральных программ, получили практическое воплощение в виде систематизированных информационных и методических ресурсов — атласов, справочников, баз данных, методик оценки нагрузок, рекомендаций по водопользованию и обобщающих монографий. Созданная институтом информационная и методическая база представляет собой надежный инструмент для оценки состояния водных объектов, прогнозирования их изменений под влиянием климата и антропогенных факторов, а также служит научной основой для планирования устойчивого развития региона.

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР ПОЛУОСТРОВОВ РЫБАЧИЙ И СРЕДНИЙ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ, АРКТИКА)

П. Н. Адамская [1, 2]*, **З. И. Слуковский** [1]

[1] *Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, Россия*
[2] *Филиал ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет», Апатиты, Россия*

**e-mail: polina.adamskaya@bk.ru*

FACTORS OF FORMATION OF POLLUTION OF BOTTOM SEDIMENTS OF LAKES OF THE RYBACHY AND SREDNY PENINSULAS (MURMANSK REGION, ARCTIC)

P. N. Adamskaia, Z. I. Slukovski

Изучен микроэлементный состав донных отложений десяти малых озер полуостровов Рыбачий и Средний с применением индексов PLI, I_{geo}, RI. Установлено, что в целом осадки характеризуются умеренным уровнем загрязнения и низким экологическим риском. Локальные аномалии в озерах Скорбеевское, Питьевое и Палви обусловлены геогенными факторами — особенностями микроэлементного состава пород водосборных площадей и редокс-диагенетическими процессами. Показано, что повышенные значения индексов могут отражать «ложное загрязнение», не связанное с антропогенной деятельностью.

Полуострова Рыбачий и Средний — это уникальные природные полигоны с низким уровнем техногенного воздействия. Несмотря на статус охраняемой природной зоны, данные территории подвержены переносу загрязняющих крупных промышленных центров Мурманской области и Северной Европы. Исследование микроэлементного состава донных отложений позволяет не только оценить современное состояние арктических экосистем, но и реконструировать историю антропогенного воздействия в регионе, выделив вклад элементов-загрязнителей в формирование геохимического облика донных осадков.

В ходе работы было изучено десять малых озер полуостровов Рыбачий (Скорбеевское, Крайнее, L1, L2, L3, Башмачок) и Средний (Карху, Поропеллон, Палви, Питьевое). Отбор проб донных отложений производился в летний период 2020–2024 гг. с помощью пробоотборника системы Скогхейма. Лабораторные исследования проводились на базе Института геологии КарНЦ РАН (Петрозаводск). Содержание микроэлементов масс-спектрометром с индуктивно связанной плазмой на приборе XSeries-2 ICP-MS. Породообразующие элементы (оксиды Si, Ti, Al, P, Mn, Fe, K, Na, Ca) определялись с применением рентген-флуоресцентного спектрометра ARL ADVANT'X (Thermo Fisher Scientific).

Для оценки экологического состояния водоемов использовались следующие индексы: индекс геоаккумуляции ($I_{geo} = \log_2 (C_i/(1{,}5 * B_i))$), где C_i — содержание элемента в осадке, B_i — фоновое содержание элемента, 1,5 — коэффициент природной вариабельности; коэффициент загрязнения ($CF = C_i/B_i$); индекс загрязнения ($PLI = (CF_1 * CF_2 * \ldots * CF_n)^{(1/n)}$); Потенциальный экологический риск ($RI = \Sigma (Tr_i * CF_i)$), где Tr_i — токсикологический коэффициент элемента (Hakanson, 1980). Индексы рассчитаны для 14 наиболее токсичных элементов: V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Sb, W, Tl, Pb, Bi.

Индексы загрязнения PLI, рассчитанные для донных отложений десяти озер полуостровов Рыбачий и Средний, в целом свидетельствуют об умеренном уровне загрязнения (PLI < 2). На этом фоне выделяются водоемы с повышенными значениями индекса — Скорбеевское и Питьевое — с высоким уровнем загрязнения (PLI = 2,4 и 2,5, соответственно), и оз. Палви с экстремальными значениями PLI (3,6).

По расчетам индекса I_{geo}, основными элементами-загрязнителями в оз. Скорбеевском являются Sb, Bi и Co. Однако их вертикальное распределение в стратифицированной колонке донных отложений указывает на преимущественно литогенный контроль, превышая региональные фоновые значения (Slukovskii et al., 2026) для каждого из указанных элементов на протяжении всего керна.

В оз. Питьевом главными элементами, формирующими вклад в загрязнение, выступают Cd и Pb, имеющие тенденцию к значительному увеличению концентраций с глубиной. В горизонтах с наибольшим содержанием Zn были найдены частицы сфалерита (ZnS), содержащие Pb, Cd и Fe, что свидетельствует о проявлении локальной рудной минерализации вблизи озера (Slukovsii et al., 2024). Дополнительным подтверждением геогенной природы Cd является выявленная функциональная зависимость между Cd и P_2O_5 ($R^2 = 1,0$), указывающая на возможный вклад фосфатсодержащих пород водосбора.

Для оз. Палви основными ключевыми элементами, определяющими значения PLI, служат Sb и Tl, концентрации которых также возрастают вниз по разрезу. Экстремальные значения индекса обусловлены развитием мощного редокс-диагенетического Mn-горизонта на глубинах 17–27 см, где концентрация Mn достигает 62 000 мг/кг. Формирование такого геохимического барьера приводит к интенсивной сорбции сорбции Tl, Sb и других микроэлементов.

Расчеты потенциального экологического риска показывают, что большинство изученных озер имеют низкую категорию экологического риска (RI < 150). Исключение составляют оз. Палви, где установлен умеренный риск (RI = 154), и оз. Питьевое, характеризующиеся очень высоким уровнем риска (RI = 903). Такие значения индекса RI объясняются аналогично описанным выше для индекса PLI данных объектов.

Таким образом, в современных горизонтах донных отложений полуостровов Рыбачий и Средний фиксируется накопление приоритетного ряда элементов-загрязнителей: Bi, Pb, Ni, Cu, Sb. Повышенные значения индекса PLI и RI для озер Скорбеевское, Палви и Питьевое интерпретируется как «ложное загрязнение». Содержание токсичных элементов Sb, Tl, Pb, Cd, Bi и Co обусловлено не техногенным воздействием, а геохимической спецификой пород водосборных площадей. Исключение из расчетов элементов с доказанным геогенным происхождением позволяет объективно оценить антропогенный вклад. Фактическая степень техногенного загрязнения отложений характеризуется как умеренная с низкой категорией экологического риска.

Работа производилась при поддержке и в рамках реализации проекта РНФ 24-17-20006.

Литература

Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach // Water Research. 1980. Vol. 14. P. 975–1001.

Slukovskii Z., Guzeva A., Malysheva M. et al. Pristine Tundra Lakes in the North of Murmansk Region (Arctic): Geochemistry of Sediments, Pollution Assessment and Heavy Metal Forms // International Journal of Environmental Research. 2024. Vol. 18: 57.

Slukovskii Z. I., Dauvalter V. A., Denisov D. B. et al. Background Concentrations of Trace Elements in Recent Lake Sediments of the Murmansk Region // Doklady Earth Sciences. 2026. Vol. 526: 35.

МНОГОЛЕТНИЕ НАТУРНЫЕ ДАННЫЕ БИООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА В ПЕРИОД ОТКРЫТОЙ ВОДЫ

О. Б. Акулова*, В. И. Букатый, В. В. Кириллов, А. В. Дьяченко, К. В. Марусин

Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, Барнаул, Россия

** e-mail: akulova8282@mail.ru*

LONG-TERM FIELD DATA OF BIO-OPTICAL CHARACTERISTICS OF LAKE TELETSKOYE DURING THE OPEN WATER PERIOD

O. B. Akulova, V. I. Bukaty, V. V. Kirillov, A. V. Dyachenko, K. V. Marusin

Проведены исследования динамики спектральных показателей ослабления и поглощения света желтым веществом относительной прозрачности по диску Секки, концентраций хлорофиллов *a, в, с*, каротиноидов и желтого вещества в Телецком озере в период 2017–2025 гг. Выявлены многолетние закономерности изменений по биооптическим характеристикам на водоеме для оценки качества озерной воды. На основе физической модели ослабления света выполнен анализ влияния основных оптически активных компонентов озерной воды (чистой воды, фитопланктона, желтого вещества, взвеси) в суммарное ослабление света, что позволило определить в динамике непосредственно физические параметры отдельных компонентов озерной воды, в частности концентрации хлорофилла и желтого вещества, а также трофический статус и класс качества исследуемого водного объекта по его оптическим свойствам.

Телецкое озеро — глубоководный водоем тектонического происхождения, расположенный на высоте 434 м над уровнем моря в северо-восточной части Горного Алтая (юг Западной Сибири). Основные характеристики озера, согласно исследованиям В. В. Селегея, следующие: площадь зеркала — 227,3 км^2, площадь водосборного бассейна — 20 400 км^2, длина — 77,8 км, средняя ширина — 2,9 км, максимальная глубина — 323,0 м, объем — 41,1 км^3. По гидрохимическому режиму озеро — слабоминерализованный, богатый кислородом горный водоем с низкими температурами, с незначительным содержанием органических и биогенных веществ в воде. Невысокий уровень развития гидробионтов в подобных водоемах определяет низкий потенциал биологического самоочищения для поступающих с водосбора взвешенных, растворенных и слаборастворимых в воде веществ, которые могут существенно изменить качество воды и интенсивность внутриводоемных процессов.

Цель работы – изучить динамику многолетних натурных биооптических данных Телецкого озера в период открытой воды и на их основе определить уровни трофности и класс качества исследуемой озерной воды.

Исследования основных первичных гидрооптических (показателя ослабления света, показателя поглощения света желтым веществом и относительной прозрачности по диску Секки) и гидробиологических (хлорофиллов *a, в, с* и каротиноидов) характеристик в Телецком озере выполнили летом в период 2017–2025 гг. Даты экспедиций следующие: 7–11 июля 2017 г., 19–23 июня 2018 г., 1–5 июля 2019 г., 24–29 июня 2020 г., 29 июля – 1 августа 2021 г., 1–5 августа 2022 г., 23–28 июля 2024 г., 18–20 июня 2025 г. (в 2023 г. данные не определялись).

Ежегодно с борта научно-исследовательского судна батометром с поверхностного слоя озера отбирали 21 водную пробу и 5 проб — по вертикали (точка 021 — пелагиальная часть р. Кокши). Всего за период исследования отобрали 178 водных проб, в лаборатории провели 1424 отдельных измерений спектральной прозрачности (коэффициента пропускания) воды на четырех длинах волн (430, 450, 550 и 670 нм) на стационарном спектрофото-

метре ПЭ-5400УФ до и после фильтрации проб с использованием мембран «Владипор» типа МФАС-ОС-1 с диаметром пор 0,22 мкм. В результате получено: значения показателя ослабления света $\varepsilon(\lambda)$ (рассчитаны при натуральном основании логарифма) на длине волны 430 нм за исследуемый период находились в диапазоне от 0,2 до 4,0 м$^{-1}$, показателя поглощения света желтым веществом $\kappa_{жв}(\lambda)$ на длине волны $\lambda = 450$ нм — от 0,1 до 3,2 м$^{-1}$. Максимальная абсолютная погрешность $\varepsilon(\lambda)$ и $\kappa_{жв}(\lambda)$ составила 0,1 м$^{-1}$. Величины относительной прозрачности, измеренной с помощью диска Секки Z, находились в пределах 0,8–11,7 м со средним значением 6,3 м (n = 147). Прозрачность 11,0 м наблюдалась в 2019 г. в пелагиали рек Адамыш и Талду-коол (в точках 025 и 028, соответственно). Максимальная величина Z (11,7 м) зарегистрирована в п. Яйлю в 2018 г. Благодарим ведущего научного сотрудника лаборатории гидробиологии, кандидата биологических наук Е. Ю. Митрофанову за предоставленные данные по относительной прозрачности воды.

Известно, что спектральная прозрачность воды существенно зависит от содержания в ней взвешенного вещества, для объяснения межгодовых изменений характерных значений $\varepsilon(\lambda)$ необходимо использовать сведения о концентрации хлорофилла *a*, которую определяли стандартным спектрофотометрическим методом согласно ГОСТ 17.1.4.02-90, 2003. Содержание основного фотосинтетического пигмента водорослей фитопланктона — хлорофилла *a* изменялось за 8-летний период в пределах 0,1–4,1 мг/м^3 со средним из полученных значений — 2,1 мг/м^3 (n = 147), что соответствует олиготрофному типу озер. Максимальные величины зарегистрированы в 2021 г. на всех точках озера (1,1–4,1 мг/м^3 со средним значением 2,6 мг/м^3), минимальные — в 2019 г. (0,1–1,8 мг/м^3 со средним значением 0,6 мг/м^3), аналогичная ситуация наблюдалась и в 2025 г. Средние значения концентраций хлорофилла *b* — 0,6 мг/м^3, хлорофилла *c* — 2,3 мг/м^3, каротиноидов — 1,0 мкг/дм^3. В целом развитие водорослей фитопланктона озера невысокое, на что влияют низкие концентрации биогенных элементов, а также нестабильность водного столба на протяжении бóльшей части года.

Сотрудниками химико-аналитического центра ИВЭП СО РАН установлено, что содержание общего фосфора в водах Телецкого озера незначительно и находится на уровне менее 20 мкг/дм^3, что является типичным для олиготрофных озер. Результаты по рассчитанным концентрациям желтого вещества $C_{жв}$ для поверхностного слоя озера за 8-летний период показали, что значения $C_{жв}$ варьировали в широком диапазоне 0,9–15,0 г/м^3 со средним значением 8,0 г/м^3. В 2022 г. и 2024 г. значения $C_{жв}$ снизились (0,9–7,1 г/м^3) до величин 2017 г. (2,9–5,1 г/м^3), но в 2025 г. величины $C_{жв}$ возросли (1,9–13,2 г/м^3) до значений 2019–2020 гг.

На основе физической модели ослабления света (впервые предложена О. В. Копелевичем) выполнен детальный анализ влияния основных оптически активных компонентов воды (чистой воды, фитопланктона, желтого вещества, взвеси) на суммарное ослабление света в различных точках отбора проб. Получено, что наибольшее оптическое влияние оказывают желтое вещество и взвесь. Нужно отметить, что расчеты по спектральным вкладам в $\varepsilon(\lambda)$ для Телецкого озера за исследуемый период были выполнены впервые, это подтверждает и анализ литературных данных.

В результате оптических исследований трофический статус Телецкого озера можно охарактеризовать в основном как олиготрофный с элементами мезотрофии на участках впадения крупных рек. По комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши по концентрациям общего фосфора оз. Телецкое можно отнести ко 2 классу качества воды — «очень чистая», по концентрациям хлорофилла *a* — к 1 классу — «предельно чистая». Используя классификацию озер по прозрачности воды (по диску Секки) можно сказать, что (согласно С. П. Китаеву) оз. Телецкое при среднем значении Z можно отнести к «высокому» классу прозрачности. Таким образом, исследования Телецкого озера показали отсутствие значительных изменений в многолетней (за период 2017–2025 гг.) динамике биооптических характеристик, что свидетельствует о сохранении олиготрофности экосистемы и высокого качества воды Телецкого озера в условиях увеличения хозяйственной деятельности на водоеме и его водосборном бассейне.

ЭВТРОФИРОВАНИЕ ВОД ЭСТУАРНОЙ СИСТЕМЫ КАЛИНИНГРАДСКОГО ЗАЛИВА

С. В. Александров

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

e-mail: hydrobio@mail.ru

EUTROPHICATION OF WATERS IN THE ESTUARINE SYSTEM OF THE VISTULA LAGOON

S. V. Aleksandrov

Калининградский залив — один из крупнейших эстуариев Европы, в котором значительная биогенная нагрузка сформировала эвтрофные условия. Ранее изучалась преимущественно только лагуна, не учитывались процессы в важнейших смежных зонах (устье р. Преголи и примыкающая прибрежная зона моря). По сезонным исследованиям в 2025 г. получены характеристики эвтрофирования вод (биогенные элементы, хлорофилл *a*) для эстуарной системы от устья р. Преголи до прибрежной зоны моря. В настоящий период сохраняется высокий (эвтрофно/гипертрофный) трофический статус вод Калининградского залива на уровне предыдущих лет с периодическим загрязнением и «цветением» вод. Поступление биогенных элементов со стоком р. Преголи оказывает значительное влияние на продуктивность вод (хлорофилл *a*), создавая градиент изменчивости этих показателей от устья реки до морского пролива.

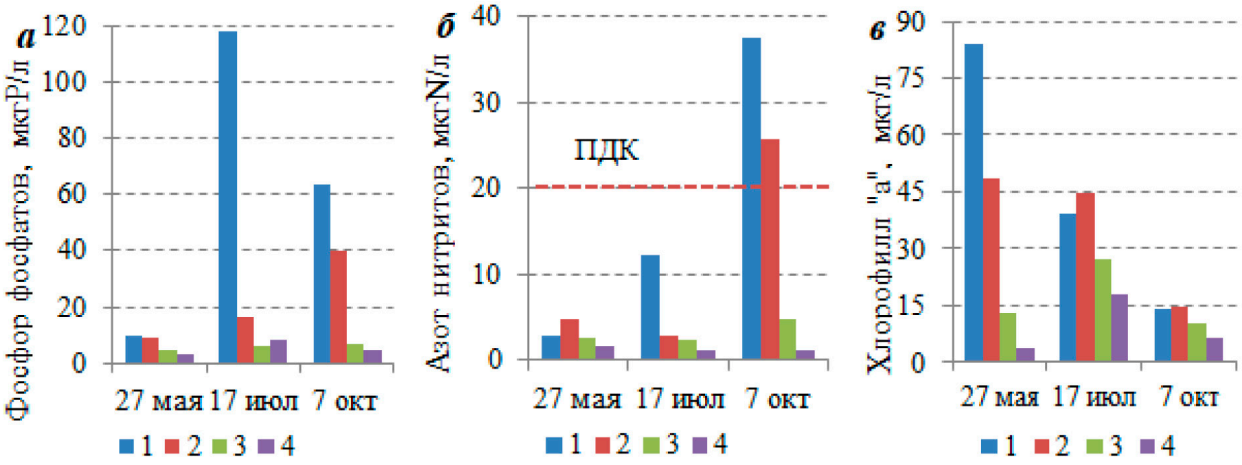
Калининградский залив — один из крупнейших эстуариев Европы (площадь 838 км^2, объем 2,3 км^3), находится под сильным воздействием природных условий (водообмен с Балтийским морем, речной сток), что, в частности, формирует градиент солености от 0 до 6–7 ‰. В заливе с начала 1990-х гг. ведутся регулярные гидрохимические исследования, которые показали высокое содержание биогенных элементов, периодическое загрязнение и «цветение» вод, формирование эвтрофно-гипертрофной экосистемы по первичной продукции и обилию планктона (Александров, 2018, 2025; Сташко, Александров, 2023). Предыдущие работы выполнялись только в акватории залива. Они не учитывали процессы в важнейших смежных зонах (устье р. Преголи и примыкающая прибрежная зона моря), оказывающих большое влияние на гидрохимический режим и продуктивность вод эстуарной системы.

Целью работы было получение сезонных характеристик пространственной изменчивости показателей эвтрофирования вод (биогенные элементы, хлорофилл *a*) в диапазоне от речных вод, поступающих в лагуну, до морской акватории. Экспедиции выполнялись в рамках ГЗ ИО РАН № FMWE-2024-0025 на акватории лагуны (семь станций), а также в устье р. Преголи и за морским проливом в прибрежной зоне моря (по одной станции) весной, летом и осенью 2025 г.

Гидрологические условия характеризовались увеличением солености от устья р. Преголи до прибрежной зоны моря в диапазоне 2,1–7,4 ‰. Акваторию залива можно условно разделить на восточную более опресненную и западную осолоненную (5–6 ‰) части. Прогрев вод возрастал от 12,7 до 19,5 ºС в мае, достигая благоприятного для «цветения» вод уровня (17,0–21,2 ºС) в июле, и снижался до 10,9–16,6 ºС в октябре.

Распределение биогенных элементов (азот, фосфор, кремний) характеризовалось выраженной пространственной изменчивостью. Наибольшие концентрации были в устье р. Преголи, куда они поступают с речным стоком, и постепенно снижались в направлении морского пролива с минимумом в прибрежной зоне моря. В частности, такая тенденция во все сезоны наблюдалась для концентраций фосфора фосфатов, которые оказывают важнейшее влияние на эвтрофирование вод, с максимальными величинами в устье р. Преголи летом и осенью (рис., а). Весной в мае с наступлением межени в устье р. Преголи и восточной части залива отмечалось очень интенсивное развитие фитопланктона, что вело к активному

использованию биогенных элементов и их низким концентрациям в этих зонах. Напротив, осенью, когда восточная часть была опреснена, возможно, за счет речного стока и потребление биогенных элементов фитопланктоном снижалось, их концентрации (минеральных форм азота, фосфора, кремния) резко увеличивались до максимальных величин. Значительное поступление биогенных элементов может создавать условия эпизодического загрязнения вод в устье р. Преголи и в восточной части залива, в частности, по концентрации азота нитритов с превышением в 1,5–2 раза ПДК (согласно Приказу Росрыболовства № 296 от 26.05.2025 г.) (рис., б), что наблюдалось ранее (Сташко, Александров, 2023).



Содержание фосфора фосфатов (а), азота нитритов (б) и хлорофилла *а* (в) в воде в Калининградском заливе (1 — устье р. Преголи, 2 — восточный район, 3 — западный район, 4 — прибрежная зона Балтийского моря)

Хлорофилл *а* в воде является важнейшим показателем обилия фитопланктона, его наибольшие величины были в мае и июле, значительно снижаясь осенью (рис., в). Весенний пик обычно связан с весенним массовым развитием диатомовых водорослей, а летний — цианобактерий при наибольшем прогреве (> 20 ºС). Наибольшие величины хлорофилла *а* (40–80 мкг/л) на уровне «цветения» вод были в устье р. Преголи и восточном районе, где поступление биогенных элементов стимулирует развитие фитопланктона. В этих районах, согласно классификации трофности вод, концентрации хлорофилла *а* достигали гипертрофного уровня (> 25–30 мкг/л в среднем за год). В западном районе залива, где поступление биогенных элементов значительно ниже и разбавляющее влияние оказывает заток морских вод, величины хлорофилла *а* (обилие фитопланктона) снижались в 2–4 раза до эвтрофного уровня, а минимум (< 10 мкг/л) был в прибрежной зоне моря.

Проведенные исследования показали сохранение в современный период высокого (эвтрофно/гипертрофного) трофического статуса вод Калининградского залива на уровне предыдущих лет (Александров, 2018, 2025; Сташко, Александров, 2023) с периодическим загрязнением и «цветением» вод. Поступление биогенных элементов со стоком р. Преголи оказывает значительное влияние на продуктивность вод (хлорофилл *а*), создавая градиент изменчивости этих показателей от устья реки до морского пролива.

Литература

Александров С. В. Многолетние изменения первичной продукции планктона в лагунной экосистеме Вислинского залива Балтийского моря // Биология внутренних вод. 2024. Т. 17, № 1. С. 43–54.

Александров С. В. Пространственные изменения гидрохимических показателей в Вислинском заливе в 2014–2016 годах // Труды АтлантНИРО. 2018. Т. 2, № 1 (5). С. 5–21.

Сташко А. В., Александров С. В. Пространственное распределение и сезонная динамика гидрохимических условий в Вислинском заливе Балтийского моря в 2020–2022 гг. // Океанологические исследования. 2023. Т. 51, № 1. С. 71–90.

СТРУКТУРА И ОБИЛИЕ ПЛАНКТОНА В КУРШСКОМ ЗАЛИВЕ И ВПАДАЮЩИХ В НЕГО РЕКАХ

С. В. Александров [1]*, А. С. Семенова [2, 3]

[1] Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия
[2] Атлантический филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Калининград, Россия
[3] Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

** e-mail: hydrobio@mail.ru*

PLANKTON STRUCTURE AND ABUNDANCE IN THE CURONIAN LAGOON AND ITS RIVERS

S. V. Aleksandrov, A. S. Semenova

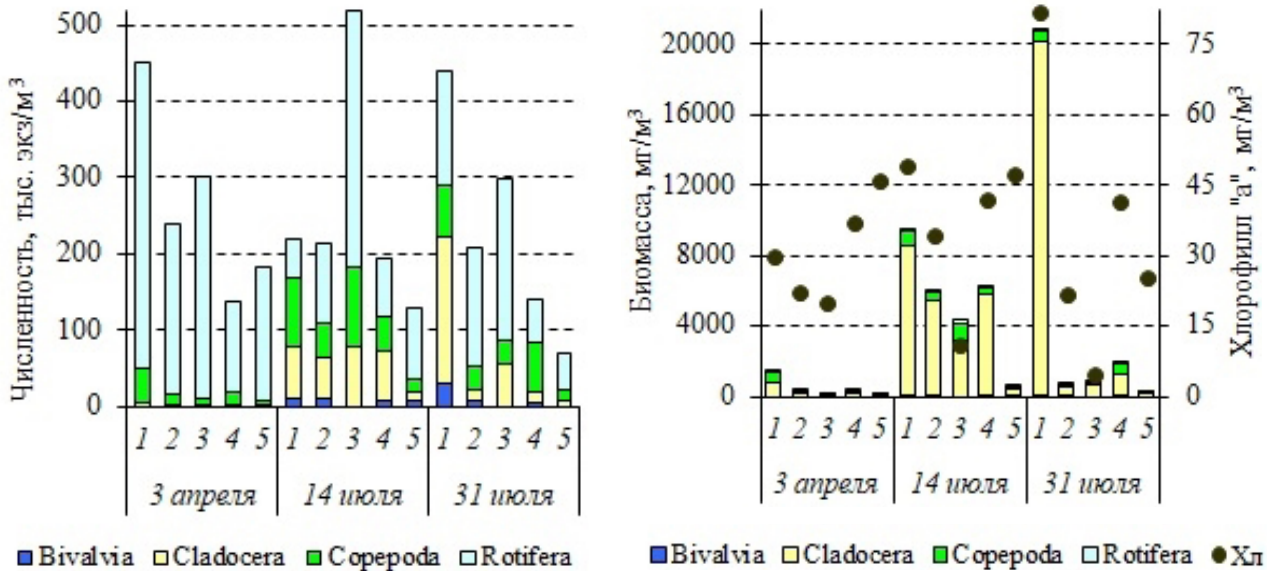
Куршский залив — преимущественно пресноводная лагуна с высокопродуктивными сообществами фитопланктона и зоопланктона. Несмотря на многолетнее изучение залива исследования впадающих в него рек практически отсутствуют. По сезонным исследованиям в 2025 г. получены характеристики структуры и обилия планктона, наряду с гидрохимическими условиями, в лагуне, реках (Дейма, Матросовка) и их устьевых участках. Летом в заливе наблюдалось «цветение» воды, и величины хлорофилла *a* достигали гипертрофного состояния. В реках и их устьях они были многократно ниже несмотря на высокие концентрации биогенов, слабое развитие цианобактерий, вероятно, было связано с проточностью и стехиометрическим соотношением. Структура зоопланктона в реках отличалась от залива, и его обилие было значительно ниже, что, возможно, связано с трофическими условиями.

Куршский залив — крупнейшая лагуна Европы, где из-за большого речного стока преимущественно пресноводные условия (~0,2‰). Большое поступление биогенных веществ с водосборной территории привело к многолетнему эвтрофированию вод. В 1990-х — 2010-х гг. Куршский залив относился к самым высокопродуктивным водоемам (Александров, Горбунова, 2012). «Гиперцветение» воды при развитии цианобактерий ежегодно отмечалось до 2018 г., но в последние годы отсутствует, вероятно, из-за многократного снижения внешней нагрузки по фосфору. Пресноводные сообщества планктона Куршского залива характерны для эвтрофных вод (Александров, Семенова, 2025). Их многолетнее изучение, включая структуру, обилие и продуктивность, наряду с гидрохимическими условиями, выполняется в открытой акватории Куршского залива. Исследования рек, впадающих в залив, практически отсутствуют.

Цель работы — получение характеристик структуры и обилия планктона, гидрологических и гидрохимических условий в лагуне и впадающих реках наряду с переходными устьевыми участками. Экспедиции выполнялись в рамках ГЗ ИО РАН № FMWE-2024-0025 в южной части Куршского залива (две станции, данные объединены), а также в нижнем течении рек Матросовка и Дейма и их устьях. Матросовка и Дейма являются рукавами двух крупных рек — Неман и Преголя, формирующих почти 100 % материкового стока в Куршский залив. Для получения сезонных характеристик развития планктона в 2025 г. исследования выполнены весной (3 апреля) и летом до и после начала «цветения» воды (14 и 31 июля).

В исследованные периоды температура воды была от 7–9 ºС в апреле до 21–24 ºС в конце июля. В июле прогрев воды был благоприятным для цианобактерий (> 20 ºС). Минерализация воды составляла 0,22–0,28 ‰ без значимой разницы между реками и заливом. Куршский залив характеризуется как эвтрофно/гипертрофный водоем с максимальными величинами хлорофилла *a* (Хл) в период «цветения» воды. Величины Хл в заливе в июле 2025 г. приближались к гипертрофному уровню (рис.). Тем не менее даже наибольшие величины были значительно ниже, чем в 1990–2010-х гг., в периоды «гиперцветения» цианобактерий, что отражает тенденцию деэвтрофирования вод (Александров, 2025). Распределение

Хл показало разную сезонную картину. Весной, когда развиваются диатомовые водоросли, величины Хл в реках были на уровне и выше, чем в заливе. Летом, в период «цветения» залива, в реках и их устьях Хл был многократно ниже (на порядок в р. Дейме). Фитопланктон слабо развивался, несмотря на то что концентрации азота нитратов и фосфора фосфатов в речном стоке в июле были на один-два порядка выше, чем в заливе. Слабое развитие было связано с проточностью и, возможно, стехиометрическим соотношением, неблагоприятными для массового развития цианобактерий.



Обилие и соотношение групп зоопланктона и хлорофилл *a* на акватории и впадающих реках Куршского залива в 2025 г. (1 — юго-восточная акватории, 2, 3 — устьевая зона и р. Дейма, 4, 5 — устьевая зона и р. Матросовка)

Зоопланктон Куршского залива и впадающих рек по численности весной был преимущественно представлен коловратками, которые также преобладали летом в реках и устьевых зонах (см. рис.). Ракообразные весной были представлены копеподами и их науплиями, а летом значительно возрастало обилие кладоцер. Биомассу преимущественно формировали кладоцеры (*Daphnia galeata, Diaphanosoma mongolianum* и другие), характерные для эвтрофных водоемов, которые летом составляли > 95 % зоопланктона в заливе и ≈70 % в реках и устьевых зонах. Состав и обилие зоопланктона рек Дейма и Матросовка отличались от устьевых зон и акватории залива. В частности, в реках доля коловраток (*Keratella cochlearis, Polyarthra longiremis* и другие) была многократно выше. Эти различия в меньшей степени были выражены весной и в большей степени — летом. Наибольшие численность и биомасса во все периоды были характерны для самого залива, где биомасса могла быть на один-два порядка выше, что связано с обеспеченностью пищей, в целом соответствуя величинам Хл. Данные зависимости подтверждают эффективное использование фитопланктона в современный период (Александров, Семенова, 2025).

Литература

Александров С. В. Гидрохимические условия и трофический статус пресноводного Куршского залива // Limnology and Freshwater Biology. 2025. № 4. С. 391–408.

Александров С. В., Горбунова Ю. А. Продукция фитопланктона и содержание хлорофилла в эстуариях различного типа // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2012. № 1. С. 90–98.

Александров С. В., Семенова А. С. Первичная продукция и потребление органического вещества зоопланктоном в Куршском заливе в период деэвтрофирования вод // Limnology and Freshwater Biology. 2025. № 5. С. 1140–1157.

МОРФОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ МЕТАЦЕРКАРИЙ РОДА *DIPLOSTOMUM* К ОБИТАНИЮ НА СЕВЕРНОЙ ПЕРИФЕРИИ АРЕАЛА

Л. В. Аникиева, Д. И. Лебедева*

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

** e-mail: daryal78@mail.ru*

MORPHOBIOLOGICAL ADAPTATIONS OF *DIPLOSTOMUM* METACERCARIAE TO INHABIT THE NORTHERN BORDER OF ITS RANGE

L. V. Anikieva, D. I. Lebedeva

Изучены изменчивость и фенотипическое разнообразие метацеркарий *Diplostomum spathaceum* из глаз плотвы двух водоемов Карелии — оз. Кончезеро (южная Карелия, бассейн р. Шуи, Онежское озеро) и оз. Каменного (северная Карелия, бассейн Белого моря). Выделено 13 вариаций формы признаков. Выявлено, что частоты встречаемости вариаций признаков метацеркарий *D. spathaceum* отражают механизм регуляции отношений в системе паразит — хозяин в условиях высоких широт.

В последние десятилетия исследования паразитических организмов связывают с пониманием места и роли популяции в учении о виде, его устойчивом существовании и путях приспособления к изменяющимся условиям среды. Популяция становится основной единицей изучения, а статистические методы — главным аналитическим инструментом. Особенности паразитических организмов определяют специфический аспект популяционного подхода к изучению внутривидовой изменчивости и фенотипического разнообразия вида в разных частях его ареала (Аникиева, Лебедева, 2024, 2025).

Diplostomum spathaceum (Rudolphi, 1819) — паразит хрусталика глаз, наиболее распространенный и многочисленный вид в составе рода *Diplostomum*, встречающийся у рыб разных семейств в Европе и Азии. Жизненный цикл *D. spathaceum* включает прудовиков как первого промежуточного хозяина, рыб как второго промежуточного хозяина и рыбоядных птиц как окончательных хозяев. Заражение метацеркариями *D. spathaceum* вызывает катаракту, сопровождается задержкой роста и развития рыб. Тяжелая инфекция приводит к смертности рыб.

Настоящая работа выполнена с целью изучения фенотипического разнообразия метацеркарий *D. spathaceum* в обыкновенной плотве *Rutilus rutilus* L., 1758 водоемов южной и северной Карелии, различающихся комплексом геоклиматических и биологических особенностей.

Материал собран в оз. Кончезеро (южная Карелия, бассейн р. Шуи, Онежское озеро) и оз. Каменном (северная Карелия, бассейн Белого моря). Изучали изменчивость формы четырех признаков метацеркарий *D. spathaceum*: тела, ротовой присоски, брюшной присоски и органа Брандеса. Критерием для определения формы и ее вариаций служили значения индивидуальных индексов формы признака (ИФ) — отношения длины к ширине, отражающие степень вытянутости овала (Шигин, 1986). Всего выделено 13 вариаций формы признаков: три вариации формы тела (овальная, удлиненная, вытянутая), по три вариации формы ротовой и брюшной присосок (широкая, округлая, овальная) и четыре вариации формы органа Брандеса (широкая, округлая, овальная, удлиненная).

В кончезерской выборке обнаружено 13 вариаций. По частоте встречаемости они относились к четырем категориям. Субдоминировала округлая форма брюшной присоски. Семь вариаций относились к обычной категории: овальная и удлиненная форма тела, округлая и овальная ротовые присоски, широкая брюшная присоска, широкая и округлая форма органа Брандеса. Одна вариация была малочисленной — овальная форма органа Брандеса

и четыре вариации редкими — вытянутая форма тела, широкая ротовая присоска, овальная брюшная присоска, удлиненная форма органа Брандеса. В каменной выборке найдено 11 вариаций. Из них две вариации субдоминировали — удлиненная форма тела и округлая форма брюшной присоски. Пять вариаций относились к обычной категории — овальная форма тела, широкая и овальная формы ротовой присоски, широкая форма брюшной присоски, округлая и овальная формы органа Брандеса. Две вариации были малочисленны — округлая форма ротовой присоски и овальная форма брюшной присоски. Одна вариация — широкая форма органа Брандеса — относилась к редкой.

Сопоставление числа вариаций и частот их встречаемости показало, что в условиях низких температур и недостаточной кормовой базы в плотве оз. Каменного сохраняется высокое фенотипическое разнообразие гельминта. Отдельные признаки *D. spathaceum* адаптивно неравноценны. Наиболее устойчивый признак — форма брюшной присоски, изменчивый признак — форма органа Брандеса. Разную лабильность проявляют также вариации признаков. Важное значение для поддержания численности популяции имеют четыре вариации (удлиненная форма тела, широкая ротовая присоска, овальная брюшная присоска, овальный орган Брандеса), которые получают преимущество в оз. Каменном. Четыре вариации относительно устойчивы и сохраняют свое место в структуре разнообразия популяции. Из них одна вариация субдоминирует (округлая форма брюшной присоски), три вариации относятся к обычной категории (овальная форма тела, овальная ротовая присоска и округлая форма органа Брандеса). Частота встречаемости остальных вариаций снижается.

Таким образом, установленное перераспределение частот встречаемости вариаций признаков метацеркарий *D. spathaceum* является ответом на изменение популяционных характеристик плотвы (Первозванский, 1986; Стерлигова и др., 2016) и механизмом регуляции отношений в системе паразит — хозяин в условиях высоких широт.

Исследование проведено в рамках темы научно-исследовательских работ ИБ КарНЦ РАН (№ государственной регистрации 122032100130-3).

Литература

Аникиева Л. В., Лебедева Д. И. Изменчивость и фенотипическое разнообразие трематоды *Diplostomum* ***petromyzifluviatilis*** Diesing, 1850, паразита миног (Lampetrinae, Petromyzontidae) // Паразитология. 2024. Т. 58 (1). С. 3–18.

Аникиева Л. В., Лебедева Д. И. Внутривидовое разнообразие метацеркарий *Diplostomum numericum* Niewiadomska, 1988 (Digenea, Diplostomidae) в условиях техногенного загрязнения водоемов // Зоологический журнал. 2025. Т. 104, № 7. С. 13–21.

Первозванский В. Я. Рыбы водоемов района Костомукшского железорудного месторождения (экология, воспроизводство, использование). Петрозаводск: Карелия, 1986. 216 с.

Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В., Савосин Д. С. Круглоротые и рыбы пресных вод Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. 224 с.

Шигин А. А. Трематоды фауны СССР. Род *Diplostomum*. Метацеркарии. М.: Наука, 1986. 254 с.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ЛАДОЖСКОМ ОЗЕРЕ В СВЯЗИ С РЕЛЬЕФОМ ЕГО ДНА

В. М. Анохин

Институт озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: vladanokhin@yandex.ru

DISTRIBUTION OF BOTTOM SEDIMENTS IN LAKE LADOGA IN RELATION TO ITS BOTTOM TOPOGRAPHY

V. M. Anokhin

В результате изучения донных отложений Ладожского озера, включавшего донный пробоотбор, подводную фотовидеосъемку, эхолотные промеры по субрегулярной сети станций, получены новые данные о распространении донных осадков. Составлена схема распространения донных отложений Ладожского озера с использованием цифровых моделей рельефа дна. Схема сопоставлена с ранее составленной геоморфологической схемой дна Ладожского озера. Выявлен ряд особенностей распространения приповерхностных осадков, тесно связанного с рельефом дна.

В течение 2019–2025 гг. были проведены исследования донных отложений Ладожского озера с использованием донного пробоотбора прямоточной трубкой и дночерпателем. Пробоотбор сопровождался эхолотным промером и донной фотовидеосъемкой. Полученные данные сопоставлялись с наиболее подробными из существующих батиметрических основ, составленных на основании цифровых моделей рельефа М. А. Науменко (Naumenko, 2020) и С. Н. Юдина, Д. С. Дудаковой (Дудакова, Юдин, 2022).

При построении границ распространения разных типов донных отложений учитывались формы рельефа, дальность от вероятных районов сноса, уклоны склонов, воздействие связанных с ними склоновых процессов и пр. Также учитывались построения предшественников — в основном схемы донных отложений Н. И. Семеновича (Семенович, 1966), карты донных осадков из комплектов ГГК-1000 и ГГК-200.

Результаты изучения донных осадков сведены в схему распространения донных отложений Ладожского озера (рис.).

Основную площадь занимает обширное поле современных озерных пелитовых алевритов, отложения других типов (алевритовые пелиты, алевриты, пески, крупнообломочные) распространяются в основном ближе к берегам озера и его островов.

Существенная зависимость распространения различных типов донных отложений от рельефа дна видна из сопоставления схемы донных отложений и ранее составленной геоморфологической схемы.

Заметно, что пелитовые алевриты в основном покрывают дно на глубинах более 50 м, сменяясь в южной, более мелководной части озера алевритовыми и песчанистыми осадками. Склоны возвышенностей в северной части озера часто сложены разнообразными глинистыми образованиями. Крупнообломочные отложения тяготеют к берегам и существенно слагают многочисленные гряды явно ледникового происхождения, распространенные на всей площади дна.

Публикация составлена при поддержке гостемы № FFZF-2024-0001 Экосистемы Ладожского озера, водоемов его бассейна и прилегающих территорий в условиях воздействия природных и антропогенных факторов на фоне климатических изменений.

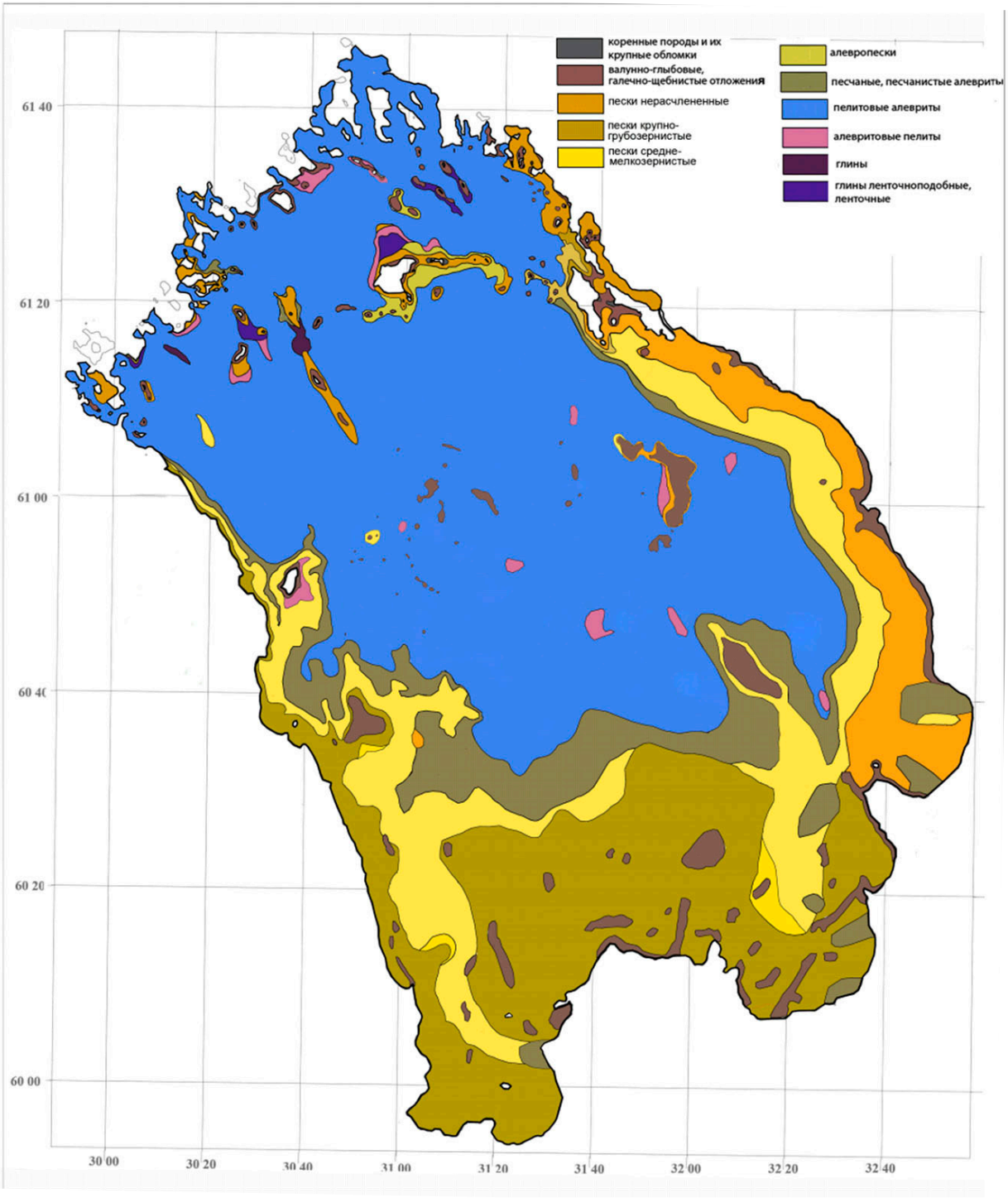


Схема распространения донных отложений Ладожского озера

Литература

Дудакова Д. С., Юдин С. Н. Цифровая модель подводных ландшафтов Ладожского озера как источник интегрированной информации о состоянии дна // Геоморфология. 2022. Т. 53, № 2. С. 13–26.

Семенович Н. И. Донные отложения Ладожского озера. М.; Л: Наука, 1966. 124 с.

Naumenko M. A. Lake Ladoga digital bathymetric models: development approaches and insight for limnological investigations // Limnological Review. 2020. 20 (2). P. 65–80.

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОЗЕР СРЕДНЕГО ПРИОБЬЯ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

К. С. Антясова*, Е. А. Шорникова

Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

** e-mail: antyasi19@gmail.com*

HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF FISHERY LAKES IN THE MIDDLE OB REGION UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT

K. S. Antyasova, E. A. Shornikova

Представлены результаты исследования гидрохимического и микробиологического состояния озер Вачлор и Сэгутлор, расположенных в Среднем Приобье в районе воздействия объектов нефтедобывающего комплекса. Выявлены превышения предельно допустимых концентраций веществ, признаки органического, фенольного и биогенного загрязнения. В результате многолетнего анализа качества природных поверхностных вод выявлена устойчивая тенденция ухудшения состояния водных объектов.

Интенсивное развитие нефтегазодобычи сопровождается ростом антропогенной нагрузки на водные экосистемы (Шор, 2005). Озера являются наиболее уязвимыми объектами вследствие замедленного водообмена и способности к аккумуляции загрязняющих веществ (Шорникова, 2008).

Цель исследования — оценка гидрохимического и микробиологического состояния озер Вачлор и Сэгутлор. Отбор проб проводился в 2023–2025 гг. в шести контрольных створах каждого водного обьекта. Определено 18 гидрохимических показателей с использованием стандартных методов анализа. Результаты исследования представлены в табл.

Установлено, что озера характеризуются слабокислой реакцией среды (pH 6,4–6,9) и дефицитом растворенного кислорода (73–79 % нас.). Отмечено превышение нормативного значения по показателю биохимического потребления кислорода в 1,5–2 раза и перманганатной окисляемости до 20–30 мг/дм³, что свидетельствует о высоком содержании органического вещества (Шорникова, Гадельшина, 2019).

Зафиксировано фенольное загрязнение (до 0,04–0,05 мг/дм³), подтвержденное наличием фенолусваивающих бактерий, что указывает на техногенное воздействие на водные объекты в связи с эксплуатацией объектов нефтегазовой инфраструктуры. Отмечено превышение концентраций фосфат-ионов (до 0,6–0,8 мг/дм³), связанное с поступлением сточных вод, в том числе с промышленных площадок.

В пробах воды выявлено повышенное содержание тяжелых металлов: железа (до 0,7–0,8 мг/дм³), марганца (до 0,03–0,04 мг/дм³), цинка (до 0,1–0,18 мг/дм³). Микробиологический анализ показал доминирование сапрофитных бактерий (до 94–99 %), что свидетельствует о высоком уровне органического загрязнения.

Полученные результаты соответствуют современным региональным тенденциям ухудшения качества поверхностных вод и подтверждают значительное техногенное воздействие на озера Вачлор и Сэгутлор, о чем свидетельствуют показатели химического состава и структура микробного сообщества. Для разработки природоохранных мероприятий по восстановлению водных экосистем озер необходимо продолжать мониторинг качества поверхностных природных вод в условиях повышенной антропогенной нагрузки при эксплуатации объектов нефтегазодобывающей инфраструктуры.

Усредненные гидрохимические показатели качества воды озер Вачлор и Сэгутлор

Показатель	ПДК$_{вр}$, мг/дм^3	Оз. Вачлор			Оз. Сэгутлор	
		2023 год	2024 год	2025 год	2024 год	2025 год
pH, ед.	6,5–8,5	6,45	6,78	6,56	6,86	6,43
O_2,% насыщения	–	**74,66**	**79,76**	**81,79**	**73**	**75,12**
БПК$_5$, мг/дм^3	2,1	**4,09±0,33**	3,95±0,28	3,89±0,31	3,15±0,22	4,05±0,38
ПО, мг/дм^3	15	14,67±7,33	**29,62±14,82**	**31,23±14,94**	**29,6±14,8**	**30,06±14,91**
НП, мг/дм^3	0,05	0,027±0,015	0,026±0,015	0,021±0,015	0,038±0,04	0,042±0,04
Фенолы, мг/дм^3	0,08	**0,273±0,046**	**0,028+0,005**	0,019±0,005	0,0063±0,007	0,0069±0,008
NH_4^+, мг/дм^3	0,5	0,164±0,008	0,135±0,007	0,121±0,005	0,21±0,01	0,27±0,017
NO_2^-, мг/дм^3	0,08	0,028±0,007	0,041±0,009	0,045±0,009	0,024±0,006	0,029±0,007
NO_3^-, мг/дм^3	40	4,99±1,276	4,812±1,205	4,92±1,261	6,61±1,65	6,98±1,69
PO_4^{2-}, мг/дм^3	0,25	**0,796±0,501**	**0,656±0,018**	**0,782±0,423**	0,152±0,152	0,169±0,213
Cl^-, мг/дм^3	300	10,399±1,081	10,712±1,605	10,514±1,407	11,811±1,773	11,991±1,832
Железо, мг/дм^3	0,1	**0,78**	**0,31**	**0,53**	**0,56**	**0,61**
Никель, мг/дм^3	0,01	0,0002	0,0028	0,0009	0,0012	0,0008
Марганец, мг/дм^3	0,01	**0,026**	**0,038**	**0,041**	**0,035**	0,032
Свинец, мг/дм^3	0,006	0	0,001	0,001	0,002	0,001
Цинк, мг/дм^3	0,01	**0,05**	**0,076**	**0,062**	**0,184**	**0,173**
Хром, мг/дм^3	0,02/0,07	**0,0076**	0,0005	0,0004	0,0004	0,0003
Кадмий, мг/дм^3	0,005	0,0002	0,0003	0,0003	0,0004	0,0003

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения показателей, не соответствующие нормативам.

Литература

ГОСТ Р 59024–2020. Вода. Общие требования к отбору проб. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200175475?ysclid=m6jbgrdfqi250644156 (дата обращения: 15.02.2026).

Шор Е. Л., Зубайдуллин А. А., Овечкин Ф. Ю., Вершинин Ю. А., Лопатин К. И. Опыт оценки состояния озер, подвергшихся нефтяному загрязнению // Биологические ресурсы и природопользование: сб. науч. тр. Вып. 8. Сургут: Дефис, 2005. С. 188–190.

Шорникова Е. А. Диагностика состояния экосистем водотоков по гидрохимическим и микробиологическим показателям: на примере широтного отрезка Средней Оби: автореф. дис. канд. биол. наук: 03.00.16 / Ин-т вод. и экол. проблем ДВО РАН. Хабаровск, 2008. 23 с.

Шорникова Е. А., Гадельшина С. Р. Эколого-гидрохимическая характеристика рыбохозяйственных озер Среднего Приобья // Озера Евразии: проблемы и пути их решения. 2019. С. 209–213.

К ВОПРОСУ О СОЛЕВОЙ КОНВЕКЦИИ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ В ПОДЛЕДНЫЙ ПЕРИОД

И. А. Асламов*, Р. Ю. Гнатовский, В. В. Блинов, Л. А. Титова, И. Н. Тюрнев

ФГБУН Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

** e-mail: ilya_aslamov@bk.ru*

ON THE PROBLEM OF SALT CONVECTION IN LAKE BAIKAL DURING THE ICE-COVERED PERIOD

I. A. Aslamov, R. Yu. Gnatovsky, V. V. Blinov, L. A. Titova, I. N. Tyurnev

Работа посвящена экспериментальному исследованию солевой конвекции в оз. Байкал, вызванной вымораживанием солей при нарастании ледового покрова. В натурном эксперименте 2023 г. было показано, что условия, способствующие формированию солевых пальцев, сохранялись до первых чисел марта, но энергетически значимыми они могли быть только в январе. При этом усиление солевой конвекции сопровождалось быстрым ростом не только подледной, но и придонной минерализации. Средняя скорость опускания солей была оценена в 5 см/ч.

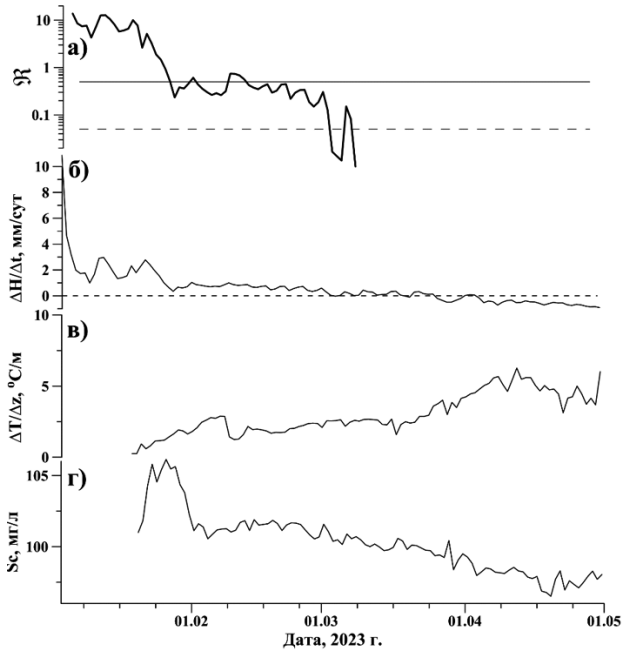
Интерес к подледным процессам в озерах умеренных и высоких широт растет в последние годы в связи с необходимостью оценки реакции водоемов на глобальное потепление (Kirillin et al., 2012). При этом среди механизмов, влияющих на формирование и таяние ледового покрова, наименее изучены процессы тепло- и массообмена на границе вода — лед. Важный вклад вносит подледная конвекция, вызываемая объемным поглощением солнечной радиации (Mironov, Terzhevik, 2000) и вымораживанием солей при нарастании льда (Гранин и др., 1999). Интенсивность турбулентного перемешивания критична для поддержания клеток диатомовых водорослей в фотическом слое, поскольку, обладая тяжелым кремнистым панцирем, они тонут со скоростью несколько метров в сутки (Гранин и др., 1999).

В пресных и солоноватых озерах математическое описание процесса вымораживания солей осложнено нелинейным уравнением состояния воды: температура максимальной плотности (~3,98 °C) выше точки замерзания, вследствие чего подо льдом формируется устойчивая обратная температурная стратификация. Однако вымораживание солей из растущего льда увеличивает плотность воды у нижней его поверхности, порождая таким образом неустойчивую солевую стратификацию. Различие скоростей диффузии тепла и соли может приводить к двойной диффузионной неустойчивости и образованию «солевых пальцев» — длинных пальцеобразных плюмов, хорошо известных в океане и играющих важную роль в вертикальном переносе тепла (Rudles et al., 2009).

Лабораторные и модельные работы Олстхорна с соавторами (Olsthoorn et al., 2020, 2022) показали, что для характеристики режима конвекции удобно ввести коэффициент эффективности солевой конвекции R, пропорциональный отношению потока солей к потоку температуры. По сути этот коэффициент показывает, насколько «утяжеление» за счет вымораживания солей превосходит стабилизирующий эффект температуры. Авторами было показано, что «солевые пальцы» начинают формироваться уже при $R > 0{,}05$, а при $R > 0{,}5$ они становятся энергетически значимыми, нарушают температурную стратификацию и быстро переносят соли в более глубокие слои.

Для проверки механизма вымораживания солей на Байкале в 2023 г. был поставлен натурный эксперимент. На литорали, на расстоянии около 100 м от берега, на дне (глубина около 4 м) был установлен многопараметрический зонд качества воды Rinko AAQ-177, а в 1,2 м от поверхности льда подвешен CTD-регистратор SBE-37, измерявшие температуру и электропроводность воды. Динамику толщины льда регистрировал автоматический ледовый комплекс (Aslamov et al., 2021), дополнительно была развернута коса термологгеров RBR Solo-T от поверхности до дна с шагом 18 см.

По полученным экспериментальным данным были рассчитаны среднесуточные значения R и его составляющих: скорость нарастания льда, подледный градиент температуры и минерализация воды (рис.). В первые две недели после ледостава скорость роста льда достигала 1,5–10 мм/сут, а R был много больше 1. К концу января при похолодании скорость роста временно увеличивалась до 3 см/сут, а R поднимался до 4, что сопровождалось быстрым ростом не только подледной, но и придонной минерализации. Пик минерализации у дна запаздывал на трое суток относительно минимума температуры воздуха, что дает среднюю скорость опускания солей около 5 см/ч — значение, близкое к полученному в лабораторных опытах (Olsthoorn et al., 2022). С февраля скорости нарастания льда снизились до 1–1,5 мм/сут и R опустился до ~0,5; в марте при дальнейшем ослаблении роста льда R стал пренебрежимо малым.



Среднесуточные значения коэффициента эффективности солевой конвекции (а) и его составляющих: скорость нарастания льда (б), подледный градиент температуры (в) и минерализация подледной воды (г)

Таким образом, впервые для Байкала было экспериментально показано существование значимой подледной конвекции за счет вымораживания солей. Условие $R > 0{,}05$ сохранялось от начала ледостава до первых чисел марта, то есть практически всю активную фазу нарастания льда. Данные термокосы хорошо демонстрировали эпизоды опускания холодных подледных вод вплоть до дна в феврале, причем с ослаблением скорости нарастания льда интенсивность перемешивания снижалась. В 2026 г. работы в этом направлении были продолжены, и наряду с измерениями дополнительно отбирались пробы на фитопланктон и биогенные элементы.

Литература

Гранин Н. Г., Гнатовский Р. Ю., Жданов А. А. Конвекция и перемешивание подо льдом озера Байкал // Сибирский экологический журнал. 1999. № 6. С. 597–600.

Aslamov I., Kirillin G., Makarov M., Kucher K., Gnatovsky R., Granin N. Autonomous System for Lake Ice Monitoring // Sensors. 2021. Vol. 21, N 24. P. 1–19.

Kirillin G., Lepparanta M., Terzhevik A., Granin N., Bernhardt J., Engelhardt C., Efremova T., Golosov S., Palshin N., Sherstyankin P., Zdorovennova G., Zdorovennov R. Physics of seasonally ice-covered lakes: a review // Aquatic Sciences. 2012. N 74. P. 659–682.

Mironov D. V., Terzhevik A. Yu. Spring convection in ice-covered freshwater lakes // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2000. Vol. 36, N 5. P. 627–634

Olsthoorn J., Bluteau C. E., Lawrence G. A. Under-ice salinity transport in low-salinity waterbodies // Limnology & Oceanography. 2020. Vol. 65, N 2. P. 247–259.

Olsthoorn J., Tedford E. W., Lawrence G. A. Salt-fingering in seasonally ice-covered lakes // Geophysical Research Letters. 2022. Vol. 49: e2022GL097935.

Rudels B., Kuzmina N., Schauer U., Stipa T., Zhurbas V. Double-diffusive convection and interleaving in the arctic ocean — Distribution and importance // Geophysica. 2009. Vol. 45, N 1–2. P. 1697–1704.

ПЛАСТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РЕЧНОЙ МИНОГИ *LAMPETRA FLUVIATILIS* (PETROMYZONTIDAE) В ВОДОТОКАХ БАЛТИЙСКОГО БАССЕЙНА

Е. А. Астахова*, А. В. Кучерявый

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук, Москва, Россия

** e-mail: e.astakhova@sev-in.ru*

PLASTIC TRAITS OF THE EUROPEAN RIVER LAMPREY *LAMPETRA FLUVIATILIS* (PETROMYZONTIDAE) IN WATERCOURSES OF THE BALTIC BASIN

E. A. Astakhova, A. V. Kucheryavyy

Изучены пластические признаки у 352 половозрелых особей речной миноги *Lampetra fluviatilis* из 14 водотоков Балтийского бассейна. У обеих форм выделены три размерные группы. Методом главных компонент показано высокое морфологическое сходство большинства популяций, за исключением выборки из р. Коваши. Предложенный новый признак — ширина туловища на уровне анального отверстия (*l'l''*) — показал диагностическую значимость, превышающую подвидовой уровень (CD = 3,50).

Речная минога *Lampetra fluviatilis* (Linnaeus, 1758) является ценным промысловым видом и важным компонентом водных экосистем. Вид обладает широким спектром жизненных стратегий (анадромная и резидентная форма), вопрос о таксономическом статусе которых остается дискуссионным (Souissi et al., 2022).

Цель работы — анализ пластической изменчивости анадромной и резидентной форм речной миноги в пределах Балтийского бассейна на территории Российской Федерации.

Исследовано 352 производителя речной миноги из 14 водотоков Балтийского бассейна. Резидентная форма представлена выборками из 11 рек (n = 175), анадромная — из трех водных объектов (n = 177). Проведен анализ 12 пластических признаков (в том числе: *TL* — общая длина тела, *H* — высота тела между вторым и третьим жаберными отверстиями, *d-B7* — длина головного отдела, *d-B1* — расстояние от конца рострума до первого жаберного отверстия, *O* — диаметр глаза, *d* — диаметр ротовой воронки, *d-n* — расстояние от конца рострума до отверстия непарной ноздри, *B7-a* — длина туловищного отдела, *a-C* — длина хвостового отдела) (Renaud, 2011), включая два новых: ширина туловища между последними жаберными отверстиями (*j'j''*) и ширина туловища на уровне анального отверстия (*l'l''*). Статистическая обработка включала методы PCA, однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA), тест Тьюки и расчет CD-критерия Майра.

У резидентных миног обнаружены три выделенные ранее размерные группы (Кучерявый и др., 2016): карликовые (< 90 мм, отмечены только в р. Серебристой), мелкие (90–107 мм, реки) и обычные (107–140 мм, реки). В реках Студенец и Коваши обнаружены особи крупнее 140 мм, при этом средняя длина в р. Коваши составила 172,95±5,76 мм (табл. 1).

У анадромной формы также отмечены три размерные группы: мелкие (< 310 мм), обычные (310–340 мм) и крупные (> 340 мм) (табл. 2). Статистически значимые различия между выборками анадромной формы отмечены по промерам *TL*, *d-B1*, *O*, *j'j''*, *l'l''*, *a-C*, *B7-a* и *d-n*.

PCA показал высокое морфологическое сходство большинства популяций резидентной формы, за исключением выборки из р. Коваши, которая сформировала отдельный кластер. Для анадромной формы все три выборки образовали единое перекрывающееся облако.

Таблица 1. **Характеристика общей длины тела (TL) резидентной формы *L. fluviatilis* из разных рек**

Река	M±SD	min–max	CV (%)
Хревица	123,7±4,93	118–127	3,99
Гремячая	115,2±6,97	104–124	6,05
Чёрная	114,1±3,41	112–118	2,99
Белиц	128,3±10,05	110–148	7,83
Каменка	115,8±9,69	92–143	8,37
Студенец	132,4±11,65	120–146	8,80
Давань	122,4±8,69	100–136	7,10
Вруда	118,1±7,22	107–134	6,11
Коваши	172,95±5,77	168–179	3,33

Таблица 2. **Характеристика общей длины тела (*TL*) анадромной формы *L. fluviatilis* из разных рек**

Река	M±SD	min–max	CV (%)
Невская губа	299,8±28,19	209–360	9,40
Река Нева	315,7±24,14	264–368	7,65
Река Чёрная	299,1±25,94	240–349	8,67

При сравнении двух экологических форм по CD-критерию Майра значения, превышающие подвидовой уровень, получены для признаков *H*, *d-B7*, *O*, *d*, *a-C*, *B7-a* и предложенного признака *l'l''* (CD = 3,50).

При финансовой поддержке РНФ 24-14-00111 (https://rscf.ru/en/project/24-14-00111/).

Литература

Кучерявый А. В. и др. Полиморфизм производителей жилой формы речной миноги *Lampetra fluviatilis* (Petromyzontidae) // Вопросы ихтиологии. 2016. Т. 56, № 5. С. 577–585.

Renaud C. B. Lampreys of the world. An annotated and illustrated catalogue of lamprey species known to date. FAO species catalogue for fishery purpose. N 5. Rome: FAO, 2011. 109 p.

Souissi A., Besnard A. L., Evanno G. A. SNP marker to discriminate the European brook lamprey (*Lampetra planeri*), river lamprey (*L. fluviatilis*) and their hybrids // Molecular Biology Reports. 2022. Vol. 49, N 10. P. 10115–10119.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МАЛЫХ ОЗЕР БАССЕЙНА СЕЛИГЕРА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ЗООБЕНТОСА

Ю. И. Баева

Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации, Москва, Россия

e-mail: yu.baeva@inno.mgimo.ru

ENVIRONMENTAL STATUS OF SMALL LAKES IN THE SELIGER BASIN AS INDICATED BY ZOOBENTHOS PARAMETERS

Yu. I. Baeva

Представлены результаты биоиндикации качества воды малых озер Серменок и Корегощ (бассейн оз. Селигер) по показателям летнего зообентоса. Установлено, что озера имеют сходный видовой состав (индекс Жаккара 55 %), характеризуются мезотрофным статусом, умеренным загрязнением (индексы сапробности 2,14–2,29) и относятся ко II классу экологического качества («начало деградации»). Основные факторы негативного воздействия — нерегулируемая рекреация, сточные воды, вырубка лесов в водоохранной зоне.

Россия относится к государствам, наиболее обеспеченным водными ресурсами, однако значительная часть ее поверхностных вод оценивается как «грязные» и «экстремально грязные» (Государственный доклад…, 2019). Только в 2024 г. в поверхностные водные объекты сброшено 1157,3 млн м³ загрязненных сточных вод без очистки и 7759,3 млн м³ недостаточно очищенных (Третьякова, Готфрид, 2026).

Водные ресурсы Тверской области, на территории которой формируется исток р. Волги, представляют собой гидрографическую систему регионального и макробассейнового значения, аккумулирующую, регулирующую и перераспределяющую сток в верхней части ее бассейна. В рамках этой системы оз. Селигер как морфологически и гидрологически сложный лимнический комплекс выполняет критическую функцию природного буфера, стабилизатора гидрохимического режима и постоянного источника питания для Верхней Волги.

Согласно Водному рэнкингу регионов России за 2024 г., значение итогового интегрального индекса Тверской области составило 66 баллов (можно интерпретировать как достижение достаточно развитого (продвинутого) уровня использования водных ресурсов) (Третьякова, Готфрид, 2026). Несмотря на это водные системы области, включая оз. Селигер, испытывают возрастающее антропогенное давление. Регуляция стока, вырубка леса и распашка послелесных земель, застройка и загрязнение береговой линии, значительный рост рекреационной нагрузки приводят к негативным изменениям гидрохимических показателей водных экосистем и интенсификации процесса эвтрофирования. Под влиянием загрязняющих веществ происходят изменения в сообществах водных организмов, которые могут служить достоверными индикаторами качества воды.

Целью данной работы является оценка экологического состояния малых озер бассейна оз. Селигер — Серменок и Корегощ — методами биоиндикации по показателям зообентоса.

В качестве объектов исследования были выбраны два малых озера бассейна оз. Селигер — Серменок и Корегощ. Данные озера входят в Верхневолжскую водную систему и являются частью одного из крупнейших объектов туризма, спорта, рыболовства, охоты Центральной России, имеющего статус курорта местного значения в Тверской области.

Пробы зообентоса отбирали в июле — августе 2025 г. на пяти участках в каждом озере (Руководство…, 1983). Виды организмов определяли с помощью определителей (Определитель…, 2016; Чертопруд М. В., Чертопруд Е. С., Палатов, 2025). Для оценки биоценозов использовали различные гидробиологические индексы.

В структуре донного сообщества оз. Серменок было обнаружено 38 таксонов, из которых наиболее разнообразны моллюски. Индекс Шеннона составил 2,30. По численности же преобладали хирономиды. Такой видовой состав свидетельствует о мезотрофном характере фауны.

В донной фауне оз. Корегощ обнаружено 35 таксонов, а их численность более равномерна. Отсюда и более высокое значение индекса видового разнообразия Шеннона — 2,64. Здесь антропогенное воздействие минимально: по берегам нет населенных пунктов и, как следствие, отсутствует поступление загрязняющих веществ со сточными водами. Но присутствуют места несанкционированных туристических стоянок.

Бета-разнообразие оценивали на основе индекса общности Жаккара, согласно которому биоценозы обоих озер по видовому составу схожи между собой на 55%.

Значения индексов сапробности Пантле-Букка (в модификации Сладечека) для озер Серменок и Корегощ составили, соответственно, 2,29 до 2,14, что соответствует «умеренно загрязненным» водам (ГОСТ 17.1.3.07-82).

При оценке качества воды озер Серменок и Корегощ по методу Вудивисса значения биотического индекса составили 9 и 8, соответственно. При таких значениях воды оцениваются как чистые (ГОСТ 17.1.3.07-82).

В соответствии с рассчитанными значениями индекса трофической комплектности озера Серменок и Корегощ относятся ко II классу экологического качества водного объекта («начало деградации»), то есть водные экосистемы стабильно испытывают негативное воздействие от умеренного загрязнения воды (Bij de Vaate, Pavluk, 2004).

Сопоставление полученных результатов оценки качества вод изучаемых озер по всем критериям показало, что они находятся в состоянии экологического напряжения. Это обусловлено как естественными причинами — изменение климатических условий, обмеление, заболачивание, так и значительной антропогенной нагрузкой — сброс хозяйственно-бытовых стоков с территорий сельских поселений, неурегулированная рекреация, вырубка лесов на водосборе и др.

На основе полученных результатов были даны рекомендации по улучшению экологического состояния озер Серменок и Корегощ. При этом особо хотелось бы отметить необходимость проведения регулярных наблюдений за состоянием данных озер, что позволит своевременно выявлять негативные изменения и оперативно принимать управленческие решения по повышению их экологического благополучия.

Литература

Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». М.: НИА-Природа, 2019. 290 с.

Третьякова Е. А., Готфрид А. В. Водный рэнкинг регионов России за 2024 год: аналитический обзор / ФГБУН ИЭ УрО РАН; ООО «Кайрос Инжиниринг». Екатеринбург; Пермь, 2026. 224 с.

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 240 с.

Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Зообентос / под ред. В. Р. Алексеева и С. Я. Цалолихина. М.; СПб.: Тов-во науч. изд. КМК, 2016. 457 с.

Чертопруд М. В., Чертопруд Е. С., Палатов Д. М. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод Восточной Европы и Кавказа. М: Тов-во науч. изд. КМК, 2025. 469 с.

ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков.

Bij de Vaate A., Pavluk T. I. Practicability of the Index of Trophic Completeness for running waters // Hydrobiologia. 2004. Vol. 519. P. 49–60.

ДИГЕНЕТИЧЕСКИЙ СОСАЛЬЩИК *DIPLOSTOMUM PETROMYZIFLUVIATILIS* У МИНОГИ *LAMPETRA FLUVIATILIS* В РЕКАХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Д. Ю. Бакулина*, А. В. Кучерявый, Н. В. Полякова

Институт проблем эволюции и экологии им. А. Н. Северцова, Москва, Россия

** e-mail: bakulina.05@inbox.ru*

DIGENETIC FLUKE *DIPLOSTOMUM PETROMYZIFLUVIATILIS* IN LAMPREY *LAMPETRA FLUVIATILIS* IN RIVERS OF THE LENINGRAD REGION

D. Yu. Bakulina, A. V. Kucheryavyy, N. V. Polyakova

Речная минога *Lampetra fluviatilis* выступает в роли второго промежуточного хозяина для трематоды *Diplostomum petromyzifluviatilis*. С 2014 по 2025 г. у миног в некоторых реках Ленинградской области фиксировали экстенсивность заражения от 6,7 % до 100 %, индекс обилия варьировал от 0,1 до 96,9. Заражение миног метацеркариями отличалось в разных водотоках и в разные годы. При сравнении заражения личинок и взрослых миног выяснилось, что ЭЗ у тех и других примерно на одном уровне, но при этом ИО у личинок (13,1) в пять раз выше, чем у производителей (2,6). Предположительно наиболее зараженные особи не доживают до взрослой стадии. Для большинства популяций хозяев-миног характерно агрегированное распределение метацеркариев.

Миноги первые 4–6 лет жизни проводят в пресных водоемах. После метаморфоза выбравшие анадромную жизненную стратегию особи могут отправиться на нагул в море, а миноги, которые предпочли резидентную, — остаются в пресных водотоках (Павлов, 2014).

Первые промежуточные хозяева *D. petromyzifluviatilis* — пресноводные брюхоногие моллюски, а дефинитивные хозяева — рыбоядные птицы, которые заражаются при поедании миног. Метацеркарии локализируются преимущественно в мозге миног (Matach et al., 2025).

Поскольку для заражения необходимы пресноводные гастроподы, многие миноги заражаются еще на личиночной стадии развития. Инвазию обнаруживали у пескороек из рек Систа и Чёрная и у взрослых особей *L. fluviatilis*: в реках Чёрная — у проходных производителей и Каменка — у жилых (Matach et al., 2025).

Материал собирали из десяти рек в период 2014–2025 гг. сотрудники ИПЭЭ РАН. Последующая обработка материала заключалась в измерении длины тела миног, вскрытии головного отдела и смывах из головного мозга для поиска и подсчета метацеркариев *D. petromyzifluviatilis*. Всего проанализировали 262 личинки и 81 зрелую миногу.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программ Quantitative Parasitology и PAST 3.0.

При помощи теста Краскела-Уолесса выявлено, что между выборками существует статистически значимая разница в заражении метацеркариями ($\chi^2 = 86{,}15$; $p < 0{,}001$). Попарное сравнение уровня зараженности метацеркариями с помощью теста Данна выявило наибольшие различия ($p < 0{,}001$) между выборками из рек Серебристая и Назия 2025 г., Чёрная 2015 г. и Назия 2025 г., Серебристая и Систа 2021 г., Нева 2024 г. и Назия 2025 г. Выборки из Лынны 2024–2025 гг. отличаются ото всех остальных. Другие выборки схожи между собой ($p > 0{,}005$). На основании этого сравнения мы разделили все выборки на три категории: с сильной, средней и слабой инвазией. В категорию с сильной инвазией попала только Лынна, в которой экстенсивность заражения составляет 100 %, в реках со средней инвазией ЭЗ находится в диапазоне 47,7–81,3 %, реки со слабой инвазией демонстрируют ЭЗ

от 6,7 до 31,3 %. Согласно этим данным, степень заражения варьировала не только по рекам, но и в одних и тех же водотоках в течение времени.

Мы сравнили зараженность личинок и анадромных взрослых миног из р. Невы. У личинок экстенсивность заражения составила 49,6 %, а у взрослых ЭЗ — 37 % (p = 0,0559), то есть доля зараженных миног среди личинок и анадромных производителей примерно одинакова. У личинок индекс обилия (ИО) равен 13,1±30,9, это в пять раз выше, чем ИО у взрослых, — 2,6±6,1 (p = 0,001). Интенсивность заражения (ИЗ) также выше в 3,8 раза у личинок — 26,35±39,74 (1–268) против ИЗ 7,00±8,45 (1–44) у проходных миног.

Таким образом, хотя общая доля зараженных миног не изменяется, с возрастом заметно падает интенсивность заражения. Среди личинок максимальная ИЗ составила 268 метацеркариев на одну особь, в то время как у анадромных миног всего 44 метацеркария. Можно предположить, что наиболее зараженные особи (> 44 метацеркариев) чаще не доживают до метаморфоза или погибают в море, а наиболее жизнеспособными оказываются слабо зараженные или полностью свободные от метацеркариев.

Для сравнения приведем данные из литературы: у анадромных миног из р. Чёрной ЭЗ = 59,2 %, ИЗ = 5,6 (1–43), ИО = 3,3, у резидентных из р. Каменки ЭЗ = 77,3 %, ИЗ = 4,6 (1–11), ИО = 3,6 (Matach et al., 2025). У жилых миног из р. Лососинки, которая является притоком Онежского озера, ЭЗ = 34,8 %, ИЗ = 1–12, ИО = 5,1 (Евсеева, 2007).

Таким образом, самый высокий показатель экстенсивности заражения — у резидентных миног из р. Каменки (77,3 %), а у личинок, анадромных миног из р. Невы и р. Чёрной и резидентов из р. Лососинки ЭЗ находится в диапазоне от 34,8 до 59,2 %. Следовательно, для миног всех возрастов и жизненных стратегий характерна средняя инвазия, согласно нашему делению на категории. Интенсивность заражения достигает своего пика у личинок (268), у жилых миног она не превышает 12 метацеркариев на зараженную особь, а у проходных — 44 метацеркария. Показатель индекса обилия также наивысший у личинок (13,1), у анадромных не превышает 3,3, а у резидентных — 5,1. Представленные данные подтверждают, что доля зараженных миног остается на схожем уровне на протяжении всей жизни, а ее колебания, вероятнее всего, связаны с характеристиками реки и наличием других хозяев паразита. К тому же это указывает на то, что анадромные миноги заражены интенсивнее резидентных в четыре раза. При этом ИЗ личинок всё еще на порядок выше взрослых миног. Это утверждает нас в предположении, что наиболее зараженные особи не доживают до половой зрелости.

Агрегированное распределение метацеркариев *D. petromyzifluviatilis* характерно для всех рек ($s^2/m > 1$). Самые высокие показатели негативного биноминального распределения зафиксированы в реках Островенка (k = 0,05), Чёрная в 2015 (k = 0,07) и Нева в 2024 г. (k = 0,09). Вероятнее всего, в этих реках в популяции хозяев доминируют особи с высокой устойчивостью к заражению, поэтому большинство миног не заражены или слабо заражены. В р. Лынне оба года параметр (k = 5,34; k = 0,78) остается на высоком уровне, так как ЭЗ = 100 %, а ИО равен 47,3 и 96,9, то есть все миноги сильно заражены.

При финансовой поддержке РНФ 24-14-00111 (https://rscf.ru/en/project/24-14-00111/).

Литература

Евсеева Н. В. Паразитофауна европейской речной миноги *Lampetra fluviatilis* (L.) Онежского озера // Паразитология. 2007. Т. 41, № 4. С. 317–321.

Павлов Д. С., Назаров Д. Ю., Звездин А. О., Кучерявый А. В. Покатная миграция ранних личинок европейской речной миноги *Lampetra fluviatilis* // Доклады Академии наук. 2014. Т. 459, № 2. С. 248–251.

Matach D. A., Polyakova N. V., Lianguzova A. D., Krupenko D. Yu., Krapivin V. A., Miroliubov A. A., Genelt-Yanovskaya A. S., Kucheryavyy A. V. Infection of the river lamprey *Lampetra fluviatilis* (Petromyzontidae) with *Diplostomum petromyzifluviatilis* (Diplostomidae) in some rivers of Leningrad Oblast // Journal of Ichthyology. 2025. Vol. 65. P. 1109–1122.

СОСТАВ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ АМФИПОД В РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНАХ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

М. А. Барбашова*, М. С. Трифонова

Институт озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

** e-mail: mbarba@mail.ru*

AMPHIPOD COMPOSITION AND DISTRIBUTION IN DIFFERENT AREAS OF LAKE LADOGA

M. A. Barbashova, M. S. Trifonova

Based on the materials of the 2019–2025 survey, data on the species composition and distribution of amphipods in Lake Ladoga are presented. Eight amphipod species have been recorded, four of which are invasive. The populations of different species in the lake are spatially segregated: relict crustaceans occur predominantly in the lower sublittoral and profundal zones, whereas invasive species are found in the littoral zone. Heterogeneity in the quantitative development and distribution of amphipods in the lake has been observed.

Ладожское озеро площадью 17 765 км^2 с объемом водной массы 848 км^3 и суммарной площадью водосбора более 283 000 км^2 является крупнейшим пресноводным водоемом Европы. Батиметрия озера и расположение основных притоков создают предпосылки для образования в его акватории неоднородных районов, отличающихся по глубине, донным отложениям, динамике температурного режима, стратификации и продуктивности (Современное состояние…, 2021).

До 1980-х гг. в озере обитало четыре вида амфипод: три ледниковых реликта (*Monoporeia affinis* (Lindström, 1855), *Pallaseopsis quadrispinosa* (Sars, 1867) и *Gammaracanthus lacustris* Sars, 1867) и один голарктический вид — *Gammarus lacustris* Sars, 1863. В последние десятилетия наблюдается увеличение видового разнообразия ракообразных из отряда Amphipoda. В результате преднамеренных и случайных интродукций в озеро проникли виды-вселенцы байкальского (*Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899), *Micruropus possolskii* Sowinsky, 1915) и понто-каспийского (*Pontogammarus robustoides* (Sars, 1894), *Chelicorophium curvispinum* (Sars, 1895)) происхождения. В настоящее время в озере зарегистрировано восемь амфипод, из которых четыре относятся к инвазивным видам.

В работе представлены материалы исследований 2019–2025 гг. Открытые районы озера, начиная с нижней литорали, сублитораль и профундаль населяют *M. affinis*, *P. quadrispinosa* и *Gammaracanthus lacustris*. Самым массовым и широко распространенным видом среди реликтовых амфипод является *M. affinis*. Показатели количественного развития амфипод низки в северных глубоководных участках озера и на порядок выше в южных. Наибольшие численность и биомасса *M. affinis* регистрировались в переходном районе на глубинах 18–50 м. Высокая концентрация рачков *P. quadirispinosa* наблюдалась на глубинах 11–17 м вдоль открытых берегов озера. *Gammaracanthus lacustris* встречался редко, что, вероятно, связано с методическими сложностями исследования подвижных ракообразных. Отбор бентосных проб проводился дночерпателем, который плохо улавливает этих амфипод. Применение в качестве орудий лова донных ловушек в 2025 г. позволило обнаружить *Gammaracanthus lacustris* на глубине 22 м в районе о. Валаам. Это свидетельствует о возможном недоучете этого вида в составе бентосных сообществ ранее.

В литоральной зоне озера инвазивные виды амфипод весьма значимы в донных биоценозах, где они могут составлять до 90 % от общей биомассы макрозообентоса. Распространение разных видов амфипод по побережью неравномерно. Байкальский вселенец *G. fasciatus* обитает в литорали озера повсеместно и преобладает на многих биото-

пах. Высокий уровень его развития приурочен к зарослям макрофитов. После вхождения в состав донных сообществ *G. fasciatus* наблюдалось снижение численности и даже исчезновение из многих мест обитаний нативного вида ракообразных *Gammarus lacustris*. В настоящее время этот бокоплав отмечается единично на каменистой и валунной слабо прибойной литорали в северном шхерном районе озера. *M. possolskii* продолжает активно расселяться как в северном, так и в юго-восточном направлении. Наибольшего уровня развития *M. possolskii* достигал вдоль западного побережья и в бухте Петрокрепость. В дальнейшем, вероятно, этот вид колонизирует всё побережье озера. Зона обитания понто-каспийских видов ограничена Волховской губой, что связано с более высокой минерализацией воды в этом районе.

Таким образом, видовой состав амфипод с середины XX века не претерпел существенных изменений в открытых районах озера и обогатился в литоральной зоне за счет видов-вселенцев. Отмечена пространственная неоднородность распределения амфипод в озере. Необходимо продолжать наблюдения над протеканием процессов распространения и развития инвазивных амфипод, поскольку они являются одним из важнейших факторов трансформации экосистемы Ладожского озера.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института озероведения РАН, обособленного структурного подразделения СПб ФИЦ РАН, по теме FFZF-2024-0001.

Литература

Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата / ред.: С. А. Кондратьев, Ш. Р. Поздняков, В. А. Румянцев. М.: РАН, 2021. 637 с.

ФОРМИРОВАНИЕ МАКРОЗООБЕНТОСА РЕК ОЛОНЕЦКОГО ПЕРЕШЕЙКА: РОЛЬ ЛОКАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ

И. А. Барышев

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

e-mail: i_baryshev@mail.ru

MACROZOOBENTHOS STRUCTURING IN RIVERS OF THE OLONETS ISTHMUS: ROLE OF LOCAL AND REGIONAL FACTORS

I. A. Baryshev

С использованием многомерных методов оценен вклад локальных (порог/плес) и региональных (кристаллический щит / осадочные отложения) факторов в формирование макрозообентоса рек Олонецкого перешейка. Зарегистрировано 207 видов донных беспозвоночных. Обилие на порогах (5,97 тыс. экз./м²; 18,21 г/м²) более чем в три раза выше, чем на плесах (1,54 тыс. экз./м²; 2,16 г/м²). Для порогов кристаллического щита, отличающихся большей протяженностью, характерно доминирование реофильных таксонов (*Hydropsyche*, *Rheotanytarsus*), многие из которых относятся к коллекторам-фильтраторам. В зоне осадочных отложений возрастает доля собирателей-коллекторов (Chironomidae, Oligochaeta). Выявлен независимый и равнозначный вклад локальных и региональных условий в формирование трофической структуры.

Речные экосистемы формируются под воздействием факторов различного пространственного масштаба (Frissell et al., 1986; Hawkins et al., 1993). Определение ведущей роли локальных условий биотопа либо региональных особенностей территории имеет большое значение для развития стратегий биомониторинга и прогнозирования изменений водных экосистем (Allan, 2004; Буйволов и др., 2016). Южная часть Олонецкого перешейка, расположенная на стыке Балтийского кристаллического щита и Русской плиты, представляет собой удобный модельный регион. На относительно небольшой территории здесь выражен отчетливый геологический градиент (север — кристаллические породы, юг — осадочные), а для водотоков обоих районов характерна мозаичность биотопов с чередованием порогов и плесов (Геология Карелии, 2005). Цель работы — количественная оценка и сопоставление вклада локальных и региональных факторов в формирование таксономической и трофической структуры сообществ макрозообентоса.

Материалом послужили 76 количественных проб макрозообентоса, отобранных в 2011–2023 гг. на 27 станциях девяти рек (количественная рамка 0,04 м^2). Отбор охватывал северную часть (зона кристаллических пород) и южную (зона осадочных пород). К северной части относятся станции на реках Олонка, Шелтозерка, Ивина с притоками Шапша и Таржеполка, Важинка с притоком Мужала, Усланка с притоком Кирьга и Янега. Южную часть представляют станции на реках Оять с притоками Тянукса, Тукша и Курба, Паша с притоками Капша, Явосьма и Чога, а также Воронежка.

Пороги характеризуются каменистыми грунтами, быстрым течением и высокой турбулентностью; плесы — замедленным течением, песчано-илистыми отложениями. Реки кристаллического щита имеют преимущественно порожистый характер и низкую минерализацию, реки области осадочных отложений — более равнинный тип русла и высокую мутность. Пороги встречаются в обоих районах, но на кристаллическом щите они существенно протяженнее.

Для анализа функциональной организации сообществ организмы распределены по трофическим группам: хищники, измельчители (шреддеры), собиратели (gathering-collectors),

фильтраторы (filtering-collectors), соскребатели (scrapers) по (Merritt, Cummins, 1996), для анализа выбрана биомасса. Оценка влияния факторов «тип биотопа» (порог/плес) и «геологическая зона» (кристаллические/осадочные породы) выполнена с применением ANOSIM и PERMANOVA (9999 пермутаций, метрика Брея-Куртиса) отдельно для таксономической и трофической структур.

В составе макрозообентоса зарегистрировано 207 видов. На порогах обилие (средние значения — 6,0 тыс. экз./м²; 18,2 г/м²; медианные — 3,3 тыс. экз./м²; 12,1 г/м²) в несколько раз выше, чем на плесах (средние 1,54 тыс. экз./м²; 2,16 г/м²; медианные 1,6 тыс. экз./м²; 1,3 г/м²). Для таксономической структуры PERMANOVA показала значимое влияние типа биотопа ($F = 9,93$; $p = 0,0001$) и геологической зоны ($F = 3,76$; $p = 0,0002$), а также их взаимодействие ($F = 2,15$; $p = 0,02$). ANOSIM показал, что влияние биотопа ($R = 0,245$) сильнее, чем геологической зоны ($R = 0,077$). Таксономический состав определяется преимущественно локальными условиями, а геологический фон вносит значимый, но менее выраженный вклад. Взаимодействие указывает, что различия между порогами и плесами варьируют в зависимости от геологического строения территории.

Для трофической структуры по результату PERMANOVA установлено значимое влияние обоих факторов (тип биотопа: $F = 12,02$, $p = 0,0001$; геологический субстрат: $F = 13,25$, $p = 0,0001$) при отсутствии взаимодействия ($p = 0,99$). По результату ANOSIM получены сопоставимые значения R (для биотопа $R = 0,122$; для геологической зоны $R = 0,099$), что указывает на сходную степень разделенности групп по каждому из факторов. Согласно оценке компонент вариации (PERMANOVA, псевдо-R^2), вклад биотопа в общую дисперсию составляет 18,0 %, геологической зоны — 20,0 %, что также подтверждает сопоставимость их влияния.

Таким образом, таксономический состав определяется преимущественно локальным биотопом, тогда как трофическая структура в сопоставимой степени зависит от обоих факторов, что отражает связь пищевых ресурсов с гидрологическими условиями и геологически обусловленными особенностями водосбора. Полученные результаты подтверждают необходимость многоуровневого подхода в биомониторинге, учитывающего как мозаичность локальных биотопов, так и региональные геологические особенности территории.

Работы выполнены в рамках бюджетной темы FMEN-2022-0007 ИБ КарНЦ РАН.

Литература

Буйволов Ю. А., Быкова И. В., Лазарева Г. А. и др. Современное состояние и перспективы развития мониторинга качества вод по гидробиологическим показателям в России // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2016. Т. 27, № 2. С. 42–58.

Геология Карелии / под ред. В. А. Соколова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. 110 с.

Allan J. D. Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems // Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. 2004. Vol. 35. P. 257–284.

Frissell C. A., Liss W. J., Warren C. E., Hurley M. D. A hierarchical framework for stream habitat classification: Viewing streams in a watershed context // Environmental Management. 1986. Vol. 10. P. 199–214.

Hawkins C. P., Kershner J. L., Bisson P. A. et al. A hierarchical approach to classifying stream habitat features // Fisheries. 1993. Vol. 18, N 6. P. 3–12.

Merritt R. W., Cummins K. W. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. 3rd ed. Dubuque, Iowa: Kendall / Hunt Publishing Company, 1996. 862 p.

СТРУКТУРА ДОННЫХ СООБЩЕСТВ ЛИТОРАЛИ ОЗЕРА ВОДЛОЗЕРО В УСЛОВИЯХ УГРОЗЫ ИНВАЗИИ *GMELINOIDES FASCIATUS*

И. А. Барышев [1]*, **Е. В. Кулебякина** [2]

[1] *Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия*
[2] *ФГБУ Национальный парк «Водлозерский», Петрозаводск, Россия*

** e-mail: i_baryshev@mail.ru*

STRUCTURE OF LITTORAL BENTHIC COMMUNITIES IN LAKE VODLOZERO UNDER THE THREAT OF INVASION BY *GMELINOIDES FASCIATUS*

I. A. Baryshev, E. V. Kulebyakina

Представлены результаты мониторинга макрозообентоса литорали оз. Водлозеро, выполненного в 2024–2025 гг. для оценки референсного состояния сообществ на фоне обнаружения и угрозы инвазии *Gmelinoides fasciatus*. Выявлено 33 таксона, *G. fasciatus* не обнаружен. Структура бентоценозов определяется характером субстрата: максимальное разнообразие зафиксировано в мозаичном биотопе (глина, песок, хвощ), максимальная численность — на участке с избытком органики, где доля хирономид превышала 65 % от общей численности. Трофическая структура закономерно изменяется от преобладания собирателей в заиленных биотопах до возрастания доли соскребателей на чистых песках.

Быстрое распространение инвазионных видов амфипод представляет собой одну из ключевых угроз устойчивости пресноводных экосистем, приводя к трансформации трофических связей, вытеснению аборигенной биоты и упрощению структурной организации сообществ (Pelikan et al., 2024). В Онежском озере начиная с 2000-х гг. произошло расселение амфиподы *Gmelinoides fasciatus* (бокоплав-гмелиноидес), что оказывает значительное воздействие на литоральные биоценозы (Sidorova, 2024). Первая регистрация *G. fasciatus* в 2022 г. в р. Илексе — крупном притоке оз. Водлозеро — служит тревожным индикатором потенциальной экспансии вида в акваторию всего водоема, находящегося на особо охраняемой природной территории (Барышев, 2023). В связи с этим особую актуальность приобретают мониторинговые исследования, направленные на фиксацию референсного состояния бентоценозов на этапе, предшествующем вероятной широкомасштабной инвазии. Цель работы — оценка референсного состояния макрозообентоса литорали оз. Водлозеро до возможной экспансии *G. fasciatus*.

В мае 2024 г. были проведены качественные сборы (~ 0,1 м^2 в сумме) на 13 станциях, расположенных в литорали разных частей Водлозера (районы Куганавалока и Лапинаволока) и в р. Новгуде (где вид был выявлен в 2022 г.). В июле 2025 г. было проведено изучение структуры макрозообентоса литорали в районе Куганаволока. Были обследованы четыре станции, соответствующие типичным для водоема прибрежным биотопам: заиленный песок с камнями и хвощом (ст. 1), заиленный песок с глиной между камнями (ст. 2), чистый песок (ст. 3) и песок с камнями и хвощом (ст. 4). Отбор проб осуществляли с помощью скребка, обловленная площадь составила 0,1 м² на станцию.

В результате работы в макрозообентосе было выявлено 33 таксона, при этом *G. fasciatus* не был выявлен. Основу сообществ во всех биотопах составляли хирономиды, доля которых варьировала от 70 до 80 % от общей численности. Общая численность бентоса на станциях колебалась от 71 до 321 экз. на учетную площадь, а число таксонов — от 13 до 19. Анализ индексов разнообразия (S – число таксонов, N — численность (экз./0,1 м²), H' — индекс Шеннона (нат/экз.), J' — выравненность Пилу, d — индекс доминирования Бергера-Паркера, DMg — индекс Маргалефа) выявил четкую зависимость структуры сообществ от характера субстрата. Ст. 1: S = 13, N = 71, H' = 2,04, J' = 0,76, d = 0,44, DMg = 2,82. Ст. 2

демонстрирует максимальное альфа-разнообразие: S = 19, N = 178, H' = 2,17, J' = 0,72, d = 0,39, DMg = 3,47. Мозаичность грунта обеспечивает высокую экологическую емкость биотопа. Ст. 3: S = 15, N = 93, H' = 2,05, J' = 0,73, d = 0,45, DMg = 3,09. Ст. 4 отличается наибольшей численностью (N = 321), однако показатели разнообразия минимальны: S = 14, H' = 1,30, J' = 0,49, d = 0,68, DMg = 2,25. Это указывает на сверхдоминирование одного таксона на фоне избытка органики. Таким образом, максимальное разнообразие приурочено к биотопу заиленного песка с глиной между камнями (ст. 2). Биотоп песка с камнями и хвощом (ст. 4), несмотря на высокую численность, характеризуется качественным обеднением сообщества. Высокое бета-разнообразие (β = 2,2), рассчитанное как отношение общего для всех станций числа видов к среднему числу видов на станцию, подтверждает значительную мозаичность литоральных сообществ. Характер субстрата (гранулометрический состав и содержание органики) выступает основным фактором пространственной изменчивости видового состава между биотопами.

Трофическая структура сообществ макрозообентоса закономерно изменялась в зависимости от характера субстрата, определяющего степень накопления органического вещества. На станции 1, характеризующейся заиленным песком с камнями, с большим перевесом преобладали собиратели, их доля составила 70 % (здесь и далее по численности). Наиболее сбалансированная трофическая структура отмечена на станции 2 (глина, песок, хвощ), где собиратели составляли 35 %, фильтраторы — 25 %, соскребатели — 20 %. Такое распределение функциональных групп обеспечило высокое таксономическое разнообразие, а ведущую роль в сообществе играли *Cladotanytarsus* sp., поденка *Caenis lactea* и хирономида *Psectrocladius bisetus*. В условиях чистого песка (станция 3) возрастает доля соскребателей, достигающая 30 %, что указывает на переключение питания бентоса на перифитонные обрастания и биопленки. Наибольшая специфичность трофической структуры зафиксирована на станции 4 (песок с хвощом и органическими остатками), где собиратели достигали 70 % при существенном вкладе измельчителей (20 %). В этом биотопе отмечено сверхдоминирование *Cladotanytarsus* sp., составившего 67 % общей численности, при участии хирономиды *Demicryptochironomus vulneratus*, что свидетельствует о формировании сообщества, упрощенного вследствие избыточного поступления растительного детрита.

Установлено, что структура макрозообентоса определяется в первую очередь гетерогенностью субстрата и наличием макрофитов. Максимальное разнообразие достигается в условиях мозаичного биотопа, тогда как максимальная продуктивность, сопряженная с упрощением трофической структуры, характерна для участков с обилием растительного детрита. Различия в организации сообществ (от доминирования собирателей в заиленных биотопах до преобладания соскребателей на чистых песках) указывают на высокую адаптивную способность бентоценозов, а участки с выраженным доминированием одного вида свидетельствуют о потенциальной уязвимости экосистемы. При вселении *G. fasciatus* наиболее вероятно снижение разнообразия в биотопах с его высокими исходными значениями. Полученные показатели формируют исходную базу данных для последующего мониторинга в случае инвазии *G. fasciatus*.

Темы финансирования: FMEN-2022-0007 ИБ КарНЦ РАН и ГЗ № 051-00089-25-00 от 25.12.2024 ФГБУ Национальный парк «Водлозерский».

Литература

Барышев И. А. Первая находка инвазионной амфиподы *Gmelinoides fasciatus* в бассейне оз. Водлозеро (Россия) // Биология внутренних вод. 2023. № 5. С. 647–649.

Pelikan L., Sidagytė-Copilas E., Garbaras A. et al. Competitive interaction in headwaters: slow upstream migration leads to trophic competition between native and non-native amphipods // NeoBiota. 2024. Vol. 90. P. 193–216.

Sidorova A. I. Role of the invasive amphipod *Gmelinoides fasciatus* (Crustacea: Amphipoda) of littoral macrozoobenthos of the Zaonezhye area of Lake Onego // Limnology and Freshwater Biology. 2024. N 5. P. 1243–1252.

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ФИКСАЦИИ УРОВНЕЙ ВОДЫ В РЕКАХ

А. А. Батмазова

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: batmazovaa@mail.ru

DEVELOPMENT AND TESTING OF AUTONOMOUS SYSTEMS FOR RECORDING WATER LEVELS IN RIVERS

A.A. Batmazova

Представлен обзор трех разработанных автономных систем фиксации уровней воды на реках Тура, Тобол и Оредеж. Описаны основные технические требования, предъявляемые к системам, приведены конструктивные особенности каждой реализации, особенности сборки и работы.

Для обеспечения непрерывного мониторинга уровней воды в реках, а также оповещения об их опасных отметках были разработаны три варианта реализации автономных уровнемеров. Все три варианта работают на базе платформы *Arduino*.

Первый вариант собран на основе поплавкового датчика как фиксатора уровней воды, литий-ионных (*Li-io*) аккумуляторов как питания системы, модуля *SIM*800*L* для приема и передачи информации. Таким образом, вся система, схема которой представлена на рис. 1, состоит из двух блоков.

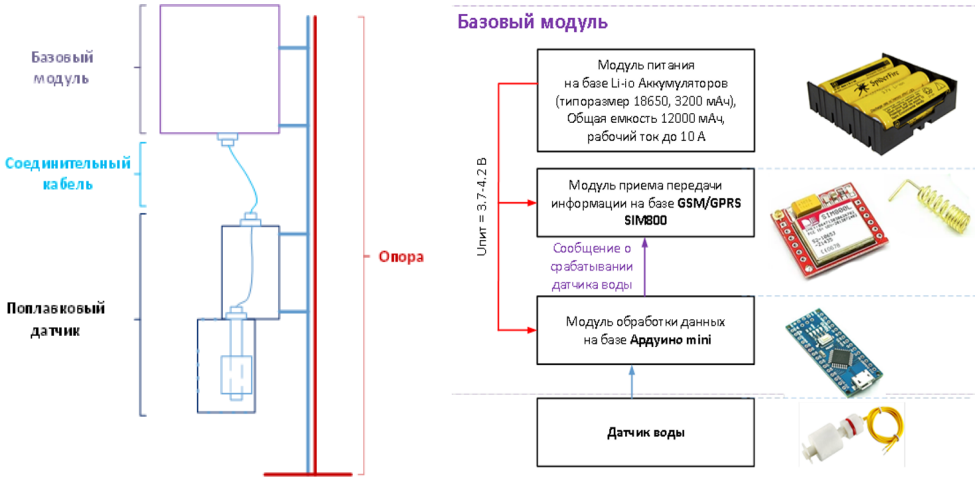


Рис. 1. Схема автономной системы на основе поплавкового датчика

Подобная конструкция позволяет разместить в выбранном створе реки несколько датчиков на равноудаленном расстоянии с целью охвата предварительно вычисленных обеспеченных уровней воды. Итогом срабатывания такого варианта системы является отправка *SMS*-сообщения при замыкании поплавкового датчика. Створы для установки определялись по результатам рекогносцировочного обследования рек Тобол и Тура и на основе принципа прогнозирования уровней воды по методу соответственных уровней (Георгиевский, Шаночкин, 2007).

Второй вариант представляет собой рейку с сенсорными датчиками. В качестве чувствительных элементов использовались сенсорные кнопки *TTP223*, подведенные к модулю на базе чипа *MPR*121, каждый из которых подключался к отдельному порту платы *Arduino Uno*, которая запрограммирована на опрос всех кнопок сверху вниз. Передача данных обеспечивается через *GSM*-модуль *SIM*800*L*, отправляющий *SMS* с показаниями.

Несмотря на ценовое преимущество такой реализации, в ходе испытаний системы выявился ряд недостатков, ключевым из которых является хаотичное срабатывание датчиков, в связи с этим — накапливающаяся ошибка, обусловленная большим количеством чувствительных элементов (108 сенсорных кнопок на один метр воды), и сложность монтажа.

Третий вариант реализации автономной системы основан на гидростатическом методе измерения уровня жидкости. Аппаратная часть включает четыре узла: сенсоры, сбор и передачу данных, питание и несущую конструкцию. Используется погружной гидростатический датчик *Xuyang Starts Electricity QDY30A*.

В качестве элементов системы сбора и передачи данных выступают микропроцессорная система *Arduino Pro Mini* и коммутационный модуль *SimCom SIM*800*C*. Питание комбинированное — две солнечные панели и шесть литий-титанатных аккумуляторов. Чтение данных, инициализация *SIM*800*C* и отправка данных на заданный номер телефона в виде *SMS*-сообщения осуществляются посредством работы всей схемы в режиме прерывания с использованием внутреннего *watchdog*-таймера (Ganssle, 2004), что позволяет системе функционировать в режиме пониженного энергопотребления. Информационное взаимодействие между основными модулями системы схематично представлено на рис. 2.

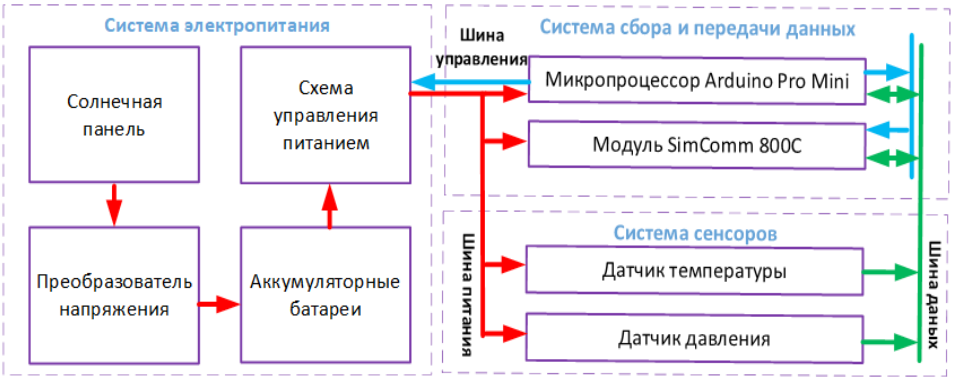


Рис. 2. Схема работы системы с гидростатическим датчиком

Полученные данные из глобальной системы сбора данных (*Arduino Uno*, *SimCom* 800*C*, *Ethernet Wiznet*5100) перенаправляются в базу данных *MySQL*. Для отображения данных в реальном времени создан сайт, взаимодействующий с базой данных (рис. 3). Тарировка и запуск системы произведены в марте 2026 г. на р. Оредеж.

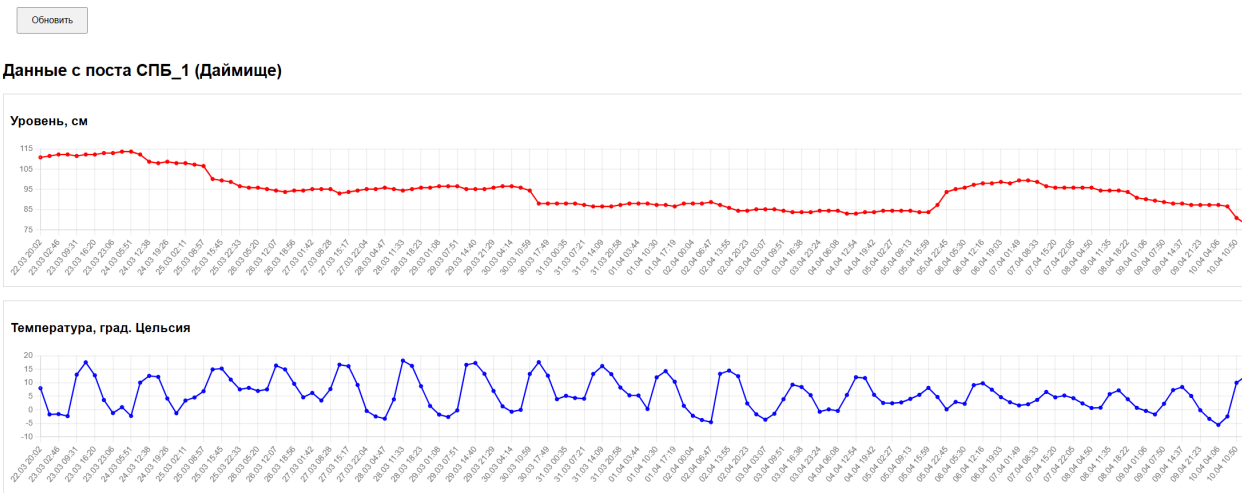


Рис. 3. Отображение данных

Литература

Георгиевский Ю. М., Шаночкин С. В. Гидрологические прогнозы. Учебник. СПб.: РГГМУ, 2007. 436 с.
Ganssle J. (ed.). The Firmware Handbook. Amsterdam; Boston: Newnes/Elsevier, 2004. 361 p.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР КАРЕЛИИ ОТХОДАМИ РЫБОВОДНЫХ ХОЗЯЙСТВ

Н. А. Белкина*, А. В. Рябинкин, М. С. Потахин, Н. А. Ефременко

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

** e-mail: bel110863@mail.ru*

POLLUTION OF BOTTOM SEDIMENTS OF KARELIAN LAKES BY FISH FARMING WASTE

N. A. Belkina, A. V. Ryabinkin, M. S. Potakhin, N. A. Efremenko

Представлены результаты изучения донных отложений водоемов Карелии, залегающих на акваториях, используемых рыбоводными хозяйствами. На основе комплекса показателей химического состава осадков и придонных вод оценено органическое и биогенное загрязнение донных отложений отходами форелеводства. Выявлены последствия накопления твердых отходов форелевых хозяйств на дне, проявляющиеся в формировании анаэробных зон и ухудшении качества придонных вод. Показано, что разложение продуктов жизнедеятельности рыб и остатков корма в донных отложениях способствует развитию вторичного загрязнения вод биогенными элементами.

В настоящее время на 60 водных объектах, расположенных на территории Республики Карелия, действует 80 предприятий аквакультуры. Радужная форель составляет 99,9% товарной продукции к общему объему выращенной разновозрастной рыбы. Основным экологическим последствием развития форелеводства для озерных экосистем является увеличение органической и биогенной нагрузки на водоемы, что ухудшает качество вод в результате интенсивного развития процессов антропогенного эвтрофирования (Белкина, 2025).

Институтом водных проблем Севера КарНЦ РАН начиная с 2020 г. периодически проводятся исследования химического состава донных отложений и придонных вод на акваториях водоемов, используемых рыбоводными предприятиями (Ладожское и Онежское озера, оз. Ладмозеро, оз. Кимасозеро, оз. Святозеро, оз. Сундозеро, оз. Тикшозеро, оз. Маслозеро, оз. Валгозеро, оз. Сухое и др.).

Отбор проб воды и донных отложений осуществляется непосредственно у садковых модулей и на границе рыбопромысловых участков с учетом рельефа дна. Оценка экологического состояния донных отложений выполняется на основе сравнения их вещественного состава с осадками, сформировавшимися в фоновых условиях (накопленные в период до хозяйственной деятельности или вне зоны воздействия). В воде определяются электропроводность, содержание фосфора, железа, марганца, кислорода и углекислого газа. В донных отложениях — pH, Eh, естественная и абсолютная влажность, пористость, плотность, потери при прокаливании, зольность, органический углерод, ХПК, суточное потребление кислорода (ПК), азот аммонийный, азот органический, лабильные формы фосфора, фосфор общий. Лабораторные исследования проводятся в ИВПС КарНЦ РАН с использованием оборудования ЦКП КарНЦ РАН по общепринятым методикам.

Изучение вещественного состава донных отложений, загрязненных отходами рыбоводных хозяйств, показало их отличие от осадков, формирующихся в фоновых условиях. Донные отложения, как правило, имеют визуальные признаки загрязнения: осадок окрашен крайне неравномерно и представляет собой смесь белесых, охристых, серых, зеленых, коричневых, черных комковатых включений. Загрязненные осадки обладают неприятным запахом. По физико-химическим показателям они имеют более низкие значения Eh и pH по сравнению с фоновыми осадками. Их химический состав отличается более высокими концентрациями органического вещества (в 2–5 раз выше фоновых показателей) и биогенных элементов

(в 5–10 раз выше фоновых показателей), высокими значениями ХПК и ПК тестов. Загрязнение проявляется в высокой внутренней нагрузке, связанной с разложением продуктов жизнедеятельности рыб и остатков корма в донных отложениях. В придонных слоях воды в районах залегания загрязненных осадков фиксируются дефицит кислорода и повышенное содержание углекислого газа, минеральных форм биогенных элементов и восстановленных форм железа и марганца (Белкина и др., 2022, 2025).

Наши исследования донных отложений в рыбоводческих хозяйствах, эксплуатирующих разные водоемы Карелии, продемонстрировали, что описанный выше комплекс показателей вещественного состава донных отложений и придонных вод позволяет оценить степень загрязнения донных отложений отходами форелеводства и их влияние на химический состав вод.

К сожалению, экологический контроль, практикуемый в настоящее время рыбоводными предприятиями, дает информацию только об условиях содержания рыбы, а нормативы расчета допустимых объемов продукции не учитывают «отложенный во времени» эффект влияния донных отложений на качество воды озера. Анализ накопленной за последние годы научной информации о влиянии аквакультуры на озерные экосистемы показывает необходимость разработки единой комплексной методики и нормативной базы критериев оценки состояния донных отложений для мониторинговых наблюдений водных экосистем Российской Федерации.

Литература

Белкина Н. А. Процессы накопления углерода в донных отложениях озер Карелии в условиях органического загрязнения // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: материалы III междунар. конф. Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2025. С. 348–352.

Белкина Н. А., Ефременко Н. А. Оценка влияния форелевых хозяйств на качество вод внутренних водоемов на примере Северного Приладожья // LXXV Герценовские чтения. География: развитие науки и образования: материалы междунар. науч.-практ. конф. СПб.: РГПУ им. А. И. Герцена. 2022. С. 20–23.

Белкина Н. А., Рябинкин А. В., Потахин М. С., Ефременко Н. А. Оценка загрязнения донных отложений пресных водоемов отходами рыбоводных хозяйств // LXXVIII Герценовские чтения. География: развитие науки и образования: материалы междунар. науч.-практ. конф. СПб.: РГПУ им. А. И. Герцена. 2025. С. 282–284.

СТРУКТУРА И ПРОДУКТИВНОСТЬ МАКРОЗООБЕНТОСА ШЕСТИ ПРИТОКОВ В СРЕДНЕМ И НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ ВУОКСЫ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

В. П. Беляков [1, 2]

[1] *РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия*
[2] *Институт озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия*

e-mail: victor_beliakov@mail.ru

STRUCTURE AND PRODUCTIVITY OF MACROZOOBENTHOS OF SIX TRIBUTARIES IN THE MIDDLE AND LOWER REACHES OF THE VUOKSA RIVER UNDER THE INFLUENCE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS

V. P. Beliakov

В течение вегетационных сезонов 2020–2021 гг. исследовали состав, структуру, количественные и функциональные показатели сообществ зообентоса шести малых притоков р. Вуоксы с целью оценки участия донных сообществ в процессах самоочищения и индикации экологического состояния рек. Проанализированы различия упомянутых характеристик донных сообществ в зависимости от природных и антропогенных факторов на разных участках водотоков, дополнительно использовали биотические показатели Вудивисса, Гуднайта и Балушкиной для оценки качества вод на отдельных участках водотоков.

Южная и центральная части Карельского перешейка подвергаются всё большей антропогенной нагрузке, что приводит к перестройке наземных и водных экосистем. Территорию перешейка с запада на восток пересекает р. Вуокса, которая впадает в Ладожское озеро. Деятельность человека может влиять непосредственно через береговую линию и стоки населенных пунктов на озерно-речную систему Вуоксы и опосредованно — через впадающие в нее малые речки и ручьи. Эти водотоки, как правило, дренируют довольно большие площади, включая освоенные территории, особенно это характерно для притоков южного берега в среднем и нижнем течении Вуоксы.

Зообентос в экосистемах малых водотоков играет существенную роль в трансформации аллохтонных органических веществ и чутко реагирует на изменение условий, в том числе при усилении антропогенной нагрузки.

Целью работы было проследить, как донные сообщества участвуют в процессах самоочищения и изменяют состав, структуру и количественное развитие при действии природных и антропогенных факторов, что является одним из способов индикации экологического состояния водотоков.

В мае, июле и сентябре 2020 и 2021 гг. были отобраны пробы в малых притоках р. Вуоксы: в двух реках, Сосновка и Вьюн, по четыре створа, и в четырех водотоках в устьевых зонах — р. Булатная, р. Лосевка, руч. Тихий, руч. Щучий.

В целом достаточно большой видовой список зообентоса всех рек — более 120 таксонов, в каждом водотоке их значительно меньше, на загрязненных участках рек снижается. Представлены олигохеты, пиявки, двустворчатые и брюхоногие моллюски, изоподы, гидракарины, личинки насекомых-веснянок, поденок, ручейников, стрекоз, жуков, большекрылок и двукрылых, главным образом хирономид.

В зависимости от гидрологических, гидрохимических условий, грунта и наличия растительности формируется специфическая видовая структура сообществ, варьируются количественное развитие и доминирующие формы. Также отмечена динамика этих характеристик в течение вегетационного сезона.

Индекс видового разнообразия Шеннона в сообществах зообентоса существенно снижался от 3,87 до 0,96 бит/экз. не только при загрязнении, но и при действии природных факторов — мутность и цветность воды, снижение pH и др.

Количественный и функциональный вклад зообентоса в разные сезоны и в разных створах водотоков различался на порядки величин. Численность и биомасса варьировались в пределах 0,1–49 тыс. экз./м^2 и 0,18–642 г/м^2, соответственно. Суточная продукция сообществ изменялась в диапазоне 3,6–2560 кал/м^2 сут. Соответственно участие в деструкции органических веществ сообществ зообентоса изменялось от 4,8 до 4634 кал/м^2 сут. (табл.).

Доминирующие виды, численность (N, экз./м^2), биомасса (B, г/м^2), суточные величины продукции (P, кал/м^2 сут) и суммарного дыхания (R, кал/м^2 сут) сообщества зообентоса в исследованных реках

Реки, ручьи	N	B	P	R	Доминанты
Река Вьюн	3660–16 120	8,7–642	122–1330	251–3818	*Sphaerium corneum, Limnodrilus hoffmeisteri, Hydropsyche angustipennis*
Река Сосновка	1240–49 170	1,9–127	48–2560	77–4634	*Monodiamesa bathyphila, Limnodrilus hoffmeisteri, Tubifex tubifex, Chironomus*
Ручей Щучий	5740	14,3	248	470	*Centroptilum luteolum, Ptyhoptera* sp., *Macropelopia* sp.
Ручей Тихий	860	0,81	20,7	28,5	*Stictochironomus crassiforceps, Polypedilum scalaenum*
Река Лосевка	100	0,18	3,6	4,8	*Simulium* sp., *Tubifex tubifex*
Река Булатная	6540	17,8	400	699	*Simulium* sp., *Isogenus nubecula*

Основной поток трансформации органических веществ в сообществах проходил через детритную цепь. Трофическая структура зообентоса четко откликалась на усиление притока аллохтонной органики и ее аккумуляцию в донных грунтах. В устьевых зонах также повышается роль фильтраторов. Пастбищная цепь в сообществах представлена только на ряде участков за счет развития перифитонофагов — соскребателей, гастропод и некоторых личинок хирономид.

Для оценки экологического состояния водотоков дополнительно использовали биотические индексы: Вудивисса, Балушкиной, Гуднайта, которые, в основном согласованно с изменениями структурно-функциональных характеристик зообентоса, демонстрировали загрязненные участки.

Таким образом, количественное развитие зообентоса на отдельных участках водотоков достигает значительных величин, но участие сообществ зообентоса в самоочищении ограничивается в силу наличия гуминовых вод или других природных факторов. За счет механизмов самоочищения, в том числе и при участии зообентоса, итоговая нагрузка в устьях рек существенно снижается, хотя суммарная деструкция и не перекрывает величину аллохтонного и автохтонного органического вещества в воде рек. Тем не менее несмотря на существенное антропогенное воздействие на притоки их суммарная нагрузка на Вуоксу пока невысока.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН — СПб ФИЦ РАН по теме № FFZF-2024-0001 «Экосистемы Ладожского озера, водоемов его бассейна и прилегающих территорий в условиях воздействия природных и антропогенных факторов на фоне климатических изменений», а также в рамках научного направления РГПУ им. А. И. Герцена № 21 «Адаптивные реакции биологических систем на специфические и неспецифические воздействия факторов внешней среды».

ПИТАНИЕ СИГОВЫХ И ОКУНЕВЫХ РЫБ СЕВЕРНЫХ ОЗЕР (ИМАНДРА, КУЭТСЪЯРВИ, КРИВОЕ)

Н. А. Березина [1]*, П. М. Терентьев [2], Е. М. Зубова [2]

[1] *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Зоологический институт Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия*
[2] *Федеральный исследовательский центр Кольский научный центр Российской академии наук, Апатиты, Россия*

* *e-mail: nadezhda.berezina@zin.ru*

FEEDING OF WHITEFISH AND PERCH FISHES IN NORTHERN LAKES (IMANDRA, KUETSYARVI, KRIVOE)

N. A. Berezina, P. M. Terentyev, E. M. Zubova

Проведено сравнительное исследование структуры трофической сети и спектров питания окуневых и сиговых рыб в субарктических озерах (Кривое, Куэтсъярви и Имандра). Для решения поставленных задач были использованы в комплексе два метода — анализ пищевых трактов рыб и стабильных изотопов углерода и азота в тканях рыб и их потенциальных пищевых объектов. На основе данных состава пищевого комка рыб был рассчитан индекс общности пищевых спектров, а по данным изотопного анализа определена позиция рыб в трофической сети озер.

Сиговые виды рыб в арктических и субарктических водоемах дают основную долю суммарной ихтиопродукции. Текущее климатическое потепление ведет к температурам в водоемах, выходящим за пределы оптимального диапазона сиговых рыб, и локальному сокращению их популяций. В озерах Имандра, Куэтсъярви и Кривое были исследованы пищевые спектры и трофические позиции основных видов рыб. Применены два метода: анализ содержимого желудка и анализ стабильных изотопов. По результатам анализа стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}C$) было установлено, что ряпушка (*Coregonus albula*) в большей степени питается пелагическими организмами (величины $\delta^{13}C$ от –27 до –25 ‰), напротив, окунь (*Perca fluviatilis*), сиг (*Coregonus lavaretus*, крупная морфа с редкими тычинками), ерш (*Gymnocephalus cernua*) и другие виды рыб больше зависят от бентосных и литоральных источников (их $\delta^{13}C$ ближе к –24 ‰). Самые высокие средние значения азота ($\delta^{15}N$) были обнаружены у налима из мурманских озер (около 14 ‰), также у корюшки и ерша (14–16 ‰) в оз. Имандра.

По пищевым предпочтениям окунь и сиг были определены как виды-генералисты во всех водоемах. Кроме того, их трофические позиции были схожими в случае оз. Имандра. Сходство их рационов (по индексу Мориситы-Хорна) составило 42–49 % в сосуществующих популяциях озер, что может свидетельствовать об умеренном сходстве их рационов. Но при использовании одних и тех же ресурсов пищевая конкуренция пока не является критической для этих видов. Водно-воздушные насекомые (в первую очередь, ручейники Trichoptera) были наиболее часто встречающимися компонентами в питании обоих видов.

Высокий уровень всеядности рыб и смешанный характер их питания были выявлены у всех изученных видов. Даже у типичных планктофагов, таких, как ряпушка, наблюдалось значительное потребление бентосных организмов. Несмотря на то что ряпушка в северных озерах питается зообентосом, изотопный состав углерода указывает на ее тесную связь с пелагическими источниками, такими, как зоопланктон, а не с бентосными или литоральными пищевыми цепями, характерными для других всеядных рыб, таких, как окунь, ерш, налим и колюшка.

АНТРОПОГЕННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛАНДШАФТОВ ВОДОСБОРА ЛОСОСИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

М. С. Богданова

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

e-mail: mari-mb@mail.ru

ANTHROPOGENIC TRANSFORMATIONS OF THE CATCHMENT LANDSCAPES OF THE LOSOSINSKOYE RESERVOIR

M. S. Bogdanova

Представлены результаты изучения ландшафтов водосбора Лососинского водохранилища на основе полевых ландшафтных исследований с применением ландшафтно-динамического подхода, а также анализа топографических карт и космических снимков разных лет. Выделено пять этапов антропогенного преобразования ландшафтов водосбора. Основные изменения ландшафтов произошли за последние 100 лет. Ведущими направлениями хозяйственной деятельности, изменившей структуру водосбора, являются лесная мелиорация и осушение болот.

Лососинское водохранилище принадлежит бассейну Онежского озера Балтийского моря. Создано в начале XVII века в результате подтопления двух водоемов. Площадь водосбора — 101 км^2.

Ландшафтные исследования на водосборе проводились в 2023–2024 гг. Для изучения современного состояния ландшафтов применялся ландшафтно-динамический подход, разработанный Г. А. Исаченко и А. И. Резниковым (1998). В системе физико-географического районирования Северо-Запада России водосбор водохранилища относится к Карельской среднетаежной области Восточно-Европейской таежной зоны (Атлас..., 2021).

Ландшафтная структура водосбора достаточно однообразна. В ней преобладают пологонаклонные равнины, сложенные моренными песками и супесями с разной степенью заболоченности (мощность торфа до 0,5 м). На севере и северо-западе водосбора распространены моренные холмы и гряды, сложенные валунно-галечными песками и супесями. В понижениях рельефа распространены олиготрофные и мезоолиготрофные торфяники (мощность торфа до 1–2 м). На долю болот приходится около 14% территории, без учета заболоченных лесов.

Для изучения антропогенных преобразований ландшафтов, наряду с полевыми ландшафтными исследованиями, был проведен анализ топографических карт и космических снимков разных лет.

Выделено пять этапов преобразования ландшафтов водосбора Лососинского водохранилища, обусловленных хозяйственной деятельностью:

I — естественные ландшафты с преобладанием коренных среднетаежных древостоев (до начала XVIII века);

II — начальная трансформация ландшафтов после создания водохранилища (с начала XVIII века до 30-х гг. XX века);

III — трансформация лесного покрова (сплошные рубки леса в 1930–1970-х гг. на 55% площади водосбора);

IV — максимальная трансформация ландшафтов (лесная мелиорация и осушение болот, строительство, дачное освоение и окультуривание земель, рубка леса, разработка песчано-гравийных карьеров, строительство дорог и проведение ЛЭП в 1970–2000-е гг.);

V — относительная стабилизация ландшафтов (с 2000-х гг. по настоящее время).

Основные антропогенные преобразования ландшафтов водосбора произошли за последние 100 лет. Наибольшая часть антропогенных и модифицированных ландшафтов

сосредоточена в двух-трехкилометровой зоне от побережья Лососинского водохранилища. На период 1970–2000-е гг. приходится максимальная трансформация ландшафтов водосбора (лесная мелиорация и осушение болот, военное строительство, дачное освоение и окультуривание земель, рубка леса, разработка песчано-гравийных карьеров, строительство дорог и ЛЭП). Ведущими направлениями хозяйственной деятельности, изменившей структуру ландшафтов водосбора, являются лесная мелиорация и осушение болот (осушено 6% площади водосбора). В результате осушительной мелиорации земель в ландшафтной структуре появились модифицированные природные комплексы — осушенные торфяники и осушенные равнины с избыточным увлажнением. Небольшие по площади, но не менее важные преобразования на водосборе связаны с дачным освоением и окультуриванием земель, разработкой песчано-гравийного карьера, а также с лесозаготовительной деятельностью.

В настоящее время в ландшафтной структуре водосбора наблюдается относительная стабилизация.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственных заданий FMEN-2021-0006 и FMEN-2026-0011 КарНЦ РАН.

Литература

Атлас Республики Карелия. Петрозаводск: Версо, 2021. 48 с.

Исаченко Г. А. Методы полевых ландшафтных исследований и ландшафтно-экологическое картографирование. СПб., 1998. 112 с.

ПРИБРЕЖНО-ВОДНЫЕ МХИ БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА «МЕТСОЛА» (РОССИЯ)

М. А. Бойчук

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

e-mail: boychuk@krc.karelia.ru

SEMI-AQUATIC MOSSES OF THE KOSTOMUKSH STATE NATURE RESERVE, RUSSIA

M. A. Boychuk

Биосферный заповедник «Метсола» создан в 2017 г. с целью сохранения типичного участка подзоны северной тайги Карелии. Он состоит из заповедника «Костомукшский», национального парка «Калевальский» и земель Костомукшского городского округа. Гидрографическая сеть территории хорошо развита. Результаты многолетней инвентаризации мхов позволили выявить 225 видов. Наибольшим богатством отличаются прибрежно-водные местообитания (129 видов). В них выявлено четыре новых вида для Карелии, из которых один оказался новым для России; обнаружено три вида, внесенных в Красную книгу Республики Карелия (2020); отмечено четыре вида, включенных в Красный список Европы (2019). Таким образом, прибрежно-водные местообитания играют важную роль в поддержании и сохранении видового разнообразия мхов биосферного заповедника «Метсола».

Биосферный заповедник — это типичный участок какой-либо природной зоны Земли, который служит эталоном для определения изменений биосферы. Концепция биосферного заповедника разработана в 1974 г. в рамках программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (MAB). Биосферный заповедник, в отличие от обычного заповедника с двумя зонами (заповедная, буферная), имеет еще зону сотрудничества. В ней допускаются населенные пункты и хозяйственная деятельность. Биосферные заповедники призваны демонстрировать сбалансированное взаимодействие природы и человека. Они создаются на базе существующих охраняемых территорий (заповедников, национальных парков, заказников) и прилегающих земель. Всемирная сеть включает 784 биосферных заповедника (в 134 странах), в России — 45, Карелии — 2.

Биосферный заповедник «Метсола» (пер. с карел.— «лесная страна») находится на северо-западе Республики Карелия, у границы с Финляндией. Он создан в 2017 г. с целью сохранения типичного участка подзоны северной тайги Карелии. Биосферный заповедник «Метсола» состоит из заповедника «Костомукшский», национального парка «Калевальский» и земель Костомукшского городского округа. Данный заповедник располагается в пределах северотаежного денудационно-тектонического холмисто-грядового с комплексом ледниковых образований среднезаболоченного ландшафта с преобладанием сосновых местообитаний (Громцев, 2000). Гидрографическая сеть территории хорошо развита. Имеются многочисленные озера (Каменное, Контокки, Суднозеро, Верхнее и Нижнее Лабука, Ладвозеро и др.), реки (Каменная, Контокки, Судно, Ладво и др.), ручьи и ключи. Приоритетным направлением научной деятельности является изучение биоразнообразия, в том числе мхов.

Мхи (бриофиты) — высшие бессосудистые споровые растения, в жизненном цикле которых преобладает гаметофит (половое поколение, образующее гаметы). Вода играет ключевую роль в жизнедеятельности мхов, так как она необходима не только для питания, но и для размножения (оплодотворение наружное, то есть слияние гамет происходит только при наличии воды). У мхов нет корней. Они поглощают воду из грунта с помощью ризоидов (корнеподобных образований), способны впитывать влагу всей поверхностью тела из тумана, росы, осадков. У мхов слабо развита проводящая система. Вода у них не запасается, а испаряется. Они нуждаются в постоянном ее пополнении. Наибольшее число видов приурочено к влажным тропическим лесам.

Бриофлористические исследования на рассматриваемой территории проводились в 1995–1998, 2010–2012, 2016–2024 гг. Мхи собирались с различных типов местообитаний (лесные, болотные, прибрежно-водные, скально-каменистые, луговые, нарушенные) и субстратов. В заповеднике «Костомукшский» выявлено 180 видов (Boychuk, 2021), национальном парке «Калевальский» — 170 (Boychuk, 2025a), г. Костомукше — 150 (Boychuk, 2025b), д. Ладвозеро — 112 (Бойчук, 1998). В целом бриофлора биосферного заповедника «Метсола», с учетом общих видов, включает 225 видов, что составляет 43 % от флоры мхов Карелии (Волкова, Максимов, 1993; с доп.).

Бриофлора прибрежно-водных местообитаний, по сравнению с таковыми других типов местообитаний, отличается наибольшим богатством (129 видов). Это можно объяснить большим количеством чистых (незатронутых хозяйственной деятельностью человека) озер и рек с различными берегами по характеру грунта (песчаный, каменистый, скалистый, торфянистый), благоприятным микроклиматом (освещенность выше, влажность больше), меньшей конкуренцией со стороны сосудистых растений. Большинство прибрежно-водных видов являются эвритопными, так как они имеют широкую экологическую амплитуду и встречаются также на болотах (мочажины), в лесах (сырые западины) и др. К стенотопным (с узким диапазоном толерантности к условиям среды) можно отнести *Fontinalis dalecarlica* (названия видов — по: Hodgetts et al., 2019), *Fontinalis antipyrerica, Calliergon megalophyllum, Warnstorfia trichophylla, Dichelyma falcatum, Philonotis fontana, Fissidens adianthoides, Schistidium agassizii* и др.

При обследовании прибрежно-водных местообитаний повышается вероятность обнаружения новых и редких видов мхов, поскольку к воздушному способу распространения спор (анемохория) добавляется еще и водный (гидрохория). За период исследований выявлено четыре новых вида для Карелии (*Platyhypnum smithii, Diobelonella palustris, Aongstroemia longipes, Fontinalis dichelymoides*), из которых один (*Fontinalis dichelymoides*) оказался новым видом для России (Maksimov et al., 2018). Обнаружено три вида (*Campyliadelphus elodes, Diobelonella palustris, Sphagnum auriculatum*), внесенных в Красную книгу Республики Карелия (2020). Отмечено четыре вида (*Campyliadelphus elodes, Fontinalis dalecarlica, Meesia triquetra, Scorpidium scorpioides*), включенных в Красный список Европы (Hodgetts et al., 2019). Таким образом, прибрежно-водные местообитания играют важную роль в поддержании и сохранении видового разнообразия мхов биосферного заповедника «Метсола».

Литература

Бойчук М. А. Бриофлора проектируемого национального парка «Калевальский» // Биоразнообразие, динамика и охрана болотных экосистем Восточной Фенноскандии. Петрозаводск, 1998. С. 117–132.

Волкова Л. А., Максимов А. И. Список листостебельных мхов Карелии // Растительный мир Карелии и проблемы его охраны. Петрозаводск, 1993. С. 57–91.

Громцев А. Н. Ландшафтная экология таежных лесов: теоретические и прикладные аспекты. Петрозаводск, 2000. 142 с.

Красная книга Республики Карелия. Белгород, 2020. 448 с.

Boychuk M. Mosses of the Kalevala National Park (Republic of Karelia, the European North of Russia) // Novosti sistematiki nizshikh rastenii. 2025a. Vol. 59 (2). P. B47–B56.

Boychuk M. A. Mosses (Bryophyta) of the Kostomuksha State Nature Reserve, Russia // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2021. Vol. 6 (Suppl. 1). P. 89–97.

Boychuk M. A. Mosses of Kostomuksha city (Republic of Karelia, Russia) // Arctoa. 2025b. Vol. 34 (1). P. 61–68.

Hodgetts N., Cálix M., Englefield E., Fettes N., García Criado M., Patin L., Nieto A., Bergamini A., Bisang I., Baisheva E. et al. A miniature world in decline: European Red List of Mosses, Liverworts and Hornworts. Brussels, 2019. 87 p.

Hodgetts N. G., Söderström L., Blockeel T. L., Caspari S., Ignatov M. S., Konstantinova N. A., Lockhart N., Papp B., Schröck C., Sim-Sim M. et al. An annotated checklist of bryophytes of Europe, Macaronesia and Cyprus // Journal of Bryology. 2020. Vol. 42 (1). P. 1–116.

Maksimov A. I., Fedorova A. V., Ignatov M. S. Fontinalis dichelymoides (Fontinalaceae, Bryophyta), a new species for the moss flora of Russia // Arctoa. 2018. Vol. 27 (2). P. 203–207

ТЕНДЕНЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ МЕЛКОВОДНЫХ КРУПНЫХ РЫБОПРОМЫСЛОВЫХ ОЗЕР ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Н. Л. Болотова*, Л. М. Воропай, О. Б. Кузнецова

Вологодский государственный университет, Вологда, Россия

** e-mail: bolotova.vologda@mail.ru*

TRENDS IN THE FORMATION OF WATER QUALITY IN SHALLOW LARGE FISHERIES LAKES OF THE VOLOGDA REGION OVER A LONG PERIOD

N. L. Bolotova, L. M. Voropai, O. B. Kuznetsova

Анализируется изменение качества воды в мелководных рыбопромысловых озерах Белое, Кубенское и Воже за 50-летний период. К негативным процессам относятся эвтрофирование, органическое и токсикологическое загрязнение. Характеризуются источники поступления загрязняющих веществ. Выявлен нелинейный отклик экосистем на степень антропогенной нагрузки, что зависит от морфометрических характеристик озер и особенностей водосборов. К общим тенденциям ухудшения качества воды относятся: повышение взвесей и цветности, уменьшение прозрачности воды, изменение газового режима, сдвиг ионного состава и процессы, ведущие к закислению водоемов, а также увеличение содержания биогенов и токсических веществ.

Последствия глобального загрязнения поверхностных вод на уровне региональных сценариев характеризуются как общими закономерностями, так и специфическими чертами. Антропогенное воздействие преломляется через комплекс природных особенностей водных экосистем, связанных с их происхождением, морфометрическими характеристиками и расположением в определенной ландшафтно-климатической зоне. Наиболее быстро трансформируются мелководные северные озера в плане ухудшения качества воды в результате антропогенного эвтрофирования, органического и токсикологического загрязнения. Данные процессы прослеживаются в крупных мелководных озерах общего приледникового происхождения, расположенных на территории Вологодской области. Это рыбопромысловые озера Белое (1284 км^2), Кубенское (417 км^2) и Воже (418 км^2), имеющие средние глубины 4–2,5–2 м, соответственно. Для сравнительного анализа обобщены имеющиеся гидрохимические данные по пяти десятилетиям начиная с 1970-х гг. по настоящее время.

Наибольший пресс испытывает оз. Белое, входящее в состав Волго-Балтийского водного пути, на втором месте находится Кубенское озеро как звено Северо-Двинской водной системы. Высокая освоенность берегов сопровождается большими объемами стоков от предприятий и населенных пунктов. Озеро Воже, расположенное в труднодоступной болотистой местности и вдалеке от крупных промышленных центров, можно условно отнести к фоновым водоемам. Загрязняющие вещества, помимо локальных источников, поступают с обширных водосборов, а также за счет аэротехногенного переноса. К приоритетным природным факторам относится активное ветровое перемешивание водной толщи и характерные для оз. Кубенского и особенно для оз. Воже — заиление донных отложений и поступление аллохтонной органики с заболоченных водосборов.

Прослеживается увеличение в воде количества взвешенных веществ, и по этому показателю озера ранжируются в следующем порядке: Кубенское > Воже > Белое. Аналогичный ряд выстраивается по увеличению цветности воды озер, что связано с разным поступлением в них болотных вод. По снижению прозрачности озера можно расположить в ряд: Кубенское > Воже = Белое. Наблюдается ухудшение кислородного режима, но разной степени

продвинутости: Воже > Кубенское > Белое, что подтверждается соответствующим трендом показателей биохимического потребления кислорода, отражающим увеличение содержания органических веществ. В то же время значения $БПК_5$, в большей степени связанные с органическим загрязнением из антропогенных источников, заметно возросли в озерах Кубенском и Белом.

В исследуемых озерах отмечается сдвиг ионной композиции воды при снижении показателей гидрокарбонатов, увеличении доли сульфатов и хлоридов, уменьшении показателей кальция и магния. Наибольшие изменения соотношения анионов наблюдаются в Белом озере, затем следуют озера Кубенское и Воже. Деградация бикарбонатной буферной системы создает предпосылки закисления наряду с учетом влияния заболоченных водосборов с преобладанием кислых почв, поступлением кислотных атмосферных осадков, их накоплением в снежном покрове, создающим весной «кислотный эпизод». В то же время природные факторы поддерживают буферность озер, включая наличие карбонатных ландшафтов на водосборах, и колебания pH воды озер остаются в пределах нейтрально-щелочных значений.

Подтвердилась уязвимость мелководных озер к эвтрофированию, количественным индикатором которого служит увеличение содержания в воде биогенных элементов. За прошедшие десятилетия при незначительном повышении концентрации общего фосфора заметно возросла доля минерального фосфора и минерального азота, включая его нитратную форму. Эти признаки антропогенного эвтрофирования связаны с увеличением внешней и внутренней биогенной нагрузки, проведенные расчеты которой позволили ранжировать озера по изменению их трофического статуса. Развитие мелководных озерных экосистем в рамках мезотрофной стадии обеспечивалось приоритетом природных факторов вплоть до 1970-х гг. В настоящее время озера Кубенское и Воже приблизились к границе перехода в эвтрофное состояние, и по степени повышения трофического статуса озера располагаются в следующем порядке: Кубенское = Воже > Белое.

Опасным процессом изменения состояния озер служит поступление широкого спектра токсических веществ, что наглядно отражает ведущую роль в химизме вод антропогенных факторов. Активное ветровое перемешивание в мелководных озерах определяет повсеместное распространение токсикантов. Накоплению загрязняющих веществ способствуют большая площадь профундали крупных озер и их заиление. Хроническое превышение ПДК отмечается для таких токсикантов, как тяжелые металлы, нефтепродукты, фенолы, пестициды, синтетические поверхностно-активные вещества. Результаты исследований выявили, что увеличение концентраций ТМ идет по возрастающей: вода — рыбы — грунт. Кроме того, уровень накопления металлов в наиболее удаленном оз. Воже по некоторым элементам даже выше, чем в озерах Белом и Кубенском, за счет аэротехногенного загрязнения, что подтверждается розой ветров.

Таким образом, взаимодействие природных и антропогенных факторов определяет разную выраженность тенденций в сторону ухудшения физико-химических показателей в сравниваемых озерах. Это касается взвесей, цветности, прозрачности, газового режима, ионной композиции воды, уровня органического загрязнения, содержания биогенов и токсических веществ. Следует подчеркнуть нелинейность отклика на внешнее воздействие на фоне специфики внутриводоемных процессов при морфометрических особенностях мелководных экосистем и разных удельных водосборах, включая их геохимические отличия, разную степень заболоченности и антропогенной трансформации. При гораздо большей антропогенной нагрузке, по сравнению с оз. Кубенским и тем более с оз. Воже, наименьшими сдвигами в природном качестве вод характеризуется Белое озеро. Однако его устойчивость к гумификации, органическому загрязнению и эвтрофированию не уменьшает уязвимости к наиболее опасному процессу токсификации. Многофакторность антропогенного воздействия сопровождается аддитивным и синергетическим эффектом, пролонгированным и каскадным характером последствий, что определяет изменения гидрохимического режима мелководных озер.

МАТЕРИАЛЫ ПО ФАУНЕ РУЧЕЙНИКОВ (TRICHOPTERA) НЕКОТОРЫХ РЕГИОНОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Н. В. Борисова [1]*, А. Б. Ручин [2], М. Н. Есин [2], Е. А. Лобачев [2], С. В. Лукиянов [2], Г. Б. Семишин [2]

[1] Чувашское отделение Русского энтомологического общества, Чебоксары, Россия
[2] ФГБУ «Заповедная Мордовия», Саранск, Россия

** e-mail: natborisova18@yandex.ru*

MATERIALS ON THE TRICHOPTERA FAUNA OF THE SOME REGIONS OF EUROPEAN RUSSIA

N. V. Borisova, A. B. Ruchin, M. N. Esin, E. A. Lobachev, S. V. Lukiyanov, G. B. Semishin

По результатам исследования 2023–2025 гг. приведены новые сведения по фауне ручейников 11 регионов европейской части России. Список обнаруженных таксонов включает 53 вида из 9 семейств. Впервые для Нижегородской области приводятся 11 видов ручейников, Пензенской области — 7 видов, Владимирской области — 5 видов, Рязанской области — 5 видов, Самарской области — 3 вида, Волгоградской области — 3 вида, Воронежской области — 1 вид, Тамбовской области — 1 вид, Липецкой области — 1 вид. В фауне ручейников Московской области подтверждено присутствие 7 ранее известных видов, в Саратовской области — 4 видов. Наиболее многочисленны в сборах представители семейств Limnephilidae, Phryganeidae, Leptoceridae (81% от общего объема материала). Массовыми видами являются *Phryganea grandis*, *Trichostegia minor*, *Limnephilus flavicornis*, *Limnephilus sparsus*.

Изучение фауны ручейников (Trichoptera) является важной составной частью мониторинга биоразнообразия. Актуальность таких исследований не вызывает сомнения, поскольку экологическая роль ручейников в природе весьма велика (Шубина, 2012; Morse et al., 2019; Pozojevic et al., 2021). Региональные трихоптерофауны до сих пор изучены недостаточно, а имеющиеся публикации носят разрозненный характер.

Настоящее сообщение содержит новые данные по фауне ручейников 11 регионов европейской части России (Владимирской, Волгоградской, Воронежской, Липецкой, Московской, Нижегородской, Пензенской, Рязанской, Самарской, Саратовской, Тамбовской областях), полученные авторами в 2023–2025 гг. В ходе работы применялись как традиционные методы сбора ручейников (лов на свет и кошение), так и ловушки Малеза. Последними отловлено 89,6% материала. В целом обработано 1200 экземпляров имаго, относящихся к 53 видам из 9 семейств.

По обобщенным литературным данным, список ручейников изученных регионов включает более 100 таксонов (Ivanov, 2011; Борисова и др., 2026). В результате исследования были выявлены новые виды ручейников. Впервые для фауны Нижегородской области приводится 11 видов (*Hagenella clathrata* (Kolenati, 1848), *Oligostomis reticulata* (Linnaeus, 1761), *Trichostegia minor* (Curtis, 1834), *Anabolia brevipennis* (Curtis, 1834), *A. concentrica* (Zetterstedt, 1840), *A. furcata* Brauer, 1857, *Limnephilus decipiens* (Kolenati, 1848), *L. dispar* McLachlan, 1875, *L. externus* Hagen, 1861, *L. ignavus* Mclachlan, 1865, *Nemotaulius punctatolineatus* (Retzius, 1783)), Пензенской области — 7 видов (*Hydropsyche angustipennis* (Curtis, 1834), *H. contubernalis* Mclachlan, 1865, *Anabolia furcata* Brauer, 1857, *Glyphotaelius pellucidus* (Retzius, 1783), *Grammotaulius nigropunctatus* (Retzius, 1783), *Ironoquia dubia* (Stephens, 1837), *Limnephilus bipunctatus (*Curtis, 1834), Владимирской области — 5 видов (*Psychomyia pusilla* (Fabricius, 1781), *Limnephilus fuscicornis* (Rambur, 1842), *L. griseus* (Linnaeus, 1758), *L. sparsus* Curtis, 1834, *Stenophylax lateralis* (Stephens, 1837)), Рязанской области — 5 видов (*Oligostomis reticulata* (Linnaeus, 1761), *Stenophylax lateralis* (Stephens, 1837), *Molanna*

albicans (Zetterstedt, 1840), *Ceraclea albimacula* (Rambur, 1842), *Oecetis furva* (Rambur, 1842)), Самарской области — 3 вида (*Agraylea sexmaculata* Curtis, 1834, *Agrypnia varia* (Fabricius, 1793), *Phryganea grandis* Linnaeus, 1758), Волгоградской области — 3 вида (*Phryganea grandis* Linnaeus, 1758, *Anabolia furcata* Brauer, 1857, *Grammotaulius nitidus* (Müller, 1764)), Воронежской области — 1 вид (*Limnephilus dispar* McLachlan, 1875), Тамбовской области — 1 вид (*Agrypnia varia* (Fabricius, 1793)), Липецкой области — 1 вид (*Stenophylax lateralis* (Stephens, 1837)). В фауне ручейников Московской области подтверждено присутствие 7 ранее известных видов, в фауне ручейников Саратовской области — 4 вида.

Наиболее многочисленными в сборах являются представители семейств Limnephilidae, Phryganeidae, Leptoceridae (81% от общего объема материала). На долю семейств Hydroptilidae, Psychomyiidae, Odontoceridae, Polycentropodidae, Molannidae, Hydropsychidae, включающих от одного до трех видов, приходится 19%. Массовыми видами являются *Ph. grandis, T. minor*, *L. flavicornis*, *L. sparsus*.

Таким образом, проведенное исследование позволило значительно пополнить сведения о таксономическом составе ручейников 11 регионов Европейской России и выявить новые виды. Полученные результаты носят промежуточный характер. В дальнейшем работа по изучению региональных фаун ручейников будет продолжена.

Исследование выполнено при частичной поддержке гранта Российского научного фонда № 22-14-00026-П.

Литература

Борисова Н. В., Ручин А. Б., Есин М. Н., Лобачев Е. А., Семишин Г. Б. Фауна ручейников (Insecta: Trichoptera) Республики Мордовия (Россия) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2026. № 11 (2). С. 82–94.

Шубина В. Н. Ручейники (Trichoptera) водоемов Печорского бассейна. СПб.: Наука, 2012. 183 с.

Ivanov V. D. Caddisflies of Russia: Fauna and biodiversity. 2011. Zoosymposia. Vol. 5. P. 171–209.

Morse J. C., Frandsen P. B., Graf W., Thomas J. A. Diversity and ecosystem services of Trichoptera // Insects. 2019. Vol. 10 (5). 125 p.

Pozojevic I., Ivkovic M., Cetinic K. A. et al. Peeling the layers of caddisfly diversity on a longitudinal gradient in karst freshwater habitats reveals community dynamics and stability // Insects. 2021. Vol. 12. 234 p.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ КАРЕЛИИ

Г. С. Бородулина*, Г. А. Изотов

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

** e-mail: bor6805@yandex.ru*

ORGANIC MATTER AND BIOGENIC ELEMENTS IN GROUNDWATER OF KARELIA

G. S. Borodulina, G. A. Izotov

Обобщена информация о содержании органического вещества и биогенных элементов в подземных водах Карелии за последние 50 лет, получены новые данные по содержанию органического углерода и общего азота. Выполнена количественная оценка соединений азота и фосфора, а также определена величина перманганатной окисляемости в подземных водах региона. Концентрации азота общего и углерода органического в подземных водах Карелии сравнимы с их величинами на территории Финляндии и мировыми глобальными показателями для подземных вод.

Подземные воды Карелии характеризуются в целом невысокой минерализацией и отличаются разнообразным химическим составом, что обусловлено проявлением совокупности природных и антропогенных факторов (Бородулина, Левичев, 2019), но вопрос о содержании органического вещества (ОВ) в подземных водах Карелии остается мало изученным. Косвенные сведения о содержании ОВ в подземных водах до последнего времени основывались на данных по цветности воды и перманганатной окисляемости (ПО). Эти показатели продолжают пополнять гидрогеохимическую базу данных наряду с данными по фосфору и минеральным формам азота. В последние годы впервые начаты количественные определения органического углерода и общего азота.

Как правило, подземные воды визуально бесцветны, в 50 % случаев показатель оказывается менее 5 градусов. Вода с высокой цветностью обнаруживается исключительно в гидротехнических сооружениях — в колодцах, недостаточно изолированных от поверхностного стока, застойных скважинах.

В среднем величина ПО в подземных водах Карелии ($n > 3000$) составила 3,6 мгО/л, и лишь в 10 % проб превышает 10 мгО/л. Содержание фосфора в подземных водах изменяется в широком диапазоне, но в целом низкое и сравнимо с фоновыми концентрациями в поверхностных водах (17 мкг/л) (Лозовик и др., 2016).

В целом концентрации всех форм азота низкие (медианы: NO_2^- = 0,01 мг/л, NH_4^+ = 0,1 мг/л, NO_3^- = 0,2 мг/л), 75 % выборки не превышают первых единиц мг/л. Антропогенное влияние приводит к накоплению нитратов в подземных водах или органического азота в поверхностных. Как известно, единственным геохимическим фактором, влияющим на изменение концентраций соединений азота в подземных водах, является их окислительно-восстановительный потенциал (Eh) (Крайнов и др., 1991; Лозовик, Бородулина, 2009). Околонейтральные кислородные воды являются благоприятными для неограниченного роста нитратов, поэтому при Eh более +200 мВ в диапазоне pH 5,5–7,5 концентрации нитратов иногда достигают запредельных концентраций, в разы превышая их ПДК (45 мг/л). Такая геохимическая обстановка характерна для подземных вод, формирующихся в верхней гидрогеохимической зоне в четвертичных отложениях и трещиноватых кристаллических породах выше местного базиса дренирования. Это является опасным фактором, поскольку воды этой зоны используются для питьевого (в основном децентрализованного) водоснабжения в Карелии и особенно широко в Финляндии (Водные…, 2006).

Концентрации $NH_4^+ > 1$ мг/л в подземных водах встречаются в 10 % случаев, но до последнего времени аномальные содержания (выше 10 мг/л) вызывали сомнения. Хотя известно, что в подземных водах с Eh менее +150 мВ могут быть обнаружены сколь угодно высокие концентрации NH_4^+ (Крайнов и др., 1991). В грунтовых горизонтах с низкими значениями Eh в непосредственной близости от источника загрязнения формируются бескислородные воды, в которых NH_4^+ достигает 9,6 мг/л. Исследования последних лет с тщательным анализом, контролем различными методами и мониторингом объектов подтвердили случаи необычайно высоких концентраций в водах скважин. Так в вершине Уницкой губы скважинами в шунгитовых сланцах вскрыты напорные солоноватые воды (минерализация 1,5 г/л) хлоридно-гидрокарбонатно-натриевого состава с содержанием NH_4^+ 16 мг/л. Характерными особенностями газового состава воды скважин являются наличие сероводорода и практически полное отсутствие в ионном составе сульфатов (менее 2,2 мг/л).

Содержание органического углерода и общего азота в подземных водах Карелии (по результатам прямого определения) показало значительный диапазон концентраций: $C_{орг}$ 0,1–27,8 мг/л и $N_{общ}$ 0,05–9,3 мг/л. Максимальные концентрации $C_{орг}$ обнаружены в грунтовых водах населенных территорий. Средние и медианные показатели $C_{орг}$ как для Карелии и Финляндии, так и мировые, одного порядка: 3,8 мгС/л (глобальная средняя), средняя для Карелии и Финляндии 2,5–5,4 мгС/л. Глобальных оценок содержания общего азота в подземных водах не существует, средняя и медианная концентрации $N_{общ}$ в подземных водах Карелии составляют 1,36 и 0,4 мгN/л, соответственно.

Средние и медианные концентрации $C_{орг}$ и $N_{общ}$ в подземных водах Карелии мало отличаются от их содержаний в пробах снега (1,9–1,6 мгС/л и 0,8–0,6 мгN/л).

Анализ результатов прямого определения концентраций $C_{орг}$ в подземных водах показал значимую положительную корреляцию $C_{орг}$ с величиной ПО, что позволяет использовать данные предыдущих лет, полученные по косвенным показателям. Более значимая связь $C_{орг}$ обнаруживается с хлорид-ионом, что подтверждает возможную генетическую связь богатых органикой вод с глубинным источником.

В отличие от поверхностных вод, в большинстве случаев в подземных наблюдается превышение минеральных форм азота над органическими. Содержания азота органического, рассчитанные с учетом прямых определений $N_{общ}$, изменяются в диапазоне 0–1,5 мгN/л (средняя 0,2 мгN/л и медиана 0,08 мгN/л).

Подземные воды могут быть важным источником лабильного органического вещества для поверхностных вод, что подчеркивает важность его включения в глобальные оценки углеродного бюджета.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВПС КарНЦ РАН.

Литература

Бородулина Г. С., Левичев М. А. Ресурсы и геохимия подземных вод Карелии // Горный журнал. 2019. № 3. С. 71–75.

Лозовик П. А., Бородулина Г. С., Карпечко Ю. В., Кондратьев С. А., Литвиненко А. В., Литвинова И. А. Биогенная нагрузка на Онежское озеро по данным натурных наблюдений // Труды Карельского научного центра. Серия Лимнология. 2016. № 5. С. 35–52.

Лозовик П. А., Бородулина Г. С. Соединения азота в поверхностных и подземных водах // Водные ресурсы, 2009. Т. 36, № 6. С. 694–704.

Крайнов С. Р., Соломин Г. А., Закутин В. П. Окислительно-восстановительные условия трансформаций соединений азота в подземных водах (в связи с решением геохимико-экологических проблем). Геохимия. 1991. № 6. С. 822–831.

Водные ресурсы Республики Карелия и пути их использования для питьевого водоснабжения. Опыт карельско-финляндского сотрудничества / ред.: Н. Филатов, А. Литвиненко, А. Сяркиоя, Р. Порттикиви, Т. Регеранд. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 263 с.

ФОРМЫ ТРАНСПОРТА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РЕКАХ БАССЕЙНА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

А. С. Быстрова*, О. Н. Ерина, С. Р. Чалов

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

** e-mail: bistrova.ann@yandex.ru*

NUTRIENT TRANSPORT FORMS IN RIVERS OF THE ARCTIC OCEAN BASIN

A. S. Bystrova, O. N. Erina, S. R. Chalov

На основе данных учащенного мониторинга 2024–2026 гг. исследованы формы транспорта азота и фосфора в реках Северная Двина, Обь, Енисей и Лена. Установлено, что преобладающей формой азота является растворенный органический азот (55–80 % общего содержания растворенного азота), среди минеральных форм преобладает аммоний (42–70 % содержания растворенного минерального азота). Транспорт фосфора имеет межбассейновые различия: в Оби доминирует взвешенный минеральный фосфор (74 % содержания общего фосфора), в Енисее — растворенный (7 % содержания общего фосфора). Игнорирование взвешенных и органических форм приводит к недооценке биогенного стока в арктические моря на 20–70 %.

Арктический регион характеризуется наибольшей интенсивностью потепления климата, что приводит к изменению биогенного стока рек. Речной сток является главным источником поступления биогенных элементов (в данной работе подробно рассматриваются формы азота и фосфора) в Северный Ледовитый океан, однако системы государственного мониторинга часто ограничиваются измерением лишь минеральных форм или общего содержания элементов, что не позволяет оценить реальную структуру переноса. Объектами исследования выбраны реки Северная Двина (г. Архангельск), Обь (г. Салехард), Енисей (г. Игарка) и Лена (остров Самойловский). Материалом послужили данные учащенного мониторинга лаборатории геохимии природных вод МГУ за 2024–2026 гг., включающие определения общего (TN), общего растворенного (TDN), нитритного, нитратного и аммонийного азота, а также общего фосфора (TP), общего растворенного фосфора (TDP), общего минерального (TIP) и растворенного минерального (DIP) фосфора. Измеренные концентрации позволили рассчитать взвешенные, органические и минеральные формы (TPN, DON, DIN, TPP, DIP, DOP, POP, PIP). Гидрологическая информация об уровнях и расходах воды получена из баз данных ALLRivers и ArcticGRO.

Установлено, что во всех исследованных реках преобладающей формой транспорта азота является растворенный органический азот (DON), доля которого в переносе растворенного азота (TDN) составляет от 55 % (Лена) до 80 % (Северная Двина). В составе растворенного минерального азота (DIN) во всех реках доминирует аммонийная форма (42–70 %), максимальные значения достигаются в Лене. Транспорт фосфора обнаруживает значительные межбассейновые различия. В Оби доминирует взвешенный минеральный фосфор (PIP) — 74 % от общего фосфора (TP), что обусловлено высокой эрозионной активностью и транспортирующей способностью потока. В Енисее, напротив, преобладает растворенный фосфор (TDP) — 71 % TP, что связано с низкой мутностью воды и глубоким грунтовым питанием. Северная Двина и Лена занимают промежуточное положение с примерно равным вкладом растворенной и взвешенной форм. Сравнение с архивными данными ArcticGRO показало, что современные концентрации TDN, TPN и NH_4^+ выше архивных для Оби и Енисея, что объясняется более подробным учетом зимнего периода и пиков половодья в реализуемой программе мониторинга. Гидрологические условия 2024–2026 гг. признаны типичными для всех четырех рек.

Игнорирование взвешенных и органических компонентов при изучении транспорта биогенных веществ приводит к недооценке реального потока биогенных элементов в арктические моря на 20–70 %. Для более корректной оценки потоков биогенных веществ в условиях меняющегося климата необходим круглогодичный учащенный мониторинг с раздельным определением растворенных и взвешенных, органических и минеральных форм.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Правительства Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2025-008 от 27.02.2025 г.).

РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ ЕНИСЕЙ: РАДИОНУКЛИДНЫЙ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ

В. И. Вахрушев*, А. Я. Болсуновский

Институт биофизики СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

** e-mail: vavadbka@yandex.ru*

RADIOACTIVE CONTAMINATION OF BOTTOM SEDIMENTS OF THE YENISEI RIVER: RADIONUCLIDE AND GRANULOMETRIC COMPOSITION

V. I. Vakhrushev, A. Ya. Bolsunovsky

Анализ радионуклидного и гранулометрического состава донных отложений р. Енисей позволил уточнить условия формирования отдельных слоев с максимальным содержанием ^{137}Cs, относящихся к крупным паводковым событиям.

Актуальной экологической проблемой является масштабное загрязнение р. Енисей техногенными радионуклидами в результате многолетней деятельности Горно-химического комбината (ГХК) Росатома и глобальных атмосферных выпадений. В донных отложениях (ДО) реки ниже зоны сбросов комбината ранее регистрировали широкий спектр техногенных радионуклидов: изотопы европия (^{152}Eu, ^{154}Eu и ^{155}Eu), цезия (^{137}Cs и ^{134}Cs), ^{60}Co, ^{90}Sr и трансурановые элементы. В кернах ДО отмечены максимумы ^{137}Cs, что может быть следствием как переноса по течению реки взвешенных частиц с радионуклидами, так и прямых радиоактивных сбросов комбината. Крупные паводки на р. Енисей в 1966, 1988 и 2006 гг. приводили к затоплению поймы реки, переносу взвеси на большие расстояния и формировали радиоактивные ДО (Болсуновский, Дементьев, Вахрушев, 2021; Вахрушев, Болсуновский, 2025).

Речные ДО представляют собой совокупность минеральных и органических частиц различной фракции, образованных процессами эрозии горных пород и почв, а также механическим воздействием водного потока на берега и дно рек. Для реконструкции условий формирования слоев с максимальным содержанием техногенных радионуклидов было проведено комплексное исследование ДО.

Цель работы — исследование радионуклидного состава и структурных особенностей донных отложений поймы р. Енисей.

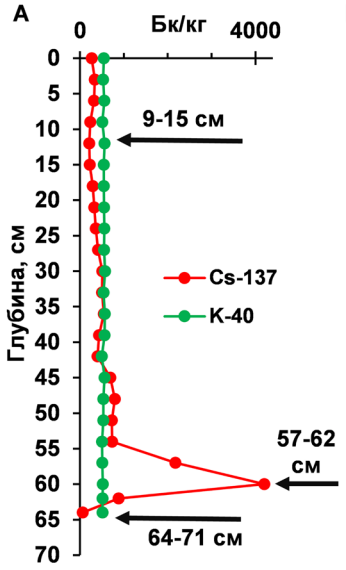
Район отбора кернов ДО расположен в 15-км зоне ниже по течению р. Енисей от ГХК. При отборе использовали цилиндрические стальные пробоотборники с лепестковыми затворами. Керны ДО делили на слои по 2–4 см и анализировали на содержание радионуклидов на полупроводниковом γ-спектрометре. Разделение проб ДО на фракции осуществляли «сухим» ситовым методом с размером отверстий 1,0; 0,5; 0,25; 0,1; 0,053 мм. Просеивание проводили с помощью электрического вибросепаратора. Термогравиметрический анализ проводили по стандартной методике.

На рис. (А) в качестве примера приведены данные по вертикальному распределению радионуклидов ^{137}Cs и ^{40}K в керне ДО вблизи ГХК. Слой максимального содержания ^{137}Cs на глубине 57–62 см был датирован крупным паводком 1966 г. Для выявления закономерностей в формировании слоев ДО, связанных с паводком 1966 г., были также проанализированы слои относительно низкой активности ^{137}Cs, расположенные выше (9–15 см) и ниже (64–71 см) паводкового слоя. Анализ фракционного состава слоев ДО проводили на основе сопоставления насыпных плотностей и массовых долей фракций.

Как следует из данных рис. (Б), в верхних и нижних непаводковых слоях ДО (9–15 и 64–71 см) насыпная плотность всех фракций варьировала в пределах 0,80–1,61 г/см^3.

Гранулометрический анализ этих слоев показал, что в крупных фракциях ДО (№ 1 и 2) при плотности менее 1,0 г/см³ содержится 2,2–6,6 % вещества. Для этих слоев фракции № 4 и 5 (53–500 мкм) составили значительную долю — 74–94 %. Для слоя ДО, образовавшегося в результате паводка 1966 г. (57–62 см), насыпная плотность всех фракций изменялась от 0,95 до 1,43 г/см³ и не отличалась от плотности непаводковых слоев. Анализ паводкового слоя ДО показал, что в крупных фракциях (от 500 до > 1000 мкм) содержится 15,6 % массы при плотности менее 1,0 г/см³, что значительно больше по сравнению с аналогичными фракциями верхнего непаводкового слоя (2,2 %). Основная масса вещества в паводковом слое (58,8 %) приходится на фракции № 4 и 5 с плотностью выше 1,0 г/см³ (до 1,43 г/см³). Таким образом, паводковый слой (57–62 см) характеризуется увеличением доли крупнозернистого материала (от > 1000 до 1000–500 мкм) по сравнению с верхним слоем (9–15 см). При этом доля песков средней крупности (от 53 до 500 мкм) в паводковом слое (58,8 %) оказалась ниже, чем в верхнем непаводковом слое (86–94 %).

А



Б

Слой	Классы, мкм	№ фр.	Выход, масс%	ρ, г/см³	^{137}Cs, Бк/кг
9-15 см	> 1000	1	1,22	0,84	330
	1000-500	2	0,99	0,80	470
	500-250	3	7,90	1,36	300
	250-100	4	80,38	1,61	150
	100-53	5	5,65	1,30	480
	< 53	6	3,86	1,21	940
57-62 см	> 1000	1	6,98	0,95	4400
	1000-500	2	8,68	0,95	4400
	500-250	3	5,95	0,96	4100
	250-100	4	32,40	1,30	2200
	100-53	5	26,38	1,43	2400
	< 53	6	19,60	1,24	3300
64-71 см	>1000	1	3,09	0,84	170
	1000-500	2	3,53	0,80	150
	500-250	3	3,93	1,07	120
	250-100	4	53,16	1,44	40
	100-53	5	20,86	1,42	60
	< 53	6	15,43	1,10	120

Пример вертикального распределения радионуклидов ^{137}Cs и ^{40}K
в керне донных отложений (А) и гранулометрический состав отдельных слоев (Б)

Анализ распределения ^{137}Cs по гранулометрическим фракциям показал более высокую активность ^{137}Cs в крупных размерных фракциях по сравнению с фракциями № 4 и 5, преобладающими по массе. При этом рассчитанные коэффициенты обогащения ^{137}Cs для фракций № 1, 2 и 3 всех слоев ДО были больше 1 и доходили до 2,2–2,5; для фракций № 4 и 5 — коэффициенты были меньше 1. Для ^{40}K не было отмечено фракционного обогащения. Накопление ^{137}Cs в крупных неразрушенных агрегатах, сформированных под влиянием паводков, вероятно, обусловлено повышенным содержанием органического вещества. Для уточнения различий в содержании органического вещества между фракциями ДО проведена термогравиметрия. Содержание органики по параметру LOI при 450 °C показало существенные различия между крупными фракциями паводкового слоя № 2 и 3 (4,23±0,08 %) и фракциями № 4 и 5 (2,47±0,11 %). Следовательно, ^{137}Cs наибольшим образом связан с органическим веществом крупных фракций ДО, привнесенных во время паводка.

Литература

Болсуновский А. Я., Дементьев Д. В., Вахрушев В. И. Масштабный перенос техногенных радионуклидов по течению реки Енисей во время экстремального паводка 1966 г. // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 498, № 2. С. 189–194.

Вахрушев В. И., Болсуновский А. Я. Оценка потоков депонирования 137Cs в донных отложениях реки Енисей на основе современных методов расчета // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2025. Т. 336, № 8. С. 207–226.

ФАУНА И СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА В ВОДОЕМАХ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ОКРЕСТНОСТЕЙ ГОРОДА НОРИЛЬСКА (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)

Е. И. Верхова [1]*, С. В. Крыленко [1], М. А. Трухан [1], А. А. Новичкова [1], Е. С. Чертопруд [2]

[1] Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия
[2] Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

** e-mail: once.upon.a.time@inbox.ru*

FAUNA AND COMMUNITY STRUCTURE OF MACROZOOBENTHOS IN WATER BODIES OF ANTHROPOGENICALLY DISTURBED AREAS IN THE VICINITY OF NORILSK (KRASNOYARSK KRAI)

E. I. Verkhova, S. V. Krylenko, M. A. Trukhan, A. A. Novichkova, E. S. Chertoprud

В июле 2025 г. исследованы сообщества макрозообентоса 30 малых водоемов, расположенных на трансекте в окрестностях г. Норильска. Обнаружено 70 таксонов организмов в составе пяти классов макробеспозвоночных. Видовое богатство и численность зообентоса увеличивались по мере удаления от города. Структура доминирования была разной в сообществах четырех групп водоемов, находящихся на расстоянии 1, 8, 18 и 80 км от эпицентра антропогенного воздействия. Интегральные характеристики сообществ указывают на трансформацию водных экосистем в ближайших окрестностях города. По мере удаления от Норильска происходят восстановление структуры сообществ и приближение ее характеристик к значениям фонового участка у подножия плато Путорана. Близкая тенденция снижения качественных и количественных показателей макрозообентоса отмечена при сравнении водоемов разных высотных зон плато Путорана, но в данном случае изменения обусловлены естественными причинами — микроклиматом.

В окрестностях г. Норильска расположено множество озер и речных стариц, подвергающихся значительному антропогенному влиянию. Однако реакция сообществ донных макробеспозвоночных на это воздействие остается недостаточно изученной. Целью данной работы являлся анализ изменений структуры сообществ макрозообентоса малых водоемов, расположенных на разном расстоянии от города.

В рамках исследования особенностей сообществ макрозообентоса в июле 2025 г. была заложена трансекта, включающая несколько локусов отбора проб на разном расстоянии от города. Пробы отбирали в шести районах (три антропогенно нарушенных и три с высотным градиентом): на восточной окраине Норильска (1 км от города); на окраине района Оганер (8 км); на правом берегу р. Норильской (18 км); у истока р. Рыбной на плато Путорана в охранной зоне ГПЗ «Путоранский» (80 км, 90 м н. у.м.), а также два района на высотах 113 м н. у.м. и 590 м н. у.м. В общей сложности обследовано 30 водоемов, по 5–6 в каждом локусе. Последний район, расположенный в охранной зоне ГПЗ «Путоранский» у подножия горного плато, был выбран в качестве фонового участка. Сбор макрозообентоса производили полусферическим пробоотборником (диаметр 15 см, ячея 1 мм) в нескольких точках водоема. Материал фиксировали 96%-ным этанолом. Для каждого водоема проводили общее гидрологическое описание и измеряли базовые гидрохимические параметры. Статистический анализ данных обработки проб выполняли в пакете программ PAST версия 5.1.

Всего идентифицировано 70 таксонов в составе пяти классов макробеспозвоночных. Наибольшим разнообразием характеризовался класс Insecta (81,4% от списка таксонов). Остальные 18,6% были распределены между Clitellata (11,4%), Gastropoda (4,3%), Bivalvia (1,4%) и Malacostraca (1,4%). По мере удаления от города наблюдалось повышение средней численности макрозообентоса и его таксономического разнообразия (табл.). Значение индекса разнообразия Симпсона (1-D) было минимальным около Норильска, но возрастало и выходило на плато уже на расстоянии 8 км от города и даже немного снижалось в контрольном

локусе. Особенно ярко был выражен рост обилия моллюсков (от 0 до 105,3±115,54 экз./м^2), поденок (Ephemeroptera) (от 0 до 87,75±70,69 экз./м^2) и стрекоз (Odonata) (от 10,08±11,48 до 14,04±17,20 экз./м^2).

Характеристики сообществ макрозообентоса малых водоемов на разном расстоянии от г. Норильска

Район	Восточная окраина	Окраина района Оганер	Правый берег р. Норильской	Исток р. Рыбной
Расстояние от города, км	1	8	18	80
Среднее число таксонов	5,0±3,1	7,8±3,6	9,8±2,1	12,00±7,5
Средняя численность (экз./м^2)	71,7±74,8	204,3±132,9	326,4±130,5	287,8±197,6
Индекс разнообразия Симпсона (1-D)	0,61±0,35	0,77±0,07	0,77±0,07	0,72±0,15

Четыре исследованные группы озер статистически значимо отличались по структуре сообществ макрозообентоса ($p = 0,02$; $R = 0,27$). В водоемах группы восточной окраины города и района Оганер доминировали виды Chironomidae 13,6% и 26,8% от общей численности, соответственно. В водоемах правого берега р. Норильской был многочисленен вид *Cloeon* gr. *dipterum*, составляющий 21,0% от общей численности. В сообществах озер фоновой группы преобладал водяной клоп *Callicorixa* sp., составляющий 40,1% от общей численности организмов.

Дополнительно на заповедной территории ГПЗ «Путоранский» рассмотрено влияние высоты н.у.м. на структуру сообщества макрозообентоса. Вместе с ростом высоты отмечено снижение видового богатства от 12,0±7,5 на 90 м до 5,50±1,9 на 590 м и численности — от 287,8±197,6 на 90 м до 193,2±285,9 на 590 м. Наиболее существенно упало разнообразие водных клопов (Hemiptera) — от 1,8±1,5 у подножия до 0,5±1,2 в горных тундрах. Численность сильнее всего снизилась у моллюсков — от 39,20±41,90 у подножия до 4,67±8,97 в горах.

Таким образом, на основании снижения численности, видового богатства и разнообразия макрозообентоса в ближайшей к городу точке по сравнению с фоном можно заключить, что макробеспозвоночные там подвергаются существенному антропогенному воздействию. Уже в водоемах, удаленных от города на 18 км, качественные и количественные характеристики сообществ частично восстанавливаются, хотя и отличаются от фонового участка пониженным видовым богатством. Примечательно, что сходная тенденция снижения числа видов и обилия организмов отмечена и при сравнении водоемов разных высотных зон плато Путорана, но вызвана она естественными причинами, связанными в первую очередь с зональной изменчивостью микроклимата.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-24-00881, https://rscf. ru/project/25-24-00881.

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам ФГБУ «Объединенной дирекции заповедников Таймыра», а также П.Н. Петрову, А.А. Прокину, Л.В. Воробьевой за помощь при идентификации таксонов.

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОПУЛЯЦИЙ РАЧКА *ARTEMIA* SPP. В НЕКОТОРЫХ РАЗНОТИПНЫХ ГИПЕРГАЛИННЫХ ОЗЕРАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Л. В. Веснина*, Д. М. Безматерных, М. В. Лассый, Ю. А. Веснин, К. К. Рябова

Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, Барнаул, Россия

** e-mail: artemia.vesnina@mail.ru*

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF *ARTEMIA* SPP. POPULATIONS IN SOME DIVERSE HYPERSALINE LAKES IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

L. V. Vesnina, D. M. Bezmaternyh, M. V. Lassy, Vesnin Yu. A., K. K. Ryabova

Межгодовая и сезонная динамика экологического состояния гипергалинных озер юга Западной Сибири обусловлена погодными и климатическими флуктуациями, а также хозяйственной деятельностью, которые отражаются на структурно-функциональных характеристиках популяций рачка *Artemia* spp. Численность артемии регулируется как абиотическими, так и биотическими факторами среды, которые определяют динамику воспроизводства этого биоресурса. Популяции рачка *Artemia* spp. в различных озерах имеют разные пределы толерантности к основным абиотическим факторам и асинхронное развитие возрастных стадий. Выявлена средняя положительная статически значимая связь между наблюдаемым количеством стадий развития рачка артемии и температурой воды за период с апреля по июнь — $r = 0{,}56$ ($p < 0{,}05$).

Исследование разнотипных гипергалинных озер юга Западной Сибири проводилось в период с апреля по сентябрь 2025 г. Зоопланктон представлен галофильными жаброногами из рода *Artemia* Leach, 1819. На основе ДНК-баркодинга установлено наличие двух видов: партеногенетического *A. parthenogenetica*, зарегистрированого в озерах Большое Шкло, Большое Яровое, Кривая Пучина, Кулундинское, Кучукское, Малиновое, Малое Яровое, Мормышанское, Шукыртуз; бисексуального *A. tibetiana* (ранее определенного как *A.* sp. Kazakhstan) — в озерах Малое Шкло, Танатар III (Веснина и др., 2025).

Разнотипные гипергалинные озера характеризуются различной площадью: от больших (оз. Кулундинское — 728,0 км^2) до малых (оз. Малое Шкло — 1,3 км^2) (Веснина и др., 1999). Колебания межсезонной минерализации рапы находится в пределах от 55,0 (оз. Малое Шкло) до 249,0 г/л (оз. Кучукское), диапазон динамики температуры рапы составляет 3,7 (оз. Мормышанское, апрель) — 32,0 °С (оз. Кучукское, июнь).

Развитие рачка артемии из цист в естественных гипергалинных водоемах начинается с апреля. Наши исследования показали, что развитие возрастных стадий в изученных озерах происходит асинхронно. Это, вероятно, связано с различием абиотических факторов в них. Поскольку артемия относится к теплолюбивым видам, ее развитие зависит в первую очередь от температуры воды, а также от ее минерализации (Одум, 1975).

Максимальная температура воды в апреле по исследуемым водоемам находилась в пределах 10,1–10,5 °С (оз. Малиновое, оз. Танатар III). В этих озерах зарегистрировано развитие разновозрастных стадий рачка артемии от ортонауплиусов до ювенильных с максимальной длиной последних 3,150±0,035 мм и 3,120±0,020 мм, соответственно. В других озерах отмечено развитие только орто- и метанауплиусов от I до IV стадий развития рачка артемии с максимальной длиной тела последних в оз. Кривая Пучина — 2,208±0,070 мм, в оз. Мормышанское — 1,643±0,021 мм, в оз. Большое Яровое — 0,608±0,022 мм в (при температуре воды от 3,7 до 10,0 °С).

В мае 2025 г. зарегистрированы стадии развития рачка артемии от ортонауплиусов до взрослых особей с семенным материалом и яйцевой сумкой (овисаком) в озерах Кучукское, Малиновое, Малое Яровое, Танатар III, Шукыртуз с максимальной длиной тела последних от 7,500 мм (оз. Танатар III) до 10,918±0,298 мм (оз. Шукыртуз). В данный период температура воды в этих озерах колебалась от 21,5 (оз. Танатар III, оз. Шукыртуз) до 27,0 °C (оз. Кучукское).

В других озерах развитие разновозрастных стадий отмечено от ортонауплиусов до предвзрослых особей с длиной тела последних от 6,200 мм (оз. Большое Шкло) до 7,650±0,492 мм (оз. Кулундинское). Температура воды в этих озерах колебалась от 18,7 (оз. Большое Шкло) до 24,5 °C (оз. Мормышанское). Одновременно с этим в оз. Танатар III отмечено развитие взрослых особей самцов рачка артемии с длиной тела 6,900±0,100 мм.

Таким образом, в мае отмечено завершение развития первого поколения рачка артемии от ортонауплиусов до половозрелых особей в озерах Кучукское, Малиновое, Малое Яровое, Танатар III, Шукыртуз. В озерах Большое Шкло, Большое Яровое, Кулундинское, Кривая Пучина, Малое Шкло, Мормышанское развитие рачка артемии находилось на стадиях от ортонауплиусов до предвзрослых особей.

В июне 2025 г. зарегистрированы стадии рачка артемии от ортонауплиусов (оз. Танатар III) до взрослых особей с семенным материалом и сформировавшейся яйцевой сумкой в озерах Большое Яровое, Кулундинское, Кучукское, Малиновое, Малое Яровое, Мормышанское, Танатар III, Шукыртуз с максимальной длиной тела последних от 8,060±0,158 мм (оз. Мормышанское) до 12,863±0,666 мм (оз. Малое Яровое). В этот период температура воды в озерах колебалась от 24,0 (оз. Малое Яровое) до 32,0 °C (оз. Кучукское). В других озерах отмечены стадии развития от метанауплиусов I до предвзрослых особей с динамикой длины тела последних от 6,473±0,054 мм (оз. Малое Шкло) до 8,371±0,265 мм (оз. Кривая Пучина). Температура воды в этих озерах колебалась от 24,8 (оз. Большое Шкло) до 34,0 °C (оз. Кривая Пучина).

Выявлена средняя положительная статистически значимая связь между количеством одновременно наблюдаемых стадий развития рачка артемии и температурой воды в исследуемых озерах за период с апреля по июнь — $y = 0{,}0075x^2–0{,}1204x + 3{,}8583$, $R^2 = 0{,}30$; $r = 0{,}56$ ($p < 0{,}05$), то есть чем выше температура воды, тем разнообразней возрастная структура популяции.

Сезонная динамика численности рачка артемии всех возрастов изучена на примере модельных озер (Кучукское, Малое Яровое, Мормышанское, Танатар III). Наибольшие значения численности *A. parthenogenetica* наблюдались в оз. Мормышанское в июле (4,04±0,93 тыс. экз./м^3), наименьшие — в сентябре (0,78±0,08 тыс. экз./м^3). В оз. Малое Яровое, наоборот, наибольшее ее значение было характерно в сентябре (1,22±0,17 тыс. экз./м^3), наименьшее — в июле (0,86±0,15 тыс. экз./м^3). В озерах Кучукское и Танатар III наибольшая численность рачка *A. parthenogenetica* и *A. tibetiana*, соответственно, отмечена в августе (4,82±0,00 и 20,69±6,01 тыс. экз./м^3, соответственно), наименьшая — в сентябре (1,23±0,21 и 0,006±0,003 тыс. экз./м^3, соответственно).

За период исследования выявлено шесть наиболее продуктивных озер с биомассой цист рачка артемии более 50 кг/га: Большое Яровое, Кучукское, Малиновое, Малое Яровое, Танатар III, Шукыртуз.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-26-00148).

Литература

Веснина Л. В., Безматерных Д. М., Лассый М. В., Веснин Ю. А., Рябова К. К., Уварова О. В. Морфометрические характеристики и ДНК-баркодинг жаброногих ракообразных рода *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea: Anostraca) озер Кулундинской низменности Алтайского края // Биология внутренних вод. 2025. Т. 18, № 5. С. 794–804.

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

Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 733 с.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА СЕЙДОЗЕРО (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ), В ТОМ ЧИСЛЕ ПО ДИАТОМОВЫМ КОМПЛЕКСАМ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

С. И. Вокуева [1]*, **З. И. Слуковский** [1, 2]

[1] *Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, Россия*
[2] *Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия*

* *e-mail: s.vokueva@ksc.ru*

ASSESSMENT OF THE LAKE SEYDOZERO ECOSYSTEM STATE (MURMANSK REGION) BASED ON DIATOM ANALYSIS OF SEDIMENTS

S. I. Vokueva, Z. I. Slukovskii

Представлены предварительные данные по современному состоянию экосистемы оз. Сейдозеро, полученные в результате экспедиции 2025 г. Сделан вывод, что озеро сохраняет статус фонового водоема, в котором не происходит серьезных гидрохимических изменений. Повышенное содержание кремнезема в донных отложениях и массовое развитие видов диатомовых водорослей из родов *Aulacoseira* и *Fragilaria* свидетельствуют об образовании диатомитов на дне водоема.

Озеро Сейдозеро (Сейдъявр) расположено в центральной части Ловозерского горного массива (Мурманская область). Площадь зеркала озера с островами — 12,5 км^2, максимальная глубина — 12,8 м, средняя — 5,4 м, наибольшая длина около 8 км, ширина до 2,5 км (Большие озера…, 1976; Румянцев и др., 2015). Озеро находится в Сейдозерской котловине и является ледниковым водоемом плотинного типа (Озера различных ландшафтов…, 1974а; Евзеров, 2010). Водоем характеризуется округлой формой, вытянутой в широтном направлении, с обособленным от основной акватории небольшим заливом Цетчецаб в восточной части озера.

Комплексное исследование состояния экосистемы Сейдозера, несмотря на его туристическую популярность и статус охраняемой территории в составе национального парка «Сейдъявврь», проводилось только в 1969–1970 гг. (Озера различных ландшафтов…, 1974а, б; Большие озера…, 1976). Впервые после этого отбор воды и донных отложений и их химический анализ были проведены в июле 2025 г. стандартными методами, описанными в (Сандимиров и др., 2019). Также производилась таксономическая идентификация диатомовых водорослей в донных отложениях с помощью микроскопа «Motic BA 300». Полученные данные по диатомовому составу и количественным характеристикам заносились в запатентованную базу данных «Водоросли Евро-Арктического региона» (Денисов, Косова, 2017). Все постоянные препараты и очищенный материал створок диатомовых водорослей хранятся в гербарии Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН (Боровичев и др., 2018).

Изучаемое озеро можно описать как слабоминерализованное (21,5 мг/л) с нейтральным уровнем pH (6,77), воды озера относятся к гидрокарбонатному классу группы натрия первого типа. Содержание органических веществ ниже средних фоновых показателей, а формирование химического состава вод преимущественно происходит под влиянием пород Ловозерского массива, что подтверждает фоновый статус водоема.

Современный видовой состав для озера составил 50 видов диатомовых водорослей, принадлежащих к 25 родам. В поверхностном слое донных отложений доминируют центрические планктонные виды рода *Aulacoseira* (*Aulacoseira subborealis* (Nygaard) Denys, Muylaert & Krammer и *Aulacoseira subarctica* (Otto Müller) E. Y. Haworth совместно составляют 26,5 % от общей численности видов, *Aulacoseira alpigena* (Grunow) Krammer — 15,5 %), а также донные и обрастатели *Stauroforma exiguiformis* (Lange-Bert.) Flower, V. J. Jones et Round (13 %) и *Staurosira venter* (Ehrenberg) Cleve & J. D. Möller (10,5 %).

На основе анализа экологических предпочтений выявленных диатомовых водорослей и рассчитанных по диатомовым комплексам показателям воды оз. Сейдозеро были охарактеризованы как пресные, индекс сапробности (1,12) соответствует второму классу качества вод («чистые» воды). Реконструированное по диатомовым комплексам значение pH определено как нейтральное (7,25), что близко к среднему значению pH воды озера (6,77), измеренному в пробах воды с трех станций отбора проб. Это также подтверждает распределение видов диатомей по предпочитаемому уровню pH: половина всех обнаруженных видов является алкалифилами (54 %), обитающими в водах с pH около 7,5, алкалибионты же представлены в минимальном количестве (1,53 %).

Кроме того, текущее исследование подтвердило, что донные отложения являются диатомитами, так как содержание SiO_2 составляет 57 % в поверхностном слое, увеличиваясь до 63,5 % в более глубоких слоях, а доминанты представлены видами *Aulacoseira* и *Fragilaria*, что схоже с описанием I типа диатомита (Демидов, Шелехова, 2006).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках гранта № 24-17-20006.

Литература

Большие озера Кольского полуострова / ред.: Л. Ф. Форш, В. Г. Драбкова. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1976. 349 с.

Боровичев Е. А., Денисов Д. Б., Корнейкова М. В., Исаева Л. Г., Разумовская А. В., Химич Ю. Р., Мелехин А. В., Косова А. Л. Гербарий ИППЭС КНЦ РАН // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. Т. 9, № 9–6. С. 179–186.

Демидов И. Н., Шелехова Т. С. Диатомиты Карелии (особенности формирования, распространения, перспективы использования). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 89 с.

Денисов Д. Б., Косова А. Л. Разработка базы данных по водорослям Евро-Арктического региона // Труды Кольского научного центра РАН. 2017. Т. 8, № 6–5. С. 45–52.

Евзеров В. Я. Краевые образования покровного и горного оледенений в районе Сейдозерской котловины Ловозерского горного массива на Кольском полуострове // Геоморфология. 2010. № 2. С. 55–59.

Озера различных ландшафтов Кольского полуострова. Часть I. Гидрология озер и характеристика их водосборов / ред.: Л. Ф. Форш, Г. В. Назаров. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1974а. 275 с.

Озера различных ландшафтов Кольского полуострова. Часть II. Гидрохимия и гидробиология / ред.: В. Г. Драбкова, Т. Д. Слепухина. Л.: Наука, Ленингр. отделение, 1974б. 231 с.

Румянцев В. А., Драбкова В. Г., Измайлова А. В. Озера европейской части России. СПб.: ЛЕМА, 2015. 392 с.

Сандимиров С. С., Кудрявцева Л. П., Даувальтер В. А., Денисов Д. Б., Косова А. Л., Черепанов А. А., Вандыш О. И., Валькова С. А., Терентьев П. М., Королева И. М., Зубова Е. М., Кашулин Н. А. Методы экологических исследований водоемов Арктики. Мурманск: МГТУ, 2019. 180 с.

ПИТАНИЕ ДЛИННОПАЛОГО РАКА *PONTASTACUS LEPTODACTYLUS* И АВСТРАЛИЙСКОГО КРАСНОКЛЕШНЕВОГО РАКА *CHERAX QUADRICARINATUS* ПРИ СОВМЕСТНОМ ВЫРАЩИВАНИИ В ПРУДУ НА ТЕРРИТОРИИ Г. МОСКВЫ

Л. В. Воробьева [1]*, В. В. Зелененко [1], Р. Р. Борисов [1], А. В. Жигин [1, 2], Э. В. Бубунец [2], И. Н. Никонова [1], В. С. Жарников [1]

[1] *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия*

[2] *Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия*

* *e-mail: vorobeva@vniro.ru*

FEEDING OF THE NARROW-CLAWED CRAYFISH *PONTASTACUS LEPTODACTYLUS* AND THE AUSTRALIAN RED-CLAWED CRAYFISH *CHERAX QUADRICARINATUS* WHEN REARED TOGETHER IN A POND IN MOSCOW

L. V. Vorobyova, V. V. Zelenenko, R. R. Borisov, A. V. Zhigin, E. V. Bubunets, I. N. Nikonova, V. S. Zharnikov

Приведены сведения о питании длиннопалого рака *Pontastacus leptodactylus* и австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus* при их совместном выращивании в рыбоводном пруду РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева. Уделено внимание развитию в пруду сообществ планктона и макрозообентоса как основных источников животной пищи.

Работы по совместному выращиванию длиннопалого рака *Pontastacus leptodactylus* и австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus* проводились в летний период 2025 г. в рыбоводном пруду РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева.

Выпуск длиннопалого рака проводился 24 апреля (25 экз. массой 4,7±2,4 г), 19 июня (82 экз. массой до 30 г и средней массой 24,2±3,0 г) и 26 июня (370 экз. молоди массой 0,16±0,1 г). Выпуск автралийского красноклешневого рака проводили 11 июня (106 экз. молоди возрастом 3–6 мес. массой 6,7±5,1 г) и 26 июня (85 экз. молоди 0,13±0,03 г и 222 экз. молоди 0,06±0,02 г).

В течение периода выращивания проводили обследование зоопланктона и макрозообентоса для оценки естественной кормовой базы в пруду. Пробы планктона и бентоса отбирали 18 июня, 27 июля и 19 августа 2025 г. Отбор проб макрозообентоса проводили гидробиологическим скребком, площадь одной пробы составляла около 40 см^2. В каждую дату отбирали четыре пробы. Отлов раков из пруда провели 9 сентября 2025 г. Все выловленные раки были упакованы индивидуально и сразу помещены в морозильную камеру при температуре –20 °С. Выборку организмов из проб и исследование содержимого желудков раков проводили в лаборатории отдела аквакультуры беспозвоночных ГНЦ ФГБНУ «ВНИРО» в г. Москве.

Для оценки наполненности желудка его содержимое концентрировали в чашке Петри в виде пятна слоем стандартной толщины, после чего фотографировали. В программе Photoshop CS6 определяли площадь кадра, занимаемого пищевыми компонентами. Полученное значение делили на массу особи. При вычислении наполнения желудка за 100 % было принято максимальное полученное значение площади, занимаемой пищевыми компонентами, на единицу массы рака. Наполнение желудков остальных особей определялось в процентах от этого значения (от 0 до 100 %).

В бентосе всего отмечено 47 таксонов беспозвоночных, из них 11 таксонов моллюсков, 19 — личинок комаров семейства Chironomidae. Средняя биомасса составляла 120,02; 64,09 и 28,40 г/м^2 в июне, июле и августе, соответственно. Основной вклад в биомассу вносили

моллюски — 92,0, 98,0 и 97,5 % в июне, июле и августе, соответственно. Наиболее многочисленны за весь период отбора проб были брюхоногие моллюски рода *Lymnea*, а также *Bithynia tentaculata*.

Планктон представлен ветвистоусыми и веслоногими ракообразными. Средняя численность составляла 81,70; 22,75 и 10,45 тыс. экз./м^3, биомасса — 13,40; 4,35 и 2,00 г/м^3 в июне, июле и августе, соответственно. В июне ветвистоусые Cladocera составляли 97,0 % биомассы, в июле и августе большая часть биомассы приходилась на веслоногих Copepoda (87,4 и 91,0 %, соответственно).

Выловлено 67 особей длиннопалого рака средней массой 27,51±9,1 г и 19 особей красноклешневого рака средней массой 28,59±14,7 г. Желудки изучены у всех выловленных особей. Средняя наполненность всех желудков длиннопалого рака составила 27,9 %, при этом 12 желудков были пустыми, и средняя наполненность оставшихся составила 34,0 %. Средняя наполненность желудков красноклешневого рака составила 19,6 %, пустых желудков не было. В табл. приведены сведения о частоте встречаемости и средней доле пищевых компонентов в желудках раков.

Частота встречаемости пищевых компонентов и их средняя доля от объема всей пищи в желудках раков

Пищевые компоненты	Длиннопалый рак	Красноклешневый рак
Встречаемость (в желудках, где есть пища), % случаев		
Растительного происхождения	**98,2**	**76,9**
Живые высшие растения	83,6	61,5
Живые нитчатые водоросли	3,6	–
Растительный детрит	45,5	65,4
Животного происхождения	**87,3**	**34,6**
Хитин	80,0	30,8
Моллюски	32,7	7,7
Экзувии	1,8	–
Рыба	21,8	7,7
Средняя доля от объема всей пищи в желудках, %		
Растительного происхождения	**63,51**	**94,32**
Живые высшие растения	46,04	40,32
Живые нитчатые водоросли	1,55	–
Растительный детрит	15,93	54,00
Животного происхождения	**36,49**	**5,68**
Хитин	15,51	0,42
Моллюски	13,87	0,16
Экзувии	0,18	–
Рыба	6,93	5,10

Как видно из табл., оба вида раков активно потребляли как растительную, так и животную пищу. При этом у длиннопалого рака средняя доля животных компонентов составляла более трети, в то время как у красноклешневого рака — всего около 6 %. С учетом достаточно слабого развития планктона и бентоса к моменту вылова раков (вероятно, за счет выедания сорными рыбами) это указывает на активный поиск длиннопалым раком животной пищи по сравнению с более пассивным потреблением доступных ресурсов австралийским красноклешневым раком.

ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВАЯ НАЗЕМНАЯ И ВОДНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ПО ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ ОЗЕРА ЗИМНЯКОВСКОГО (ОСТРОВ ВАЛААМ, ЛАДОЖСКОЕ ОЗЕРО)

Т. Ю. Газизова*, Т. В. Сапелко

Институт озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

**e-mail: tssml@bk.ru*

LATE HOLOCENE VEGETATION BASED ON POLLEN DATA OF LAKE ZIMNYAKOVSKOYE (VALAAM ISLAND, LAKE LADOGA)

T. Yu. Gazizova, T. V. Sapelko

Представлены результаты палинологического анализа колонки донных отложений и поверхностных проб оз. Зимняковского (о. Валаам, Ладожское озеро). Материалы исследования позволили проследить динамику наземной растительности в северной части острова в позднем голоцене — елово-сосновые леса в суббореальном периоде сменились березово-сосновыми в субатлантическом, к настоящему времени произошло восстановление ели в лесном покрове. Изучена водная растительность в свете колебаний уровня Ладоги — нижняя часть колонки отражает этап изоляции оз. Зимняковского около 3000 лет назад и репопуляцию водной среды макрофитами, в дальнейшем активно заселившими водоем.

Остров Валаам находится в северо-восточной части Ладожского озера, относится к средней подзоне тайги, в настоящее время для него характерно преобладание старовозрастных сосновых и елово-сосновых лесов (Экосистемы…, 2016). В ходе многолетних палеолимнологических экспедиций Института озероведения РАН на острове изучались малые озера (Газизова, Сапелко, 2022; 2023), в прошлом они являлись частью Ладоги и изолировались в ходе регрессии около 3000 лет назад (Сапелко и др., 2018).

В 2021 г. были отобраны поверхностные пробы и колонка донных отложений оз. Зимняковского (12 м над уровнем моря), небольшого зарастающего водоема площадью 0,017 км^2 и глубиной 2,1 м. Полученные материалы изучались методом спорово-пыльцевого анализа, в результате чего была реконструирована наземная растительность на о. Валаам и водная растительность оз. Зимняковского в позднем голоцене.

До 3170 кал. л. н. (Saarnisto, 2012), в суббореальном периоде голоцена на о. Валаам преобладали елово-сосновые леса. Роль березы в формировании лесного покрова была невысока. На влажных участках была распространена ольха черная. Часто встречались неморальные виды (вяз, граб, ясень, дуб, лещина, липа). Были распространены злаково-разнотравные травянистые сообщества из злаковых, розоцветных, лютиковых, сложноцветных. Среди сорных растений встречались полыни, подорожники, крестоцветные, цикориевые. На заболоченных участках произрастали осоки, сфагновые мхи, вересковые, карликовая береза. Озеро Зимняковское всё еще являлось частью мелководного залива Ладожского озера, однако постепенно теряло с ним связь. После вызванной резким падением уровня Ладоги дестабилизации (индицируется отсутствием пыльцы макрофитов в нижних прослоях колонки) постепенно изолирующийся водоем начал вновь заселяться водными растениями. Появились рдесты, телорез и горец земноводный. Обильно встречались зеленые водоросли *Pediastrum*. Климат был довольно теплый, о чем свидетельствуют высокая роль ели и распространение широколиственных пород.

В конце суббореального — первой половине субатлантического периода роль ели постепенно снижалась, а березы, наоборот, возрастала, елово-сосновые и сосновые леса начали сменяться березово-сосновыми. Состав широколиственных пород оставался неизменным. Заметно возросла роль черной ольхи. В подлеске встречались ивы, ольха серая, можжевельник.

Возросло разнообразие трав, преобладали злаки, лютиковые, розоцветные, бобовые, гвоздичные, норичниковые. Увеличилась роль рудеральных растений — в частности полыней, реже встречались маревые, щавели и цикориевые. На увлажненных и заболоченных участках были распространены осоково-сфагновые сообщества, вересковые, *Vaccinium*, карликовые березки. Среди споровых растений также были распространены бриевые мхи, дикранумы, гроздовники, хвощи, папоротники семейства Polypodiaceae. Зимняковское окончательно изолировалось от Ладоги 3170 кал. л. н. (Saarnisto, 2012). В озере продолжила развиваться собственная водная растительность. Горец земноводный являлся доминантным видом с начала репопуляции Зимняковского макрофитами. После окончательной изоляции водоем начал активно заселяться урутью. Позднее распространился водокрас, а затем кубышка желтая. Рдесты продолжали преобладать, однако с появлением водокраса их пыльца временно исчезла со спектров. Роль *Pediastrum* снизилась, появились *Botryococcus*. Климат становился более прохладным.

Во второй половине субатлантического периода на о. Валаам произрастали березово-сосновые леса. Роль ели была низкая. Роль черной ольхи и широколиственных пород (вяз, лещина, дуб, ясень) снизилась. В подлеске встречались ивы, крушина, можжевельник. Сохранялось преобладание разнотравно-злаковых сообществ, доминировали злаковые, лютиковые, розоцветные, бобовые. Среди сорных растений возросла роль щавеля, преобладали полыни, реже встречались маревые, норичниковые, цикориевые. В спектрах появилась пыльца культурных злаков и споры грибов *Glomus*, индикаторов почвенной эрозии, что свидетельствует об интенсивной аграрной деятельности. Водно-болотные сообщества были сложены сфагновыми и бриевыми мхами, осоковыми, вересковыми, *Vaccinium*. Среди споровых растений также преобладали папоротники и плауны. Берега оз. Зимняковского были заняты зарослями рогоза широколистного, встречался камыш. Исчез водокрас, в озере преобладали уруть и кубышка желтая, которые также исчезли вскоре после повторного заселения водной среды рдестами. Важную роль продолжал играть горец земноводный. Активно развивались *Botryococcus*, реже встречались *Pediastrum*. Климат был довольно прохладный и сухой, о чем говорит существенное снижение роли ели и неморальных видов.

По данным палинологического анализа поверхностных проб, в настоящее время преобладают сосновые и елово-сосновые леса с березой. Встречаются ольха черная и широколиственные породы (лещина, граб, дуб). В подлеске растут ивы и жимолость, на заболоченных местах — карликовая береза. В травяно-кустарничковом ярусе преобладают разнотравные сообщества с представителями лютиковых и лесного разнотравья, увлажненные и заболоченные территории сложены осоково-сфагновыми и бриевыми сообществами с представителями вересковых. Встречаются сорные виды маревых и иван-чай. В оз. Зимняковском произрастает кубышка желтая, вновь населившая водоем.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИНОЗ РАН — СПб ФИЦ РАН по теме № FFZF-2024-0001 «Экосистемы Ладожского озера, водоемов его бассейна и прилегающих территорий в условиях воздействия природных и антропогенных факторов на фоне климатических изменений».

Литература

Газизова Т. Ю., Сапелко Т. В. Динамика развития наземной и водной растительности на острове Валаам (север Ладожского озера) в позднем голоцене по палинологическим данным озера Антониевское // Труды XVIII Всерос. микропалеонтологического совещ. «Микропалеонтология: фундаментальные проблемы и вклад в региональное геологическое изучение недр». СПб.: ВСЕГЕИ, 2023. С. 294–298.

Газизова Т. Ю., Сапелко Т. В. Позднеголоценовая растительность острова Валаам (северная часть Ладожского озера) по палинологическим данным оз. Витальевского: материалы XV Всерос. палинологической конф. «Актуальные проблемы современной палинологии». М.: ГЕОС, 2022. С. 119–124.

Сапелко Т. В., Терехов А. В., Амантов А. В. Ладожская трансгрессия: реконструкция финальной стадии и последующего спада в северной части озера // Региональная геология и металлогения. 2018. № 75. С. 23–34.

Экосистемы Валаамского архипелага (Ладожское озеро) на рубеже XX и XXI веков. Черты уникальности и современное состояние: Атлас / под ред. А. Б. Степановой. СПб.: РГГМУ, 2016. 44 с.

Saarnisto M. Late Holocene land uplift/neotectonics on the island of Valamo (Valaam), Lake Ladoga, NW Russia // Quaternary International. 2012. N 260. P. 143–152.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА ПО ДАННЫМ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ТЕНДЕНЦИИ ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ

Н. Е. Галахина*, М. Б. Зобков, М. В. Зобкова

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

** e-mail: kulakovanata@mail.ru*

CURRENT STATE OF LAKE ONEGO BY HYDROCHEMICAL DATA AND TRENDS OF ITS CHANGES

N. E. Galakhina, M. B. Zobkov, M. V. Zobkova

Антропогенная нагрузка на Онежское озеро в виде точечных и рассеянных источников в совокупности с речным стоком оказывает существенное влияние на химический состав воды в крупнейших его заливах (Кондопожская и Петрозаводская губы), становясь причиной его изменения в многолетнем плане. Форелевые хозяйства являются дополнительным мощным источником биогенной нагрузки на водоем, влияющим на его трофический статус.

Регулярные гидрохимические исследования Онежского озера, одного из крупнейших озер России и Европы, осуществляемые с 1953 г., дают представления о состоянии водоема и позволяют оценивать многолетнюю динамику показателей его воды в условиях климатической изменчивости и меняющейся антропогенной нагрузки. Формирование химического состава воды Онежского озера происходит за счет речного стока (73 % водного стока), точечных и рассеянных источников, а также подземных вод и атмосферных выпадений (Пирожкова, 1990). Антропогенная нагрузка на озеро обусловлена сточными водами основных промышленных центров, расположенных на его побережье (города Петрозаводск, Кондопога и Медвежьегорск), и сельскохозяйственными объектами, среди которых в последнее время наиболее значимыми являются предприятия аквакультуры.

Анализ сезонных гидрохимических данных 2019–2021 гг. показал, что наиболее загрязненными районами Онежского озера являются его заливы — Петрозаводская и Кондопожская губы (Galakhina et al., 2022). Пелагическая часть Онежского озера (центральная и южная части озера, Заонежский залив, Малое и Большое Онего) сохраняет высокое качество воды, которое существенно не изменилось за последние несколько десятилетий. Для пелагической части характерны низкая электропроводность воды (среднегодовое значение 51 мкСм/см) и низкое содержание биогенных элементов (БЭ) (среднегодовая концентрация $P_{общ}$ составляет 8 мкг/л) (Galakhina et al., 2022), ограничивающее продукционные процессы в этой части озера (Вислянская, 1990). Однако в последние 30 лет (1992–2022 гг.) в центральной части Онежского озера в среднем по сезонам года наблюдаются увеличение цветности воды и концентрации $Fe_{общ}$.

На химический состав воды Петрозаводской губы существенное влияние оказывает сток р. Шуи, впадающей в ее вершинную часть. Вода в устье реки характеризуется низкими значениями электропроводности и pH, но высокими концентрациями органического вещества (ОВ), взвешенных веществ, $P_{общ}$ и Fe. Наиболее сильно влияние реки проявляется зимой и весной, обуславливая схожий химический состав воды Петрозаводской губы в эти сезоны года. При этом влияние реки снижается от вершины губы к ее внешней части: происходит постепенное увеличение æ и pH, тогда как содержание ОВ, взвешенного вещества, $P_{общ}$ и Fe снижается (Galakhina et al., 2022). Летом и в начале осени, как правило, основную роль в формировании химического состава Петрозаводской губы играют озерные воды. Статистическая обработка многолетних гидрохимических данных

Петрозаводской губы (1992–2022 гг.) выявила увеличение среднегодовых значений косвенных показателей содержания ОВ (цветность и перманганатная окисляемость) и концентрации железа при снижении величины pH и содержания взвешенных веществ. Весной, помимо содержания ОВ и Fe, положительные тренды выявлены для концентрации $P_{общ}$ и взвешенных веществ. Поступление в Петрозаводскую губу сточных вод очистных сооружений сказывается на содержании БЭ в ее воде, особенно зимой в придонном слое.

Вода Кондопожской губы отличается от центральной части Онежского озера высоким содержанием ОВ, БЭ, взвешенных веществ, Fe, Mn, Cu и Zn и более низкой электропроводностью воды (Galakhina et al., 2022). Максимальные концентрации ОВ, взвешенных веществ, $P_{общ}$ и Fe наблюдаются в вершине губы, принимающей сточные воды Кондопожского ЦБК, но они постепенно уменьшаются по мере продвижения к внешней ее части. Статистически значимой оказалась разница в содержании взвешенных веществ, $P_{общ}$ и аммония в районе расположения форелевых хозяйств по сравнению с центральной частью озера, что подтверждает их поступление в воду от объектов аквакультуры. Сезонные гидрохимические исследования в районе расположения форелевых хозяйств позволили выявить их локальное воздействие на водную среду, выражающееся в изменении ряда химических показателей, среди которых содержание БЭ, ОВ и газовый режим, наиболее ярко проявляющиеся в осенне-зимний период. Зимой рядом с садками в придонных слоях воды наблюдался дефицит кислорода (минимальное значение — 0,8 мг/л), существенно ниже $ПДК_{рбх}$ (6,0 мг/л), а также происходило накопление минеральных форм БЭ (аммонийного азота и минерального фосфора), их концентрации (0,410 мг/л и 787 мкг/л, соответственно) были сопоставимы со сточными водами Кондопожского ЦБК (Галахина, Зобков, 2022). Современная антропогенная фосфорная нагрузка на Кондопожскую губу составляет 86,36 т P/год при допустимой 37,0 т P/год (Лозовик и др., 2017), то есть наблюдается ее превышение в 2,3 раза. Количество и мощность форелевых хозяйств в этом районе в последние годы существенно возросли, дополнительно увеличив фосфорную нагрузку. Так, в многолетнем плане (1992–2024 гг.) в воде Кондопожской губы наблюдается увеличение содержания $P_{мин}$, $P_{общ}$, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_3$ и $N_{общ}$, тогда как соотношение $N_{мин}$ $P_{общ}$ снижается, что свидетельствует об ухудшении трофической ситуации в заливе, это подтверждается данными гидробиологических исследований (Смирнова и др., 2024; Tekanova et al., 2024).

Таким образом, современный гидрохимический режим Петрозаводской и Кондопожской губ Онежского озера обусловлен влиянием речного стока и антропогенной нагрузкой (сточные воды промцентров и форелевые хозяйства). Благодаря разбавлению водных масс и трансформации химических веществ в заливах влияние химических веществ в открытой части озера пока не проявляется.

Финансовое обеспечение осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт водных проблем Севера, FMEN-2026-0011).

Литература

Вислянская И. Г. Гидробиологическая характеристика озера. Фитопланктон // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л.: Наука, 1990. С. 183–192.

Галахина Н. Е., Зобков М. Б. Гидрохимические исследования в районе расположения форелевых хозяйств в Кондопожской губе Онежского озера в зимний период 2022 года // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 6. С. 76–87.

Лозовик П. А., Галахина Н. Е., Кравченко И. Ю. Нормирование допустимого антропогенного воздействия на водные объекты при евтрофировании, загрязнении и закислении // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: материалы 1-й междунар. конф. (11–15 сентября 2017 г.). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017. С. 370–376.

Пирожкова Г. П. Химический состав приточных вод бассейна Онежского озера // Притоки Онежского озера. Петрозаводск, 1990. С. 4–36.

Смирнова В. С., Теканова Е. В., Калинкина Н. М. Фитопланктон как индикатор состояния экосистемы Кондопожской губы Онежского озера в условиях садкового выращивания форели // Трансформация экосистем. 2024. Т. 7, № 1 (24). С. 177–195.

Galakhina N., Zobkov M., Zobkova M. Current chemistry of Lake Onego and its spatial and temporal changes for the last three decades with special reference to nutrient concentrations // Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 2022. Vol. 17, p. 100619.

Tekanova E., Sidelev S., Kalinkina N., Chernova E., Barinova S., Sharov A., Smirnova V. Toxigenic Cyanobacteria and Microcystins in a Large Northern Oligotrophic Lake Onego, Russia // Toxins. 2024. Vol. 16: 457.

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДАХ РЕКИ КАЗАНКИ

Л. К. Галиахметова*, Д. В. Иванов, Н. В. Шурмина, Ф. М. Мухаметзянова, И. И. Шакирова, М. В. Косова, Ю. А. Игнатьев, В. С. Валиев, В. В. Маланин, А. А. Марасов

Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, Казань, Россия

** e-mail: lyuciya-mustafina@yandex.ru*

DYNAMICS OF HEAVY METAL CONTENT IN THE WATER OF KAZANKA RIVER

L. K. Galiahmetova, D. V. Ivanov, N. V. Shurmina, F. M. Mukhametzyanova, I. I. Shakirova, M. V. Kosova, Yu. A. Ignatiev, V. S. Valiev, V. V. Malanin, A. A. Marasov

Анализируется сезонная изменчивость растворенных и взвешенных форм тяжелых металлов в нижнем течении р. Казанки.

Соединения тяжелых металлов (ТМ) относятся к веществам двойного генезиса: они постоянно присутствуют в природных водах в результате выщелачивания из почв и пород, а также поступают в водные объекты из разнообразных антропогенных источников. Необходимость постоянного мониторинга и контроля за присутствием различных форм их соединений в водных объектах регламентирована соответствующими нормативными документами. Концентрации нескольких ТМ (Cu, Zn, Ni, Mn, Fe) используются в расчетах комплексных показателей загрязненности поверхностных вод в РФ.

Материалом для исследования послужили данные гидрохимического мониторинга р. Казанки (Республика Татарстан) за 2022–2025 гг. Створ наблюдения располагался в нижнем течении реки, на границе с зоной подпора Куйбышевского водохранилища. Интегральные пробы воды отбирались ежемесячно на одной вертикали (глубина в точке отбора 4 м) из всего столба воды. Пробу объемом 1 л фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм для отделения растворенных и взвешенных форм ТМ.

Для вод р. Казанки характерно повышенное (относительно $ПДК_{рх}$) содержание растворенных форм марганца, свинца, меди и цинка. Концентрации Pb варьировали от 10,1 до 13,4 мкг/дм^3, Cu — от 2,8 до 3,7 мкг/дм^3, Zn — от 5,1 до 9,2 мкг/дм^3, Mn — от 47,1 до 91,6 мкг/дм^3. Для таких ТМ, как кадмий, кобальт, хром, никель и железо, превышения их ПДК за указанный период не были отмечены. Концентрации Cd варьировали от 0,23 до 0,7 мкг/дм^3, Co — от 0,91 до 4,0 мкг/дм^3, Cr — от 0,9 до 2,2 мкг/дм^3, Ni — от 5,0 до 7,9 мкг/дм^3, Fe — от 18,7 до 48,8 мкг/дм^3.

Марганец, никель и свинец активно мигрируют в восстановительной среде и реагируют на снижение окислительно-восстановительного потенциала в период закрытой воды, когда концентрации растворенного кислорода, особенно в придонном слое, снижаются до минимальных значений, вплоть до отсутствия. Концентрации Mn в зимний период варьировали от 65 (6,5 ПДК) до 135 мкг/дм^3 (13,5 ПДК) и к лету понижались до 30 мкг/дм^3 (3 ПДК). Растворенные формы Ni в зимний период достигали значений от 5 до 9 мкг/дм^3, а к летней межени их содержание постепенно снижалось до 3,5 мкг/дм^3. Для Pb максимумы концентраций отмечались в январе — 22 мкг/дм^3 (3,7 ПДК) и в декабре — 13 мкг/дм^3 (2,2 ПДК).

Для таких ТМ, как цинк, кобальт, железо, хром, можно выделить периоды половодья и летней межени, когда наблюдались максимумы концентраций их растворенных форм.

Так, у Zn концентрация в мае составила 8,6 мкг/дм^3, в июле — 12 мкг/дм^3 (1,2 ПДК). Концентрация Co в апреле и в июле была примерно равной — 4 мкг/дм^3. У Cd и Fe пик отмечался в июле — 1,3 и 89 мкг/дм^3, у Cr в апреле — 2 мкг/дм^3.

Главной причиной систематически наблюдаемых повышенных концентраций ТМ в р. Казанке является природный геохимический фон. Это обусловлено поступлением в водный объект практически на всем его протяжении (140 км) минерализованных подземных вод, дренирующих пермские отложения, для которых характерно повышенное содержание большинства рассеянных элементов. В практическом плане это означает, что нормативы допустимого воздействия на водный объект следует разрабатывать на основе анализа многолетней изменчивости химического состава воды с обязательным учетом региональной специфики и гидрологических характеристик реки.

Результаты определения взвешенных форм ТМ в водах р. Казанки показали, что максимальное содержание их в речном стоке приходится на период весеннего половодья (апрель) при одновременном росте показателей стока взвешенных веществ. Концентрация Cd в период половодья в среднем составила 0,53 мкг/дм^3, Pb — 9,1, Co — 2,9, Cu — 5,3, Ni — 9,2, Zn — 16,1, Cr — 5,0, Mn — 56,8 мкг/дм^3, Fe — 5,5 мг/дм^3. Высокие концентрации взвешенных форм наблюдались также для Co в июне — 3,5 мкг/дм^3, для Pb в июле — 10,8 мкг/дм^3, для Zn в августе — 9,2 мкг/дм^3.

Анализ соотношения растворенных и взвешенных форм ТМ в водах р. Казанки в течение всего периода наблюдений показал, что такие элементы, как Cd (66%), Pb (81%), Cu (60%), Ni (72%), Mn (66%), мигрируют главным образом в растворенном состоянии. Кобальт, цинк и хром находились в речных водах примерно в равных соотношениях. Преобладание взвешенных форм (94% от общего содержания) отмечено только для железа.

Анализ полученных данных позволяет заключить, что по соотношению миграционных форм металлов р. Казанку можно рассматривать в качестве типичного в геохимическом отношении равнинного водотока, для которого характерно преобладание растворенных исследуемых элементов в речном стоке, включая их комплексные соединения с органическим веществом природных вод.

БИОЛОГИЯ РЕЧНОЙ КАМБАЛЫ БОЛВАНСКОЙ ГУБЫ ПЕЧОРСКОГО МОРЯ

Э. А. Генрих*, Г. В. Фукс, А. В. Боровской

Северный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Архангельск

**e-mail: genrih@severniro.vniro.ru*

BIOLOGY OF THE RIVER FLOUNDER OF THE BOLVAN BAY OF THE PECHORA SEA

E. A. Genrikh, G. V. Fuks, A. V. Borovskoj

Представлены первые современные данные по биологии речной камбалы в Болванской губе Печорского моря. Установлены размерно-весовые параметры (самки в среднем 21,2 см, 131,4 г; самцы — 19,3 см, 82,2 г), возрастной состав (2–30 лет). Впервые для бассейна Баренцева моря зафиксирован максимальный возраст вида — 30 лет. Показана перспективность Болванской губы для промысла, однако присутствуют ограничения по увеличению объемов вылова речной камбалы.

Речная камбала *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758) — морской донный вид бореального фаунистического комплекса, промысловый (Андрияшев, Чернова, 1994). Широко распространен в европейской части Евразии, наиболее изучен в Балтийском (Бетешева, Куликова, 1953) и Белом морях (Фукс, 2021).

Болванская губа является южной частью Печорского моря, представляет собой мелководный залив с максимальной шириной 15 км, средняя глубина 2–3 м, окружена множеством мелких рек и озер. В Болванской губе проходят пути нерестовых миграций омуля, лосося атлантического, она также является местом нагула нельмы и сиговых.

Ввиду отсутствия современных данных о составе и состоянии запаса речной камбалы, а также потенциальной возможности формирования рыболовного участка возникает необходимость в изучении водных биологических ресурсов Болванской губы.

Цель исследования — изучение биологии речной камбалы в акватории Болванской губы Печорского моря.

Исследования проводились в летний период 2025 г., материалом послужили данные из уловов в Болванской губе, всего исследовано 245 экземпляров, включая 157 самок и 88 самцов. Сбор материала осуществлялся ставными сетями с ячеей 20–80 и неводом. Биологический анализ проводился по общепринятым методикам. Возраст определялся по методу слома и обжига (Фукс, 2015).

Основные биологические параметры речной камбалы Болванской губы приведены ниже (табл.). Самки представлены особями размерным рядом от 7,0 до 44,6 см, средняя зоологическая длина — 21,2, длина самцов варьировала от 8,0 см до 34,4 см, средняя длина — 19,3 см. Вес самок колебался от 4,5 до 1037,4 г, что является максимальным по всей выборке, средний вес — 131,4 г. Средняя масса самцов составила 82,2 г, минимальная — 8,0 г, максимальная — 390,0 г. Возрастной состав представлен диапазоном от 2 до 30 лет. У самок преобладает возрастная группа 5–6 лет, занимая 52,9 %, или 83 особи. У самцов доминирует та же возрастная группа с долей 55,7 %, или 49 экз. Соотношение самок к самцам составило 2,9 : 1,0.

Согласно ранее опубликованным данным, максимальный возраст речной камбалы в р. Пеше Баренцева моря составил 25 лет (Фукс, 2022), в Печорском море — 22 года (Фукс, 2021); согласно нашим данным, максимальный возраст речной камбалы — 30 лет, что является новым подтвержденным максимумом для данного вида, обитающего в бассейне Баренцева моря. Размерно-весовые параметры речной камбалы Болванской губы аналогичны ранее проведенным исследованиям в прибрежных акваториях Печорского моря, где зафиксирован максимальные размер — 47 см, вес — 1149 г (Фукс, 2021).

Биологические параметры речной камбалы в Болванской губе

Возраст, лет	Длина рыбы АВ, см		Масса рыбы, г		Количество, экз.	
	самки	самцы	самки	самцы	самки	самцы
2	7,0	8,2	4,5	8,0	1	1
3	9,1±1,4	13,4±5,5	10,6±5,4	33,6±29,2	2	5
4	15,3±2,6	16,0±3,7	41,7±18,9	45,1±22,5	14	8
5	18,1±2,2	17,9±3,0	68,4±21,7	64,1±25,1	43	35
6	19,8±2,6	20,2±3,1	85,7±30,4	89,1±35,1	40	14
7	20,5±7,9	21,8±2,0	124,1±156,8	89,0±22,6	7	2
8	22,3±5,9	22,3±2,6	129,1±90,9	110,2±38,5	8	5
9	26,0±6,2	23,6±3,5	201,4±122,9	128,8±55,3	16	6
10	30,0±3,2	22,4±3,6	231,2±86,7	113,7±72,9	15	7
11	30,7±1,8	26±0,7	318,0±72,2	165,5±9,2	4	2
12	–		–	80,0	–	1
13	31,1±14	–	467,3±59,4	–	3	–
14	35,6±3,4	23,6	430,0±96,2	123,0	1	1
15	39,5	–	493,0	–	1	–
16	44,6	–	1037,4	–	–	–
30	–	34,4	–	390,0	–	1

Примечание. ± стандартное отклонение.

Таким образом, в составе уловов речной камбалы в Болванской губе доминируют самки, 157 экз. (64,1%) со средней зоологической длиной 21,3 см и весом 131,4 г. Самцы имеют меньшую долю по встречаемости, 88 экз. (35,9%), со средними значениями длины и веса 19,3 см и 82,2 г, соответственно. Максимальные размерно-весовые параметры зафиксированы у самки (44,6 см и 1037,4 г). Установлен новый максимальный возраст речной камбалы в Болванской губе бассейна Баренцева моря — 30 лет. Болванская губа является перспективным водным объектом для промысла речной камбалы, но ввиду отсутствия развитой инфраструктуры, малочисленности населения и экономических затрат объемы промысла в настоящий момент крайне низки.

Литература

Андрияшев А.П., Чернова Н.В. Аннотированный список рыбообразных и рыб морей Арктики и сопредельных вод // Вопросы ихтиологии. 1994. Т. 34, № 4. С. 435–456.

Бетешева Е.И., Куликова Е.Б. Речная камбала (*Pleuronectes flesus*) средней части Балтийского моря // Труды ВНИРО.1953. Т. XXVI. С. 102–117.

Фукс Г.В. Биология речной камбалы *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758) прибрежных районов Печорского моря: материалы междунар. науч.-техн. конф. «Научно-практические вопросы регулирования рыболовства». Владивосток, 2021. С. 123–128.

Фукс Г.В. Биология речной камбалы *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758) реки Пеша // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: материалы XIII Национальной (Всероссийской) науч.-практ. конф., Петропавловск-Камчатский, 29–30 марта 2022 года / отв. за вып. Т.А. Клочкова. Петропавловск-Камчатский: Камчатский гос. тех. ун-т, 2022. С. 144–148.

Фукс Г.В. Методика определения возраста речной камбалы *Platichthys flesus* по отолитам в северо-западных районах арктических морей России // Educatio: научный журнал Междунар. науч. ин-та «Educatio». 2015. № 11 (18). Ч. 1. С. 27–30.

ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЭС НА ВОДНЫЕ БИОРЕСУРСЫ И СРЕДУ ИХ ОБИТАНИЯ

Ю. В. Герасимов*, Э. С. Борисенко

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина Российской академии наук, Борок, Россия

** e-mail: gu@ibiw.ru*

IMPACTS OF HYDROELECTRIC POWER PLANT OPERATION ON AQUATIC BIORESOURCES AND THEIR HABITAT

Yu. V. Gerasimov, E. S. Borisenko

Downstream migrations are an integral part of the migration cycle in fish. Unfortunately, fish migrating downstream of a regulated river are subject to the risk of injury of varying severity when passing through hydroelectric units of the hydroelectric power plant. This phenomenon is most studied on the example of the low-head Volga hydroelectric power plants, but the process of formation of the downstream migration of hydrobionts through high-head hydroelectric power plants has significant differences from the low-head hydroelectric power plants.

Покатные миграции являются неотъемлемой частью миграционного цикла у рыб. К сожалению, рыба, мигрирующая вниз по течению зарегулированной реки, проходя через гидроагрегаты ГЭС, подвергается риску травмирования различной степени тяжести. Данное явление наиболее изучено на примере низконапорных Волжских ГЭС, но процесс формирования ската гидробионтов через высоконапорные ГЭС имеет существенные отличия от низконапорных ГЭС.

Сток на низконапорных 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 молодью, практически всех видов, обитающих в водохранилище), и кормовыми планктонными беспозвоночными. Если у рыб старших возрастных групп есть механизмы, препятствующие их скату, 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.

Основное отличие высоконапорных ГЭС заключается в том, что верхний свод водозаборных отверстий находится на значительной глубине. При весенне-летнем прогреве воды образуется температурная стратификация, которая в высоконапорных водохранилищах находится выше свода водозаборных отверстий. Слой температурного скачка в течение всего вегетативного периода располагается значительно выше водозаборных отверстий. Зона изъятия стока гидроузла формируется ниже, в слабозаселенных холодных водах пелагиали верхнего бьефа. Массовые виды по данным гидроакустики в период температурной стратификации обитают в слое воды над температурным скачком в теплом 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 ее попадание в глубинные водозаборные отверстия маловероятно.

Результаты исследований подтверждают выдвинутое рядом исследователей мнение о том, что снижение численности и биомассы истинного зоопланктона вызывается не летальным воздействием ската через ГЭС, а изменением гидравлики водных масс в нижних бьефах ГЭС. Количественно богатые сообщества лимнического зоопланктона, попадающие в условия высокой скорости течения, довольно быстро трансформируются в типично

речные, низкие по численности и биомассе, сообщества, причем точно такая же картина наблюдается при скате зоопланктона из естественных озер в реки.

За всё время исследований ни на одном из водохранилищ не было получено подтверждений тому, что скат части зоопланктона хоть как-то ухудшает условия питания рыб, населяющих данные водохранилища. Более того, балансовые расчеты показывают наличие в водохранилищах значительного резерва организмов зоопланктона, который не используется в пищу рыбами и гибнет ввиду естественных причин. В то же время скат зоопланктона приводит к существенному улучшению условий питания аборигенных видов рыб, обитающих в нижних бьефах ГЭС как за счет прямого потребления зоопланктона, так и за счет потребления бентосных организмов, питающихся отмершим зоопланктоном.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СЕЗОННУЮ ДИНАМИКУ ВОДНЫХ МАКРОФИТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АНАЛИЗА ВЫЖИВАЕМОСТИ

Р. П. Горбунов*, Д. С. Любарский

Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, Казань, Россия

** e-mail: xobglor@gmal.com*

STUDY OF THE INFLUENCE OF HYDROCHEMICAL PARAMETERS ON THE SEASONAL DYNAMICS OF AQUATIC MACROPHYTES WITH THE APPLICATION OF SURVIVAL ANALYSIS

R. P. Gorbunov, D. S. Lyubarskiy

Проведен анализ выживаемости четырех видов макрофитов из семи озер г. Казани по их проективному покрытию с учетом статистически достоверного влияния гидрохимических параметров. Согласно полученным результатам, уровень выживаемости для роголистника и общего проективного покрытия не изменяется в течение сезона. Кладофора испытывает падение выживаемости во вторую половину августа. Рясковые — в середине сентября. Для роголистика отмечено положительное влияние химического потребления кислорода на выживаемость, для кладофоры и рясок — концентрации нитритов, для общего проективного покрытия — концентрации кислорода.

Водные макрофиты являются ключевым структурным и функциональным компонентом пресноводных озерных экосистем. Их проективное покрытие — площадь, занятая проекциями наземных частей растений на поверхность водоема, — является удобным количественным показателем состояния фитоценоза и экосистемы в целом (Папченков, 2001). Цель исследования — количественно оценить влияние гидрохимических параметров воды на проективное покрытие макрофитов (*Ceratophyllum demersum* L., *Cladophora glomerata* (L.) Kütz., *Lemna minor* L., *Lemna trisulca* L.) в озерных экосистемах, используя анализ выживаемости с моделью пропорциональных рисков Кокса.

Были обследованы семь озер г. Казани, водоемы, объединенные сходным генезисом — копани и понижения второй надпойменной террасы Казанки (Мозжерин и др., 2012), после поднятия Куйбышевского водохранилища заполнившиеся грунтовой водой, находящиеся под постоянным антропогенным прессингом. В таких условиях ключевой проблемой является изменение гидрохимического режима озер, обусловленное процессами эвтрофикации вследствие накопления биогенных элементов (азота и фосфора), что приводит к трансформациям экосистем, включая изменение состава, биомассы и пространственного распределения макрофитов (Søndergaard et al., 2017).

Для анализа использовались значения проективного покрытия макрофитов (по: Катанская, 1956) и данные гидрохимического анализов воды, взятые 8 раз за период с 15 мая до 4 декабря с интервалом около 1 месяца. Гидрохимические параметры включали: pH, электропроводность, фосфор, нитриты, сульфаты, растворенный кислород и химическое потребление кислорода (ХПК).

Анализ выживаемости — статистический метод для оценки времени до наступления определенного события с учетом цензурированных данных, когда для части наблюдений событие не произошло на момент окончания исследования. Так как большую часть сезона проективное покрытие макрофитов было стабильно, в качестве события использовалось падение проективного покрытия ниже моды.

В связи с особенностями данных: малая выборка (1 сезон) и сильная разнородность озер, для повышения мощности анализа озера были использованы в качестве случайного эффекта. Случайные эффекты — переменные, чьи уровни представляют собой случайную

выборку из более широкой совокупности и учитывают их различия. Их влияние оценивают через дисперсию, а не через конкретные значения для каждого уровня, что позволяет интерпретировать данные как единый массив за вычетом индивидуальных различий (Laird, Ware, 1982). Также в связи с малой выборкой было решено ограничиться одним фактором на модель.

Результаты моделирования отражены в табл. Факторы, не использованные в анализе, имели недостоверный уровень значимости либо крайне слабо достоверный.

Значения коэффициентов и уровни достоверности тестов качества лучших моделей влияния гидрохимических факторов на выживаемость

Макрофит	Фактор	exp (coef)	p-level	Concordance	LRT	Score
Роголистник	ХПК	0,898	5E-5	0,95	0,001	0,03
Кладофора	Нитрит	0,952	0,033	0,69	0,03	0,04
Ряска трехраздельная	Нитрит	0,871	0,0009	0,76	0,0006	0,03
Ряска малая	Нитрит	0,947	5E-5	0,65	0,007	0,03
Общее	Кислород	1,16	0,015	0,66	0,2	0,05

Примечание. Exp (coef) показывает изменение риска события при увеличении значения фактора на 1 (относительно 100%). P-level — уровень достоверности коэффициента, Concordance — мера согласованности с реальными наблюдениями, LRT — тест отличия модели от нулевой. Score — p-level изменения правдоподобия при добавлении коэффициента.

Модель выживаемости роголистника с учетом влияния ХПК показывает наибольшую согласованность, верно предсказывая большую часть событий. Коэффициент показывает, что при увеличении ХПК на 1 мг/л вероятность события уменьшается на 10,2%. Для прочих макрофитов наиболее значимо влияет на выживаемость концентрация нитритов, при этом для кладофоры увеличение концентрации на 1 мкг/л уменьшает вероятность события на 4,8%, для ряски трехраздельной — на 12,9%, для ряски малой — на 5,3%. Моделирование выживаемости для общего покрытия макрофитов показало положительную зависимость от уровня кислорода: при увеличении кислорода на 1 мг/л риск события увеличивается на 16%. Хотя все остальные тесты показывали достоверные результаты, LRT показал отсутствие достоверных отличий для этой модели, согласованность также невелика — 0,66. Вероятно, присутствует слабая тенденция, частично объясняемая моделью. Учитывая, что массовое зарастание водоема в городских условиях связано с повышенным органическим загрязнением, увеличение содержания кислорода коррелирует с уменьшением выживаемости макрофитов, связанных с эвтрофикацией водоема.

Уровень выживаемости для роголистника и общего проективного покрытия стабилен в течение сезона. Для кладофоры отмечено снижение выживаемости во вторую половину августа, для обоих видов рясок — в середине сентября. Во всех случаях уменьшение концентрации нитритов приводит к более выраженному снижению выживаемости. Таким образом, выявлено влияние интенсивности азотного обмена, проявляющегося в уровне нитритов, на сезонную динамику отмеченных выше видов.

Литература

Катанская В.М. Методика исследования высшей водной растительности // Жизнь пресных вод СССР. Т. 4, ч. 1. М.; Л.: АН СССР, 1956. С. 160–182.

Мозжерин В.И., Ермолаев О.П., Мозжерин В.В. Река Казанка и ее бассейн. Казань: МеДДок, 2012. 279 с.

Папченков В.Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: МУБиНТ, 2001. 213 с.

Laird N.M., Ware J.H. Random-Effects Models for Longitudinal Data // Biometrics. 1982. Vol. 38, N 4. P. 963–974.

Søndergaard M., Lauridsen T.L., Johansson L.S. et al. Nitrogen or phosphorus limitation in lakes and its impact on phytoplankton biomass and submerged macrophyte cover // Hydrobiologia. 2017. Vol. 795. P. 35–48.

РОЛЬ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ПОСТУПЛЕНИИ МИНЕРАЛЬНОГО ФОСФОРА В ОЗЕРО ПЛЕЩЕЕВО

М. Г. Гречушникова[1, 2]*, В. М. Морейдо[2], Д. В. Ломова[2], М. И. Андреева[3], С. Х. Хачатуров[3]

[1] *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия*
[2] *ИВП РАН, Москва, Россия*
[3] *Национальный парк «Плещеево озеро», Переславль-Залесский, Россия*

* *e-mail: allavis@mail.ru*

THE ROLE OF BOTTOM SEDIMENTS IN THE FLOW OF PHOSPHORUS INTO LAKE PLESHCHEYEVO

M. G. Grechushnikova, V. M. Moreido, D. V. Lomova, M. I. Andreeva, S. Kh. Khachaturov

Работа посвящена определению поступления биогенных элементов в водную массу оз. Плещеево из донных отложений и сопоставлению с притоком с водосбора. В основе работы — мониторинговые исследования, которые производит научный отдел национального парка «Плещеево озеро» на всех его притоках ежемесячно. Для определения выхода минерального фосфора из донных отложений силами ИВП РАН проведены экспедиционные исследования с постановкой экспериментов по определению потока минерального фосфора методом трубок Кузнецова-Романенко. Расчет выхода из донных отложений проведен с учетом оценки увеличения площади бескислородной зоны. По результатам расчета выход минерального фосфора составляет более 60 т и превышает его приток с водосбора на порядок (6–10 т).

Озеро Плещеево — крупный водоем Ярославской области, используемый для водоснабжения г. Переславля-Залесского и рекреации. С 2017 г. ежегодно наблюдается массовое развитие цианобактерии *Gloeotrichia echinulata*, ухудшающее качество воды. В августе 2023 г. зафиксирован замор рыбы на р. Вексе ниже плотины. Причины — эвтрофирование, обусловленное поступлением биогенных элементов с водосбора и из донных отложений. Цель работы — количественная оценка внешней и внутренней нагрузки фосфором для выяснения причин ухудшения трофического состояния озера.

В 2024–2025 гг. выполнены рекогносцировочная съемка и четыре детальные съемки (январь, апрель, июнь, август) на трех станциях (литораль у устья р. Трубеж, сублитораль, профундаль). Измерялись вертикальные профили температуры и растворенного кислорода (зонд YSI ProODO). Определялись биогенные элементы (фосфаты, аммоний, нитриты, нитраты) в воде озера, притоков, дренажных канав. В донных отложениях определяли содержание органического вещества (прокаливание) и фосфора (метод Кирсанова). Скорость выхода фосфора из донных отложений измерялась методом трубок Кузнецова-Романенко (Мартынова, 2010) в апреле, июне и августе. Внутренняя нагрузка рассчитана с учетом характерной продолжительности периода ледостава (Малин и др., 2018) и бескислородных условий. Внешняя нагрузка рассчитана по данным ежемесячного мониторинга национального парка (2023–2024 гг.) на всех основных притоках.

Установлено, что в августе 2025 г. верхняя граница бескислородной зоны находилась на глубине 8–9 м, тогда как в 1980-х гг. — на 15 м (Экосистема…, 1989). Объем бескислородной зоны увеличился на 27%, площадь дна с дефицитом кислорода — на 45% (с 20,7 до 30,2 км²). Наибольшие концентрации биогенов в озере зафиксированы в устьевой области р. Трубеж, максимальные — в дренажных канавах г. Переславля-Залесского (фосфаты до 0,35 мг/л, аммоний до 1,6 мг/л, нитриты до 0,19 мг/л при ПДК). По данным съемки на р. Трубеж (14.06.2025 г.), основное загрязнение фосфатами поступает ниже впадения левого притока Воргуша (концентрация возрастает от 0,176 до 0,464 мг/л). В истоке р. Вексы

(вытекает из озера) содержание биогенов минимально и увеличивается только ниже п. Купанское за счет локальных сточных вод, что свидетельствует о высокой фосфороудерживающей способности озера.

Внешняя нагрузка фосфатами с водосбора составила 6,03–9,62 т P/год (2023–2024 гг.). Эксперименты по выходу фосфора из донных отложений дали характерные скорости (мг P/м²·сут): в литорали при аэрации — 1,2, при аноксии — 9,8; в сублиторали — 1,2 и 22,3, соответственно; в профундали — 7,6 (июнь, аэрация) и 9,6 (август, аноксия). Интегральная оценка годовой внутренней нагрузки фосфором составляет 65 т P/год — на порядок выше внешней. По сравнению с данными 1989 г. (выход 13,2 т P/год по Nurnberg, 1984) внутренняя нагрузка возросла примерно в 5–7 раз, что связано с увеличением площади аноксии и, вероятно, с изменением гидрологического режима (рост температуры воды, уменьшение водообмена).

Выводы:

1. Водосбор озера, особенно территория г. Переславля-Залесского и его дренажные системы, поставляет значительное количество биогенных элементов, однако внешняя нагрузка фосфором значительно уступает внутренней.

2. Из-за ежегодного развития бескислородной зоны в придонных слоях происходит интенсивное выделение фосфора из донных отложений, что создает положительную обратную связь и поддерживает «цветение» воды.

3. Для снижения трофического уровня необходимо не только сокращение внешней нагрузки (очистка сточных вод, ликвидация несанкционированных сбросов), но и управление внутренней нагрузкой (аэрация гиполимниона, удаление биогенов из водной толщи).

4. Полученные результаты требуют дальнейшего мониторинга с установкой автоматических логгеров для уточнения динамики верхней границы аноксии и повторных экспериментов по оценке потоков фосфора в разные сезоны.

Работа выполнена в рамках темы ГЗ ИВП РАН № FMWZ-2026-0002 «Комплексная оценка источников формирования притока воды в озеро Плещеево и антропогенной нагрузки на его экосистему».

Литература

Малин М. И., Борисенко Э. С., Герасимов Ю. В., Цветков А. И. Проблема придонной гипоксии озера Плещеево и вертикальное распределение ряпушки в этот период // Особо охраняемые природные территории: состояние, проблемы и перспективы развития: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Ярославль: Филигрань, 2018. С. 124–128.

Мартынова М. В. Донные отложения как составляющая лимнических экосистем. М.: Наука, 2010. 243 с.

Экосистема озера Плещеева / под ред. Н. В. Буторина, В. Л. Скляренко. Л.: Наука, 1989. 264 с.

Nurnberg G. K. The prediction of internal phosphorus load in lakes with anoxic hypolimnia // Limnology and Oceanography. 1984. Vol. 29, N 1. P. 111–124.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ, СВЯЗАННЫХ С ЭВТРОФИРОВАНИЕМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, НА ПРИМЕРЕ МОЖАЙСКОГО И ВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ

М. С. Гришина*, О. Н. Ерина

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

** e-mail: bms050722@gmail.com*

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL RISKS ASSOCIATED WITH EUTROPHICATION OF LAKES (APPLICATION FOR THE MOZHAYSK AND VOLGA RESERVOIRS)

M. S. Grishina, O. N. Erina

Приводятся результаты оценки риска «цветения» воды в водохранилищах с использованием индекса MIRA. Применение данного индекса для определения уровня риска «цветения» воды для Можайского, Горьковского и Куйбышевского водохранилищ дает удовлетворительные результаты, так как наличие областей низкого и умеренного риска, как правило, указывает на «цветение» воды по наземным данным. Используя данный индекс, можно утверждать о наличии или отсутствии риска в той или иной части водохранилища, а не локальном развитии данного процесса. Индекс MIRA дает неудовлетворительные результаты для Чебоксарского водохранилища, что может быть связано с его высокой проточностью.

Почти всегда в «цветении» воды участвуют цианобактерии, которые образуют токсины, губительные для животных и человека, накапливается их огромная биомасса. Кислород расходуется на окисление, появляются продукты гниения, и среда становится непригодной для жизни водных организмов, в том числе и рыб. В настоящее время развитие токсичных цианобактерий приобретает глобальный характер, что связано в том числе с усилением антропогенного загрязнения акваторий (Лаврова и др., 2016) и изменениями климата.

Для оценки экологических рисков, связанных с развитием цианобактерий в водоемах, используется не так много подходов, одним из наиболее распространенных среди которых является Multivariate Integrated Risk Assessment (MIRA) — многомерная интегрированная оценка риска, которая состоит из трех индексов: Trophic State Index (TSI), Cyanobacteria and Macrophytes Index (CMI), Floating Algae Index (FAI). Если значение полученного индекса больше нуля, значит, присутствует риск «цветения» воды, следовательно, чем больше значение, тем выше риск (Chen et al., 2020).

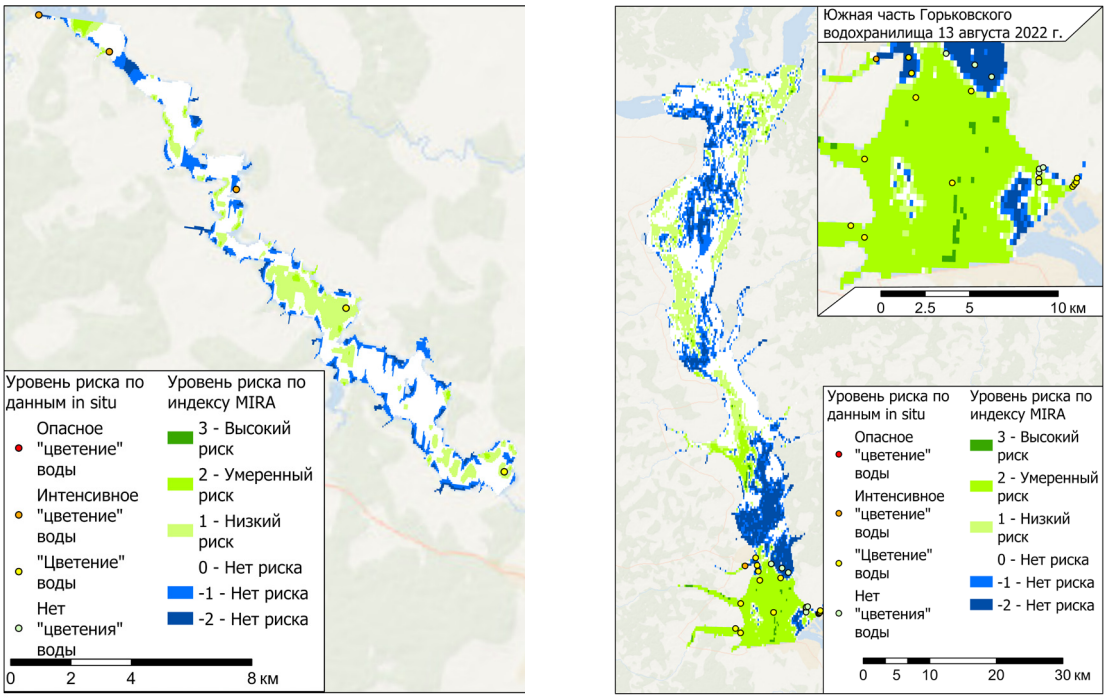
Индекс MIRA был рассчитан для Можайского (с 2017 по 2024 г. в периоды открытой воды), Горьковского (в августе с 2017 по 2022 г. и июле 2017 г.), Чебоксарского (в июле и сентябре 2017 г., в июле и августе 2021 г.) и Куйбышевского водохранилищ (в августе 2020 г. и июле 2021 г.). Для всех водных объектов в выделенные периоды был произведен гидрохимический мониторинг, в результате которого были определены концентрации хлорофилла в поверхностном горизонте (для Можайского водохранилища в пяти точках каждый месяц, для Волжских водохранилищ в точках, расположенных по маршруту многолетних маршрутов научного судна, распределенных по площади водохранилищ неравномерно). По концентрации хлорофилла была определена интенсивность «цветения» воды. Если концентрация превышала 20 мкг/л, то в водоеме идентифицируется «цветение» воды, если превышает 40 мкг/л, то «цветение» воды интенсивное, если более 100 мкг/л, то опасное (Птицына и др., 2024).

При сравнении спутниковых и наземных данных определения риска для Можайского водохранилища доля правильно определенного риска «цветения» воды по индексу MIRA составляет 0,88, всего в половине случаев было определено наличие «цветения» воды, которое наблюдалось по наземным данным, и ни разу не было «ложных срабатываний». Для Горьковского водохранилища доля правильно определенного риска равна 0,64, для Чебоксарского — 0,55, для Куйбышевского — 0,44.

В сентябре 2023 г. в поверхностных горизонтах Можайского водохранилища наблюдались повышенные концентрации хлорофилла от 30,6 до 68,9 мкг/л, что указывает на наличие риска «цветения» воды (рис.). По индексу MIRA по всей водной поверхности наблюдаются области низкого и умеренного риска. Сравнивая наземные и спутниковые результаты определения уровня риска для Горьковского водохранилища, можно отметить, что большинство точек отбора проб с концентрацией хлорофилла, указывающих на наличие «цветения» воды, находятся на пикселях, которые по индексу MIRA соответствуют наличию низкого риска «цветения» воды. Следовательно, в целом спутниковые данные согласуются с наземными наблюдениями. Индекс MIRA дает неудовлетворительные результаты для Чебоксарского водохранилища, так как по наземным данным на протяжении всего водохранилища наблюдается «цветение» воды, а по спутниковым риск отсутствует, что может быть связано с тем, что водоросли в водохранилище могут заглубляться и не детектироваться на снимках. Для Куйбышевского водохранилища 21 июля 2021 г. для большинства точек результаты наземных и спутниковых определений уровня риска «цветения» воды совпадают (в пяти точках из семи).

Можайское водохранилище
13 сентября 2023 г.

Горьковское водохранилище
13 сентября 2022 г.



Уровни риска по данными in-situ и рассчитанные по индексу MIRA для Можайского водохранилища 13.09.23 г. (слева) и для Горьковского водохранилища 13.08.22 г. (справа)

Таким образом, с помощью спутниковых снимков с достаточной точностью можно определить уровень риска «цветения» воды в водоемах. Наиболее точные результаты характерны для небольших водных объектов, которые редко перекрываются облаками.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Правительства Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2025-008 от 27.02.2025 г.).

Литература

Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Костяной А. Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. 1-е изд. М.: ИКИ РАН, 2016. 334 с.

Птицына Е. Д., Ерина О. Н. Характеристики «цветения» воды в долинных водохранилищах (на примере Можайского, Горьковского, Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ) // Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии: материалы VII междунар. науч. конф., посв. 90-летию каф. геогр. экологии Белорусского гос. ун-та. Минск: БГУ, 2024. С. 623–627.

Chen N., Wang S., Zhanga X., Yanga S. A risk assessment method for remote sensing of cyanobacterial blooms in inland waters // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 740: 140012.

КИСЛОРОДНЫЙ РЕЖИМ ВОДЫ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА И ПОКАЗАТЕЛИ ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА ВОДОЕМА В ПЕРИОД ОТКРЫТОЙ ВОДЫ В 2003–2022 ГГ.

М. А. Гусева [1]*, Т. Н. Петрова [2], Е. В. Протопопова [2]

[1] Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга»), Санкт-Петербург, Россия
[2] Институт озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

** e-mail: velapandere@gmail.com*

OXYGEN REGIME OF THE WATER OF LAKE LADOGA AND INDICATORS OF THE TROPHIC STATE OF THE LAKE DURING THE OPEN WATER PERIOD IN 2003–2022

M. A. Guseva, T. N. Petrova, E. V. Protopopova

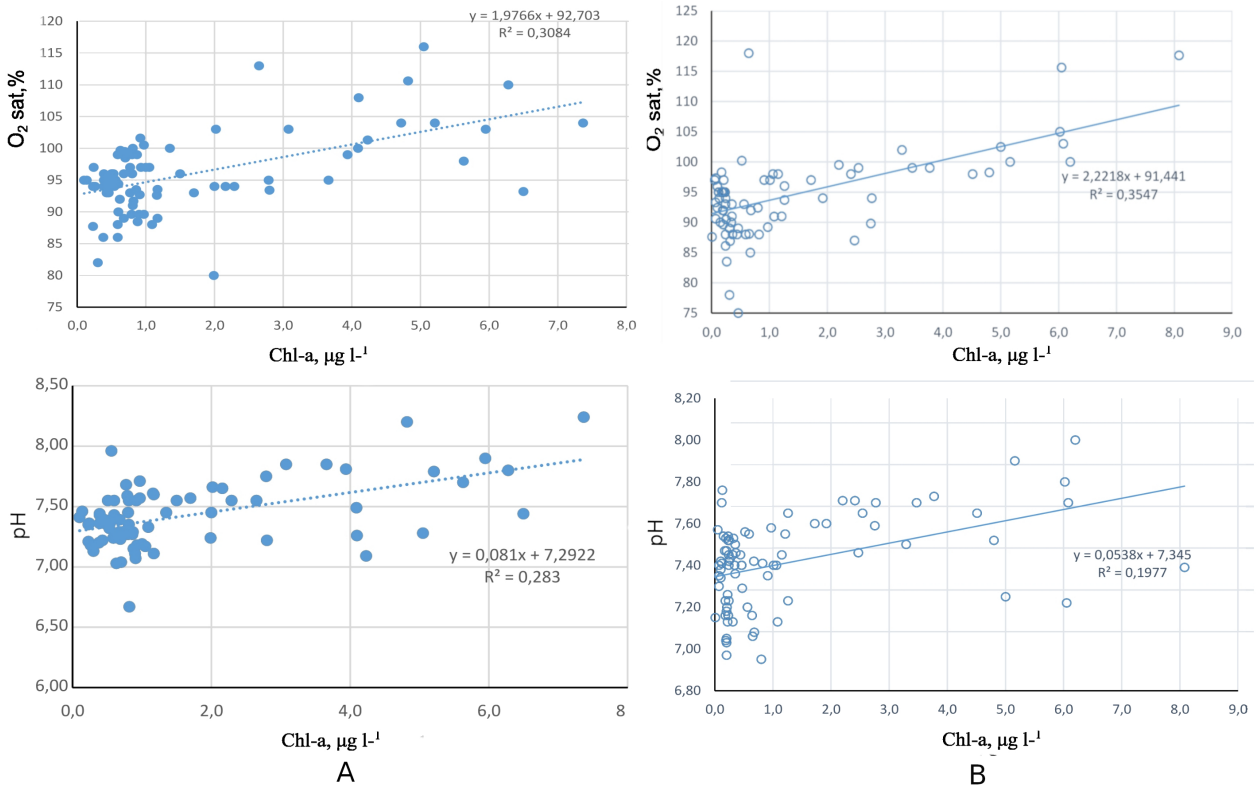
Ладожское озеро характеризуется в настоящий момент как олиго-мезотрофное, и его кислородный режим остается достаточно благоприятным — относительное содержание кислорода в период открытой воды близко к 100 %. Водородный показатель за последние 20 лет несколько снижается, что может свидетельствовать об интенсификации деструкционных процессов. Содержание хлорофилла *a* редко превышает 1–2 мкг/л. При этом в центральной и глубоководной частях Ладожского озера в период открытой воды отмечаются положительные корреляции между концентрациями хлорофилла *a*, относительным содержанием кислорода и значениями водородного показателя уже при концентрации хлорофилла *a* 1–2 мкг/л и выше.

Кислородный режим Ладожского озера в период наблюдений с 2003 г. по настоящее время изменяется незначительно, и в основной водной массе за период открытой воды насыщение кислородом по всему столбу воды в среднем близко к 100 %. Водородный показатель при этом демонстрирует тенденцию к снижению. Связь между этими показателями максимальна в периоды весеннего развития, а также летом в литоральной зоне, которую можно охарактеризовать как эвтрофную, в то время как основная водная масса Ладожского озера как по показателям содержания общего фосфора, так и по концентрации хлорофилла *a* в настоящий момент характеризуется как мезотрофная.

Вертикальное распределение относительного содержания кислорода в летний период в разные годы характеризуется повышенными значениями в эвфотическом слое — в этом слое наиболее активно происходит фотосинтез, ниже, в металимнионе, преобладают процессы деструкции органического вещества, как растворенного, так и оседающего с органической взвесью, соответственно, концентрация кислорода уменьшается. Так же, как и относительное содержание кислорода, концентрация минерального фосфора по столбу воды часто принимает минимальные значения на глубине 10 м, иногда — 25 м (Петрова, Игнатьева, 2021). Данная особенность отмечалась в последние годы наблюдений (после 2013 г.), в то время как в предыдущий период минимальные значения фиксировались в поверхностном слое.

На содержание кислорода и значение водородного показателя влияют одновременно и фотосинтетические процессы, и процессы минерализации органического вещества — как аллохтонного, поступающего с водой притоков, так и новообразованного в озере.

В олиготрофных и олиго-мезотрофных водоемах процессы продукции и деструкции часто уравновешивают друг друга, и значимых количественных зависимостей между ростом концентрации хлорофилла *a*, pH и кислорода не обнаруживается. Ранее в (Zang et al., 2011) было отмечено, что в водоемах с концентрацией хлорофилла менее 10 мкг/л корреляция между концентрацией хлорофилла и водородным показателем в летний и осенний периоды



Зависимость относительного содержания кислорода и водородного показателя от содержания хлорофилла *a* за период открытой воды в 2013–2022 гг. для двух станций центральной и северной глубоководной зон Ладожского озера. А — центральная часть озера, В — северная глубоководная часть

зачастую отсутствует. Однако, как показано на рис., для центральной и глубоководной частей Ладожского озера в период открытой воды отмечаются слабые положительные корреляции между концентрациями хлорофилла *a*, относительным содержанием кислорода и значениями водородного показателя уже при концентрации хлорофилла *a* 1–2 мкг/л и выше.

Литература

Петрова Т. Н., Игнатьева Н. В. Биогенные элементы // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата / под ред. С. А. Кондратьева, Ш. Р. Позднякова, В. А. Румянцева. М.: РАН, 2021. С. 270–287.

Zang C. et al. Comparison of relationships between pH, dissolved oxygen and chlorophyll *a* for aquaculture and non-aquaculture waters // Water, Air, & Soil Pollution. 2011. Vol. 219, N 1. P. 157–174.

ОСОБЕННОСТИ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ-ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ И НЕКОТОРЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ДОСТИЖЕНИЮ ИХ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ

Д. С. Даирова [1, 2]*, **Д. Р. Светашева** [1]

[1] *Каспийский морской научно-исследовательский центр, Астрахань, Россия*
[2] *Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, Казань, Россия*

* *e-mail: dairova3110@mail.ru*

FEATURES OF THE STATE OF WATER BODIES-SOURCES OF WATER SUPPLY IN MODERN CONDITIONS AND SOME PROPOSALS FOR ACHIEVING THEIR SANITARY AND EPIDEMIOLOGICAL WELL-BEING

D. S. Dairova, D. R. Svetasheva

Освещаются вопросы, связанные с особенностями состояния водных объектов-источников водоснабжения в современных условиях, приведен перечень заболеваний, ассоциированных с неудовлетворительным качеством питьевой воды. В связи с чем предлагается осуществление ряда мероприятий по решению задач, связанных с улучшением качества питьевого водоснабжения и достижения санитарно-эпидемиологического благополучия водных объектов.

Проблема обеспечения населения необходимым количеством качественной питьевой воды имеет общегосударственное значение, носит сложный многоаспектный характер и требует комплексного подхода к решению поставленных задач, успешная реализация которых определяет здоровье нации и закладывает основы санитарно-эпидемиологического благополучия и социально-экономического развития России (Горбанев и др., 2019).

На сегодняшний день загрязнение водных объектов-источников водоснабжения при недостаточной эффективности работы водоочистных сооружений достаточно часто влечет за собой ухудшение качества подаваемой потребителям питьевой воды и создает серьезную опасность для здоровья населения, приводя к высокому уровню заболеваемости. Так, по данным Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека РФ за 2024 г. (Государственный доклад…, 2025б), в структуре заболеваемости всего населения Российской Федерации, ассоциированной с неудовлетворительным качеством питьевой воды, на первых позициях были болезни органов пищеварения — 35,1 %, болезни мочеполовой системы — 27,1 %, болезни кожи и подкожной клетчатки — 13,3 %, болезни крови, кроветворных органов, в том числе нарушения, вовлекающие иммунный механизм, — 6,1 %, болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ — 6,1 %.

Приведенные случаи заболеваемости, ассоциированные с неудовлетворительным качеством питьевой воды, нередко обусловлены ненормативным качеством питьевой воды по следующим санитарно-химическим показателям: хлором и хлорорганическими соединениями, аммиаком и аммоний-ионом, соединениями железа, марганца, свинца, алюминия, мышьяка, никеля, магния, натрия, стронция, кадмия, в том числе по нитратам, сульфатам, фторидам, бору и другим химическим соединениям, а также превышением гигиенических нормативов по микробиологическим показателям (Государственный доклад…, 2025а, б). Следовательно, качество питьевой воды, подаваемой населению, — это проблема, которая требует постоянного контроля.

Санитарно-гигиенический контроль за улучшением качества воды источников питьевого водоснабжения осуществляется на основании следующих документов:

1. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ № 2 от 28 января 2021 г. «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 „Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания“».

2. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ № 3 от 28 января 2021 г. «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 „Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий“».

Важно отметить, что вопросы обеспечения населения качественной питьевой водой должны решаться с позиции комплексного подхода, основанного на межрегиональном и межведомственном взаимодействии, так как обеспечение населения питьевой водой гарантированного качества и в достаточном количестве является одним из важнейших направлений социально-экономического развития Российской Федерации.

Основная доля всех принимаемых управленческих решений на государственном уровне, направленных на обеспечение качества среды обитания и снижение влияния факторов риска, ориентирована на улучшение качества питьевого водоснабжения (с 14,8 % в 2023 г. до 27,2 % в 2024 г.) и включает меры по охране водоемов, модернизации с применением современных технологий систем водоснабжения и распределительной сети на всех этапах водоподготовки, замене трубопроводов, и в целом — на обеспечение населения качественной питьевой водой (Государственный доклад…, 2025б). Кроме того, необходимо на основе научного анализа оптимизировать методы водоподготовки и обеззараживания, а также внедрять инновационные перспективные методы обеззараживания с предварительной оценкой их гигиенической эффективности.

Решение этих задач возможно при условии повышения эффективности и результативности деятельности Роспотребнадзора, направленной на повышение качества питьевой воды, включающей реализацию мероприятий по контролю и надзору на основе риск-ориентированной модели деятельности службы, проводимой с 2014 г. Последнее предполагает концентрацию усилий Роспотребнадзора на объектах, осуществляющих деятельность в сфере сбора, очистки и распределения воды, которые могут являться источниками наибольших рисков для здоровья населения регионов России (Зайцева и др., 2019; МР 5.1.0116-17).

Литература

Горбанев С. А., Еремин Г. Б., Новикова Ю. А., Выучейская Д. С. Федеральный проект «Чистая вода». Первые итоги // Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2019. № 14 (1). С. 252–259.

Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году». М.: Минприроды России; ФГБУ «ВНИИ Экология», 2025. 721 с.

Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2024 году». М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2025. 424 с.

Зайцева Н. В., Сбоев А. С., Клейн С. В., Вековшинина С. А. Качество питьевой воды: факторы риска для здоровья населения и эффективность контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора // Анализ риска здоровью. 2019. № 2. С. 44–55.

МР 5.1.0116-17. Организация Госсанэпидслужбы России. Риск-ориентированная модель контрольно-надзорной деятельности в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия. Классификация хозяйствующих субъектов, видов деятельности и объектов надзора по потенциальному риску причинения вреда здоровью человека для организации плановых контрольно-надзорных мероприятий: Методические рекомендации» (утв. Роспотребнадзором 11.08.2017). М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2017. 31 с.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПОЛУОСТРОВОВ РЫБАЧИЙ И СРЕДНИЙ И ХРЕБТА МУСТАТУНТУРИ, МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ

В. А. Даувальтер*, З. И. Слуковский, П. Н. Адамская, Д. Б. Денисов, С. И. Вакуева

Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия

** e-mail: v.dauvalter@ksc.ru*

HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SURFACE WATERS OF THE RYBACHY AND SREDNY PENINSULAS AND THE MUSTATUNTURI RIDGE, MURMANSK REGION

V. A. Dauvalter, Z. I. Slukovskii, P. N. Adamskaya, D. B. Denisov, S. I. Vakueva

В результате исследований водных объектов полуостровов Рыбачий, Средний и хребта Мустатунтури, северо-запад Мурманской области, за 2024–2025 гг. установлено, что на формирование гидрохимического состава влияют три основных фактора: геохимический состав горных пород на территории водосбора, поступление морских аэрозолей и погодные условия. Присутствие на водосборах озер и рек линз карбонатных пород так же, как и теплое и сухое лето, проявляется в повышенных значениях минерализации и pH, гидрокарбонатно-кальциевом составе вод, а залегание плохо поддающихся выветриванию осадочных, магматических и метаморфических горных пород определяет главенствующую роль морских аэрозолей в формировании химического состава водных объектов, хлоридно-натриевом составе, низкой минерализации и слабокислых величинах pH.

Гидрохимические исследования на полуостровах Рыбачий и Средний и хребте Мустатунтури проводились в течение двух летних полевых сезонов 2024 и 2025 гг. Химический состав воды определяли в центре коллективного пользования ИППЭС КНЦ РАН по единым методикам, описанным ранее (Standard method…, 1999; Методы…, 2019). На водосборных территориях полуострова Рыбачий, исследованных в 2025 г., залегают полимиктовые песчаники, из которых с трудом могут выщелачиваться только полевые шпаты, поэтому на формирование химического состава водных объектов основное влияние оказывают морские аэрозоли. Все водные объекты характеризуются низкой минерализацией, в основном менее 20 мг/л, хлоридно-натриевым составом со слабокислыми величинами pH (от 5,69 до 6,07). Соотношение эквивалентных концентраций главных ионов выглядит следующим образом $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ и $Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+} > K^+$, что типично для прибрежных озер водосбора Баренцева моря (Кашулин и др., 2010).

Гидрохимический состав четырех водных объектов полуострова Рыбачий, исследованных в 2024 г., благодаря наличию на водосборах линз довольно хорошо растворимых карбонатных пород, отличался повышенной минерализацией (до 80 мг/л), более высокими величинами pH (до 7,26) и гидрокарбонатно-кальциевым составом.

У других пяти водных объектов вода хлоридно-натриевого состава, но значительно более высокая минерализация (50–74 мг/л) и более высокие значения pH (6,45–6,96) по сравнению с 2024 г. У двух водотоков вода была переходного гидрокарбонатно-натриевого состава с минерализацией 41–49 мг/л величиной pH 7,01–7,12. Различия в гидрохимическом составе водных объектов на полуострове Рыбачий в 2024 и 2025 гг. связаны, во-первых, с тем, что их водосборы расположены на разных территориях, а во-вторых, с разными погодными условиями. Июль 2024 г. был более теплым и сухим, а июль 2025 г. — холодным и с большим количеством осадков.

Водные объекты полуострова Средний были исследованы только в июле 2024 г. Водные объекты на севере полуострова Средний представлены одной озерно-речной

системой оз. Питьевого, и они характеризуются гидрокарбонатно-натриевым составом, минерализацией воды от 26 до 33 мг/л и слабокислыми и нейтральными значениями pH (от 6,30 до 6,85), что отражает главенствующую роль морских аэрозолей в формировании их химического состава. В воде озер содержания сульфатов превышают гидрокарбонаты (в пересчете на эквивалентную форму), в ручьях отмечается обратная тенденция. Озеро Питьевое исследовалось также в 2020 г. Гидрохимический состав воды озера за четыре года практически не изменился, только в 2024 г. незначительно увеличилась минерализация (с 24 до 28 мг/л) и вследствие этого возросло содержание главных ионов и увеличилась величина pH с 6,35 до 6,56. Гидрохимический состав водных объектов на юго-западе полуострова Средний, исследованных в 2024 г., разнообразен благодаря наличию на водосборах карбонатных пород (доломитов и известняков), поэтому вода гидрокарбонатного класса и натриевой группы, а в протоке между озерами вода необычного для Мурманской области гидрокарбонатно-магниевого состава, вероятно, вследствие наличия доломитов ($CaMg[CO_3]_2$). Эти озера характеризуются повышенной минерализацией (38–67 мг/л) и значениями pH > 7. В других водных объектах, где карбонатов меньше, вода гидрокарбонатно-натриевого состава и меньшая минерализация (24–29 мг/л) и значения pH слабокислые и нейтральные (pH = 6,28–6,88). Во всех водных объектах среди катионов на втором месте стоит Mg^{2+}.

Водосборные бассейны хребта Мустатунтури сложены кислыми олигоклазовыми гранитами и гранитоидами, практически не поддающимися выветриванию, поэтому в формировании химического состава поверхностных вод главное участие принимают морские аэрозоли. Водные объекты, исследованные в 2025 г., хлоридно-натриевого состава, ручьи характеризуются низкой минерализацией (10–13 мг/л) и слабокислыми значениями pH (5,43–5,83), в озерах минерализация немного выше (19–22 мг/л) и нейтральные значения pH (6,55–6,68). В оз. Урановом отбор проб воды проводился в 2024 и 2025 гг. В 2024 г. вода оз. Уранового была хлоридно-кальциевого состава, минерализация 22 мг/л, величина pH 6,77 и высокое содержание нитратов (0,79 мг/л). В 2025 г. вода оз. Уранового стала хлоридно-натриевого состава, уменьшились минерализация до 19 мг/л и величина pH до 6,55, содержание нитратов снизилось в три раза, до 0,25 мг/л). Изменение гидрохимического состава воды оз. Уранового связано скорее всего с другими погодными условиями, и вследствие этого большим участием в формировании химического состава воды озера морских аэрозолей в 2025 г. по сравнению с 2024 г. Возможно, отличие в распределении главных катионов в оз. Урановом в 2024 г. от всех остальных водных объектов хребта Мустатунтури (как в 2024-м, так и в 2025 гг.) связано с проведением дорожных строительных работ на территории водосбора озера, где проводятся буровзрывные и земляные работы, что сопряжено с извлечением большого количества горной массы, повышенным выветриванием скальных горных пород и увеличением поступления главных ионов, в том числе и катиона Ca^{2+}, а также поступлением минеральных соединений азота, так как взрывчатка для взрывных работ в основном состоит из соединений азота.

Работа выполнена в рамках темы гранта РНФ 24-17-20006 «Фоновые озера Арктической зоны Мурманской области: гидрохимия, аномалии тяжелых металлов и микропластик как новый тип загрязнения водоемов мира».

Литература

Кашулин Н. А., Сандимиров С. С., Даувальтер В. А., Кудрявцева Л. П., Терентьев П. М., Денисов Д. Б., Валькова С. А. Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области (Восточная часть. Бассейн Баренцева моря). В 2 ч. Апатиты: КНЦ РАН, 2010.

Методы экологических исследований водоемов Арктики (2019) / С. С. Сандимиров [и др.]. Мурманск: МГТУ, 180 с.

Standard method for examination for water and wastewater. 20-th Edition (Eds. Clescerl L. S., Greenberg A. E., Eaton A. D.). Washington: American Public Health Association USA, 1999. 2671 p.

ХЛОРОРГАНИЧЕСКИЕ ПЕСТИЦИДЫ В СЕВЕРНОМ КАСПИИ

Л. В. Дегтярева [1]*, Н. В. Попова [2], А. А. Курапов [3], Р. И. Умербаева [3], С. Н. Студников [3]

[1] Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия
[2] ООО Каспийская нефтяная компания, Астрахань, Россия
[3] ООО НИИ «Южморэкология», Астрахань, Россия

** e-mail: dlgru@mail.ru*

ORGANOCHLORINE PESTICIDES IN THE NORTHERN CASPIAN

L. V. Degtyareva, N. V. Popova, A. A. Kurapov, R. I. Umerbaeva, S. N. Studnikov

Представлены данные по загрязнению воды и донных отложений мелководной зоны Северного Каспия хлорорганическими пестицидами. Установлено, что основной вклад в загрязнение акватории вносит сток р. Волги. Периодически регистрируется поступление «свежих» пестицидов.

Хлорорганические пестициды (ХОП) — вещества исключительно антропогенного генезиса (Демешкин, 2014), относятся к стойким органическим загрязняющим веществам — высокотоксичным соединениям, распространение которых в биосфере имеет глобальный характер (Левшин и др., 2024). Входящие в группу ХОП гексахлорциклогексан (ГХЦГ) и дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) ранее широко применялись в сельском хозяйстве в качестве инсектицидов (Яровая и др., 2015; Цыганков, 2020; Малахова и др., 2022). И несмотря на то что в настоящее время в РФ введен запрет на их применение (Яровая и др., 2015; Азаров и др., 2018), снижения их содержания в окружающей среде не наблюдается (Качество морских вод…, 2020). Учитывая высокую стабильность ХОП, а также потенциал к миграции между средами и по трофическим цепям (Яровая и др., 2015), мониторинг за их содержанием является необходимой мерой при оценке качества природных вод и нормировании антропогенного воздействия.

Данная работа написана по результатам фонового экологического мониторинга, проведенного ООО «Каспийская нефтяная компания» на акватории лицензионных участков, расположенных в мелководной зоне Северного Каспия. ХОП в воде были определены в 2001–2013 гг., в донных отложениях — в 2001–2023 гг.

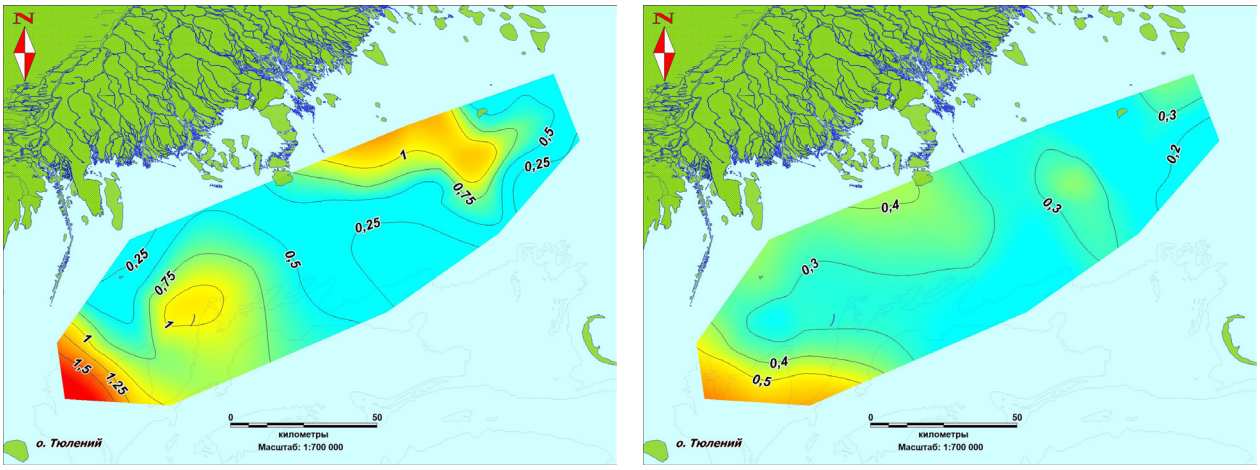
Концентрация α-ГХЦГ в воде изменялась в диапазоне 0–9,65 нг/л, β-ГХЦГ — 0–1,60 нг/л, γ-ГХЦГ — 0–7,07 нг/л. Содержание α-ГХЦГ в донных отложениях — в интервале 0–3,00 нг/г, β-ГХЦГ — 0–3,00 нг/г, γ-ГХЦГ — 0–1,20 нг/г.

Концентрация ДДЕ в воде изменялась в диапазоне 0–0,48 нг/л; ДДД — 0–1,31 нг/л; ДДТ — 0–2,46 нг/л. Содержание ДДЕ в донных отложениях было в пределах 0–1,70 нг/г; ДДД — 0–1,30 нг/г; ДДТ — 0–3,90 нг/г.

Превышение ПДК Σ ГХЦГ, установленной для рыбохозяйственных водоемов (Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552), зарегистрировано только в 2002 г. Концентрация Σ ДДТ в течение всего периода наблюдения была ниже ПДК. Превышение допустимой концентрации γ-ГХЦГ в донных отложениях (РД 52.15.880–2019) зафиксировано в 2002 г. и начиная с 2016 г. Превышение допустимой концентрации ДДТ зафиксировано в 2016 г. Уровень накопления ДДЕ и ДДД был ниже норматива.

В качестве показателя длительности пребывания ХОП в экосистеме были использованы отношение α-изомера к γ-изомеру ГХЦГ (Ровинский и др., 1990) и отношение ДДТ к ДДЕ (Цыганков, 2020). Выявлено поступление «свежего» ГХЦГ в северокаспийские воды после 2006 г. и преобладание «старого» ДДТ в донных отложениях после 2016 г.

По картам пространственного распределения ХОП, построенным по осредненным за период исследования значениям (рис.), установлено, что основной вклад в загрязнение акватории вносит сток р. Волги.



а б

Пространственное распределение средних значений концентрации ГХЦГ (а) и ДДТ (б) в поверхностном слое воды в осенний период, нг/л

Повышенный уровень накопления ХОП в донных отложениях регистрируется не только в области влияния волжского стока, но и на участках, расположенных южнее, что обусловлено поступлением ХОП в донные отложения в составе взвешенного вещества, осаждение которого происходит на геохимическом барьере «река — море».

Таким образом, несмотря на запрет использования ХОП, наблюдается их присутствие в морской среде Северного Каспия, периодически фиксируется поступление «свежих» ХОП, что указывает не только на высокую устойчивость и способность мигрировать между средами, но и на несанкционированное применение этих веществ природопользователями.

Литература

Азаров О. И., Цой В. Г., Чекмарев П. А., Юшков А. Ю. Химические средства защиты растений: мировой и российский рынок. М.: Леовинг, 2018. 111 с.

Демешкин А. С. Загрязнение почвенного покрова архипелага Шпицберген (район расположения угольного рудника «Баренцбург» и сопредельные территории) хлорорганическими соединениями // Ученые записки Российского гос. гидрометеорологического ун-та. 2014. № 37. С. 191–203.

Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник. 2019 / отв. ред. А. Н. Коршенко. М., 2020. 204 с.

Левшин Д. Г., Запевалов М. А., Бурков А. И. Распределение полихлорированных бифенилов в системе почва — атмосфера на южном побережье озера Байкал // Гидрометеорология и экология. 2024. № 77. С. 716–738.

Малахова Л. В., Лобко В. В., Малахова Т. В., Мурашова А. И. Сравнительная оценка хлорорганического загрязнения донных отложений разнотипных водных объектов Севастопольского региона (Крым) // Химия в интересах устойчивого развития. 2022. № 30. С. 174–185.

Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (Зарегистрировано в Минюсте России 13.01.2017 № 45203).

РД 52.15.880-2019. Руководство по организации и проведению наблюдений, оценке состояния и загрязнения морской среды в районах разведки и разработки морских нефтегазовых месторождений. 58 с.

Ровинский Ф. Я., Воронова Л. Д., Афанасьев М. И., Денисова А. В., Пушкарь И. Г. Фоновый мониторинг загрязнения экосистем суши хлорорганическими соединениями. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 270 с.

Цыганков В. Ю. Грязная дюжина «Стокгольмской конвенции. Химия и токсикология стойких органических загрязняющих веществ (СОЗ): обзор литературы // Стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) в дальневосточном регионе: моря, организмы, человек. Владивосток, 2020. С. 12–61.

Яровая О. В., Молчанова Я. П., Гусева Т. В., Межуев Я. О., Фирер А. А. Растворенные и взвешенные органические вещества в водных системах / под ред. О. В. Яровой. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2015. 92 с.

РЕДКИЕ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ВОДАХ ОЗЕРА ИМАНДРА И ОРГАНАХ РЫБ (*LOTA LOTA*, L.)

С. В. Дрогобужская [1]*, С. И. Мазухина [2], В. А. Маслобоев [2], И. М. Королева [2], П. М. Терентьев [2]

[1] *Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева ФИЦ «КНЦ РАН», Апатиты, Россия*

[2] *Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ «КНЦ РАН», Апатиты, Россия*

* *e-mail: s.drogobuzhskaia@ksc.ru*

RARE AND RARE EARTH ELEMENTS IN THE WATERS OF LAKE IMANDRA AND FISH ORGANS (*LOTA LOTA*, L.)

S. V. Drogobuzhskaya, S. I. Mazukhina, V. A. Masloboev, I. M. Koroleva, P. M. Terentyev

В природные воды поступают РЗЭ, которые далее могут поступать в живые организмы. Цель данной работы — определение редких элементов и РЗЭ в водах оз. Имандра и их распределение в органах налима обыкновенного. Озеро Имандра является источником питьевого водоснабжения г. Апатиты, при постоянном употреблении этих вод возможно накопление РЗЭ в организме человека, что может представлять опасность для здоровья и стать причиной некоторых заболеваний.

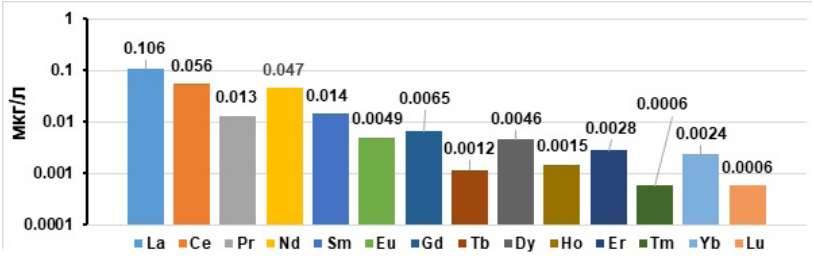
Работа является продолжением изучения химического состава природных вод в зависимости от региона Мурманской области, оценки их возможного влияния на живые организмы. Актуальность исследований вызвана превышением среднероссийских показателей заболеваемости, в том числе в г. Апатиты. Одной из стратегических задач водоснабжения в области является повышение и сохранение качества питьевой воды (Региональная программа…, 2019). Химический состав поверхностных вод, источников питьевого водоснабжения, — важнейший экологический фактор, поскольку химические свойства вод оказывают прямое биохимическое воздействие на живые организмы и их физиологические функции. Среди определяемых химических элементов особое внимание уделено группам редких и редкоземельных элементов (РЗЭ), поэтому цель данной работы — определение редких элементов и РЗЭ в придонных водах оз. Имандра и налиме обыкновенном (*Lota lota*, L.).

Отбор образцов природных вод Йокостровской Имандры (5 образцов) и налима обыкновенного (7 особей) проведен в 2024 г. Биосубстраты налима после обезвоживания в лиофильной установке подвергали разложению азотной кислотой в закрытых пробирках в термоблоке при температуре 115 °С. Для определения редких и РЗЭ в природных водах использовали высокочувствительный метод анализа — масс-спектрометрию с индуктивно связанной плазмой. Измерения проводили на приборах ELAN 9000 DRC-e (Perken Elmer, США) и Plasma Quant MS Elite (Analytikjena). Холостое загрязнение для РЗЭ и редких элементов составило *0, n* — *n* нг/л, а предел обнаружения — 0,1–1,5 нг/л для разных элементов. При определении тяжелых РЗЭ методом ИСП МС учитывали интерференции за счет оксидов легких РЗЭ с помощью математической коррекции.

Озеро Имандра является источником питьевого водоснабжения г. Апатиты и средой обитания для живых организмов, в том числе рыб. Проведен специализированный мониторинг придонных вод озера и биосубстратов налима обыкновенного (*Lota lota*, L.) для оценки распределения (накопления) элементов в органах (скелете, жабрах, печени, почках, мышцах и мозге). В водах озера обнаружены РЗЭ, для которых не разработаны ПДК и действие которых на организм еще недостаточно изучены. Результаты определения элементов приведены в табл. 1, а концентрации редкоземельных элементов — на рис.

Таблица 1. **Концентрации РЗЭ и редких элементов в водах оз. Имандра**

Объект анализа	Концентрация (n = 5), мкг/л						
	Zr	Sc	Y	сумма Ln	РЗЭ	Th	U
Оз. Имандра	0,046	0,22	0,034	0,26	0,51	0,0023	0,115



Лантаноиды в водах оз. Имандра

В органах налима обыкновенного обнаружены все элементы, кроме индия и гафния, их концентрации ниже предела обнаружения. Результаты определения элементов в биосубстратах приведены в табл. 2. Больше всего циркония, скандия, тория и РЗЭ элементов накапливается в мозге. Уран концентрируется в жабрах и скелете.

Таблица 2. **Концентрации РЗЭ и редких элементов в органах налима**

Субстрат	Скелет	Мышцы	Печень	Почки	Жабры	Мозг
Th	< 0,0001	< 0,0001	0,0032	0,0024	0,0016	**0,027**
U	0,0065	0,0012	0,0018	0,0018	**0,0083**	0,0047
Zr	0,0066	0,0062	0,028	0,056	0,032	0,20
Sc	0,010	0,090	0,22	0,29	0,13	**0,62**
Y	0,0039	0,00095	0,0048	0,0075	0,0080	0,0123
Ln	0,024	0,043	0,0024	0,043	0,039	0,133
РЗЭ	0,027	0,044	0,0073	0,051	0,047	**0,145**

Таким образом, на примере налима обыкновенного показано, что редкие элементы и РЗЭ могут преодолевать естественные биологические барьеры в организме и накапливаться в определенных органах. Так как воды оз. Имандра — источник питьевого водоснабжения, возможен транспорт этих элементов в воды, подаваемые населению по разводящим сетям, способность накапливаться в организме человека и становиться причинами ряда заболеваний, поэтому выводы актуальны в контексте использования природных вод для целей питьевого водоснабжения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ 24-17-00114 «Оценка химического состояния природных и питьевых вод Мурманской области, форм миграции, влияние на элементный статус жителей».

Литература

Региональная программа «Повышение качества питьевого водоснабжения Мурманской области в рамках реализации федерального проекта «Чистая вода» на 2019–2024 годы». Мурманск, 2019. 24 с. https://docs.cntd.ru/document/561465271.

РЕДКИЕ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ КРАСНОЩЕЛЬЯ И КАМЕНКИ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

С. В. Дрогобужская [1]*, С. И. Мазухина [2], В. А. Маслобоев [2], С. А. Сафонов [2]

[1] *Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева ФИЦ «КНЦ РАН», Апатиты, Россия*

[2] *Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ «КНЦ РАН», Апатиты, Россия*

* *e-mail: s.drogobuzhskaia@ksc.ru*

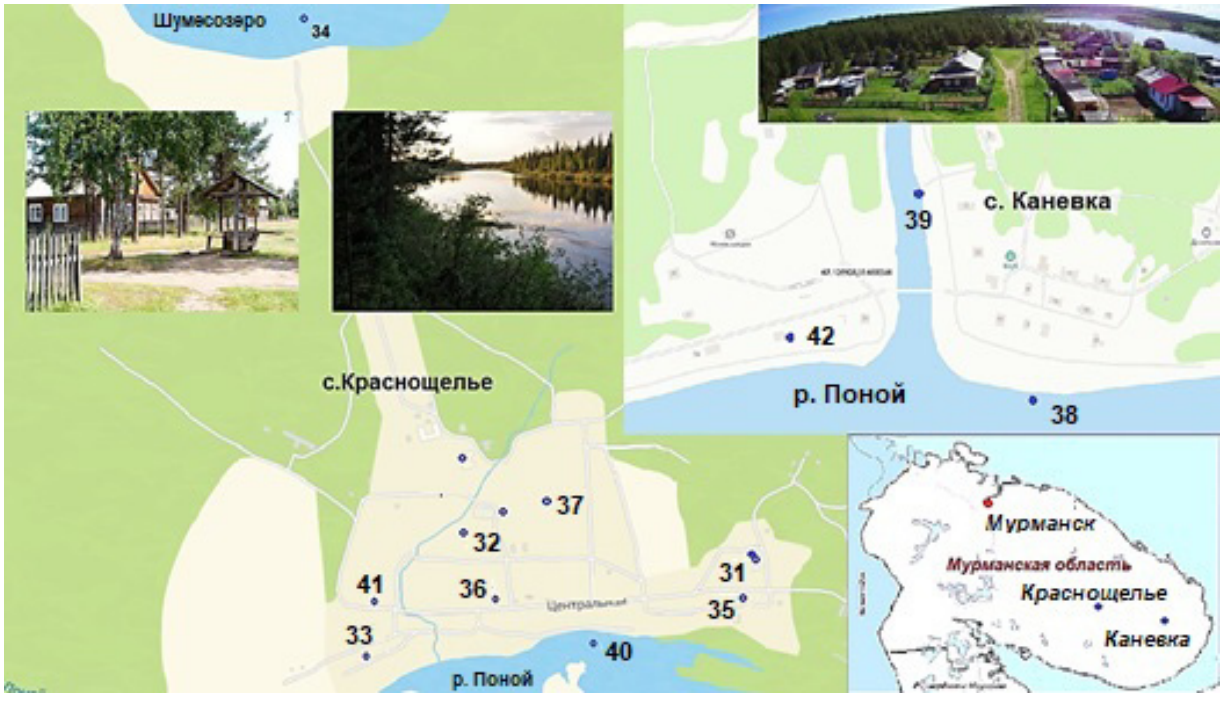
RARE AND RARE EARTH ELEMENTS IN THE NATURAL WATERS OF KRASNOSHCHELYE AND KAMENKA (MURMANSK REGION)

S. V. Drogobuzhskaya, S. I. Mazukhina, V. A. Masloboev, S. A. Safonov

Работа является продолжением изучения химического состава природных вод в зависимости от региона Мурманской области. Цель исследования — определение редких и РЗЭ в природных водах сел Краснощелье и Каменка, где проживает коренное население. Для анализа использовали метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Поступление редких и РЗЭ в природные воды происходит в результате взаимодействия «вода — порода». Установлено, что РЗЭ присутствуют в поверхностных и подземных водах, достигая концентрации 0,56 мг/л в некоторых скважинах. При постоянном употреблении этих вод возможно накопление РЗЭ в организме, что может представлять опасность для здоровья населения и стать причиной заболеваний.

На здоровье населения Мурманской области негативно влияет не только загрязнение водных объектов, но и дефицит макро- и эссенциальных элементов в источниках питьевого водоснабжения. Поэтому актуальным является исследование химического состава природных (подземных и поверхностных) вод — источников питьевого водоснабжения. Цель данной работы — определение редких элементов и РЗЭ в природных водах сел Краснощелье и Каменка, где проживает коренное население.

Отбор образцов проводили в реках, озере, колодцах и скважинах в с. Краснощелье и с. Каневка (рис.).



Точки отбора образцов воды (2024 г.), с. Краснощелье и с. Каневка

Села удалены от промышленных предприятий, с. Краснощелье находится в 140 км от места добычи редкоземельных руд, основное предприятие — сельскохозяйственный оленеводческий кооператив «Оленевод».

Для определения редких и РЗЭ использовали метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Измерения проводили на приборах ELAN 9000 DRC-e (Perken Elmer, США) и Plasma Quant MS Elite (Analytikjena). Результаты приведены в табл.

Результаты определения редких элементов и РЗЭ

	Образец	№	Коцентрация, мкг/л						
			Sc	Y	Ln	Th	U	Zr	Nb
Село Краснощелье	Колодец	31	0,50	0,64	0,60	< 0,0002	0,0028	< 0,0001	0,15
	Колодец	35	0,54	0,094	0,057	< 0,0002	0,0014	0,83	0,082
	Скважина	32	0,51	0,32	0,43	0,014	0,022	6,6	0,25
	Скважина	33	0,65	2,5	3,7	0,0005	0,014	< 0,0001	0,084
	Скважина	41	0,47	0,87	1,8	0,0027	0,024	1,2	0,083
	Скважина	36	0,51	122	424	0,0022	0,048	2,5	0,070
	Скважина	37	0,44	91,9	321	0,0002	0,043	0,20	0,028
	Река Поной	40	0,52	0,30	0,94	0,017	0,038	9,6	0,57
	Озеро Шумесозеро	34	0,09	0,057	0,11	0,0044	0,0006	3,5	0,21
Село Каневка	Река Поной	38	0,47	0,15	0,49	0,013	0,017	1,1	0,033
	Река Югонька	39	0,39	0,22	0,91	0,029	0,014	5,9	0,35
	Колодец	42	0,32	0,092	0,16	0,0029	0,0059	14,6	0,29

В Шумесозере концентрация РЗЭ минимальна, ее можно принять за фоновую для поверхностных вод данной территории. Химический состав р. Поной — интегральный показатель влияния пород в районе с. Краснощелье. Ранее установлено, что воды колодцев в с. Краснощелье содержат до 50 мкг/л РЗЭ, согласно новым данным — в скважинах определено до 550 мкг/л. Поступление этих элементов в воды происходит в результате взаимодействия «вода — порода». Установлено, что в колодцах в десятки раз выше концентрация NO_3^-, чем в поверхностных водах (0,35 мг/л), а в некоторых скважинах она превышает ПДК (45 мг/л). Присутствие нитрат-иона может способствовать увеличению степени взаимодействия «вода — порода» и растворимости минералов, содержащих редкие и РЗЭ. Максимальная концентрация урана и тория также фиксируется в скважинах, циркония — в колодце, а ниобия — в р. Югоньке в с. Каневка.

Присутствие в подземных водах, используемых населением в качестве питьевых, высоких концентраций редкоземельных элементов при их постоянном употреблении может стать причиной заболеваний нервной системы, других органов. Оценка элементного статуса детей с. Ловозеро, где происходит добыча и переработка редкоземельных руд, подтвердило присутствие РЗЭ в волосах детей. РЗЭ и редкие элементы в живых организмах являются регуляторами биологических процессов, влияние которых на здоровье человека еще до конца не изучено.

Полученная информация полезна для оценки здоровья коренного населения исследуемого региона.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ 24-17-00114 «Оценка химического состояния природных и питьевых вод Мурманской области, форм миграции, влияние на элементный статус жителей».

ГУБКИ (PORIFERA) КАМЕНИСТЫХ ПЛЯЖЕЙ ШХЕРНОГО РАЙОНА ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Д. С. Дудакова [1]*, И. А. Мухин [2], К. А. Петров [1]

[1] Институт озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия
[2] Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

** e-mail: judina-d@yandex.ru*

PORIFERA OF THE ROCKY BEACHES OF THE SKERRY AREA OF LAKE LADOGA

D. S. Dudakova, I. A. Mukhin, K. A. Petrov

В августе 2019–2020 гг. была обследована спонгиофауна литоральной зоны на семи участках (полуострова Хунукка и острова Ристисаари), сложенных каменистыми пляжами — биотопом, широко распространенным на мелководье шхерного района Ладожского озера. Для нахождения организмов губки на твердом субстрате проводился осмотр всех разноразмерных обломков внутри рамки 1 × 1 м на глубинах 0,4–0,8 м. Выявлена повсеместная встречаемость губки в составе зооперифитона изученного биотопа. Показано, что имеются различия во встречаемости губок на обломках разных размеров, а также она зависит от экспозиции пляжа относительно сторон света и интенсивности гидродинамической активности. Использование ортофоторгамм с БПЛА (с высокой степенью детализации полученных изображений) дало возможность произвести предварительный расчет численности губки на единицу береговой линии, что может служить основой для оценки вклада спонгиофауны в экосистемные процессы и потоки вещества и энергии.

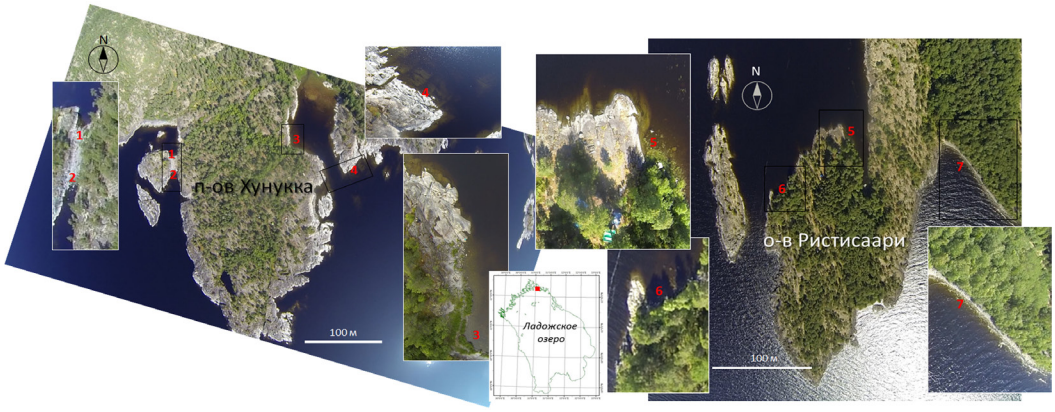
Губки (Porifera) являются важным компонентом экосистем пресноводных водоемов, входят в состав зооперифитона, нередко выступая в роли видов-эдификаторов (Протасов, 2011). Однако количественные характеристики развития спонгиофауны, ее экологические особенности для отдельных внутренних водоемов, в частности Ладожского озера, до сих пор мало изучены. Последняя сводка, где дается характеристика видового состава и экологии губок Ладожского озера, приводится в работе Г. А. Стальмаковой (Стальмакова, 1968). В 2026 г. нами были обобщены результаты исследования распределения спонгиофауны Ладожского озера с использованием метода подводной видеосъемки (Дудакова и др., в печати). Было показано, что Porifera встречаются до глубин 11,5 м, и это связано с глубиной распространения твердого субстрата — каменистых обломков. Каменистые пляжи и моренные отложения, сложенные таким субстратом, являются наиболее предпочитаемым биотопом для поселения губок.

В связи с этим в настоящем исследовании была поставлена цель: оценить характер расселения губок на каменистых пляжах и на примере участков шхерного района Ладожского озера разработать методику оценки количественного развития спонгиофауны.

Для проведения оценки расселения губок по отдельным обломкам использовалась рамка размером 1 × 1 м, внутри которой вынимались и осматривались все твердые субстраты. Выделяли три категории обломков: мелкие — меньше 5 см (по наибольшей протяженности), средние — от 5 до 30 см, крупные — выше 30 см (в исследованных выборках до 70 см). Исследования проводились в течение двух лет (2019 и 2020 гг.) на семи участках с каменистыми пляжами, расположенных на полуострове Хунукка и острове Ристисаари (рис.). Для оценки представленности каменистых подводных пляжей в донных ландшафтах прибрежной зоны изучаемых участков акватории использовались ортофотограммы, полученные по результатам аэровидеосъемки с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) Phantom 2 в районе исследований спонгиофауны.

Согласно полученным данным, наиболее предпочитаемыми губкой были крупные обломки более 30 см в поперечнике, однако их вклад в общее число обломков и общая площадь были несравненно меньше по сравнению с двумя другими категориями (мелкие и средние).

Более высокий процент встречаемости губок отмечен для мелких обломков по сравнению со среднеразмерными (табл.). Было отмечено влияние на частоту встречаемости губок гидродинамической активности. Для крупных обломков усиление гидродинамики приводит к их большей заселяемости, тогда как для мелких, напротив, к снижению этого показателя. Показана также зависимость от экспозиции пляжа: каменистые пляжи, обращенные к северу, в целом более заселены.



Расположение площадок исследования спонгиофауны в 2019–2020 гг.

Встречаемость губок на разных биотопах и разноразмерных обломках

№ участка	Год	Расположение	Интенсивность гидродинамики	Частота встречаемости губки, %; объем просмотренной выборки обломков, n		
				мелкие обломки	средне-размерные	крупные обломки
1	2019/ 2020	полуостров Хунукка	низкая	5,9 (118) / 33,3 (6)	6,3 (48) / 4,1 (49)	25,0 (12) / 33,3 (3)
2	2019/ 2020	полуостров Хунукка	средняя	7,1 (14) / –	2,6 (78) / 5,3 (38)	100,0 (2) / –
3	2019	полуостров Хунукка	низкая	3,1 (32)	0,0 (30)	0,0 (1)
4	2019	п-ов Хунукка	высокая	7,5 (40)	4,9 (41)	100,0 (1)
5	2020	остров Ристисаари	низкая	25,0 (8)	7,1 (14)	16,7 (6)
6	2020	остров Ристисаари	средняя	8,7 (23)	3,8 (80)	0 (1)
7	2020	остров Ристисаари	средняя	4,0 (50)	2,0 (50)	0 (5)
Среднее (суммарный объем выборки)				11,8±3,9 (291)	4,0±0,7 (428)	34,4±15,0 (31)

Проведенные расчеты и учет данных аэрофотосъемки позволяют дать предварительную оценку численности губок на каменистых пляжах шхерного района в масштабах порядка 10–20 экз. на 1 м^2 проективной площади. Принимая то, что средняя ширина пляжа на исследованных отмелях составляет (по данным аэросъемки с БПЛА) 10 м, рассчитано: для участка пляжа протяженностью 100 м общее число представителей спонгиофауны составит 17 тыс. экз., а их общая площадь (корковые формы) — 13,6 м^2.

Публикация составлена при поддержке гостемы ИНОЗ РАН — СПб ФИЦ РАН № FFZF-2024-0001 «Экосистемы Ладожского озера, водоемов его бассейна и прилегающих территорий в условиях воздействия природных и антропогенных факторов на фоне климатических изменений».

Литература

Дудакова Д. С., Дудаков С. М., Петров К. А., Шалгин Д. А. Подводная видеосъемка как метод изучения распределения пресноводной губки (Porifera) в литоральной зоне Ладожского озера: материалы ежегодн. междунар. науч.-практ. конф. LXXIX Герценовские чтения «География: развитие науки и образования» 22–25 апреля 2026 г. 2026. (В печати).

Протасов А. А. Жизнь в гидросфере. Очерки по общей гидробиологии. Киев: Академпериодика, 2011. 704 с.

Стальмакова Г. А. Зообентос Ладожского озера // Биологические ресурсы Ладожского озера (зоология) Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1968. С. 7–39.

МАСШТАБЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ДИВЕРСИФИКАЦИИ АРКТИЧЕСКОГО ГОЛЬЦА (*SALVELINUS, SALMONIDAE*) НА ЧУКОТКЕ

Е. В. Есин [1, 2]*, Г. Н. Маркевич [2], Л. С. Зиневич [1, 2], Д. М. Паничева [1], Б. А. Левин [2]

[1] КамГУ им. Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский, Россия
[2] ИПЭЭ РАН им. А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

** e-mail: evgesin@gmail.com*

THE EXTENT OF ECOLOGICAL DIVERSIFICATION IN THE CHUKOTKAN ARCTIC CHARR (*SALVELINUS, SALMONIDAE*)

E. V. Esin, G. N. Markevich, L. S. Zinevich, D. M. Panicheva, B. A. Levin

Представлены первые данные по разнообразию симпатрических адаптивных форм гольцов арктической филолинии на континентальной Чукотке и полуострове Чукотка. Разнообразие сведено к трем повторяющимся вариантам с диверсификацией на две-три формы, различающиеся генетически и трофо-экологической специализацией. В озерах древних Пегтымельских гор выявлен центр адаптивной радиации гольцов. Представители Пегтымельского пучка форм являются потомками рефугиальной фауны.

Разнообразие, филогеография, экология и родственные отношения чукотских гольцов *Salvelinus* spp. представляют интерес для разработки проблем эволюционной биологии. Нами проведен анализ собственных сборов гольцов из водоемов континентальной Чукотки и одноименного полуострова, в результате которого, помимо известного случая полиморфизма гольцов оз. Эльгыгытгын, выявлено еще 17 случаев симпатричного обитания фенотипов с разными трофо-экологическими адаптациями и ограничением встречного потока генов. Половина случаев ранее не была известна науке. Для симпатрических форм гольцов изучены пищевые предпочтения и морфологические особенности; на основе генетических маркеров оценен уровень репродуктивной изоляции; геномный SNP использован для реконструкции эволюционных сценариев формообразования. Цель данной работы — представить первые данные о масштабах и механизмах экологической диверсификации гольцов арктической филолинии.

Судя по генетическому смешению популяций и топологии филогенетических деревьев, локальное разнообразие в озерах формировалось путем экологического формо- (видо-) образования в условиях симпатрии в результате независимого вселения предков симпатрических форм, а также через коадаптацию предков гибридного происхождения. Выявлены три повторяющихся варианта диверсификации и один случай образования сложного пучка (табл.).

При разделении на крупную всеядную — мелкую планктоядную формы, как правило, между ними можно наблюдать высокий уровень генетической дифференциации, гибриды встречаются редко. Численность и показатели популяционного разнообразия мелкой формы всегда выше, чем у крупной. В бассейне Палаваама пары форм могли произойти от рыб из разных локальных рефугиумов арктической Чукотки; в озерах бассейна Колючинской губы мелкая форма — местный реликт, крупная — потомок проходных гольцов с полуострова Чукотка. На юге Чукотки мелкая форма имеет гибридное происхождение, крупная — потомок проходных гольцов.

Более редкий эволюционный сценарий — разделение на крупную всеядную — мелкую бентосоядную формы. Этот вариант обнаружен только в молодых пост-ледниковых озерах района хребта Искатель. Между формами выявлено ограничение потока генов; гибриды первых поколений составляют до 15–20 % популяций. Формы имеют монофилетическое происхождение и, по всей видимости, возникали в результате симпатрической эволюции параллельно в разных озерах.

В больших глубоких озерах по всей Чукотке встречаются по три формы гольцов: крупная рыбоядная — средняя бентосоядная — мелкая планктоядная. При этом эволюционные сценарии диверсификации от озера к озеру разные. По генетическим данным, формы из озер Баранье и Пенное, а также Нотарэлья имеют монофилетическое происхождение. По уровню генетической дифференциации формы близки, наблюдается единичная гибридизация между крупной и средней. Вероятно, после дивергенции на крупных и мелких гольцов первые вторично дивергировали на крупную пелагическую и среднюю демерсальную формы. В оз. Капар крупная и мелкая формы дивергировали от общего предка, между ними выявлено ограничение генного потока. Средняя форма сильно дифференцирована и является потомком гибридов с рыбами другой волны вселения.

В Пильгынских озерах выделяется до пяти-шести форм. Экосистемы озер этого района продолжали функционировать весь поздний плейстоцен, оставаясь ключевым центром эволюции гольцов в высокой Арктике. Из реликтовых водоемов гольцы расселялись по озерам Пегтымельских гор. Местная фауна представлена проходной формой, мелкими глубоководными планктофагами, литоральными насекомоядными гольцами и формой, питающейся амфиподами, а также хищниками нескольких фенотипов. Анализ родственных отношений и множественных паттернов специализации Пильгынского пучка является интересной и не решенной до конца научной задачей.

Перечень изученных случаев диверсификации чукотских гольцов

Озеро	Бассейн	Координаты, N, E	Вариант полиморфизма
Гытгыль*	р. Палаваам	68.238689, 176.275635	Две формы: мелкая планктоядная — крупная всеядная
Коканле*	Колючинская	66.443881, –175.531792	
Пычгынмы*	губа	66.205451, –175.691865	
Этурер*	–”–	66.407208, –175.309240	
Коолень*	лаг. Уэлен	65.941105, –171.095731	
Эр*	бух. Аччен	65.079816, –174.643913	
Ар*	оз. Утиное	65.746276, –176.371584	Две формы: мелкая бентосоядная — крупная всеядная
Матачинай*	р. Амгуэма	66.653013, –179.348008	
Равкэр*	–”–	66.700614, –179.046782	
Баранье	р. Анадырь	66.854525, 175.284904	Три формы: мелкая планктоядная — средняя бентосоядная — крупная рыбоядная
Пенное	–”–	66.950147, 175.218431	
Нотарэлья*	–”–	68.416390, 175.491093	
Экитыки	р. Амгуэма	67.512757, 179.548367	
Капар*	бух. Аччен	64.904041, –174.466579	
Ынны*	р. Пегтымель	68.525890, 177.361325	
Тывэгрыннэт*	–”–	68.366091, 178.002095	
Пильгынские	р. Пегтымель	68.577859, 176.856954	Четыре формы, разделяющиеся на ряд группировок

* *Примечание.* В названии озера сокращено окончание -гытгын.

Исследования выполнены в рамках государственного задания Минобрнауки России FZSS-2025-0006.

МНОГОЛЕТНИЙ МОНИТОРИНГ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ КЕРЖЕНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Л. Е. Ефимова [1]*, О. В. Кораблева [2], Д. В. Ломова [3], О. Н. Ерина [1], Д. И. Соколов [1]

[1] Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия
[2] Государственный природный заповедник «Керженский», Нижний Новгород, Россия
[3] ИВП РАН, Москва, Россия

** e-mail: ef_river@mail.ru*

LONG-TERM MONITORING OF WATER BODIES OF THE KERZHENSKY STATE NATURE RESERVE

L. E. Efimova, O. V. Korabliova, D. V. Lomova, O. N. Erina, D. I. Sokolov

Россия обладает значительными водными ресурсами. Однако в связи с климатическими изменениями и антропогенным воздействием качество этих ресурсов ухудшается. Водные объекты, расположенные на условно-фоновых территориях, могут рассматриваться в качестве «мониторов» для правильной оценки происходящих изменений поверхностных вод соответствующей территории. Особое положение среди водных объектов занимают пойменные озера. Проведение мониторинга дает возможность оценить значения параметров, при которых обеспечивается нормальное существование водных экосистем и их современные изменения.

Керженский государственный природный заповедник расположен в Лесном Заволжье, в зоне южно-таежных ландшафтов. Территория представляет собой песчаную слабонаклонную равнину, а ее особенностью является наличие крупных болотно-торфяных массивов. Распределение малых озер в пределах пойменных ландшафтов является особенностью долины р. Керженец.

Доля пойменных озер в общем числе озер бассейна р. Керженец превышает 70 %. Они имеют ряд общих типологических черт. Исследованные озера расположены на зрелой пойме: в прирусловой (озера Нижнее Рустайское, Маховское), центральной (озера Калачик, Круглое) и притеррасной (оз. Чернозерье) пойменных зонах. Эти зоны находятся на разном расстоянии от русла. Объектами мониторинга являются также воды колодцев п. Рустай, р. Вишня и болота Вишенское.

Лимнологический мониторинг в Керженском заповеднике начат в 1996 г., спустя 28 лет количество «объектов-мониторов» увеличилось, расширен и перечень определяемых гидрофизических и гидрохимических показателей: температура, электропроводность, pH воды, концентрация растворенного кислорода. Мониторинг дополняется данными, получаемыми в ходе специальных лимнологических исследований водных объектов, представляющих разные типы вод территории (Efimova et al., 2016; Ефимова и др., 2017). Анализ содержания главных ионов проводится методом капиллярного электрофореза (Комарова, Каменцев, 2006). Косвенные показатели содержания органического вещества (ХПК), биогенные элементы (фосфор и кремний) определяются согласно (Руководство…, 2003). Оценка потребления кислорода грунтами, а также концентрации фосфора на границе «вода — донные отложения» производилась «методом трубок» (Романенко, 1985).

Данные многолетнего мониторинга подтвердили, что гидрологический и гидрохимический режим водных объектов определяется их положением в пойменно-русловом комплексе: удаленностью от реки и степенью гидравлической связи с ней, высотой расположения на пойме. При слабой гидравлической связи в озерах снижается уровень воды и отмечается относительное увеличение долей атмосферного, почвенно-грунтового и подземного питания озера, что сказывается и на некоторых изменениях химического

состава воды озер. К важным морфометрическим показателям относится величина удельного водосбора озер-«мониторов», она определяет гидрологическую структуру водоема, соотношение доли аллохтонных и автохтонных веществ в формировании химического состава воды. В долине р. Керженец влияние водосбора заметно больше для озер, имеющих меньшие площади акваторий.

По данным мониторинга с 1996 г. происходило уменьшение среднегодовой электропроводности воды Керженца, в 2007–2008 гг. значение данного показателя стало увеличиваться. Эта тенденция сохраняется и в настоящее время. Отмечены также уменьшение доли весеннего стока и ее увеличение в меженный период.

Несмотря на сравнительно небольшую глубину пойменных озер, их перемешивание после зимнего периода может быть неполным, а быстрое нагревание поверхности воды усиливает неоднородность и способствует скорейшему образованию аноксидных условий в придонном слое. В течение лета постепенное нагревание придонных слоев уменьшает устойчивость водного столба, что делает возможным более глубокое перемешивание.

Озера, расположенные на центральной пойме и не имеющие постоянной связи с рекой, характеризуются меньшим притоком с водосбора биогенных и органических веществ. В придонных слоях наблюдается постоянная аноксия, в результате чего из донных отложений восстанавливается большое количество минерального фосфора. В придонных горизонтах озер концентрация фосфора увеличивается в течение теплого сезона и может изменяться от года к году в зависимости от гидрометеорологических условий, определяющих температуру воды.

Состав донных отложений отражает стадии развития пойменных озер. На процессы деструкции органических веществ оказывают влияние различные факторы окружающей среды: температура воды, содержание в ней растворенного кислорода, наличие в грунтах легкоокисляемых органических веществ. Между придонными слоями водной толщи и донными отложениями в зависимости от гидрологической обстановки в водоеме протекают процессы массо- и газообмена. Например, при минерализации органических веществ из донных отложений высвобождаются фосфаты, а при увеличении толщины аноксидного слоя выход фосфора из донных отложений увеличивается с ростом содержания ОВ в верхнем слое грунтов. При условиях длительной аноксии (толщина аноксидного слоя больше 1 м) выход фосфора зависит от интенсивности деструкционных процессов в илах. Кроме того, концентрация фосфора в придонных слоях воды увеличивается в течение теплого сезона и может изменяться от года к году в зависимости от гидрометеорологических условий, определяющих температуру воды.

Исследование проводилось в рамках госзадания кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова «Гидрологический режим и экологическое состояние водных объектов суши в условиях современного и будущего климата и антропогенного воздействия».

Литература

Ефимова Л. Е., Ерина О. Н., Ефимов В. А., Ломова Д. В., Соколов Д. И. Гидрохимические показатели в водах заповедника Керженский: особенности и сезонная изменчивость // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах. Труды VI Всерос. симп. с междунар. уч. Барнаул, 2017. С. 84–90.

Комарова Н. В., Каменцев Я. С. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «Капель». СПб.: «Веда», 2006. 212 с.

Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М.: ВНИРО, 2003. 202 с.

Романенко В. И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. Л.: Наука, 1985. 294 с.

Efimova L. E., Korabliova O. V., Lomova D. V. Landscape dynamics and lakes hydrology of kerzhenets river flooplain. // Riparian zones. Characteristics, management practices, and ecological impacts. Pokrovsky O. S. (ed.). Nova Science Publishers, Inc., United States New York, 2016. P. 125–148.

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗООПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ ВОДОЕМОВ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ ШАТУРСКОЙ ГРЭС (МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

И. А. Жернаков*, Д. Ю. Тюлин, А. И. Никитенко, А. В. Солодовник, Д. В. Горячев

Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Рыбное, Россия

** e-mail: i.zhernakov@vniiprh.vniro.ru*

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF ZOOPLANKTON COMMUNITIES IN THE COOLING RESERVOIRS OF THE SHATURA POWER PLANT (MOSCOW REGION)

I. A. Zhernakov, D. Yu. Tyulin, A. I. Nikitenko, A. V. Solodovnik, D. V. Goryachev

Представлены результаты исследования зоопланктона озер Святое и Муромское (Шатурская группа) в вегетационный сезон 2025 г. Установлено, что таксономическое разнообразие в оз. Муромском (27 таксонов) выше, чем в оз. Святом (20 таксонов). Выявлена четкая сезонная сукцессия: весеннее доминирование ветвистоусых ракообразных (преимущественно *Bosmina longirostris*) сменяется летне-осенним преобладанием веслоногих под влиянием повышенных температур и пресса хищного зоопланктона (*Leptodora kindtii*). Среднесезонная биомасса составила 2,30 г/м³ в оз. Муромском и 1,91 г/м³ в оз. Святом, что по классификации Пидгайко соответствует водоемам выше средней и средней кормности, соответственно. Индексы сапробности (1,58 и 1,68) характеризуют воды как умеренно загрязненные (β-мезосапробная зона). Полученные данные являются первой комплексной оценкой состояния зоопланктона Шатурских озер за последние десятилетия.

Водоемы-охладители тепловых электростанций представляют собой специфические антропогенно-модифицированные экосистемы, термический режим которых существенно отличается от естественных водоемов (Мордухай-Болтовской, 1975; Ривьер, 1975). Шатурская группа озер (Московская область), включающая озера Святое и Муромское, с 1925 г. используется для охлаждения ГРЭС, что в сочетании с природными особенностями (торфяной характер вод, мелководность) создает уникальные условия для формирования гидробиоценозов (Маслов, 2009). Несмотря на ихтиологические исследования последних лет (Никитенко, 2022), данные по зоопланктону — ключевому звену трофической цепи и индикатору качества вод — до настоящего времени отсутствовали.

Цель работы — оценка современного состояния зоопланктонных сообществ озер Святое и Муромское, их кормовой ценности и сапробиологической характеристики.

Пробы отбирали на восьми станциях (три на оз. Муромском, пять на оз. Святом) в мае, июле и сентябре 2025 г. сетью Джеди (газ № 49, 134 мкм) с фиксацией 4% формалином. Камеральную обработку проводили по стандартным методикам (Винберг, Лаврентьева, 1982). Таксономическую идентификацию выполняли с использованием определителей (Цалолихин, 2004; Чертопруд, 2022). Индекс сапробности рассчитывали по методу Пантле и Букка, трофический статус — по классификации Пидгайко (Пидгайко и др., 1968).

Температурный режим озер определялся их функционированием в качестве охладителей: весной средняя температура составляла 16,5 °C (Муромское) и 14,0 °C (Святое), летом повышалась до 29,0 °C и 25,3 °C, осенью оставалась аномально высокой: 25,7 °C и 21,9 °C, соответственно. Содержание кислорода варьировало от 7,4 мг/л летом до 14,2 мг/л осенью.

В оз. Муромском зарегистрировано 27 таксонов зоопланктона: 8 Rotifera, 14 Cladocera, 5 Copepoda. В оз. Святом — 20 таксонов: 8 Rotifera, 8 Cladocera, 4 Copepoda. Обнаружено

17 и 12 видов-индикаторов сапробности, соответственно. Массовое весеннее развитие в оз. Муромском отмечено для *Bosmina longirostris*, в оз. Святом преобладал *Chydorus sphaericus*. Интерес представляет находка в оз. Муромском *Ilyocryptus agilis* — типичного обитателя илистых грунтов.

Численность зоопланктона достигла максимума весной: 937,7 тыс. экз./м³ в оз. Муромском и 542,9 тыс. экз./м³ в оз. Святом. Биомасса также достигла пиков весной, оз. Муромское (5,82 г/м³), оз. Святое (3,93 г/м³). Среднесезонная биомасса составила 2,30 и 1,91 г/м³, соответственно.

Весной в обоих водоемах по численности и биомассе доминировали Cladocera, летом и осенью — Copepoda. Смена доминантов обусловлена комплексом факторов: повышением температуры, эвтрофированием и прессом хищного зоопланктона (*Leptodora kindtii*), регулярно отмечавшегося в летне-осенних пробах. Циклопы, будучи эвритермными организмами, способны переносить более широкий диапазон температур и обеспечивать питание за счет смешанного типа (Straile, 2025).

По классификации Пидгайко (Пидгайко и др., 1968), оз. Муромское (2,30 г/м³) относится к водоемам выше средней кормности, оз. Святое (1,91 г/м³) — к среднекормным. Весной кормность оз. Муромского достигала уровня высококормных водоемов (5,82 г/м³), что создает благоприятные условия для нагула молоди рыб, видовой состав которых (судак, лещ, плотва) установлен ранее (Никитенко, 2022).

Индексы сапробности составили 1,58 для оз. Муромского и 1,68 для оз. Святого, что соответствует β-мезосапробной зоне (III класс качества, умеренно загрязненные воды). Полученные значения близки к показателям р. Пра (S > 2,0) (Иванчева и др., 2018) и характерны для водоемов, испытывающих умеренную антропогенную нагрузку. Состав видов-индикаторов (*Brachionus angularis, Keratella quadrata, Asplanchna priodonta, Chydorus sphaericus*) типичен для β-мезосапробных условий.

Впервые получены комплексные данные по зоопланктону Шатурских озер-охладителей. Установлено, что оз. Муромское характеризуется более высоким таксономическим разнообразием (27 таксонов) и кормностью (2,30 г/м³) по сравнению с оз. Святым (20 таксонов; 1,91 г/м³). Выявленная сезонная сукцессия (смена доминирования от Cladocera к Copepoda). Оба водоема относятся к β-мезосапробной зоне, что указывает на умеренный уровень органического загрязнения. Полученные результаты могут служить основой для мониторинга состояния водоемов-охладителей и оценки их рыбохозяйственного потенциала.

Литература

Винберг Г.Г., Лаврентьева Г.М. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях. Л.: ГосНИОРХ, 1982. 33 с.

Иванчева Е.Ю., Иванчев В.П., Лычковская И.Ю. Результаты и перспективы изучения рыбного населения центральной озерно-речной системы Мещерской низменности // Трансформация экосистем. 2018. № 2. С. 92–107.

Маслов Б.С. Гидрология торфяных болот. М.: Россельхозакадемия, 2009. 265 с.

Мордухай-Болтовской Ф.Д. Проблема влияния тепловых и атомных электростанций на гидробиологический режим водоемов // Труды ИБВВ АН СССР. 1975. № 27 (30). С. 7–69.

Никитенко А.И., Горячев Д.В., Жарикова В.Ю., Клец Н.Н. Современное состояние ихтиофауны Шатурских озер // Актуальные вопросы пресноводной аквакультуры. Астрахань, 2022. С. 245–250.

Пидгайко М.Л., Александров Б.А., Иоффе Ц.И., Салазкин А.А. Краткая биолого-продукционная характеристика водоемов Северо-Запада СССР // Известия ГосНИОРХ. 1968. Т. 67. С. 205–225.

Ривьер И.К. Зоопланктон Иваньковского водохранилища в зоне влияния подогретых вод Конаковской ГРЭС // Труды ИБВВ АН СССР. 1975. № 27 (30). С. 211–219.

Цалолихин С.Я. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. СПб.: Наука, 2004. 528 с.

Чертопруд М.В., Чертопруд Е.С. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод центра Европейской России. 4-е изд. М.: КМК, 2022. 370 с.

Straile D. Effects of Anthropogenic Stressors on Crustacean Zooplankton in Lakes // Ecology and Conservation. New York: Oxford Univ. Press, 2025. Vol. 10.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА ВОДОХРАНИЛИЩА ДОЛИННОГО ТИПА В ПЕРИОД ЛЕТНЕЙ МЕЖЕНИ (НА ПРИМЕРЕ МОЖАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА, МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

В. С. Жихарев[1]*, О. Н. Ерина[2], Д. И. Соколов[2], М. А. Терешина[2]

[1] *Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия*
[2] *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия*

* *e-mail: zhiharev@ibbm.unn.ru*

SPATIAL DISTRIBUTION OF ZOOPLANKTON COMMUNITIES IN A VALLEY-TYPE RESERVOIR DURING THE SUMMER LOW-WATER PERIOD (CASE STUDY OF THE MOZHAYSK RESERVOIR, MOSCOW OBLAST)

V. S. Zhikharev, O. N. Erina, D. I. Sokolov, M. A. Tereshina

Представлены результаты исследования зоопланктона Можайского водохранилища в августе 2024 г. В ходе исследования установлено, что по продольному профилю долинного Можайского водохранилища в период летней межени формируются четыре сообщества зоопланктона, которые различаются видовой структурой: речное сообщество, переходное, озерное средней части водохранилища и озерное нижней части водохранилища. Ведущими факторами в пространственном распределении зоопланктона по продольному профилю водохранилища являлись температура воды, электропроводность и глубина на станции отбора пробы. Особенности видовой структуры внутри сообществ зоопланктона определялись преимущественно биогенными факторами и температурой воды. Анализ структурных показателей сообществ зоопланктона показал, что переходное сообщество можно охарактеризовать как экотонное с повышенным разнообразием и количественным развитием зоопланктона.

Долинные водохранилища — наиболее распространенный тип водохранилищ в Европе и европейской части России. Их ключевая роль — устойчивое водоснабжение населенных пунктов, включая крупные мегаполисы (Eekhout et al., 2020). Это делает их важными модельными объектами и приоритетными для гидроэкологии. Во многих таких водохранилищах наблюдается переход от речных условий к озерным. Изучение этой трансформации привело к модели районирования с выделением трех зон: речной, переходной и озерной (Thornton et al., 1990; Wetzel, 2001). Каждая зона имеет свои гидрологические, гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические особенности. Однако закономерности распределения сообществ зоопланктона по продольному профилю, их видовая структура и определяющие ее факторы окружающей среды до конца не выяснены.

Исследования были проведены в Можайском водохранилище (Московская область). Водохранилище долинного типа — длина 28 км, средняя глубина 7,7 м, максимальная глубина 22,1 м. Водохранилище служит для водоснабжения г. Москвы и многолетнего регулирования стока р. Москвы (Гидрологический режим…, 2015). Отбор проб был произведен на 46 станциях (август 2024 г.), которые были расположены от речной зоны до плотины. Пробы собирали планктонной сетью, при помощи тотальных ловов от дна до поверхности и фиксировали 40 %-ным формалином.

На всех станциях отбора проб были исследованы некоторые факторы окружающей среды, а именно содержание растворенного в воде кислорода, температура воды, мутность, электропроводность, содержание хлорофилла *a* и фикоцианина, цветность и прозрачность воды, а также содержание в воде общего фосфора и азота.

Распределение зоопланктона по продольному профилю водохранилища было неравномерным, с высокой гетерогенностью видовой структуры в верховьях. Методом иерархической кластеризации выделены четыре кластера, соответствующих различным водным массам, определенным ранее гидрологическими исследованиями: речные (RZ), смешанные (MZ) и озерные воды (MP и LP). Таким образом, была принята следующая классификация сообществ зоопланктона водохранилища: RZ — речное, MZ — переходное, MP — озерное (средняя часть), LP — озерное (нижняя часть).

Для анализа влияния факторов окружающей среды на видовую структуру сообществ зоопланктона использовали анализ избыточности (RDA). Из всех исследованных факторов только температура воды, электропроводность, содержание растворенного кислорода и фикоцианина, а также прозрачность воды и глубина на станции отбора пробы достоверно объясняли изменения в структуре планктонных сообществ. Температура воды была основным фактором, объясняющим 32,6 % общей дисперсии в структуре сообществ зоопланктона. Также в значительной степени дисперсию видовой структуры объясняли электропроводность воды и глубина на станции отбора проб. Другие факторы в меньшей степени влияли на структуру планктонных сообществ. При этом полная модель объяснила 53,3 % общей дисперсии.

В озерных сообществах (MP и LP) основными доминирующими видами были ракообразные *Diaphanosoma brachyurum*, *Chydorus sphaericus*, *Eudiaptomus gracilis*, а также коловратка *Keratella quadrata*. В речном и переходном сообществах (RZ и MZ) доминировали коловратки *Keratella cochlearis*, *Polyarthra major*, а также науплиальные стадии веслоногих ракообразных.

Для анализа взаимосвязи видовой структуры выделенных сообществ зоопланктона и факторов окружающей среды были построены отдельные модели для каждого сообщества. Установлено, что в сообществах зоопланктона ведущую роль играли биогенные факторы (содержание хлорофилла *a*, фикоцианина, общего фосфора и азота) и температура воды.

Анализ распределения численности, биомассы и таксономического богатства показал существенную разницу в выделенных сообществах зоопланктона. Все показатели (за исключением таксономического богатства коловраток) показали статистически значимый рост в переходном сообществе зоопланктона (MZ). Значения индекса разнообразия Шеннона также были наибольшими в переходном сообществе (MZ), а выравненности Пиелу, наоборот, наименьшими.

Таким образом, установлено, что пространственное распределение зоопланктона по продольному профилю водохранилища определяется в основном гидрофизическими факторами окружающей среды, а особенности видовой структуры сообществ зоопланктона отдельных зон водохранилища биогенными факторами. Кроме того, характер распределения количественного развития и разнообразия зоопланктона по продольному профилю водохранилища свидетельствует о формировании экотона в переходной зоне между речными и озерными условиями в верховьях водохранилища.

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

Литература

Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз) / под ред. К. К. Эдельштейна. М.: Перо, 2015. 286 с.

Eekhout J. P. C., Boix-Fayos C., Pérez-Cutillas P., de Vente J. The impact of reservoir construction and changes in land use and climate on ecosystem services in a large Mediterranean catchment // Journal of Hydrology. 2020. Vol. 590: 125208.

Thornton K. W., Kimmel B. L., Payne F. E. Reservoir Limnology: Ecological Perspectives. New York: Wiley, 1990. 246 p.

Wetzel R. G. Limnology: Lake and River Ecosystems. San Diego: Academic Press, 2001. 1006 p.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АГЕОСТРОФИЧЕСКИХ МОРСКИХ ТЕЧЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ

В. В. Жмур [1, 2, 3, 4], В. С. Травкин [1, 2]*, Т. В. Белоненко [2], Д. С. Красильников [1, 3, 4], Ю. В. Фомин [1]

[1] *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия*
[2] *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия*
[3] *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук, Москва, Россия*
[4] *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия*

* *e-mail: vtravkin99@gmail.com*

DETERMINATION OF AGEOSTROPHIC SEA CURRENTS USING SATELLITE ALTIMETRY

V. V. Zhmur, V. S. Travkin, T. V. Belonenko, D. S. Krasilnikov, Yu. V. Fomin

Предлагается физически обоснованный метод оценки агеострофической компоненты скоростей океанических течений при помощи спутниковой альтиметрии, основанный на анализе отклонений от геострофического баланса в синоптическом масштабе при малых числах Россби. Подход использует исключительно альтиметрические измерения уровня моря и учитывает как измерительные, так и интерполяционные ошибки, что позволяет количественно оценить, где агеострофическая составляющая скорости статистически значимо превышает уровень шума и, следовательно, может быть интерпретирована физически корректно. Глобальный анализ показал, что при характерном горизонтальном масштабе порядка 100 км в подавляющей части Мирового океана циркуляция остается квазигеострофической (Ro < 0,1), а агеострофическая компонента, как правило, сопоставима по величине с суммарной погрешностью восстановления течений.

Несмотря на то, что спутниковая альтиметрия сегодня является ключевым и наиболее информативным источником данных о крупномасштабной океанической циркуляции, получаемые по ней поля скорости, как правило, сводятся к их трактовке исключительно в рамках геострофического приближения. Оно позволяет успешно описывать существенную часть мезомасштабной изменчивости Мирового океана, однако по определению исключает агеострофические компоненты течений, которые тесно связаны с фронтальными зонами, вихревой эволюцией, ветровым воздействием, а также волновыми процессами. В последние десятилетия всё большее внимание уделяется разработке методов, позволяющих, опираясь исключительно на альтиметрические данные, выйти за рамки чисто геострофического описания и получить более полную и физически согласованную картину океанических течений.

Целью данной работы является физически обоснованная разработка метода оценки агеострофической компоненты скоростей океанических течений по данным спутниковой альтиметрии, основанного на анализе отклонений от геострофического баланса в синоптическом масштабе при малых числах Россби.

В нашей работе используются данные глобального массива спутниковых данных аномалий высоты морской поверхности, а также глобальный статический массив, содержащий оценку ошибки измерений аномалий уровня моря.

В результате был разработан физически обоснованный метод оценки агеострофической компоненты скорости океанических течений по данным спутниковой альтиметрии с учетом

измерительных и интерполяционных ошибок. На глобальных масштабах и для характерного пространственного масштаба ~100 км циркуляция океана преимущественно квазигеострофическая (Ro < 0,1), а агеострофическая составляющая в большинстве районов сопоставима с общей погрешностью альтиметрии. Региональное исследование систем Куросио, Гольфстрима и Агульяса показало, что агеострофическая компонента в этих западных пограничных течениях является устойчивым элементом циркуляции, которая связана с фронтальными зонами, меандрированием струй и мезомасштабными вихрями и проявляет выраженную сезонную и региональную специфику. Полученные результаты демонстрируют, что, несмотря на доминирование геострофической компоненты, агеострофические процессы играют ключевую роль в динамически активных регионах океана.

Авторы выражают благодарность за финансовую поддержку исследования Санкт-Петербургскому государственному университету (грант № 129659573). Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-03-2026-218, проект FSEG-2026-0020).

МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ КАРСТОВО-СУФФОЗИОННЫХ БОЛОТ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ТУЛЬСКИЕ ЗАСЕКИ»

Д. В. Зацаринная [1, 2]

[1] *ГУК ТО «Тульское музейное объединение», Тула, Россия*
[2] *ФГБУ Национальный парк «Тульские засеки», Тула, Россия*

e-mail: visloguzova@mail.ru

MONITORING OF ECOLOGICAL CONDITIONS OF KARST-SUFFUSION MIRES OF THE TULA ZASEKI NATIONAL PARK

D. V. Zatsarinnaya

Представлены некоторые результаты наблюдений за динамикой уровней болотных вод, а также их pH и общей минерализации в карстово-суффозионных болотах национального парка «Тульские засеки» за 2025 год.

Карстово-суффозионные болота характеризуются рядом специфических черт, которые обусловлены различными факторами. Так, помимо болот со сплошной торфяной залежью нередко встречаются сплавинные, основное отличие которых состоит в том, что торфяная залежь мощностью не более 2,5 м отделена от минерального грунта мощной линзой воды (7–12 м). Эта особенность делает данные экосистемы уникальными, в том числе и с точки зрения гидрологии (Зацаринная и др., 2011, 2012; Зацаринная, 2015).

В 2025 г. на участке Засечный-Озёрный национального парка «Тульские засеки» были организованы наблюдения за уровнем (УБВ), pH и общей минерализацией (ppm) болотных вод в 16 различных растительных сообществах на семи карстово-суффозионных болотах. Они проводились по общепринятым методикам. Частота измерений УБВ составила один раз в неделю с апреля по декабрь, гидрохимические показатели фиксировали в течение вегетационного сезона (апрель – сентябрь) (Зацаринная, 2025). В данной работе приводятся данные, полученные для пяти растительных сообществ, сформированных на болотах, различающихся по генезису и стадии развития.

Результаты наблюдений за изменением pH и общей минерализации представлены в табл.

Характеристика гидрохимических показателей

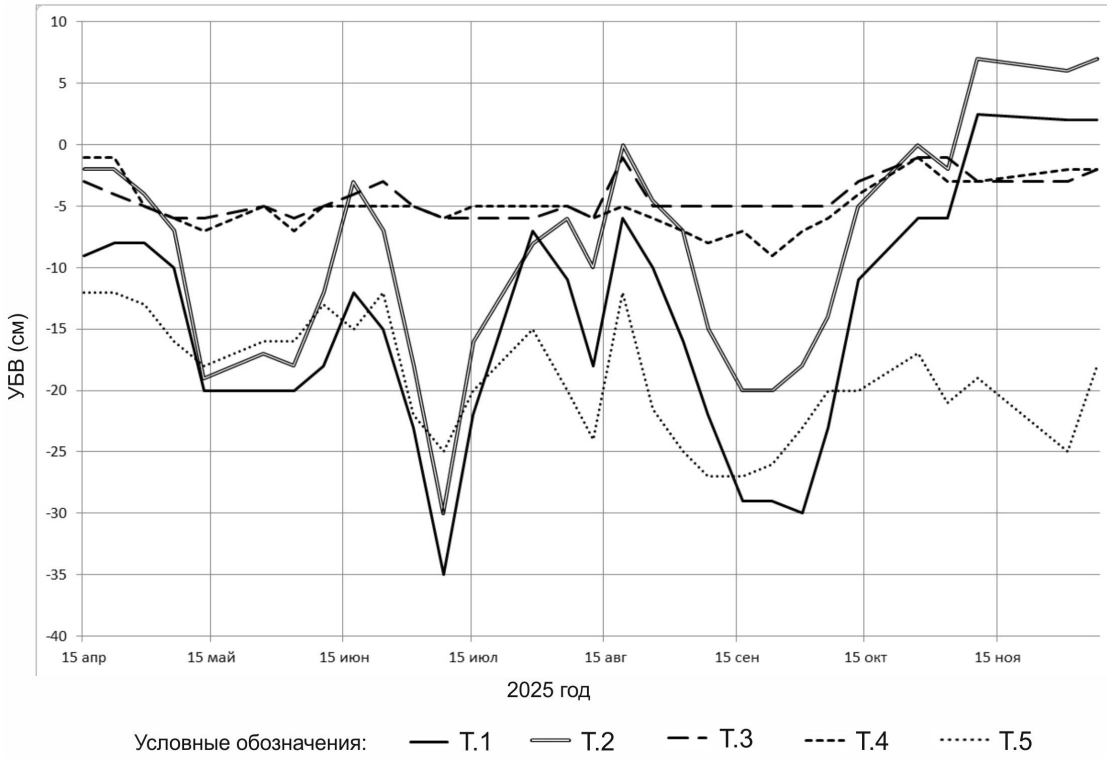
Название сообщества	Тип залежи / Мощность	pH			ppm		
		min	max	сред.	min	max	сред.
Березово-телиптерисовое	сплавина / до 1,2 м	4,4	5,2	4,6	16	120	39,6
Березово-вахтово-сфагновое		4,1	4,7	4,4	18	58	33,8
Очеретниково-осоково-сфагновое	сплавина / 2,5 м	3,7	4,8	4,3	7	34	18,6
Березово-сфагновое	сплошная / 4 м	3,7	4,4	3,9	45	80	67
Черноольховое		3,7	4,3	3,9	52	90	66

Значения pH наименьшие на участках болот со сплошной торфяной залежью. На сплавинных болотах кислотность несколько выше. Показатели общей минерализации в целом невелики, однако болота со сплошной залежью характеризуются более трофными условиями, чем сплавинные.

Результаты мониторинга УБВ показаны на рис. Среднее значение УБВ в черноольховом (см. рис., Т.1) и березово-сфагновом фитоценозах составило –14,5 и –8,5 см, соответственно. Особенность динамики этого показателя заключается в неравномерности хода за период наблюдений, то есть уровни резко повышаются после сильных осадков и резко падают во время их отсутствия. Амплитуда колебаний за период наблюдения равна 37 см как в черноольховом, так и в березово-сфагновом ценозах (см. рис., Т.1, Т.2).

Участки болот с березово-телиптерисовым (см. рис., Т.3) и березово-вахтово-сфагновым (*S. riparium*) (см. рис., Т.4) сообществами отличаются наиболее высокими показателями средних УБВ (–4,3 и –4,9 см, соответственно). В течение наблюдаемого срока амплитуды УБВ минимальны –5 и 8 см (см. рис., Т.3, Т.4).

На участке болота, занятом очеретниково-осоково-сфагновым сообществом, среднее значение УБВ составляет –18,5 см, при этом амплитуда колебаний равна 22 см (см. рис., Т.5).



Динамика уровней болотных вод в различных фитоценозах, сформированных на карстово-суффозионных болотах

Мониторинговые наблюдения за экологическими особенностями карстово-суффозионных болот, входящих в состав национального правка «Тульские засеки», будут продолжены. Накопленная информация поможет на более высоком уровне понять особенности функционирования этих экосистем, а также будет использована в просветительской и природоохранной деятельности.

Литература

Зацаринная Д. В. О необходимости мониторинга экологических условий карстово-суффозионных болот национального парка «Тульские засеки»: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. уч. «Изучение и сохранение биоразнообразия Тульской области и других регионов России», посв. 170-летию академика М. А. Мензбира. 6–8 ноября 2025 г.: сб. ст. М., 2025. С. 258–263.

Зацаринная Д. В. Экологические особенности и растительность карстовых болот зоны широколиственных лесов (на примере Тульской обл.): автореф. дис. … канд. биол. наук. М., 2015. 23 с.

Зацаринная Д. В., Волкова Е. М., Музафаров Е. Н. Влияние гидрологических особенностей на структуру растительного покрова сплавинных карстовых болот // Вода: химия и экология. 2011. № 7 (37). С. 11–18.

Зацаринная Д. В., Волкова Е. М., Сирин А. А. Растительность и факторы среды карстовых болот зоны широколиственных лесов: методические подходы // Ботанический журнал. 2012. Т. 97, № 4. С. 524–537.

СЕЗОННАЯ И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ, ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И МУТНОСТИ ВОДЫ В ГЛУБОКОМ ДИМИКТИЧЕСКОМ ОЗЕРЕ

Г. Э. Здоровеннова*, Р. Э. Здоровеннов

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

** e-mail: zdorovennova@gmail.com*

SEASONAL AND SPATIAL VARIABILITY OF WATER TEMPERATURE, CONDUCTIVITY, AND TURBIDITY IN A DEEP DIMICTIC LAKE

G. E. Zdorovennova, R. E. Zdorovennov

Проанализированы характерные особенности распределения температуры, электропроводности и мутности воды в глубоком димиктическом озере Мунозеро (водосбор Онежского озера) по данным измерений мультипараметрическим зондом CTD-90m. Выявлены отличия в продолжительности периода летней стратификации, отличия в кислородных условиях, в распределении мутности в северном и южном плесах озера, отличающихся по батиметрическим характеристикам. Обнаружено повышение температуры воды верхнего слоя озера до 26–27 °С на фоне жаркой погоды летом, что может негативно влиять на функционирование экосистемы озера, способствуя вспышкам цветения фитопланктона, а также может быть причиной гибели форели в садках. Повышение мутности в придонном слое северной котловины озера, происходящее вследствие деятельности форелевого хозяйства и туристических комплексов, может свидетельствовать о накоплении взвешенного вещества и, следовательно, представлять опасность для озера с замедленным водообменом.

Озеро Мунозеро — уникальное озеро Карелии с высоким качеством воды, высокой минерализацией (100 мг/л) и низким содержанием органического вещества (2–4 мг/л) (Сабылина, Икко, 2019), в отличие от большинства озер республики, вода которых менее минерализована (20–60 мг/л) и содержит больше органического вещества (10–100 мг/л) (Озера…, 2013). Северная часть Мунозера входит в состав территории заповедника «Кивач».

Антропогенное воздействие на оз. Мунозеро возрастает. В северном глубоководном плесе озера функционирует форелевое хозяйство (Макарова и др., 2025), сброс хозяйственно-бытовых сточных вод ряда сельских поселений и санаториев «Марциальные воды» и «Дворцы» производится в озеро без очистки. Уже выявлены изменения химического состава воды озера: рост хлоридных ионов, ионов натрия и общего фосфора; выросло биохимическое потребление кислорода (Сабылина, Икко, 2019; Сабылина и др., 2020). Озеро используется в целях рекреации, туризма, любительского рыболовства; высокие концентрации нефтепродуктов, превышающие ПДК для рыбохозяйственных водоемов в три раза, обнаружены как в северном (0,16 мг/л), так и в южном (0,13–0,15 мг/л) плесах озера в июле 2025 г. (Макарова и др., 2025). Все эти изменения свидетельствуют об усиливающемся загрязнении водоема.

Региональная климатическая изменчивость Карелии (Назарова и др., 2022; Здоровеннова и др., 2025) усиливает негативное антропогенное воздействие на озеро. Всё это актуализирует необходимость проведения регулярной оценки состояния оз. Мунозеро для предотвращения деградации его экосистемы.

Исследования оз. Мунозеро проводятся в рамках темы НИР «Функционирование экосистемы Онежского озера и озерно-речных систем его водосборной территории в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия» (FMEN 2026-0011). Крайне слабо изученными остаются пространственные распределения температуры, электропроводности и мутность воды. Цель данной работы — выявить закономерности пространственной и временной изменчивости температуры, электропроводности и мутности воды оз. Мунозеро по данным полевых измерений 2023–2025 гг.

Стратификация водной толщи в северном глубоководном плесе озера (глубины более 35 м) продолжается с мая до октября, в южном плесе (глубины менее 20 м) стратификация продолжается меньше как за счет более позднего начала, так и за счет более раннего окончания. Для точного определения продолжительности периода стратификации в разных районах озера недостаточно данных эпизодических измерений. Для таких целей требуется установка в озеро автономных станций для длительных измерений температуры воды. Более продолжительная стратификация северного плеса является причиной ухудшения кислородных условий в этом районе озера, где придонная гипоксия сохраняется до октября. При сохранении существующих тенденций потепления регионального климата Карелии опасность увеличения продолжительности стратификации и ухудшения кислородных условий угрожает северному глубоководному плесу озера, испытывающему выраженное антропогенное воздействие. Температура придонного слоя воды южного плеса озера летом достигает 6,5–9,7 °С, что заметно выше, чем в северном плесе, где она не превышает 5 °С; эти особенности формируют выраженные отличия в условиях среды обитания, что может оказывать влияние на функционирование и жизненные циклы бентосного сообщества разных районов озера.

Экстремальное повышение температуры воды верхнего слоя озера до 25–27 °С в периоды жаркой погоды летом представляет опасность для экосистемы озера, так как может способствовать массовому развитию фитопланктона, включая токсичных цианобактерий, а также может быть причиной гибели форели в садках. В последние годы в летние месяцы в карельских озерах всё чаще повторяются продолжительные периоды жаркой погоды, когда температура воды повышается до 25–27 °С и выше, что делает разведение форели в садках потенциально опасным видом хозяйственной деятельности.

Сезонные и пространственные изменения мутности воды оз. Мунозеро свидетельствуют о существенно возросшем антропогенном воздействии на северный плес озера, где наблюдаются повышенные значения мутности в слое скачка температуры летом и аккумуляция взвешенного вещества в придонных слоях осенью, что представляет опасность для озера с замедленным водообменом. Предположительно мутность в северном плесе повышается в результате деятельности форелевого хозяйства и нескольких туристических комплексов. Повышенные значения концентрации хлорофилла *a* в водах оз. Мунозеро также свидетельствуют о выраженном негативном влиянии форелевого хозяйства и туристических комплексов на берегах озера, поставляющих в воду биогенные элементы.

Литература

Здоровеннова Г. Э., Здоровеннов Р. Э., Новикова Ю. С., Ефремова Т. В. Термический и ледовый режим Петрозаводской губы Онежского озера в 2023–2024 годах по данным измерений на автономной станции // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2025. № 6. С. 27–38.

Макарова Е. М., Здоровеннова Г. Э., Икко О. И. и др. Состояние и условия обитания планктонного сообщества малых озер Карелии / База данных RU 2025624656, 23.10.2025.

Назарова Л. Е., Исакова К. В., Калинкина Н. М., Балаганский А. Ф. Влияние потепления климата на зимний сток реки Шуя и последствия для зообентоса Онежского озера // Известия Русского географического общества. 2022. Т. 154, № 1. С. 28–36.

Озера Карелии. Справочник / под ред. Н. Н. Филатова, В. И. Кухарева. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.

Сабылина А. В., Икко О. И. Изменение химического состава воды озера Мунозеро (Карелия) за последние 60 лет // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2019. № 9. С. 76–90.

Сабылина А. В., Ефремова Т. А., Икко О. И. Химический состав гидрокриогенной системы озер Мунозеро и Урозеро (Республика Карелия, Россия) // Лед и снег. 2020. Т. 60, № 4. С. 592–600.

МЕТОДИКИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ОЗЕРАХ КАРЕЛИИ — МНОГОЛЕТНИЙ ОПЫТ ЛАБОРАТОРИИ ГИДРОФИЗИКИ ИВПС КАРНЦ РАН

Г. Э. Здоровеннова*, Р. Э. Здоровеннов, Н. И. Пальшин, А. В. Митрохов, Ю. С. Новикова, Т. В. Ефремова, С. И. Смирнов, С. Р. Богданов

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

** e-mail: zdorovennova@gmail.com*

METHODS OF HYDROPHYSICAL MEASUREMENTS IN THE LAKES OF KARELIA — LONG-TERM EXPERIENCE OF THE LABORATORY OF HYDROPHYSICS NWPI KARRC RAS

G. E. Zdorovennova, R. E. Zdorovennov, N. I. Palshin, A. V. Mitrokhov, Iu. S Novikova, T. V. Efremova, S. I. Smirnov, S. R. Bogdanov

Приведен обзор методик гидрофизических измерений, которые применяются специалистами лаборатории гидрофизики ИВПС КарНЦ РАН в озерах Карелии. Измерения температуры воды, содержания растворенного кислорода, потоков солнечной радиации, течений в водной толще озер осуществляются на автономных станциях и в ходе сезонных пространственных съемок. На автономных станциях минутная дискретность измерений параметров и распределение датчиков по водному столбу через 0,5–2,5 м позволяют анализировать различные процессы и явления, такие, как формирование стратификации, заглубление сезонного термоклина, радиационно-генерированная конвекция, ослабление солнечной радиации в толще воды и др. Изучаются ледовый и кислородный режимы озер, анализируется сезонная и межгодовая изменчивость устойчивости водного столба. Разработаны методики оценки параметров турбулентности по данным измерений течений акустическими профилографами.

Методики гидрофизических измерений в озерах Карелии разрабатывались сотрудниками Отдела водных проблем Карельского отделения РАН, с 1991 г. до 2002 г. — сотрудниками лаборатории гидрологии Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (ИВПС КарНЦ РАН) и начиная с 2002 г. до настоящего времени — сотрудниками лаборатории гидрофизики ИВПС КарНЦ РАН (Тержевик и др., 2023; Novikova et al., 2025).

Гидрофизические измерения проводятся в разнотипных озерах Карелии — от небольших лесных озер до средних по размеру и крупных глубоких озер — Онежского и Ладожского. За годы исследований накоплен огромный массив данных натурных измерений гидрофизических параметров — температуры воды, течений, потоков солнечной радиации в водной толще и на поверхности воды/льда. Также мультипараметрическими зондами проводятся измерения параметров, оказывающих влияние на протекание химических и биологических процессов в озерах — электропроводности, мутности воды, концентраций хлорофилла *a*, содержания растворенного кислорода.

Измерения температуры воды и содержания растворенного кислорода проводятся на автономных станциях — термокосах, которые устанавливаются в озера на длительные периоды времени и извлекаются 2–3 раза в году для снятия данных, замены элементов питания и калибровки датчиков.

Наиболее длительные ряды измерений накоплены в небольшом мезотрофном оз. Вендюрском, в котором в 1994–2006 гг. проводились измерения в холодную половину года — с октября/декабря до марта/июня, а начиная с июля 2007 г. до настоящего времени —

проводятся в круглогодичном режиме. В этом озере автономная станция — термокоса располагается в центральной глубоководной впадине; измерения температуры воды и содержания растворенного кислорода проводятся с минутным интервалом на 10–15 глубинах с дискретностью по столбу воды 0,5–2,5 м. В отдельные годы две дополнительные станции-термокосы устанавливались на северном и восточном склонах озера. Для измерений профиля температуры в придонных слоях воды и грунта было разработано автономное устройство, на которое получен патент на полезную модель (Митрохов, Пальшин, 2014).

Автономные станции-термокосы также установлены в центре Петрозаводской губы Онежского озера (Здоровеннова и др., 2025), где измерения проводятся начиная с октября 2019 г. до настоящего времени, и в два небольших лесных озера — Голубую ламбу (годы измерений 2019–2023) (Здоровеннова и др., 2020) и Чудесную ламбу (измерения проводятся с апреля 2024 г. до настоящего времени) (Лукина и др., 2024). По данным автономных станций-термокос изучаются термический, ледовый и кислородный режимы озер, так как по показаниям датчиков можно определить даты начала, окончания и продолжительность этапов годового термического цикла, (весеннее и летнее нагревание, осеннее и зимнее охлаждение, зимнее нагревание), изучается устойчивость водного столба и ее эволюция в сезонном и межгодовом аспектах (Smirnov et al., 2024), оценивается эффективность перемешивания озер (Богданов и др., 2023), определяются сроки наступления, окончания и продолжительность ледостава, периодов стратификации, придонной гипоксии и аноксии (Zdorovennova et al., 2021).

Измерения течений проводятся в озерах как в условиях открытой воды, так и в период ледостава. Для закрепления приборов на требуемой глубине и для сохранения неподвижности корпуса приборов в процессе измерений используются различные методические подходы, разрабатываются уникальные несущие конструкции. Разработаны методики оценки параметров турбулентности по данным измерений акустическими профилографами (Bogdanov et al., 2021).

Литература

Богданов С. Р., Пальшин Н. И., Здоровеннов Р. Э. и др. Оценка эффективности перемешивания небольшого димиктического озера при поверхностном выхолаживании // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2023. Т. 16, № 2. С. 73–88.

Здоровеннова Г. Э., Здоровеннов Р. Э., Новикова Ю. С., Ефремова Т. В. Термический и ледовый режим Петрозаводской губы Онежского озера в 2023–2024 годах по данным измерений на автономной станции // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2025. № 6. С. 27–38.

Здоровеннова Г. Э., Тимофеева В. В., Тержевик А. Ю. и др. Температура и растворенный кислород в олиготрофной ламбе зимой // Успехи современного естествознания. 2020. № 12. С. 74–79.

Лукина Ю. Н., Белкина Н. А., Калинкина Н. М. и др. Разработка системы мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов в водных экосистемах Европейского Севера России // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2024. № 5. С. 97–114.

Митрохов А. В., Пальшин Н. И. Автономное устройство для измерения профиля температуры в придонных слоях воды и грунта. Патент на полезную модель RU 153787 U1, 27.07.2015. Заявка № 2014146400/28 от 18.11.2014.

Новикова Ю. С., Здоровеннов Р. Э., Богданов С. Р. и др. Методики гидрофизических измерений на автономных станциях в мелководных озерах в период ледостава // Limnology and Freshwater Biology. 2025. № 4. С. 870–894.

Тержевик А. Ю., Пальшин Н. И., Ефремова Т. В. и др. Исследования лаборатории гидрофизики ИВПС КарНЦ РАН в 1991–2022 годах // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2023. № 6. С. 5–22.

Bogdanov S., Zdorovennov R., Palshin N., Zdorovennova G. Deriving Six Components of Reynolds Stress Tensor from Single-ADCP Data // Water. 2021. Vol. 13: 2389.

Smirnov S. I., Zdorovennov R. E., Efremova T. V. et al. Parameters of water column stability in a small polymictic lake in years of different weather conditions // Water Resources. 2024. Vol. 51, N 3. P. 299–313.

Zdorovennova G., Palshin N., Golosov S. et al. Dissolved oxygen in a shallow ice-covered lake in winter: Effect of changes in light, thermal and ice regimes // Water. 2021. Vol. 13, N 17: 2435.

ТЕНДЕНЦИИ МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК АРКТИЧЕСКОЙ ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЯХ (1995–2025 ГГ.)

А. В. Зимин*, Т. М. Максимовская

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

** e-mail: zimin2@mail.ru*

TRENDS IN THE LONG-TERM VARIABILITY OF ARCTIC FRONTAL ZONE CHARACTERISTICS IN THE BARENTS SEA AND ADJACENT WATERS (1995–2025)

A. V. Zimin, T. M. Maksimovskaya

Арктическая фронтальная зона (АФЗ) формируется на границе взаимодействия распресненных вследствие таяния льда вод с окружающими в тонком поверхностном слое. Современные климатические условия влияют на изменчивость ее характеристик. Целью работы было выявление направленных тенденций характеристик АФЗ Баренцева моря и прилегающих акваторий за период с 1995 по 2025 гг. по данным реанализа GLORYS12V1, верифицированного в рамках работы по имеющимся данным экспедиционных наблюдений. Было показано, что на протяжении рассматриваемого периода наблюдается структурная трансформация фронтальной зоны, заключающаяся в переходе от протяженных структур к более локализованным. Основную роль в межгодовой изменчивости имеет адвекция атлантических вод, вклад атмосферной циркуляции при этом носит вторичный характер.

Арктическая фронтальная зона, формирующаяся на границе холодных распресненных вследствие таяния льда арктических вод с окружающими, является ключевым элементом гидрологической структуры северных районов Баренцева, Гренландского и Карского морей (Piechura and Walczowski, 1995; Океанические фронты…, 1998). В условиях современных климатических изменений происходит трансформация ее пространственно-временных характеристик. Цель работы — выявление направленных тенденций и закономерностей межгодовой изменчивости площади и градиентных характеристик АФЗ за 30-летний период по данным реанализа.

Исследование основано на данных реанализа GLORYS12V1 за период 1995–2025 гг., прошедших верификацию экспедиционными данными для каждого из рассматриваемых регионов. На основе анализа экспедиционных данных были географические ограничения, а также границы по глубине и характерным значениям градиентов, на основе которых выполнялось последующее выделение АФЗ по данным реанализа (Максимовская и др., 2023, 2025; Maksimovskaya et al., 2025). АФЗ идентифицировалась в слое 0–20 м по пороговому значению горизонтального градиента солености, определяемому в буферной зоне ±100 км от среднемесячного положения ледовой кромки. Рассчитывались три количественные характеристики фронтальной зоны: площадь, максимальный градиент солености в ее пределах и средний (площадной) градиент солености. Для анализа межгодовой изменчивости применялись методы статистического анализа.

Было показано, что за рассматриваемый период средняя площадь интегральной АФЗ составила 86,3 тыс. км². Выявлен статистически значимый отрицательный тренд площади (–1,3 тыс. км²/год). Было выявлено, что максимальный градиент солености в области фронтальной зоны также снижался. При этом средний градиент солености не имел значимого тренда, что указывает на сохранение фоновой интенсивности фронтальной области при сокращении его площади и ослаблении экстремальных проявлений. Минимальная площадь зафиксирована в сентябре 2013 г., максимальная — в июне 2003 г.

В северо-восточной части Гренландского моря площадь АФЗ сокращалась, максимальный и средний градиенты также значимо снижались, что свидетельствует о перестройке характеристик фронтальной структуры в регионе. В Баренцевом море, формирующем основную часть интегральной площади АФЗ, ее площадь сокращалась, отмечались месяцы с полным отсутствием. Максимальный градиент снижался, но средний градиент оставался стабильным — фронт становился более локализованным, но фоновые контрасты сохранялись. В северо-западной части Карского моря площадь АФЗ не имела направленной тенденции, однако максимальный и средний градиенты значительно ослабевали, что отражает «размытие» фронтальной структуры без изменения ее пространственного охвата.

Анализ взаимосвязи характеристик АФЗ с основными климатическими параметрами показал, что наиболее тесная и устойчивая связь прослеживается с характеристиками ледовой обстановки, изменчивость которой обусловлена главным образом адвекцией атлантических вод. Наиболее сильная связь с ледовитостью характерна для летнего периода, когда процессы таяния достигают максимума. В зимний сезон интегральная структура АФЗ не демонстрирует прямой и устойчивой зависимости от крупномасштабных климатических факторов, что указывает на преобладание локальных гидрологических условий в холодный период года. В Гренландском море, где велика роль адвекции тепла атмосферой, выявлены статистически значимые связи с индексом североатлантического колебания. В Баренцевом море корреляционные связи характеристик АФЗ с атмосферными индексами оказались слабыми, а в Карском море — практически отсутствуют. Это свидетельствует о значимой роли в данных регионах локальных процессов трансформации водных масс по мере удаления от основного пути поступления атлантических вод в Арктику. Установлено, что усиление притока атлантической воды в регион приводит к интенсификации градиентов в области фронтальной зоны с разными лагами по времени для разных регионов.

В 1995–2025 гг. Арктическая фронтальная зона в Баренцевом море и прилегающих акваториях претерпела структурную трансформацию. Происходит переход от протяженных фронтальных структур к более локализованным и менее контрастным, причем характер перестройки существенно различается по районам. Ведущую роль в межгодовой изменчивости положений АФЗ играет адвекция атлантических вод, тогда как вклад атмосферной циркуляции носит вторичный, регионально-специфичный характер.

Литература

Максимовская Т. М., Зимин А. В., Атаджанова О. А. и др. Изменчивость характеристик вод в северо-восточной части Гренландского моря в зимний период 2019–2023 годов // Морской гидрофизический журнал. 2025. Т. 41, № 2 (242). С. 146–159.

Максимовская Т. М., Зимин А. В., Моисеев Д. В. Результаты океанографических исследований в прикромочной зоне Баренцева моря весной 2023 года // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2023. Т. 16, № 4. С. 87–93.

Родионов В. Б., Костяной А. Г. Океанические фронты морей Северо-Европейского бассейна. М.: ГЕОС, 1998. 290 с.

Maksimovskaya T. M., Zimin A. V., Atadzhanova O. A. et al. Variability of the Polar Front Characteristics in the Northwestern Barents Sea Based on In-Situ Observations from 2017 to 2023 // Fundamental and Applied Hydrophysics. 2025. Vol. 18, N 2. P. 41–57.

Piechura J. The Arctic Front: structure and dynamics / J. Piechura, W. Walczowski // Oceanologia. 1995. Vol. 37, iss. 1. P. 47–73.

АДАПТИВНЫЕ РАЗЛИЧИЯ ЭНДЕМИЧНЫХ БАЙКАЛЬСКИХ АМФИПОД *EULIMNOGAMMARUS VERRUCOSUS* И *EULIMNOGAMMARUS OLIGACANTHUS*

Е. Д. Золотовская[1]*, А. Н. Гурков[1], А. Е. Саранчина[1], П. Б. Дроздова[1], Я. А. Ржечицкий[1], С. В. Базарсадуева[2], Е. П. Щапова[1], М. А. Тимофеев[1]

[1] *Научно-исследовательский институт биологии озера Байкал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*

[2] *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ, Россия*

** e-mail: zolotovskaya.elena.dm@gmail.com*

ADAPTIVE DIFFERENCES OF THE ENDEMIC BAIKAL AMPHIPODS *EULIMNOGAMMARUS VERRUCOSUS* AND *EULIMNOGAMMARUS OLIGACANTHUS*

E. D. Zolotovskaya, A. N. Gurkov, A. E. Saranchina, P. B. Drozdova, Ya. A. Rzhechitsky, S. V. Bazarsadueva, E. P. Shchapova, M. A. Timofeev

Рассматривается вопрос адаптивных различий у родственных байкальских амфипод *Eulimnogammarus oligacanthus* и *Eulimnogammarus verrucosus*, которые позволили этим видам обособиться экологически. Подтверждено, что *E. oligacanthus* более устойчив к повышенной температуре, чем *E. verrucosus*, однако различия по LT50 при постепенном повышении температуры оказались слабыми. Различия в общем содержании каротиноидов и составе жирных кислот свидетельствуют в пользу гипотезы о пищевой специализации как основе для разделения их экологических ниш.

В прибрежной зоне оз. Байкал широко распространены амфиподы *Eulimnogammarus verrucosus* и *Eulimnogammarus oligacanthus*, представляющие интерес как пример симпатрического видообразования. Изначально *E. oligacanthus* рассматривался как подвид *E. verrucosus* (Bazikalova, 1945), однако по молекулярным данным Р. Вайнола и Р. М. Камалтынов выделили его как вид (Kamaltynov, 2001; Väinölä et al., 2024). В отличие от парапатрически дифференцированных линий внутри морфологического вида *E. verrucosus*, географически разделенных по разным участкам Байкала, особи *E. oligacanthus* и *E. verrucosus* зачастую обитают совместно. При этом, согласно многим сообщениям, *E. oligacanthus* преимущественно приурочен к закрытым прогреваемым заливам, тогда как *E. verrucosus* чаще ассоциирован с холодной открытой литоралью. Несмотря на перекрывание ареалов, остается невыясненным, за счет каких механизмов произошло разделение экологических ниш данных амфипод. Эти механизмы могут быть связаны с различной устойчивостью к повышенной температуре и низкому содержанию кислорода либо со сдвигом в спектре питания. Цель данной работы — изучение адаптивных отличий амфипод между *E. oligacanthus* и *E. verrucosus*.

Для исследований был выбран участок побережья в районе Курминского залива (Ольхонский район), где *E. oligacanthus* и *E. verrucosus* (генетическая линия W) встречаются совместно в градиентах условий среды от закрытых заливов до открытой литорали Байкала. Морфологическую идентификацию амфипод подтверждали методом кПЦР со специфичными праймерами и секвенированием маркерных генов (первой субъединицы цитохром-с-оксидазы (COI) и 18S рДНК). Было отмечено, что в период формирования прекопул перекрестные пары амфипод не обнаружены, а анализ маркерных генов COI и 18S рДНК подтвердил данные Р. Вайнола (Väinölä et al., 2024), что *E. oligacanthus* является отдельной от представителей *E. verrucosus* генетической группой.

На первом этапе проводили сбор амфипод в девяти точках с фиксацией температуры и содержания кислорода в воде. Всего было отловлено 120 особей, у которых измеряли массу и размеры. Обнаружено, что *E. oligacanthus* массово обитал при 16 °C, единичных особей наблюдали до 20 °C, а при 7–12 °C оба вида встречались в любых пропорциях. Содержание кислорода в разных точках пробоотбора отличалось слабо (9–11 мг/л). Анализ длины и массы тела взрослых особей показал высокую корреляцию этих параметров у обоих видов, при этом медианная масса *E. oligacanthus* оказалась ниже, чем у *E. verrucosus* (160 и 250 мг, соответственно).

На следующем этапе сравнивали отношения представителей двух видов к повышенной температуре на особях массой 150–250 мг, отловленных при 12 °C и акклимированных в лабораторных условиях при той же температуре. Термопреферендум видов определяли в аквариуме длиной 2 м с температурным градиентом от 7 до 18 °C и укрытиями из камней. Для каждого вида использовали 4 независимые повторности для 4 групп животных по 10 особей. Опыт повторяли три раза и далее использовали медианное значение. Анализ термопреферендума не выявил различий между видами. Термотолерантность *E. oligacanthus* и *E. verrucosus* сравнивали при постепенном повышении температуры (2 °C/сутки) с ежедневным подсчетом живых особей, полученные данные описывали с помощью модели Вейбулла. Термотолерантность *E. oligacanthus* оказалась выше, однако различия в LT50 составили всего 1,1 °C: 30,8 °C для *E. oligacanthus* и 29,9 °C для *E. verrucosus*.

Наконец часть животных была зафиксирована из точки отлова, где оба вида обитают в примерно равном соотношении, для оценки содержания каротиноидов и определения жирнокислотного состава. Медианный уровень каротиноидов у *E. verrucosus*, для которых характерен зеленый окрас, был примерно вдвое выше, чем у типичных бледно-желтых *E. oligacanthus*, что может указывать на различия в характере питания. Анализ разнообразия жирных кислот выполняли методом прямого метанолиза по Bazarsadueva et al. (2021). Для каждого вида анализировали по семь образцов, обработку данных проводили в программной среде R методом главных компонент. Жирнокислотный анализ также выявил различия в составе тканей амфипод.

Таким образом, подтверждено, что *E. oligacanthus* репродуктивно обособлен от *E. verrucosus*. При этом между *E. oligacanthus*, заходящих в прогреваемые заливы, и *E. verrucosus*, предпочитающих холодную открытую литораль, не было обнаружено выраженных различий в термотолерантности или предпочитаемых температурах. Проведенный жирнокислотный анализ вкупе с другими результатами позволяет предположить, что различия в экологической специализации между *E. oligacanthus* и *E. verrucosus* связаны с различиями в спектре питания.

Работа была начата при поддержке гранта РНФ № 23-14-00165 и завершена в рамках гранта РНФ № 26-14-00072.

Литература

Bazarsadueva S. V. et al. The comparison of fatty acid composition and lipid quality indices of roach, perch, and pike of Lake Gusinoe (Western Transbaikalia) // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021. Vol. 18, N 17: 9032.

Bazikalova A. Y. Amfipoda ozera Baikala // Trudy Baikalskoi limnologicheskoi stantsii AN SSSR. 1945. Vol. 11. P. 1–440.

Kamaltynov R. M. Amphipoda: Gammaroidea // Lake Baikal. 2001. Vol. 1. P. 572–831.

Väinölä R. et al. Congruent and Hierarchical Intra-Lake Subdivisions from Nuclear and Mitochondrial Data of a Lake Baikal Shoreline Amphipod // Diversity. 2024. Vol. 16, N 11. P. 706.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ В ОЗЕРАХ

Д. В. Иванов*, Р. Р. Шагидуллин, В. С. Валиев

Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, Казань, Россия

** e-mail: water-rf@mail.ru*

MODELING AND FORECASTING REDOX CONDITIONS IN LAKES

D. V. Ivanov, R. R. Shagidullin, V. S. Valiev

На основе данных по химическому и гранулометрическому составу почв водосборов, донных отложений, а также гидрохимическим характеристикам водных масс озер Республики Татарстан предложена и верифицирована двухконтурная модель регуляции окислительно-восстановительного режима водоемов. Модель включает динамический редокс-контур, регулируемый постседиментационными процессами трансформации лабильного органического вещества, и стабилизирующий сорбционный контур, связанный с накоплением в донных отложениях устойчивого органического вещества и тонкодисперсных минеральных частиц терригенного генезиса. С использованием гидрохимических индикаторов (NH_4^+/NO_3^-, ХПК/$БПК_5$, O_2, Fe, Mn, PO_4^{3-}) формализованы четыре фазы (зоны) окислительно-восстановительного состояния системы — от аэробной до сульфатредукционной. Положение водоема / его участка в описываемом фазовом пространстве с высокой точностью предсказывается четырьмя стабильными параметрами: содержанием органического вещества в донных отложениях (вектор активации редокс-процессов), содержанием тонкодисперсных частиц в почвах водосбора (вектор стабилизации), а также содержанием азота в почвах и пелитовой фракции в осадках.

Пресноводные озера, выступая аккумуляторами вещества с водосборных территорий, подвержены риску внутренней биогенной нагрузки. Ключевой проблемой является их вторичное эвтрофирование, которое может сохраняться или усиливаться даже после элиминации внешних источников загрязнения. Этот процесс инициируется сменой окислительно-восстановительных (редокс) условий на границе раздела фаз «вода — донные отложения», что приводит к растворению оксидной матрицы осадков и лавинообразному выбросу сорбированных форм фосфора и металлов в придонную воду. Важнейшим, но часто недооцененным фактором, регулирующим эти процессы, является массоперенос вещества с водосборных территорий, где почвенный покров выступает первичным геохимическим барьером. Цель работы — разработка концептуальной и количественной модели, связывающей характеристики почв водосбора, геохимический состав донных отложений и гидрохимический режим озер для оценки состояния и прогнозирования риска внутренней нагрузки на водные экосистемы.

В основу моделирования положены данные исследований 38 озер Республики Татарстан (РТ) и их водосборных территорий. Анализировались гранулометрический и химический состав гумусовых горизонтов почв и поверхностных (0–10 см) слоев донных отложений (органическое вещество, азот, фосфор, тяжелые металлы, реакция среды), гидрохимические показатели придонной воды (O_2, $БПК_5$, ХПК, NH_4^+, NO_3^-, PO_4^{3-}, Fe, Mn и др.). Для прогнозной оценки и выявления управляющих факторов применялись методы многомерной статистики и машинного обучения с использованием K-блочной кросс-валидации.

По химическому составу в РТ преобладают озера с минерализацией от 38 до 624 мг/дм^3, гидрокарбонатно-кальциевым и гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевым типами вод. Поверхностные слои донных отложений озер представлены песками (1 %), илистыми песками (20 %), песчанистыми (41 %) и глинистыми илами (38 %) с содержанием органического вещества от 0,1 до 22,5 % (при среднем значении 4,2 %). Почвенный покров водосборных

территорий сформирован дерново-подзолистыми, серыми лесными и черноземными почвами широкого гранулометрического спектра с содержанием гумуса 2–6 %.

На основе анализа причинно-следственных связей в системе «водоем — водосбор» предложена двухконтурная модель регуляции окислительно-восстановительного режима водоемов:

1) *динамический редокс-контур*: обусловлен поступлением и разложением лабильного органического вещества. Быстрое истощение O_2 приводит к аноксии, совместному восстановлению и растворению Fe-Mn оксидов и связанного с ними фосфора, что формирует вектор активации дестабилизирующих процессов;

2) *стабилизирующий сорбционный контур*: связан с накоплением рефрактерного (гумифицированного) органического вещества и тонкодисперсных минеральных частиц (< 0,01 мм). Этот контур обеспечивает хелатирование катионов металлов и сорбцию фосфатов, выступая геохимическим барьером и вектором стабилизации системы.

С использованием гидрохимических индикаторов (соотношение NH_4^+/NO_3^-, ХПК/$БПК_5$, концентрации O_2, Fe, Mn, PO_4^{3-}) формализованы четыре фазы (зоны) окислительно-восстановительного состояния системы на границе «вода — осадок»:

Зона 0 (аэробная): доминирует сорбционный контур, высокий редокс-потенциал, низкое отношение NH_4^+/NO_3^-;

Зона 1 (нарастание гипоксии): триггер перехода, активация редокс-контура, начало десорбции фосфатов;

Зона 2 (устойчивая анаэробность): доминирование редокс-контура, лавинообразный выброс Fe^{2+}, Mn^{2+} и PO_4^{3-}, высокое отношение NH_4^+/NO_3^-;

Зона 3 (глубокая сульфатредукция): образование сульфидов металлов, конкуренция сульфидного и органического связывания.

С целью перехода от диагностики следствий (химический состав воды) к прогнозу по причинам и условиям (свойства почв и донных отложений) была построена ML-модель на базе алгоритма Random Forest. Оценка важности предикторов позволила сократить их число до четырех наиболее стабильных параметров, обеспечивающих высокую точность предсказания положения водоема в фазовом пространстве (по убыванию): 1) содержание органического вещества в донных отложениях (вектор активации редокс-процессов); 2) содержание тонкодисперсных частиц (< 0,01 мм) в почвах водосбора (вектор стабилизации); 3) содержание азота в почвах водосбора; 4) содержание пелитовой фракции (< 0,01 мм) в донных отложениях.

Регрессионная модель продемонстрировала высокую сходимость (R^2 = 0,91, MAE = 0,13), а классифицирующая модель — высокую достоверность отнесения водоема к одной из диагностированных зон (accuracy = 0,89, F1-score = 0,89). Верификация на независимой выборке подтвердила робастность моделей.

Таким образом, двухконтурная схема, дополненная фазовой моделью азотного цикла, позволяет объяснить, почему в одних геохимических условиях (зонах) водная экосистема легко скатывается в аноксию (преобладание лабильной органики и редокс-контура), а в других — устойчиво сохраняет окислительные условия (доминирование гумусового сорбционного контура). Результаты подтверждают актуальность перехода от реактивного мониторинга качества воды к активному управлению факторами водосбора и открывают возможности для прогнозирования устойчивости озерных экосистем к эвтрофированию и вторичному загрязнению. Разработанный подход открывает новые возможности для формирования схем охраны водных объектов, где меры по сохранению органического вещества почв и противодействию эрозии становятся главным инструментом обеспечения экологической устойчивости водоемов.

КСЕНОРАЗНООБРАЗИЕ ОЗЕР ВЫСОКОЙ ПОЙМЫ ОКИ И ФАКТОРЫ, ЕГО ОБУСЛОВЛИВАЮЩИЕ

Е. Ю. Иванчева[1]*, **Э. И. Бознак**[2]

[1] *Окский государственный природный биосферный заповедник, Брыкин Бор, Россия*
[2] *Институт биологии Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия*

* *e-mail: eivancheva@mail.ru*

XENODIVERSITY OF OKA RIVER HIGH FLOODPLAIN LAKES AND ITS CONTRIBUTING FACTORS

E. Yu. Ivancheva, E. I. Boznak

По данным ежегодного мониторинга (2014–2025 гг.) проанализирована динамика численности рыб-вселенцев, составляющих основу рыбного населения оз. Ерус (высокая пойма р. Оки), соединяющегося с руслом реки лишь в годы с высоким уровнем половодья. Озерный гольян *Rhynchocypris percnurus* (Pallas), проникший в озеро в 2012–2013 гг., последовательно прошел основные фазы натурализации. Популяция головешки-ротана *Perccottus glenii* Dybowski, сформировавшаяся в начале 2000-х гг., отреагировала на вселение озерного гольяна быстрым ростом численности. Серебряный карась при отсутствии хищников подвергается элиминированию из-за выедания его икры головешкой ротаном и озерным гольяном.

Распространение нехарактерных для данной экосистемы видов организмов (чужеродных видов) на новую территорию может оказывать негативное воздействие на местные экосистемы и биоразнообразие. Инвазии адвентивных видов, являясь одним из ведущих факторов трансформации экосистем, в результате могут приводить к новому типу биоразнообразия — ксеноразнообразию, образованному полностью чужеродными видами (Leppäkoski, Olenin, 2000).

Озеро Ерус ледникового происхождения высокой поймы р. Оки, имеет площадь 26,24 га и протяженность береговой линии 2124 м. В период половодья заливается при уровне лишь выше 500 см над ординаром, то есть не каждый год. Ежегодный мониторинг озера с помощью порядка сетей начался с 2014 г., также отловы были проведены в 1954, 1987 и 2006 гг.

За 70-летний период наблюдения рыбное население озера полностью изменилось. В 1954 г. основу населения (доминантный комплекс) слагали виды: речной окунь, плотва и золотой карась. В 1987 г. — золотой и серебряный карась, при этом доля золотого карася в четыре раза превосходила долю серебряного. В 2006 г. супердоминантом стал головешка-ротан (77,3 %), доля серебряного карася (4,5 %) в девять раз превосходила долю золотого (0,5 %). Вероятно, инвазия головешки-ротана находилась на стадии вспышки численности, так как в последующие годы этот вид наравне с серебряным карасем входил в доминантный комплекс (2014–2016 гг.). Как одну из причин замены золотого карася серебряным называют потепление климата, из-за чего теплолюбивый и термоустойчиваый серебряный карась изменил свою жизненную стратегию с гиногенетического на двуполое размножение. Кроме того, в конце XX столетия имело место преднамеренное и непреднамеренное вселение в водоемы амурского двуполого серебряного карася, отличающегося реофильностью, который запросто перемещался по водотокам и широко расселялся (Вехов, 2013; Герасимов, 2015). Возможно, причиной вытеснения золотого карася серебряным могла стать их гибридизация. По сведениям Т. Х. Плиевой с соавт. (2012), объем эякулята у самцов серебряного карася почти в два раза превышает таковой у золотого, плодовитость серебряного карася также намного выше, чем у золотого. Наблюдаемые авторами гибриды были более жизнеспособными, чем молодь чистых видов.

Одним из недавних пришельцев в озеро стал озерный гольян. Впервые он был обнаружен в озере в 2014 г. Буквально на следующий, 2015 г., наблюдалась вспышка его относительной численности в уловах, которая в 400 раз превосходила предыдущую. Возникшая в озере инфекция с признаками краснухи в 2016 г. подорвала численность рыб всех видов. Наиболее устойчивыми к болезни оказались головешка-ротан и озерный гольян, которые и составили в 2017 г. основу населения. В небольших количествах выжил также серебряный карась. Кроме того, низкие уровни разливов в 2015–2017 гг. не давали возможности появиться здесь другим видам рыб. К 2020 г. относительная численность озерного гольяна достигла максимума.

Интересно, что относительная численность головешки-ротана стала увеличиваться почти сразу после появления озерного гольяна, молодь которого активно поедалась головешкой-ротаном. Такое обилие пищи способствовало его быстрому размножению. В течение 2016–2020 гг. его относительная численность возрастала и достигла своего максимума за все годы наблюдений (250 экз./усилие).

В это же время относительная численность серебряного карася упала до минимума, так как пополнение популяции карася, происходившее в ходе размножения, практически полностью компенсировалось высокой смертностью икры, активно потребляемой головешкой-ротаном и озерным гольяном.

После 2021 г., когда уровень разливов стал достигать своего среднего и высокого уровня, биоразнообразие рыбного населения увеличилось, относительная численность озерного гольяна и головешки-ротана снизилась вследствие регулирования хищниками, а доля серебряного карася вновь вошла в доминантный комплекс.

Таким образом, инвазионные виды: серебряный карась, головешка-ротан и озерный гольян составляют основу населения озера высокой поймы р. Оки, а в годы с низким уровнем разлива — единственными его обитателями. В годы со средним или высоким уровнем разлива биоразнообразие рыбного населения увеличивается, однако в силу прогрессирующего эвтрофирования озеро является заморным для всех видов, кроме трех интервентов. При этом серебряный карась является самым «слабым звеном», так как его икра выедается озерным гольяном, а икра и молодь — головешкой-ротаном. В годы со средним и высоким разливом происходит регулирование численности последних хищниками.

Ксеноразнообразие, следовательно, зависит от расположения водоема относительно поймы, уровня его эвтрофикации, а также уровней разлива.

Литература

Вехов Д. А. Некоторые проблемные вопросы биологии серебряного карася *Carassius auratus s. lato* // Научно-технический бюллетень лаборатории ихтиологии ИНЭНКО. СПб., 2013. Вып. 19. С. 5–38.

Герасимов Ю. В. Серебряный карась // Рыбы Рыбинского водохранилища: популяционная динамика и экология / ред. Ю. В. Герасимов; РАН, Ин-т биологии внутр. вод им. И. Д. Папанина. Ярославль: Филигрань, 2015. С. 249–254.

Плиева Т. Х., Тетдоев В. В., Михалева Т. А., Лаврентьева Н. М. Рыбоводно-биологическая и продукционная характеристика производителей золотого и серебряного карасей и их гибрида // Вестник РУДН. Серия. Агрономия и животноводство. 2012. № 3. С. 67–72.

Leppäkoski E., Olenin S. Xenodiversity of European brackish water seas: the North American contribution // Pedersen J. (ed.). Marine bioinvasions. Proceedings of the first national conference. 2000. Massachusetts Cambridge, MA. P. 107–119.

ВОЗРАСТ И РОСТ ЕВРОПЕЙСКОГО ОКУНЯ *PERCA FLUVIATILIS* (PERCIDAE, PERCIFORMES) ПЛЕСА БАБИНСКАЯ ИМАНДРА ОЗЕРА ИМАНДРА (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Р. О. Иванченко [1] *, Е. М. Зубова [1], Н. А. Кашулин [1], П. М. Терентьев [1]

[1] *Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия*

* *e-mail: roman.ivanchenko.03@mail.ru*

AGE AND GROWTH OF THE EUROPEAN PERCH *PERCA FLUVIATILIS* (PERCIDAE, PERCIFORMES) OF THE BABINSKAYA IMANDRA REACH OF LAKE IMANDRA (MURMANSK REGION)

R. O. Ivanchenko, E. M. Zubova, N. A. Kashulin, P. M. Terentyev

Представлены результаты исследования возраста и роста европейского окуня *Perca fluviatilis* L. из плеса Бабинская Имандра оз. Имандра (Мурманская область). Показано преимущество использования двух регистрирующих структур при определении возраста особей окуня. Использование сочленовых ямок позвонков позволяет более правильно считывать характер распределения годовых зон на operculum, что важно при расчислении темпов роста по костям жаберной крышки. Результаты определения возраста по данной методике показали, что в выборке присутствовали особи от 2+ до 10+ лет, модальной группой являлись особи в возрасте от 4+ лет до 6+ лет (84 %). По расчисленным темпам роста самый высокий прирост был характерен для первого года жизни (52 мм), наименьший — для седьмого года жизни (8 мм). По значениям константы роста Шмальгаузена-Броди условно можно выделить два периода роста окуня — быстрый — со второго по шестой год жизни (в среднем 0,92) и относительно медленный — с седьмого по десятый год жизни (0,46). Некоторое ускорение роста в первые годы жизни связано с переходом на ихтиофагию в возрасте 3+ лет, замедление же приурочено к периоду массового полового созревания в возрасте 6+ лет.

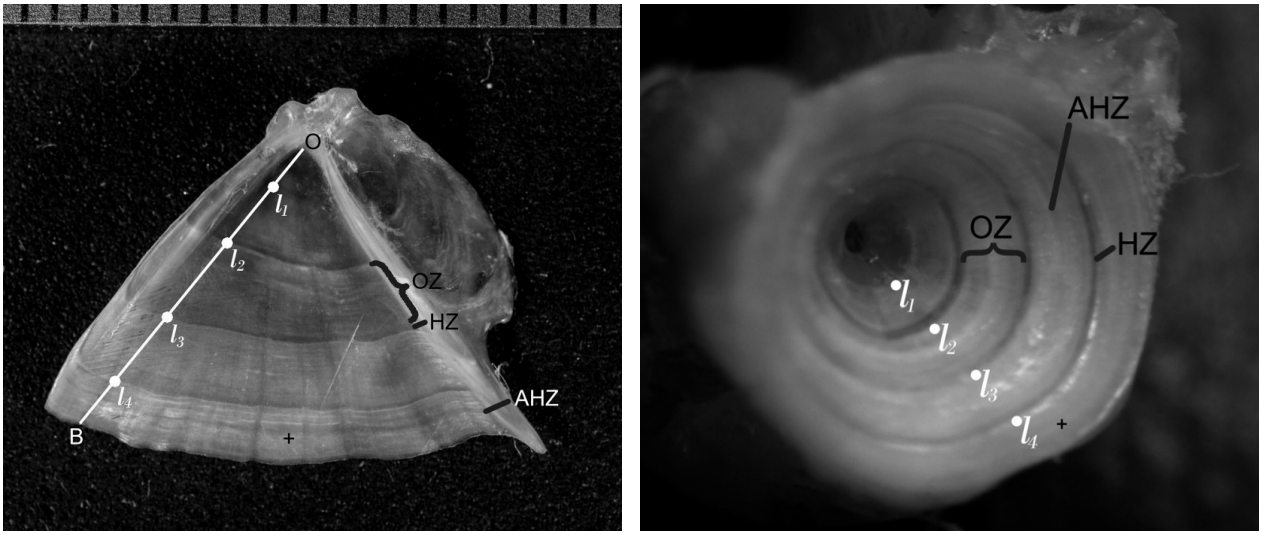
С потеплением и повышением продуктивности водоемов высоких широт преимущества получают весенне-нерестующие полиморфные виды рыб, например, *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758 (далее окунь) (Смирнов, 2023). Окунь — распространенный в Мурманской области вид, часто формирущий «ядро» ихтиоценозов, но региональные биологические характеристики его мало изучены (Терентьев, Кашулин, 2012; Zubova et al., 2025). Цель работы: изучение возраста и темпов роста окуня плеса Бабинская Имандра оз. Имандра.

Темпы роста особей и возрастная структура являются одними из основных приспособительных адаптаций популяций рыб к изменяющимся условиям среды обитания (Мина, Клевезаль, 1976). Озеро Имандра (бассейн Белого моря) — самое крупное озеро-водохранилище в Мурманской области, состоящее из трех плесов — Большой, Йокостровской и Бабинской Имандры (далее БаИ). БаИ — водоем, имеющий высокое разнообразие мест обитания и наименее подверженный техногенному загрязнению, что позволяет рассматривать его как модельный условно-фоновый водоем. Полученные характеристики окуня БаИ позволят учитывать их в дальнейших сравнительных исследованиях этого вида в других водоемах, подвергающихся техногенному загрязнению и эвтрофированию.

Ихтиологический материал в 2023 и 2024 гг. в плесе БаИ отбирали ставными жаберными сетями с размером ячеи 10–45 мм в районе острова Хорт и полуострова Роватостров во всех экологических зонах.

В уловах из БаИ доминировал окунь (58 %). Рыбы были представлены длиной 110–324 (260±5,1) мм и массой 20–476 (265±14,1) г. При сопоставлении слоистых слоев исследованных оперкулярных костей и позвонков окуня из плеса БаИ — их распределение совпадает, но более четкая «картина» проявляется на сочленовной ямке позвонков (рис.). Сопоставляя структуру сочленовных ямок позвонков со структурой жаберной крышки, можно более

правильно читать последнюю, что необходимо при изучении темпов роста рыб. Возрастная структура популяции окуня из плеса БаИ включала особей от 2+ до 10+ лет, преобладали рыбы в возрасте 4–6+ лет (84 %).



Строение и схема измерения жаберной крышки (а) и строение сочленовной ямки позвонка краниальной части туловища европейского окуня *Perca fluviatilis* L. в возрасте 4+ лет, длиной (*AC*) 204 мм плеса Бабинская Имандра оз. Имандра, 2024 г.: OZ — «светлая» зона роста, HZ — «темная» зона роста, AHZ — дополнительная «темная» зона роста, OB — длина жаберной крышки, l_1, l_2, l_3, l_4 — годовые зоны роста, + — незаконченный прирост

Зависимость между длиной тела окуня и длиной его жаберной крышки лучше описывается формулой степенной функции: $R^2 = 0{,}93$. Линии регрессии не проходят через начало координат, поэтому для обратных расчислений длины рыб предпочтительнее использовать формулу Розы Ли (Чугунова, 1959; Мина, Клевезаль, 1976). В обратных расчислениях «феномен» Розы Ли отсутствует.

По значениям расчисленных абсолютных средних годовых приростов окуня самый высокий темп роста был характерен для первого года жизни (52 мм), наименьший — для седьмого года жизни (8 мм). По значениям константы роста Шмальгаузена-Броди можно выделить два периода роста окуня — быстрый — со второго по шестой год жизни (в среднем 0,92) и относительно медленный — с седьмого по десятый год жизни (0,46). Замедление темпов линейного роста наблюдается уже после массового созревания рыб (6+ лет). При переходе окуня плеса БаИ на ихтиофагию (начиная с возраста 3+ лет), отмечается рост абсолютных значений массы рыб: до 113 г в возрасте 5+ лет. После массового созревания рыб приросты массы также имеют минимальные значения.

Проект выполняется при поддержке двух тем НИР: FMEZ-2025-0061 и FMEZ-2024-0014.

Литература

Мина М. В., Клевезаль Г. А. Рост животных: (анализ на уровне организма) / [отв. ред. В. И. Макаров]. М.: Наука, 1976. 291 с.

Смирнов А. К. Зоогеографический анализ особенностей температурных предпочтений рыб европейской части России // Вопросы ихтиологии. 2023. Т. 63, № 2. С. 132–143.

Терентьев П. М., Кашулин Н. А. Трансформация рыбной части сообществ водоемов Мурманской области // Труды Кольского научного центра Российской академии наук. Серия Прикладная экология Севера. 2012. Вып. 3 (10), № 2. С. 61–100.

Чугунова Н. И. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: АН СССР, 1959.

Zubova E. M., Kashulin N. A., Terentyev P. M. et al. Features of the ichthyofauna of freshwater bodies in 22 river basins of the northeastern Fennoscandia (Barents and White Sea basins, 1972–2024 studies) // Limnology and Freshwater Biology. 2025. N 4. P. 312–326.

ПАРАЗИТОФАУНА МОЛОДИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ *SALMO SALAR* L. (ПРОХОДНЫЕ И ПРЕСНОВОДНЫЕ ФОРМЫ) ОЗЕРНО-РЕЧНОЙ СИСТЕМЫ РЕКИ КЕМИ (БАССЕЙН БЕЛОГО МОРЯ)

Е. П. Иешко [1], Н. С. Мюге [2], С. Г. Соколов [1], А. Н. Паршуков [1]*, Д. А. Ефремов [1]

[1] *Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия*

[2] *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия*

** e-mail: aleksey.nik.parshukov@gmail.com*

PARASITE FAUNA OF JUVENILE ATLANTIC SALMON *SALMO SALAR* L. (ANADROMOUS AND FRESHWATER FORMS) OF THE LAKE-RIVER SYSTEM OF THE KEM RIVER (WHITE SEA BASIN)

E. P. Ieshko, N. S. Muge, S. G. Sokolov, A. N. Parshukov, D. A. Efremov

Показана постледниковая история становления водосборного бассейна р. Кеми и этапы колонизации озерно-речных систем р. Каменной и озер Куйто лососевыми рыбами. Рассмотрены особенности локальных паразитарных сообществ пестряток атлантического лосося различных рек водосборного бассейна г. Кеми.

Большинство паразитологических данных, собранных по атлантическому лососю на Северо-Западе России (Мурманская область и Карелия), относится к взрослым особям с мигрантным и резидентным типом жизненной стратегии (Митенев, 1984; Митенев, Шульман, 1980, 1985). Данные о фауне паразитов пестряток атлантического лосося этого региона менее обширны (Румянцев и др., 2005).

Цель исследований — показать особенности паразитарных сообществ пестряток атлантического лосося бассейна р. Кеми. Сбор и обработка материала проводились стандартными методами полного паразитологического вскрытия.

Установлено, что паразитофауна лосося оказалась бедной в сравнении с таковой, известной для молоди этого вида из речных систем сопредельных регионов. В целом видовой состав и разнообразие паразитов молоди из притоков озер Куйто имели выраженные отличия среди популяции анадромного лосося исследованного в устье р. Кеми.

Литература

Митенев В. К. Паразитофауна проходных лососей *Salmo salar* L. и *Salmo trutta* L. водоемов Кольского полуострова // Эколого-паразитологические исследования северных морей. Апатиты, 1984. С. 88–97.

Митенев В. К., Шульман Б. С. Влияние гидросооружений и водохранилищ на паразитофауну атлантического лосося (*Salmo salar* L.) // Паразитология. 1980. Т. 14, вып. 2. С. 97–102.

Митенев В. К., Шульман Б. С. Экологические особенности паразитофауны молоди семги *Salmo salar* L. Европейского Севера // Экология и воспроизводство проходных лососевых рыб в бассейнах Белого и Баренцева морей. Мурманск, 1985. С. 149–159.

Румянцев Е. А., Иешко Е. П., Шульман Б. С. Паразиты лососевидных рыб (Salmonidae) Европейского Севера России // Лососевидные рыбы Восточной Фенноскандии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 116–130.

НИТРАТЫ В ГРУНТОВЫХ ВОДАХ КАРЕЛИИ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ПЕТРОЗАВОДСКА)

Г. А. Изотов

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

e-mail: grigoriiiizotov@gmail.com

NITRATES IN GROUNDWATER OF KARELIA (THE CITY OF PETROZAVODSK AS AN EXAMPLE)

G. A. Izotov

Установлены особенности нитратного загрязнения грунтовых вод города Петрозаводска. Показано, что формирование повышенных концентраций нитратов обусловлено преимущественно хозяйственно-бытовыми стоками, слабой естественной защищенностью водоносных горизонтов и особенностями гидрогеологического строения территории. Выявлены пространственная неоднородность загрязнения с максимальными значениями в районах частной жилой застройки и выраженная сезонная изменчивость, связанная с условиями инфильтрационного питания.

Обеспечение населения качественной питьевой водой является одной из ключевых задач рационального использования и охраны подземных вод. Многочисленные исследования свидетельствуют о широком распространении загрязнения в пределах г. Петрозаводска (Крутских и др., 2016). Среди загрязняющих веществ наибольшее значение имеют соединения азота, прежде всего нитраты. Они являются одним из основных загрязнителей подземных вод и преимущественно формируются в результате хозяйственно-бытовой деятельности человека.

Нитраты являются естественным компонентом биогеохимического круговорота азота. В малых концентрациях они постоянно присутствуют в организмах животных и растений. Однако при высоких концентрациях нитраты становятся одним из наиболее опасных загрязнителей питьевых вод (Жиляев и др., 2022).

Грунтовые воды города характеризуются слабой естественной защищенностью от загрязнения нитратами, поступающими с поверхности. Основным источником поступления соединений азота в подземные воды являются коммунально-бытовые стоки. Подземные воды верхней гидрогеохимической зоны не имеют выдержанного сплошного водоупорного горизонта, который мог бы задержать загрязняющие вещества на поверхности. Под воздействием инфильтрации загрязненных стоков концентрация нитратов достигает высоких значений. В пределах г. Петрозаводска фиксируются концентрации до 200–300 мг/л при предельно допустимой концентрации 45 мг/л (Водные ресурсы…, 2006). В результате метаморфизации химического состава подземных вод происходит формирование нитратного гидрогеохимического типа вод (Бородулина, 2022).

Мониторинг, проводимый с 1990-х гг. на территории Петрозаводска, показал, что нитратное загрязнение сохраняет свою интенсивность в районах преобладания частной застройки (Птицефабрика, Кукковка, Соломенное). На окраинах города антропогенные источники загрязнения практически отсутствуют, поэтому концентрации нитратов минимальны (Бородулина, Левичев, 2019).

Наблюдается выраженная сезонная цикличность нитратного загрязнения с пиками весной и осенью. Это связано с усиленной инфильтрацией осадков в этот период и снижением интенсивности биологического поглощения азотных соединений.

Таким образом, формирование нитратного загрязнения грунтовых вод Петрозаводска определяется сочетанием антропогенной нагрузки и особенностями гидрогеологических условий территории.

Литература

Бородулина Г. С. Родники Карелии — природные объекты научного и социального значения // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 4. С. 53–65.

Бородулина Г. С., Левичев М. А. Ресурсы и геохимия подземных вод Карелии // Горный журнал. 2019. № 3. С. 71–75.

Водные ресурсы Республики Карелия и пути их использования для питьевого водоснабжения. Опыт карело-финляндского сотрудничества / ред.: Н. Н. Филатов, А. В. Литвиненко, А. Сяркиоя и др. 2006. 263 с.

Жиляев В. А., Басов А. С., Полехина Н. Н. Влияние нитратов и нитритов на организм человека // Международный студенческий научный вестник. 2022. № 5. 4 с.

Крутских Н. В., Бородулина Г. С., Казнина Н. М. и др. Геоэкологические основы организации мониторинга северных урбанизированных территорий (на примере г. Петрозаводска) // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. Серия. Экологические исследования. 2016. № 12. С. 52–67.

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ГУБЫ ЯНДОВА БЕЛОГО МОРЯ ЗА ПЕРИОД 2021–2025 ГГ.

А. Е. Илларионова

Северный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Архангельск, Россия

e-mail: illarionova@severniro.vniro.ru

DYNAMICS OF BIOGENIC ELEMENT CONCENTRATIONS IN SURFACE WATERS OF THE VANDOVA BAY WHITE SEA 2021–2025

A. E. Illarionova

Представлены результаты ежегодного мониторинга состояния поверхностных вод губы Яндова Белого моря в 2021–2025 гг. Установлены закономерности содержания биогенных элементов.

Яндова губа — участок Двинского залива, охватывающий район впадения р. Северной Двины в Белое море (Мохова, 2020). Большой приток речных вод привел к сравнительно низкой солености поверхностных вод губы Яндова и там сложились благоприятные условия для нереста сельди беломорской. Беломорская сельдь (*Clupea pallasii marisalbi* Berg) является одним из основных промысловых объектов Белого моря (Фролов, 2016).

Северный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» проводит здесь ежегодные гидрохимические, гидрологические и гидробиологические исследования. Мониторинг содержания биогенных элементов в морской воде осуществляется с марта по октябрь на комплексной полусуточной станции.

Распределение биогенных элементов в водах отличается большим разнообразием, что связано с изменением их концентрации под влиянием физико-химических и биологических процессов, но обладает определенным паттерном, связанным со стадиями развития фитопланктона.

Основным фактором, лимитирующим развитие фитопланктона в Белом море, является резкое снижение концентрации нитратного азота (Бергер, 2007). В весенне-летний период во время массового развития планктонных водорослей содержание азота нитратного в слое воды снижается практически до нуля, восстанавливаясь к осени как за счет регенерационных процессов и минерализации органического вещества, так и за счет конвективного перемешивания вод. Такая же тенденция характерна и для фосфора фосфатного (Бергер, 2007). Максимальные значения содержания азота нитратного фиксировались традиционно в марте, при этом оставаясь значительно ниже ПДК р/х 9 мг/дм^3 (Министерство…, 2025). Летом 2025 г. не наблюдалось сильного снижения содержания азота нитратного относительно предыдущих лет, это может говорить о том, что рост фитопланктона продолжился из-за смещения гидрологических сезонов (Серых и др., 2022).

Фосфор является одним из главных биогенных элементов, определяющих продуктивность водного объекта. Сезонная и межгодовая динамика содержания общего фосфора определяется его минеральной составляющей. За время наблюдений в зимне-весенний период их содержание увеличивалось, но оставалось ниже значений ПДК р/х 0,2 мг/дм^3 (Министерство…, 2025) для фосфора фосфатного. За исследуемый период в июле концентрация форм фосфора снижалась в связи с интенсивным развитием фитопланктона, но только в июле 2025 г. данного снижения не произошло.

Концентрация аммонийного азота за весь исследуемый период характеризуется максимальными значениями в мае. В 2025 г., однако, среднегодовое значение составило 0,031 мг/дм^3, что больше в 3 раза, чем средние значения в 2021–2024 гг. (0,007–0,013 мг/дм^3). Локальные максимумы средних значений наблюдались в мае и октябре и составили 0,051 мг/дм^3, но остались ниже значения ПДК р/х 0,4 мг/дм^3 (Министерство…, 2025).

Содержание азота нитритного за пять лет в воде изменялось незначительно и оставалось ниже ПДК р/х 0,02 мг/дм^3 (Министерство…, 2025). В зимне-весенний период значения всегда выше, чем в летний. Только в 2025 г. концентрация азота нитритного не снижалась и увеличилась в летний период, что коррелирует с повышенными значениями азота аммонийного, который в процессе нитрификации окисляется сначала до нитрит-иона, а затем до азота нитратного.

Содержание кремния повышалось с осени по весну в 2021 и 2023 гг., в период вспышки роста фитопланктона — уменьшается. В 2022 г. было зафиксировано резкое увеличение его концентрации в мае за счет смешения вод разной солености во время интенсивного весеннего половодья, обусловленного сильными снегопадами. В 2024–2025 гг. экстремумы были не так выражены, как в предыдущие годы. При устойчивой стратификации и более длительных периодах вегетации поверхностные воды более эффективно очищаются от растворенного кремния, при этом увеличивается содержание азотных форм и фосфора фосфатного, что подтверждается результатами исследования (Орехова, 2021).

По полученным результатам концентрации нормируемых биогенных элементов оказались значительно ниже ПДК р/х. Содержание кремния, общих форм азота и фосфора не нормируется (Министерство…, 2025).

Межгодовая динамика для азота нитратного за исследуемый период сохранялась. Для азота аммонийного в 2021–2023 гг. закономерность воспроизводилась с сохранением среднегодовых значений, в 2024 г. экстремумы отсутствовали, тогда как в 2025 г. среднее значение за год увеличилось в три раза. Содержание кремния за пять лет демонстрирует тренд на снижение максимальных и средних значений. Межгодовая динамика азота нитритного и общего, фосфора фосфатного и общего сохранялась кроме 2025 г., когда максимум сместился с весеннего периода на летний.

Отсутствие в 2025 г. типичного сильного снижения в воде азота нитратного и фосфора фосфатного и увеличение при этом содержания аммонийного, нитритного и общего азота в июле указывает на отсутствие истощения биогенных элементов губы Яндова Белого моря, что может быть связано со смещением вегетационного периода фитопланктона на более поздний срок.

Литература

Бергер В. Я. Продукционный потенциал Белого моря. Исследования фауны морей. СПб.: ЗИН РАН, 2007. Т. 60 (68). 292 с.

Мохова О. Н., Мельник Р. А., Фукс Г. В. Содержание биогенных веществ в водах Яндовой губы Белого моря // География: развитие науки и образования. СПб.: РГПУ, 2020. Т. II. С. 96–100.

Министерство сельского хозяйства. Приказ. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: приказ Росрыболовству от 26 мая 2025 г. № 296: вступает в силу с 01.09.25 г. М.: Росрыболовство, 2025. 106 с.

Орехова Н. А. Режим биогенных элементов Черного моря // Морской гидрофизический журнал. 2021. Т. 37, № 6. С. 710–726.

Серых И. В., Костяной А. Г., Лебедев С. А., Костяная Е. А. О переходе температурного режима региона Белого моря в новое фазовое состояние // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2022. Т. 15, № 1. С. 98–111.

Фролов С. Б. Состояние запасов и перспективы использования беломорской сельди // Морские биологические исследования: достижения и перспективы: сб. мат. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч., приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Т. 3. С. 468–470.

НАКОПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ $^{239+240}$PU И ^{137}CS В ДОННЫХ ОСАДКАХ МУРМАНСКОГО ПРИБРЕЖЬЯ (БАРЕНЦЕВО МОРЕ)

Г. В. Ильин [1]*, И. С. Усягина [1], С. Н. Лукашенко [2], М. А. Эдомская [2]

[1] *Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, Мурманск, Россия*

[2] *Курчатовский комплекс радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Обнинск, Россия*

** e-mail: ilyin@mmbi.info*

ACCUMULATION AND DISTRIBUTION ISOTOPES OF $^{239+240}$PU AND ^{137}CS IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE MURMAN COAST (BARENTS SEA)

G. V. Ilyin, I. S. Usyagina, S. N. Lukashenko, M. A. Edomskaya

Характер распределения радиоизотопов в поверхностном слое (0–3 см) отложений определяется расположением инфраструктуры флота, гидрологией и топографией морского дна. Под влиянием источников радиоактивности осадки на западном участке (Варангер-фьорд, Мотовский, Кольский заливы) содержат до 3,6 Бк/кг $^{239+240}$Pu и до 6,3 Бк/кг ^{137}Cs. В удаленном от источников Восточном Мурмане накопление радиоизотопов повышено в локациях затока вод прибрежного течения как «атлантический след». Концентрации $^{239+240}$Pu здесь составляют 0,7–1,4 Бк/кг, ^{137}Cs –0,4–3,7 Бк/кг. Соотношения $^{239+240}$Pu/^{137}Cs различны в отложениях Западного (в среднем 0,45) и Восточного Мурмана (1,33) и используется как указатель источника радионуклидов. Роль глобальных выпадений в накоплении изотопов мало значима.

Появление изотопов ^{239}Pu, ^{240}Pu и ^{137}Cs в морской среде Баренцева моря связано с распространением продуктов ядерных взрывов на полигонах Новой Земли в 1950–1960-х гг. В настоящее время они попадают море при глобальных атмосферных выпадениях и при транзите атлантических вод из загрязненных районов Европы (Селлафилд, Кап-де-ла-Аг) (Матишов и др., 2011). Материковый сток в Баренцево море дополняет перенос атмосферных выпадений изотопов с водосборной территории. Потенциальным источником антропогенных ^{239,240}Pu и ^{137}Cs являются утечки радиоактивных материалов на объектах инфраструктуры атомного флота в регионе, расположенные в основном в западном участке Кольского прибрежья (Ильин и др., 2017).

Целью работы является актуализация радиологического статуса важной для природопользования прибрежной зоны Кольского полуострова, изучение закономерностей распределения $^{239+240}$Pu и ^{137}Cs в современном донном осадке.

В работе обобщены материалы морской экспедиции, проведенной ММБИ РАН вдоль Мурманского берега в июле 2021 г. Чтобы обеспечить отбор осадков сходного временного периода, в разных участках отбирался верхний слой 0–3 см, который охватывает последние 15–20 лет. Прибрежная зона ограничена прибрежным желобом, вдоль которого ориентировано Мурманское прибрежное течение. Оно обеспечивает трансокеанический перенос высокосоленых вод северной Атлантики и Норвежского моря и определяет влияние Атлантики на условия в прибрежье Кольского полуострова. Внедрения этих вод в прибрежье выражены в поле температуры и солености воды.

В донных отложениях прибрежья сложилось мозаичное поле концентраций радиоцезия и плутония. Активность ^{137}Cs варьируется вдоль прибрежной зоны от 0,4±0,1 Бк/кг до 6,3±0,7 Бк/кг. Активность $^{239+240}$Pu варьируется от 0,3±0,1 до 3.6±1,6 Бк/кг. Максимальная активность радиоизотопов отмечена на участке Западного Мурмана — западнее устья Кольского залива. Концентрация $^{239+240}$Pu варьирует от 0,29 до 3,6 Бк/кг (в среднем 1,38±

1,09 Бк/кг), ^{137}Cs — от 0,6 до 6,3 Бк/кг (в среднем 3,65±1,99 Бк/кг). В их распределении выражено влияние местных источников радиоактивности. В Варангер-фьорде источником является сток из губы Печенга. В Мотовском заливе локальные максимумы концентраций ^{137}Cs приурочены к стокам из губ Андреева, Ара, Ура. В Кольском заливе повышенное содержание определяется суммарным влиянием нескольких источников, расположенных в водоеме. В прибрежной акватории Восточного Мурмана, удаленной от техногенных источников радиации, отмечено значительное снижение удельной активности радионуклидов с локальными колебаниями, вызванными их эпизодическим притоком с водами прибрежного течения. Концентрации $^{239+240}$Pu в отложениях восточного участка варьируют от 0,7 до 1,4 Бк/кг (в среднем 0,96±0,2 Бк/кг), а ^{137}Cs — от 0,4 до 3,7 Бк/кг (в среднем 1,32±1,18).

Распределение активности радионуклидов демонстрирует тенденцию к снижению в направлении от западных участков Мурманского прибрежья к восточным. Тренды пространственного распределения $^{239+240}$Pu и ^{137}Cs подтверждают в целом общие тенденции накопления этих изотопов. Расположение станций с экстремальными концентрациями этих радионуклидов практически совпадает, что связано, по-видимому, с их общим источником.

Кластерный анализ позволил выделить два кластера. Первый из них объединяет отложения западной части прибрежья, характеризующиеся повышенным содержанием радиоизотопов и наличием объектов инфраструктуры флота. Второй кластер включает донные отложения восточной части, находящейся под влиянием атлантических вод. Вероятно, более важным фактором накопления радиоизотопов в прибрежье становится близкое расположение объектов атомной инфраструктуры.

Индикатором источника загрязнения может служить соотношение концентраций изотопов $^{239+240}$Pu/^{137}Cs. По данным 2021 г., величины изотопного соотношения различаются на порядок. Экстремально высокие коэффициенты (>1) сгруппированы в восточной части прибрежья (Восточный Мурман). Максимумы относительно близки по величине (1,3–2,5), что с высокой вероятностью определяется общим источником — переносом радионуклидов атлантическими водами прибрежного течения (Матишов и др., 2023). Высокие значения соотношения, характерные для «атлантического следа», образуются, по-видимому, при смешении сбросов европейских перерабатывающих заводов и глобальных выпадений. К западу от Кольского залива соотношение нестабильно (0,12–0,76) и не связано с уровнем активности радиоизотопов. Это вызвано множеством локальных источников радионуклидов. В глобальных атмосферных выпадениях в высоких широтах (арх. Шпицберген) соотношение $^{239+240}$Pu/^{137}Cs оценивается в среднем величиной 0,028 (Lokas et al., 2013). На фоне средней величины соотношения в Мурманском прибрежье 0,8 вклад глобальных выпадений в формирование поля концентраций плутония в донных отложениях оказывается низким.

Работа выполнена в рамках государственного задания ММБИ РАН (№ госрегистрации 124013000709-9) и гранта Российского научного фонда № 22-17-00243-П.

Литература

Ильин Г.В., Касаткина Н.Е., Моисеев Д.В., Усягина И.С. Объекты инфраструктуры атомного флота как источник радиоактивного загрязнения Баренцева моря (на примере хранилища отходов в губе Андреева) // Атомная энергия. 2017. 122 (2). С.108–114.

Матишов Г.Г., Касаткина Н.Е., Леппанен А.П. и др. Новые данные о концентрации изотопов плутония в отложениях Баренцева моря // Доклады Академии наук. 2011. 440 (5). С. 696–700.

Матишов Г.Г., Ильин Г.В., Усягина И.С. и др. Радиоэкологическое состояние прибрежной зоны Кольского полуострова (по данным наблюдений в 2013–2020 годах) // Метеорология и гидрология. 2023. 48 (4). С. 99–110.

Lokas E., Mietelski J., Ketterer M. et al. Sources and vertical distribution of ^{137}Cs, ^{238}Pu, $^{239+240}$Pu and ^{241}Am in peat profiles from southwest Spitsbergen // Applied Geochemistry. 2013. Vol. 28. P. 100–108.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОСОБО КРУПНОЙ ФОРМЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ РЯПУШКИ ВОДОЕМОВ КАРЕЛИИ

Н. В. Ильмаст*, Д. С. Савосин, Н. П. Милянчук, Е. В. Рекин

Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

** e-mail: ilmast@mail.ru*

BIOLOGICAL PARAMETERS OF LARGE FORM OF EUROPEAN VENDACE IN KARELIAN WATERS

N. V. Ilmast, D. S. Savosin, N. P. Milyanchuk, E. V. Rekin

В водоемах Республики Карелия обитают три формы европейской ряпушки: мелкая — в 270 озерах, крупная — в 60 и особо крупная — в двух. К последней форме принадлежат: рипус — эндемик Ладожского озера и килец — эндемик Онежского озера. Разные формы ряпушки значительно отличаются по биологическим показателям. Способность ряпушки существовать в разнотипных водоемах определила значительные масштабы ее интродукции. Преднамеренная интродукция особо крупных форм ряпушки приводит к тому, что рыбное население озер пополняется ценным промысловым видом рыб, способствующим более полному использованию кормовых ресурсов водоемов.

В Карелии европейская ряпушка отмечена в 332 из 800 обследованных озер (Герд, 1949; Озера Карелии, 2013). В водоемах республики обитают три формы ряпушки: мелкая — в 270 озерах, крупная — в 60 и особо крупная — в двух. К последней форме принадлежат: рипус — эндемик Ладожского озера и килец — эндемик Онежского озера (Покровский, 1953; Дятлов, 2002; Бабий, Сергеева, 2003). Наличие разных форм ряпушки можно рассматривать как результат эволюции северных экосистем по пути увеличения внутривидовых связей (Решетников, 1980, 1995). В некоторых озерах отмечено совместное обитание мелкой и крупной форм ряпушки (Онежское, Ладожское, Топозеро, Умбозеро, Нюкозеро, Толвоярви). В остальных водоемах, населенных крупной ряпушкой, мелкая форма отсутствует.

Разные формы ряпушки значительно отличаются по биологическим показателям. Средние размеры рипуса и кильца примерно одинаковые: 25–30 см и 200–300 г. Максимальный размер рипуса 46 см, масса 1200 г, кильца — 41 см и 900 г, соответственно. Крупная форма ряпушки имеет среднюю длину 18–22 см, массу — 50–200 г, мелкая — 8,5–16,0 см, 6–25 г, соответственно. Продолжительность жизни у кильца — 15–16 лет, у рипуса — 11–14 лет, у крупной и мелкой ряпушки — 5–6 лет (редко 9–10). Килец и рипус созревают в возрасте 3+…4+, крупная ряпушка — в 2+…3+, мелкая — 1+, как самцы, так и самки. Очень редко, например в Сямозере, в нерестовой части популяции ряпушки отмечались половозрелые самцы в возрасте 0+, среди самок такого никогда не наблюдалось (Стерлигова и др., 2002, 2016). Это явление можно объяснить хорошим ростом сеголеток. На связь между временем наступления половой зрелости и обеспеченностью пищей для рыб указывали и более ранние исследователи (Сальдау, 1956; Бушман, 1982; Zuromska, 1982).

Абсолютная плодовитость у рипуса варьирует в пределах 6000–87 000 икринок, у кильца — 7700–86 000, у крупной ряпушки — 4200–17 300 и у мелкой — 330–8000, соответственно. Наибольшие размеры в абсолютной плодовитости в разных водоемах обусловлены условиями обитания, структурой популяции и темпом роста. Все формы ряпушки нерестятся на песчано-илистых грунтах. Период инкубации длится 6–7 месяцев. Вылупление личинок по срокам совпадает со временем вскрытия льда на озерах. Личиночная стадия составляет 40–45 дней.

По типу питания рипус и килец являются активными пелагическими хищниками, их взрослые особи потребляют молодь корюшки и других видов рыб (Дятлов, 2002; Бабий, Сергеева, 2003). Крупные формы ряпушки питаются как зоопланктоном, так и зообентосом. У мелких форм ряпушки основным видом корма является зоопланктон с ведущими формами —

Bosmina coregoni, Holopedium gibberum, Eudiaptomus gracilis. В короткие периоды вылета насекомых ряпушка переходит на их питание (до 99% от веса всего пищевого комка) (Liso at al., 2011). В течение всего вегетационного периода ряпушка наиболее активно питается при температуре воды 16–17 ºС. С прогревом же поверхностного слоя воды до 22 ºС отмечается снижение потребления пищи.

У крупной ряпушки обнаружено сравнительно небольшое число видов паразитов, и среди них нет патогенных для человека. Это позволяет рекомендовать ее для интродукции как икрой, личинками, так и производителями (Малахова, 1969; Потапова, 1978).

Способность ряпушки существовать в разнотипных водоемах определила значительные масштабы ее интродукции. Крупные и очень крупные формы ряпушки вселяли в водоемы России (Республика Карелия, Мурманская, Оренбургская, Воронежская области) и далеко за ее пределами (Киргизия, Казахстан, Грузия, Польша и Румыния).

Результаты исследований показали, что преднамеренная интродукция особо крупных форм ряпушки приводит к тому, что рыбное население озер пополняется ценным промысловым видом рыб, способствующим более полному использованию кормовых ресурсов водоемов.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН.

Литература

Бабий А. А., Сергеева Т. И. Крупная ряпушка — килец *Coregonus albula* Онежского озера // Вопросы ихтиологии. 2003. Т. 23, № 3. С. 345–351.

Бушман Л. Г. Изменения в структуре и продукции зоопланктона. // Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. М.: Наука, 1982. С. 34–62.

Герд С. В. Некоторые зоогеографические проблемы изучения рыб Карелии // Природные ресурсы, история и культура Карело-Финской ССР. Петрозаводск: Гос. изд-во Карело-Фин. ССР, 1949. Вып. 2. С. 100–115.

Дятлов М. А. Рыбы Ладожского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2002. 281 с.

Малахова Р. П. Паразитофауна крупной ряпушки «маточных» водоемов Вохтозерской группы озер // Вопросы экологии животных. Петрозаводск, 1969. С. 11–22.

Озера Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.

Покровский В. В. Ряпушка озер Карело-Финской ССР. Петрозаводск, 1953. 107 с.

Потапова О. И. Крупная ряпушка *Coregonus albula*. Л.: Наука, 1978. 133 с.

Решетников Ю. С. Экология и систематика сиговых рыб. М.: Наука, 1980. 300 с.

Решетников Ю. С. Современные проблемы изучения сиговых рыб // Вопросы ихтиологии. 1995. Т. 35, № 2. С. 156–174.

Сальдау М. П. О пищевом значении бентоса и планктона для рыб Ладожского озера // Известия ВНИОРХ. 1956. Т. 38. С. 66–74

Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В., Савосин Д. С. Круглоротые и рыбы пресных вод Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. 224 с.

Стерлигова О. П., Павлов В. Н., Ильмаст Н. В. и др. Экосистема Сямозера (биологический режим и использование). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2002. 120 с.

Liso S., Gjeland R. Ø., Reshetnikov Y. S. and Amundsen P.-A. A planktivorous specialist turns rapacious: piscivory in invading vendace *Coregonus albula* // J. Fish Biology. 2011. Vol. 78. P. 332–337.

Zuromska H. Egg mortality and its causes in *Coregonus albula* (L.) and *C. lavaretus lavaretus* (L.) in two Masurian lakes // Arch. Hydrobiol. 1982. Vol. 29. P. 29–69.

ЭКОЛОГО-ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА МИКОБИОТЫ ПРИТОКОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА И РЕКИ НЕВЫ

И. В. Иофина

Институт озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: rinaio@yandex.ru

ECOLOGICAL AND TAXONOMIC MYCOBIOTAS STRUCTURE OF THE TRIBUTARIES LAKE LADOGA AND NEVA RIVER

I. V. Iofina

Несмотря на длительную историю гидробиологических исследований в регионе, микологический компонент экосистемы притоков остается малоизученным. Определены таксономический состав и численность водных грибов притоков озера. Был выделен и идентифицирован 81 вид, а также белый стерильный мицелий. Грибы разделены на несколько групп в зависимости от их таксономической принадлежности и отнесены к двум царствам и четырем отделам. Во всех исследованных реках доминируют потенциально патогенные терригенные (оппортунистические) виды из родов *Alternaria, Cladosporium, Saprolegnia, Olpidium, Penicillium.* Наибольшее видовое разнообразие отмечалось в р. Волхов. Установлено, что наибольшая численность водных грибов наблюдается в летний период, а наименьшая весной.

Притоки крупных озерных систем, таких, как Ладожское озеро, являются важными компонентами, определяющими их гидрохимический и гидробиологический режим. Исследования фитопланктона притоков Ладожского озера показали значительное влияние на формирование фитопланктона р. Невы, однако микофлора этих водотоков практически не изучена. Между тем грибы являются неотъемлемым компонентом планктонных и бентосных сообществ, влияющим на их структуру и функционирование. Актуальность исследования микофлоры притоков Ладожского озера обусловлена несколькими факторами: водные грибы являются чувствительными индикаторами состояния водных экосистем, особенно в условиях антропогенного воздействия и изменения климата; участвуют в трансформации органического вещества, поступающего с водосборной территории, влияя на трофический статус как притоков, так и самого озера, а также вступают в сложные трофические и конкурентные отношения с бактериями, водорослями и простейшими, влияя на структуру водных сообществ.

В 2024–2025 гг. была проведена оценка микобиоты притоков озера и истока р. Невы. Было исследовано 16 притоков Ладожского озера, различающихся по морфометрии, гидрологическому режиму и степени антропогенной нагрузки. Образцы отбирали по стандартным методикам в пластиковые стерильные банки. Определялись общая численность микопланктона и видовой состав. Для выделения водных грибов был использован метод глубинного посева воды. Таксономическая система строилась на основе современных представлений о полифилетическом происхождении грибоподобных организмов с выделением царств Protoctista и настоящих грибов Fungi. Названия таксонов унифицировали с использованием международной электронной базы данных Index Fungorum (2021). Общую численность водных грибов выражали в КОЕ/мл. Видовое определение чистых культур водных грибов проводили с использованием светового микроскопа. Статистическую обработку проводили в программе Microsoft Office Excel 2010.

Анализ данных выявил общую закономерность сезонной динамики численности микопланктона во всех исследованных притоках. Минимальные значения наблюдались в мае, в период начала вегетационного сезона, и колебались от 4 КОЕ/мл (Вуокса, Видлица, Оять, Сясь) до 7 КОЕ/мл (Аволга) По мере прогревания воды и увеличения содержания органического вещества численность микомицетов постепенно увеличивалась, достигая максимума в июле (26 КОЕ/мл

в р. Аволге). Осенью наблюдалось снижение показателей до 10 КОЕ/мл (р. Оять) в связи с понижением температуры воды и уменьшением количества доступного органического субстрата.

Наиболее интенсивное развитие микопланктона отмечено в р. Волхов, что очевидно связано с повышенным содержанием фосфора в воде, которое обусловлено как особенностями природных условий, так и хозяйственной деятельностью на южной части Ладожского водосбора. Численность водных грибов составляла 15 КОЕ/мл весной, 25 КОЕ/мл летом и незначительно опускалась осенью до 20 КОЕ/мл. Значительный объем водного стока делает р. Волхов главным источником поступления фосфора в озеро с водосбора. Основным источником поступления соединений фосфора в эту реку многие годы оставались сточные воды предприятия ОАО «Волховский алюминий».

Химический состав воды р. Невы в целом определяется гидрохимическим режимом Ладожского озера и в основном соответствует составу основной водной массы озера. Количественные характеристики составляли 15 КОЕ/мл весной, 18 КОЕ/мл летом и с небольшим повышением до 20 КОЕ/мл осенью. Следует отметить, что в исследуемый период показатели, характеризующие содержание органического вещества в воде обследованных рек, оставались в пределах многолетнего диапазона и сезонные изменения были выражено слабо.

В ходе исследований в притоках Ладожского озера выявлен разнообразный таксономический состав водных грибов и грибоподобных организмов. Они разделены на несколько групп в зависимости от их таксономической принадлежности и отнесены к двум царствам и четырем отделам. Во всех исследованных реках доминируют потенциально патогенные терригенные (оппортунистические) виды из родов *Alternaria, Cladosporium, Saprolegnia, Olpidium, Penicillium*.

Всего идентифицирован 81 вид, относящийся к различным систематическим группам. Выделенные изоляты относились к грибам терригенного происхождения отдела *Ascomycota*, на которые приходилось наибольшее видовое разнообразие. Среди них доминируют представители отдела *Ascomycota* (51 вид). Незначительную долю составляют также грибоподобные организмы из царства Chromista (12 видов, 15%), преимущественно сапролегнивые грибы (Saprolegnida); также регистрировались случаи паразитирования на планктонных водорослях *Asterionella formosa, Melosira islandica*. Наибольшее видовое разнообразие отмечалось в р. Волхов. Высокая численность характерна для всех притоков в летний период, однако в р. Свири количественные показатели осенью значительно превышали летние.

Следует отметить, что многие выявленные виды являются типичными представителями микофлоры пресных вод умеренных широт.

Проведенное исследование впервые дает комплексную характеристику водной микофлоры притоков Ладожского озера. Выявлен богатый и разнообразный таксономический состав грибов и грибоподобных организмов, включающий 81 вид из различных систематических групп. Установлена выраженная сезонная динамика численности микопланктона с минимумом в начале вегетационного сезона (май) и максимумом в летние месяцы (июль). Показана значительная пространственная неоднородность в распределении микофлоры по системе притоков, обусловленная различиями в морфометрии, гидрологическом режиме и трофическом статусе рек.

Полученные данные подчеркивают важную роль грибного компонента в экосистемах притоков Ладожского озера и необходимость его включения в программы мониторинга водных экосистем региона. Результаты исследования создают основу для дальнейшего изучения функциональной роли микофлоры в деструкционных процессах и трофических сетях речных экосистем.

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОТЕРМОДИНАМИКИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА В ПЕРИОД 1980–2020 ГГ. ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

А. В. Исаев*, В. А. Рябченко, А. А. Коник

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

** e-mail: isaev1975@gmail.com*

LONG-TERM VARIABILITY OF THE HYDROTHERMODYNAMICS OF LAKE LADOGA IN THE PERIOD 1980–2020 BASED ON HIGH-RESOLUTION NUMERICAL MODELING

A. V. Isaev, V. A. Ryabchenko, A. A. Konik

Представлены результаты воспроизведения гидротермодинамического состояния Ладожского озера за период 1980–2020 гг. с использованием трехмерной модели высокого разрешения MITgcm, адаптированной для акватории озера. Модель верифицирована по данным контактных и спутниковых наблюдений. Согласно модельным расчетам, среднегодовая температура поверхности увеличилась на 1,22 ºС, а всего озера — на 0,52 °С. Продолжительность существования весеннего термического бара сократилась с 64 до 60 дней. Выполнены оценки влияния атмосферного воздействия на изменчивость течений и температурную стратификацию. Полученные результаты позволяют количественно охарактеризовать реакцию крупного пресноводного водоема на климатические изменения.

Современное состояние Ладожского озера описано на основе данных контактных и спутниковых наблюдений в недавней монографии (Современное состояние…, 2021). Обработка архива имеющихся данных наблюдений позволила выявить основные крупномасштабные особенности сезонной и межгодовой изменчивости гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических показателей. Однако полная картина многолетней изменчивости для всех основных физических характеристик может быть восстановлена только на основе модельных расчетов.

В настоящей работе обсуждаются результаты изменчивости гидрофизического состояния Ладожского озера за период 1980–2020 гг., полученные с использованием термогидродинамической модели высокого разрешения. Межгодовая изменчивость гидротермодинамики Ладожского озера рассчитана с помощью трехмерной модели, разработанной на основе модели общей циркуляции Массачусетского университета MITgcm (Marshall et al., 1997), адаптированной для акватории озера. Подробное описание используемой модели приведено в (Исаев и др., 2024). Модель воспроизводит сезонную и межгодовую изменчивость основных гидрофизических и ледовых характеристик на сетке с 1-км горизонтальным разрешением и переменным вертикальным разрешением 2–5 м. В качестве граничных условий задавались поля атмосферного воздействия из архива реанализа ERA-5 (https://www.ecmwf.int) и речной сток по данным натурных наблюдений (Современное состояние…, 2021).

Результаты моделирования были верифицированы с применением натурных данных, полученных как с использованием контактных, так и дистанционных методов измерений. Результаты верификации показали хорошее соответствие модельных расчетов данным наблюдений.

Согласно модельным данным, среднегодовая температура поверхности Ладожского озера увеличилась (согласно тренду) на 1,22 °С — с 5,43 °С в 1980 г. до 6,65 °С в 2020 г. При этом повышение температуры было более значительным в летний период (июнь — сентябрь), когда в акватории озера преобладала устойчивая вертикальная стратификация, и составило 1,64 ºС, а менее выраженным — зимой (0,84 ºС). В то же время среднегодовая температура всего озера (от поверхности до дна) за этот период изменилась в меньшей степени,

чем температура поверхности: с 4,10 °C в 1980 г. до 4,62 °C в 2020 г., то есть всего на 0,52 °C (Ryabchenko et al., 2025).

Продолжительность существования весеннего термического бара, определяемая датами его начала и окончания, может служить индикатором межгодовых изменений температурного поля. Судя по линейным трендам за рассматриваемый период, наблюдался сдвиг начала периода существования термического бара на 8 дней в сторону начала года, а его продолжительность незначительно уменьшилась — с 64 дней в 1980 г. до 60 дней в 2020 г.

По результатам моделирования выполнены оценки влияния атмосферного воздействия на изменчивость характеристик течений и особенности циркуляции. Показаны отдельные механизмы, влияющие на изменчивость температуры в глубинных слоях при различных условиях в осенне-зимний период. В частности, установлено, что интенсивность ветрового перемешивания и продолжительность периода открытой воды (без ледового покрова) играют ключевую роль в формировании температурного режима глубоководных районов озера.

Полученные результаты позволяют лучше понять механизмы реакции экосистемы Ладожского озера на климатические изменения и могут быть использованы для долгосрочного прогноза его гидрологического и биологического состояния.

Литература

Исаев А. В., Рябченко В. А., Коник А. А. Воспроизведение современного климатического состояния экосистемы Ладожского озера // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2024. Т. 17, № 2. С. 50–65.

Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата / под ред. С. А. Кондратьева, Ш. Р. Позднякова и В. А. Румянцева. М.: РАН, 2021. 640 с

Marshall J., Adcrof A., Hill C. et al. A finite-volume, incompressible Navier Stokes model for studies of the ocean on parallel computers // Journal of Geophysical Research: Oceans. 1997. Vol. 102, N C3. P. 5753–5766.

Ryabchenko V. A. et al. Reproducing the Variability of the Thermal State of Lake Ladoga in 1980–2020 Based on Two Models of Thermohydrodynamics // Russian Journal of Earth Sciences. 2025. N 1: ES1010.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ (НА ПРИМЕРЕ КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)

С. А. Каинова[1]*, В. С. Казанцев[2], Л. А. Кривенок[2]

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия
Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН, Москва, Россия

** e-mail: sv_ice@list.ru*

METHODOLOGICAL ISSUES OF ESTIMATING GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM RESERVOIRS (USING THE EXAMPLE OF THE KRASNOYARSK RESERVOIR)

S. A. Kainova, V. S. Kazantsev, L. A. Krivenok

На примере Красноярского водохранилища показаны основные методические подходы к проведению натурных измерений эмиссии парниковых газов, соответствующие уровню 3 Руководящих принципов МГЭИК. Пространственный охват точками измерений различных зон и районов водохранилища, временной охват полевыми кампаниями каждого сезона эмиссии, а также инструментальный охват наблюдениями всех путей эмиссии позволяют получить корректную оценку коэффициента выброса парниковых газов. По данным четырех полевых кампаний 2024 и 2025 гг. рассчитана годовая эмиссия парниковых газов с доверительным интервалом (уровень надежности 0,05): 1513 [692–2842] тCH_4 и 186 678 [–487 008–860 363] тCO_2, антропогенная эмиссия метана за вычетом эмиссии речной экосистемы до затопления 1329 [508; 2659] тCH_4.

Водохранилища являются природно-антропогенным источником парниковых газов (ПГ). Измерения эмиссии из водохранилищ проводятся в разных странах, в том числе и в России, однако остается неопределенность в вопросе парникового эффекта этих экосистем. Работы на Красноярском водохранилище стали продолжением цикла исследований по определению коэффициентов эмиссий парниковых газов водохранилищами ГЭС, эксплуатируемых АО «ЭН+ ГЕНЕРАЦИЯ». Результаты получили международную сертификацию по гидрогенерирующим объектам.

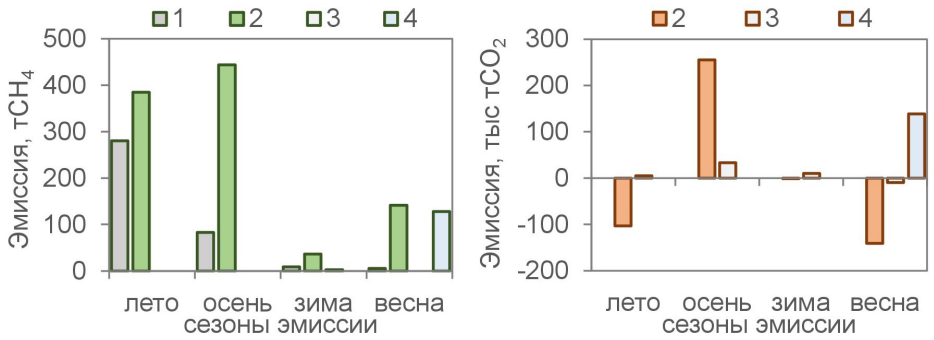
Цель данной работы — определение коэффициента выброса ПГ согласно подходам уровня 3 (Tier 3) Руководящих принципов МГЭИК (IHA, 2010, IPCC, 2019). Важной частью работы стало совершенствование методик измерения с использованием опыта полевых кампаний на водохранилищах Ангарского каскада (Казанцев и др., 2025).

Экспедиционные работы на Красноярском водохранилище проводились в 2024 и 2025 гг. и включали четыре полевые кампании, охватывающие четыре сезона эмиссии ПГ (метана и диоксида углерода). В программу работ входили измерения диффузионных и пузырьковых удельных потоков (УП) ПГ из водохранилища и диффузионных УП из притоков выше зоны выклинивания подпора, концентраций растворенных ПГ в воде, во льду, а также в нижнем бьефе плотины ГЭС (для оценки весеннего выброса и эмиссии при дегазации), измерение сопутствующих параметров (температуры приземного слоя воздуха, атмосферного давления, профиля температуры воды, pH и проч.).

Красноярское водохранилище входит в состав Енисейской ветви Ангаро-Енисейского каскада. Наполнение водохранилища закончено в 1970 г., ГЭС принята в промышленную эксплуатацию в 1972 г. Водные ресурсы используются для нужд электроэнергетики, водного транспорта, рыбного хозяйства, промышленного и коммунально-бытового водоснабжения, а также для отдыха населения (Формирование…, 1974). Согласно классификации IPCC акватория водохранилища расположена в холодной умеренной сухой климатической зоне.

Геоморфологические особенности затопленной территории определяют довольно сложную конфигурацию водоема, она представляет собой чередование озеровидных плесов и каньонных участков. Площадь зеркала водохранилища при нормальном подпорном уровне (НПУ) 2000 км^2, объем — 73,3 км^3. Акватория водохранилища была поделена на семь зон на основе районирования, представленного в (Формирование…, 1974). Точки измерений располагались таким образом, чтобы охватить районы с разными глубинами и заливы. Для каждого района по данным цифровой модели рельефа (ЦМР) были построены кривые площадей и кривые объемов. Диффузионная и пузырьковая суточная эмиссия (рис.) рассчитывалась как произведение УП и площади района, скорректированного по уровню воды.

Измерение диффузионной эмиссии метана и углекислого газа проводилось методом плавающих темных камер, объем надводной части камеры составлял 110 л, площадь охвата водной поверхности — 0,3454 м^2. К камере подключали газоанализатор LI 7810, время экспозиции 3–5 мин., количество повторностей в каждой точке — 3–4. Для измерения дневной диффузионной эмиссии в каждой из семи зон назначались три-четыре района, измерения в ночное время проводили в четырех районах только одной зоны. Пузырьковые ловушки устанавливались в различных зонах на глубинах 5, 10 и 15 м, время экспозиции ловушек составляло от 24 до 196 ч. Эмиссия ПГ в ходе дегазации оценивалась балансовым методом как разница между концентрациями растворенных газов в воде в верхнем бьефе (на глубине водозабора) и в воде нижнего бьефа, умноженная на объем воды, прошедшей через турбины ГЭС за интервал времени. Кроме периода открытой воды, для оценки весеннего выброса измерения проводились и в конце ледостава, такие оценки для водохранилищ единичны (Устинов и др., 2025; Казанцев и др., 2026). Весенний выброс рассчитывался с учетом запасов ПГ в конце ледостава, после очищения ото льда, притока ПГ с речными водами и стока ПГ в нижний бьеф.



Эмиссия ПГ из Красноярского водохранилища в разные сезоны
(1 — пузырьковая, 2 — диффузионная, 3 — дегазация, 4 — весенний выброс)

Антропогенная эмиссия ПГ рассчитана как разность эмиссии из водохранилища и эмиссии из речной экосистемы, которая являлась источником ПГ до затопления.

Литература

Казанцев В.С., Кривенок Л.А., Гречушникова М.Г. и др. Оценка эмиссии метана из Можайского водохранилища в весенний период // Метеорология и гидрология. 2026. № 3. С. 123–133.

Казанцев В.С., Кривенок Л.А., Тананаев Н.И. и др. Резолюция Всероссийской научно-практической конференции «Эмиссия метана из экосистем Севера: методы, инструменты, результаты» // Вестник Северо-Восточного федерального ун-та им. М.К. Аммосова. 2025. Т. 22, № 2 (100). С. 233–237.

Устинов Н.Б., Агафонова С.А., Казанцев В.С. Эмиссия метана из озер и водохранилищ: неопределенности, связанные с формированием и разрушением ледяного покрова // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2025. Т. 61, № 4. С. 538–552.

Формирование берегов Красноярского водохранилища. Новосибирск: Наука (Сибирское отд-ние), 1974. 234 с.

IHA. GHG Measurement Guidelines for Freshwater Reservoirs. UNESCO/IHA. 2010. 138 p.

IPCC 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia E., Tanabe K., Kranjc A., Baasansuren J., Fukuda M., Ngarize S., Osako A., Pyrozhenko Y., Shermanau P. and Federici S. (eds). Published: IPCC, Switzerland. 112 p.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

Н. М. Калинкина*, Е. В. Теканова, Н. А. Белкина, В. Н. Баклагин, Н. Е. Галахина, Т. В. Ефремова, Г. Э. Здоровеннова, Р. Э. Здоровеннов, М. Б. Зобков, М. В. Зобкова, К. В. Исакова, Д. С. Коновалов, А. В. Коросов, Е. М. Макарова, А. И. Сидорова, В. С. Смирнова, М. Т. Сярки

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

** e-mail: cerioda@mail.ru*

THE CURRENT STATE OF THE LAKE ONEGO ECOSYSTEM UNDER CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE AND THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC FACTORS

N. M. Kalinkina, E. V. Tekanova, N. A. Belkina, V. N. Baklagin, N. E. Galakhina, T. V. Efremova, G. E. Zdorovennova, R. E. Zdorovennov, M. B. Zobkov, M. V. Zobkova, K. V. Isakova, D. S. Konovalov, A. V. Korosov, E. M. Makarova, A. I. Sidorova, V. S. Smirnova, M. T. Syarki

В настоящее время возросло влияние на Онежское озеро климатических изменений, что усиливает негативное воздействие антропогенных факторов. Центральный глубоководный район, несмотря на эпизодическое увеличение количества фитопланктона и его фотосинтетической активности, сохраняет олиготрофный статус и высокое качество воды. В Петрозаводской губе протекают процессы реолиготрофизации, что связано со снижением сбросов сточных вод и последствиями брауникации. В Кондопожской губе, несмотря на уменьшение фосфорной нагрузки от целлюлозно-бумажного комбината, процессы эвтрофирования ускорились в связи с появлением форелевых хозяйств. Вселение байкальской амфиподы привело к улучшению кормовой базы окуневых рыб.

Онежское озеро, источник важнейших экосистемных услуг, испытывает влияние климатических изменений, антропогенной нагрузки и биоинвазий (Калинкина и др., 2017; Сидорова, 2022; Филатов и др., 2024). В условиях потепления климата продолжительность ледоставного периода на Онежском озере сократилась на 35 суток (Ефремова и др., 2026). В отдельные годы в глубоководном районе Онежского озера на фоне возрастания температуры поверхности воды отмечается увеличение количества фитопланктона, в том числе цианобактерий (Tekanova et al., 2024). Однако эти явления носят эпизодический характер, и центральный глубоководный плес Онежского озера сохраняет олиготрофный статус и высокое качество воды.

В Петрозаводской губе снижаются показатели летнего фитопланктона и количество глубоководного бентоса, в том числе реликтовых рачков *Monoporeia affinis*, важнейшего корма сигов Онежского озера, то есть происходит реолиготрофизация залива. Тенденция снижения продуктивности залива связана с брауникацией (увеличение содержания железа и углекислого газа) (Kalinkina et al., 2020) и уменьшением сбросов сточных вод.

Кондопожская губа испытывает наибольшую антропогенную нагрузку органическим веществом и биогенными элементами. Для оценки состояния этого залива впервые была разработана физико-химическая методика разделения органического вещества природных вод на гумусовые вещества, лигносульфонаты (компоненты сточных вод ЦБК) и легкоминерализуемое органическое вещество (Zobkova et al., 2025). Высокая фосфорная нагрузка на Кондопожскую губу обусловлена работой ЦБК, который функционирует с 1929 г., и появлением в 2000-х гг. форелевых хозяйств. В районе их расположения в зимний период

в придонных слоях воды выявлены заморные условия и высокие концентрации фосфора (Галахина, Зобков, 2022). Следствием антропогенного эвтрофирования залива является возрастание концентраций хлорофилла *a*, которые в июне 2025 г. достигли 20–24 мкг/л, то есть эвтрофного уровня. Сточные воды ЦБК также являются источником загрязнения взвесями, что определяет максимальную мутность воды, наибольшие скорости осадконакопления в вершинной части залива и высокое загрязнение донных осадков (Belkina et al., 2023). Донные отложения аккумуляционных зон всего залива имеют признаки органического загрязнения. Благоприятная ситуация в донных отложениях по показателям макрозообентоса и химическому составу осадков фиксируется только на выходе из Кондопожской губы.

Модель, созданная на основе нечеткой логики, полностью подтвердила выводы о динамике продуктивности в разных районах Онежского озера в течение 40-летнего периода наблюдений (1982–2023 гг.) (Коросов и др., 2025).

Вселение байкальского рачка *Gmelinoides fasciatus* привело к улучшению кормовой базы окуневых рыб в Онежском озере. Роль этого вида в процессах самоочищения литорали от органического вещества автохтонного происхождения оказалась незначительной. Исследования последних лет показали, что для предотвращения необратимых изменений в экосистеме Онежского озера, являющегося стратегическим источником пресной воды, необходим постоянный научный мониторинг.

Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» в рамках государственного задания ИВПС КарНЦ РАН № FMEN-2026-0011 «Функционирование экосистемы Онежского озера и озерно-речных систем его водосборной территории в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия».

Литература

Галахина Н. Е., Зобков М. Б. Гидрохимические исследования в районе расположения форелевых хозяйств в Кондопожской губе Онежского озера в зимний период 2022 года // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2022. № 6. С. 76–87.

Ефремова Т. В., Белашев Б. З., Пальшин Н. И. и др. Ледовая фенология разнотипных озер Карелии по данным многолетних наблюдений (1950–2021) // Лёд и снег. 2026. Т. 66, № 1 С. 105–120.

Калинкина Н. М., Теканова Е. В., Сярки М. Т. Экосистема Онежского озера: реакция водных сообществ на антропогенные факторы и климатические изменения // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 1. С. 4–18.

Коросов А. В., Калинкина Н. М., Теканова Е. В. и др. Применение аппарата нечеткой логики для оценки трендов изменения продуктивности отдельных акваторий Онежского озера // Russian Journal of Earth Sciences. 2025. Vol. 25. ES5013.

Сидорова А. И. Особенности репродуктивной биологии инвазионного вида *Gmelinoides fasciatus* (Crustacea: Amphipoda) в Онежском озере // Онтогенез. 2022. Т. 53, № 3. С. 203–213.

Филатов Н. Н., Савчук О. П., Баклагин В. Н. и др. Диагноз состояния и изменений экосистемы Онежского озера и водосбора на основе информационно-аналитической системы // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2024. Т. 17, № 2. С. 10–24.

Belkina N. A., Kulik N. V., Efremenko N. A. et al. Contemporary Sedimentation in Lake Onego: Geochemical Features of Water, Suspended Matter, and Accumulation Rate // Water. 2023. Vol. 15, N 6: 1014. P. 1–26.

Kalinkina N., Tekanova E., Korosov A. et al. What is the extent of water brownification in Lake Onego, Russia? // Journal of Great Lakes Research. 2020. Vol. 46. P. 850–861.

Tekanova E., Sidelev S., Kalinkina N. et al. Toxigenic Cyanobacteria and Microcystins in a Large Northern Oligotrophic Lake Onego, Russia // Toxins. 2024. Vol. 16: 457. P 1–13.

Zobkova M., Galakhina N., Zobkov M. New method for identification of natural and anthropogenic organic matter in receiving waters of pulp and paper mill discharge // Journal of Great Lakes Research. 2025. Vol. 51, iss. 2: 102541.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ТИХОГО ОКЕАНА НА УРОЖАЙНОСТЬ ПОКОЛЕНИЙ ВОСТОЧНОКАМЧАТСКОЙ ГОРБУШИ

А. Н. Канзепарова*, А. С. Кровнин, А. А. Сумкина

Государственный научный центр Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

** e-mail: kanzeparova@vniro.ru*

THE INFLUENCE OF OCEANOLOGICAL CONDITIONS ON THE ABUNDANCE PINK SALMON IN THE EAST KAMCHATKA

A. N. Kanzeparova, A. S Krovnin, A. A. Sumkina

Горбуша (*Oncorhynchus gorbuscha*) — основной промысловый вид тихоокеанских лососей Дальнего Востока России. За 1971–2024 гг. среднегодовой вылов составил 166 тыс. т, из которых 48 тыс. т обеспечила восточнокамчатская популяция (в 2017 г. ее доля достигла 75%). Короткий жизненный цикл делает горбушу индикатором климатических сдвигов. Показано, что термические условия в период ската и раннего морского нагула оказывают наибольшее влияние на уловы (r = 0,56–0,65). В период зимовки связь ослабевает, но к лету года вылова вновь усиливается (~0,60). Расхождения между ожидаемыми и фактическими уловами (2013, 2017, 2014, 2018, 2020) могут быть связаны с морскими волнами тепла или холода.

Горбуша (*Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum) — не только самый многочисленный, но и основной по промысловому значению вид тихоокеанских лососей Дальнего Востока России. За полувековой период (1971–2024) среднегодовой вылов здесь достиг 166 тыс. т, причем почти треть (48 тыс. т) обеспечила восточнокамчатская популяция. Восточная Камчатка традиционно формирует один из крупнейших запасов горбуши на Дальнем Востоке. Например, в 2017 г. на ее долю пришлось рекордные 75% общего вылова. На Восточной Камчатке доминирует нечетная линия поколений. С 2009 г. уровень добычи восточнокамчатской (ВК) горбуши этой линии устойчиво сохраняется высоким, за исключением 2013 и 2015 гг. (рис. 1).



Рис. 1. Динамика вылова горбуши в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне и на Восточной Камчатке (по данным NPAFC, https://www.npafc.org/statistics/)

На рис. 2 показаны аномалии уловов ВК горбуши в нечетные и четные годы. Их многолетние изменения характеризуются наличием положительного линейного тренда, который лучше выражен в уловах нечетных лет. Это в некоторой степени подтверждает результат многолетних исследований о том, что на запасы лососей наиболее заметно воздействует рост температуры воды (и воздуха) на больших пространственных масштабах (Кляшторин, 2000; Котенев и др., 2015; Кровнин, 2019; Бугаев и др., 2021; Шевляков, Островский, 2025 и мн. др.).

При этом тенденции к снижению темпов летнего потепления в Беринговом море, наблюдающиеся в последние годы, сопровождались постепенным снижением уловов горбуши нечетных поколений после 2019 г. и довольно резким их снижением после 2018 г. у горбуши четных поколений.

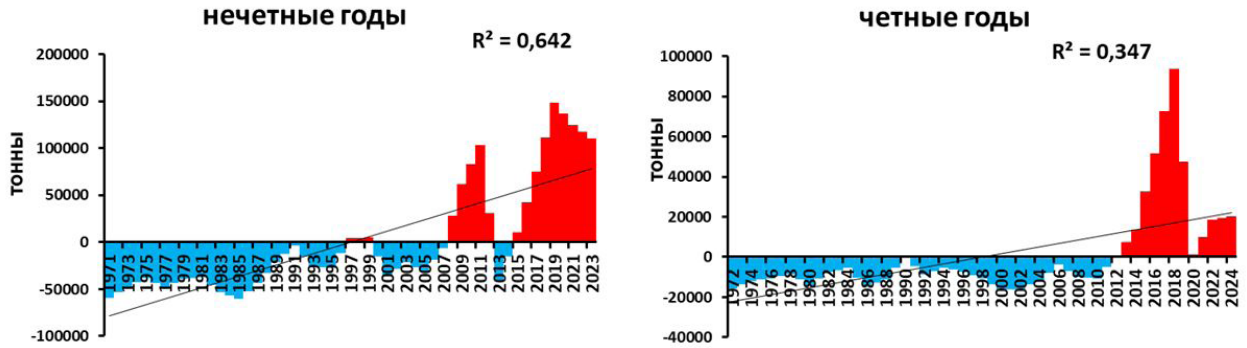


Рис. 2. Аномалии уловов восточнокамчатской горбуши в нечетные и четные годы

Чтобы выявить связь между термикой вод и уловами горбуши, как характеристики состояния ее запаса, для каждого месяца года были рассчитаны три первые эмпирические ортогональные функции (ЭОФ) поля аномалий температуры поверхности океана (АТПО) в северотихоокеанском регионе (45º до 65º с. ш.).

Установлено, что ряды уловов ВК горбуши в нечетные и четные годы лучше всего (положительно) коррелируют с первой главной компонентой (ГК1), которая характеризует тепловой фон в поверхностном слое всего исследуемого района. Результаты парной корреляции между ГК1 и уловами для каждого месяца, начиная с мая года ската до августа года вылова, свидетельствуют, что термические условия в период ската и раннего морского нагула оказывают довольно большое влияние на состояние запаса (r = 0,56÷0,62). Максимальный коэффициент корреляции (r = 0,65) отмечен в октябре года ската, когда рыба откочевывает из моря в океан. Таким образом, можно предположить, что ТПО является одним из критических факторов выживания горбуши в период выхода из Берингова моря в океан.

В период зимовки первая мода изменчивости АТПО оказывает гораздо меньшее влияние на состояние запасов горбуши, особенно в нечетные годы. К началу летнего сезона года вылова теснота связи между ГК1 поля АТПО и аномалиями уловов вновь возрастает до ~0,60, что свидетельствует о влиянии термики поверхностных вод Берингова моря на успешность нерестовых миграций и величину подходов горбуши к побережью Северо-Восточной Камчатки.

Рассмотрены возможные причины значительных расхождений между ожидаемыми и фактическими уловами в нечетные (2013, 2017) и четные (2014, 2018, 2020) годы. Показано, что наблюдавшиеся различия могут быть связаны с формированием краткосрочных морских волн тепла или холода на различных стадиях морского периода жизни горбуши.

Литература

Бугаев А. В., Фельдман М. Г., Тепнин О. Б., Коваль М. В. Аномалии температуры поверхности воды в западной части Северной Пацифики — потенциальный климатический предиктор прогнозирования тихоокеанских лососей Камчатки // Вопросы рыболовства. 2021. Т. 22, № 4. С. 46–62.

Кляшторин Л. Б. Тихоокеанские лососи: климат и динамика запасов // Рыбное хозяйство. 2000. № 4. С. 32–34.

Котенев Б. Н., Кровнин А. С., Ковач Н. В. и др. Влияние климато-океанологических факторов на состояние основных запасов горбуши в 1950–2015 гг. // Труды ВНИРО. 2015. Т. 158. С. 143–161.

Кровнин А. С. Роль крупномасштабных климатических факторов Северного полушария в многолетних колебаниях запасов основных объектов российского промысла: дис. … канд. биол. наук. М.: ВНИРО, 2019. 149 с.

Шевляков Е. А., Островский В. И. Вековая динамика запасов и средней индивидуальной массы тихоокеанских лососей Дальнего Востока России через призму климатических циклов и трендов // Известия ТИНРО. 2025. Т. 205, вып. 2. С. 199–222.

БИОИНВАЗИИ В ИХТИОФАУНЕ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА

Е. П. Карпова[1]*, **Ку Нгуен Динь**[2]

[1] *Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия*
[2] *Южное отделение Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, Хошимин, Вьетнам*

* *e-mail: karpova@ibss-ras.ru*

BIOINVASIONS IN THE ICHTHYOFAUNA OF RIVER BASINS OF SOUTHEAST ASIA: THE EXAMPLE OF SOUTHERN VIETNAM

E. P. Karpova, Cu Nguyen Dinh

Рассматриваются биологические инвазии как ключевой фактор трансформации пресноводных экосистем на примере бассейна р. Донгнай (Вьетнам). Цель работы — оценка масштабов проникновения и натурализации чужеродных видов рыб. На основе проб, собранных в апреле — мае 2025 г. на 56 станциях, выявлено 17 чужеродных видов (около 16 % видового состава ихтиофауны региона). Показана пространственная неоднородность: в национальном парке Каттьен интродуценты отсутствуют, тогда как в водоемах с интенсивным хозяйственным использованием (оз. Чиан, вдхр Дайнинь) их разнообразие максимально. Наиболее успешными колонизаторами стали гуппи *Poecilia reticulata* и нильская тиляпия *Oreochromis niloticus*. Основные пути проникновения — аквакультура и аквариумная торговля. Обоснована необходимость долгосрочного мониторинга и риск-анализа для сохранения биоразнообразия региона.

Биологические инвазии в пресноводных экосистемах рассматриваются в настоящее время как один из ключевых факторов трансформации структуры и функционирования сообществ. Для стран Юго-Восточной Азии, обладающих высоким уровнем эндемизма и одновременно интенсивным развитием рыбного хозяйства, проблема биоинвазий приобретает особую актуальность. Крупные реки палеотропиков характеризуются исключительно высокой видовой насыщенностью и сложной пространственно-временной организацией экосистем. Бассейн р. Донгнай представляет собой модельную систему для анализа процессов биоинвазий в условиях интенсивного хозяйственного освоения крупной палеотропической реки. Цель настоящей работы — дать оценку масштабов проникновения и натурализации чужеродных видов рыб в бассейне р. Донгнай.

Сбор проб ихтиофауны осуществляли в апреле – мае 2025 г. на 56 станциях, объединенных в 17 районов со сходными условиями в реках Даньим и Даданг, образующих верхнее течение р. Донгнай, ее русле, притоках и лентических водоемах бассейна в провинциях Донгнай и Ламдонг. Сбор проб осуществляли с применением кастинговой сети, жаберных сетей, ручных сачков с ячеей от 2 до 5 мм, помимо этого приобретали образцы у местных рыбаков из различных орудий лова, используемых в местном промысле. Для чужеродных видов определяли их видовой состав, а также встречаемость (F) как отношение числа районов, где регистрировался вид к их общему количеству, выраженное в процентах.

В провинциях Донгнай и Ламдонг в разнообразных водоемах и водотоках было отмечено 17 чужеродных видов рыб, что составляет около 16 % всего видового богатства ихтиофауны исследованного региона.

Была отмечена пространственная неоднородность распространения чужеродных видов. Ни одного из них не было обнаружено в водных объектах национального парка Каттьен, что свидетельствует о важной роли относительно слабо нарушенных экосистем как естественных барьеров для биологических инвазий. Напротив, наибольшее разнообразие интродуцентов отмечено в водоемах, испытывающих значительное хозяйственное воздействие, прежде

всего в крупных водохранилищах и водоемах, связанных с аквакультурой. Так, максимальное число чужеродных видов зарегистрировано в оз. Чиан (11 видов), а также в среднем течении р. Даньим (6 видов), связанном с большим количеством искусственно созданных водоемов, в том числе водохранилищем Дайнинь (6 видов).

Особый интерес представляет структура встречаемости интродуцентов. Большинство видов характеризуется относительно низкой или средней частотой обнаружения, но два вида — гуппи *Poecilia reticulata* и нильская тиляпия *Oreochromis niloticus* — демонстрируют чрезвычайно высокую распространенность и встречаемость (69,2–92,3 %). Последний вид встречался практически повсеместно, за исключением высокогорных ручьев. По своей численности выделялись кольчужные сомы *Pterygoplichthys disjunctivus*, молодь которых хотя и присутствовала преимущественно в лотических водоемах, была чрезвычайно многочисленной. Подобная картина типична для многих инвазионных сообществ, где лишь ограниченное число видов становится по-настоящему успешными колонизаторами (Stolbunov, Tran, 2019).

Сравнительный анализ показывает, что основные пути проникновения чужеродных рыб в бассейн Донгнай полностью соответствуют глобальным тенденциям. Как и в большинстве тропических стран, ведущую роль здесь играет аквакультура. Большинство обнаруженных чужеродных видов — такие, как *Cyprinus carpio, Hypophthalmichthys molitrix, Hypophthalmichthys nobilis, Ctenopharyngodon idella, Labeo rohita, Piaractus brachypomus* и *Clarias gariepinus,* — широко используются в рыбоводстве и регулярно культивируются на фермах (Vu et al., 2013). Вторым важным каналом интродукций является аквариумная торговля. В частности, представители рода *Pterygoplichthys*, а также некоторые живородящие карпозубые попали в природные водоемы именно таким путем (Stolbunov, Tran, 2019). Аналогичные случаи известны во многих регионах мира, где аквариумные рыбы нередко становятся источником новых инвазий.

В этой связи представляется необходимым создание долгосрочной программы мониторинга биологических инвазий в пресноводных экосистемах страны. Такая программа должна включать регулярные ихтиологические обследования, анализ путей проникновения для каждого нового вида, а также оценку их потенциальной инвазивности с использованием современных методов риск-анализа. Только комплексный подход позволит своевременно выявлять новые инвазии и минимизировать их возможные последствия для биоразнообразия и устойчивости пресноводных экосистем бассейна р. Донгнай.

Исследование выполнено в рамках темы Эколан Э-3.6 «Современное состояние экосистем и разнообразие гидробионтов бассейна реки Донгнай» задача 1 «Оценка разнообразия и обилия в сообществах рыб и декапод, их пространственной и временной изменчивости (верховья реки в пров. Ламдонг и участки в границах национального парка Каттьен)» и частично в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения» (№ государственной регистрации 124022400148-4).

Литература

Stolbunov I. A. Tran Duc Dien Mass Alien Fish Species in the Fish Fauna of Inland Waters in Central Vietnam // Inland Water Biology. 2019. Vol. 12, N 6. P. 477–480.

Vu A. V., Doan T. V., Ngor P. B. et al. Exotic species in southern Viet Nam // Catch and Culture. 2013. Vol. 19, N 1. P. 18–23.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНЫХ СКЛОНОВ КРЫМСКИХ ГОР (ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ)

Е. П. Каюкова

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: epkayu@gmail.com

SURFACE WATERS OF THE NORTHWESTERN SLOPES OF THE CRIMEAN MOUNTAINS (HYDROCHEMICAL FEATURES AND MAIN FACTORS OF FORMATION)

E. P. Kayukova

Изучены основные факторы формирования химического состава речных вод северо-западных склонов Крымских гор, а также поверхностных вод открытых водоемов (ставков) бассейна р. Бодрак. Некоторое внимание отведено изучению химического состава дождевых вод, поскольку атмосферные осадки — основной фактор формирования водных ресурсов Горного Крыма.

Большинство рек северо-западных склонов Крымских гор формируются в горах на высотах 600–1100 м, где разгружается множество карстовых источников. Далее реки, прорезая Внутреннюю и Внешнюю гряды (теряя здесь часть стока), текут на запад и впадают в Черное море. На крымских яйлах весь поверхностный сток переходит в подземный. Распределение стока, подчиняясь ландшафтно-климатической зональности, соответствует распределению атмосферных осадков. Высотная поясность Горного Крыма обеспечивает возрастание среднегодовых количеств осадков и уменьшение температур приземного воздуха с высотой (Каюкова 2022; Каюкова и др., 2022; Каюкова, 2024).

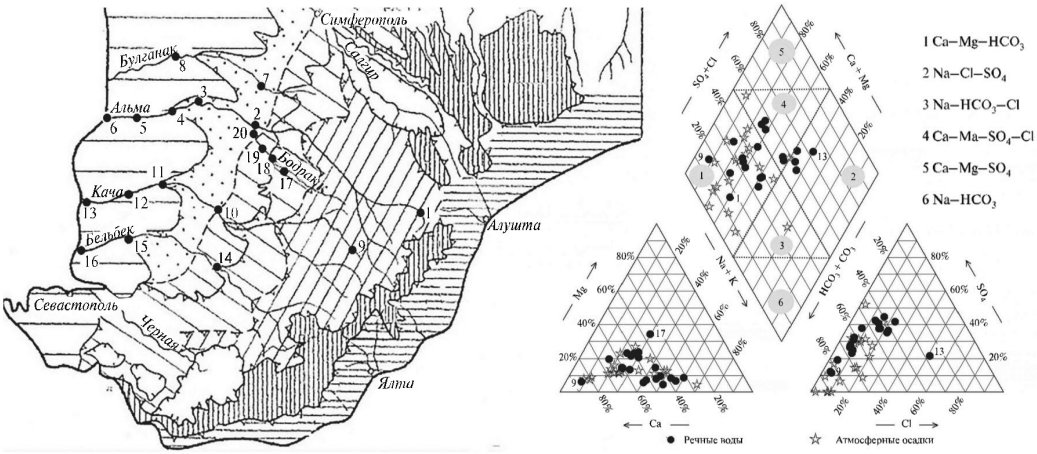
В представленной работе использованы данные гидрохимического опробования летом 2009 г. (табл.). Места отбора указаны на рис.

Химический состав речных вод северо-западного склона Крымских гор

№ на рис.	Место пробы (Alt, м)	Мин-я	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^{+}+K^{+}$	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	CO_3^{2-}	T, °C	pH
		мг/л									
1	Альма (548)	444,9	60,1	15,2	43,3	292,8	33,6	8,5	0	15,7	8,0
2	Альма (184)	736,3	84,0	17,0	94,8	390,4	123,8	26,3	0	24,1	8,2
3	Альма (77)	748,7	96,0	9,7	110,2	268,4	203,0	55,4	6,0	22,3	8,4
4	Альма (48)	651,4	88,0	26,7	62,3	231,8	188,6	41,9	12,0	23,9	8,5
5	Альма (22)	767,0	92,0	12,2	117,1	280,6	192,5	66,7	6,0	22,8	8,2
6	Альма (5)	866,6	88,0	9,7	158,0	305,0	210,7	95,1	0	23,4	8,1
7	Булганак (218)	1056,9	112,0	14,6	180,8	353,8	312,0	83,8	0	20,4	8,0
8	Булганак (74)	962,8	120,0	7,3	160,5	292,8	270,7	111,5	0	22,1	8,2
9	Кача (1035)	299,97	70,1	3,0	8,0	195,2	21,0	7,1	0	6,7	8,1
10	Кача (105)	450,4	60,0	17,0	37,5	244,0	76,3	15,6	0	25,1	8,5
11	Кача (50)	675,7	116,0	17,0	55,9	244,0	173,3	57,5	12,0	24,4	8,7
12	Кача (14)	708,2	108,0	26,7	62,3	244,0	174,2	80,9	12,0	23	8,4
13	Кача (0)	1250,4	120,0	19,4	263,4	292,8	196,3	346,5	12,0	н, о,	8,3
15	Бельбек (170)	398,9	56,0	14,6	28,3	244,0	47,5	8,5	0	24,4	8,5
14	Бельбек (50)	444,0	68,0	9,7	40,9	231,8	66,2	21,3	6,0	23,8	8,5
16	Бельбек (3)	413,6	68,0	9,7	33,1	207,4	67,2	19,2	9,0	23,1	8,5
17	Бодрак (250)	426,70	56,1	32,2	53,6	256,2	139,6	21,3	0	16,4	8,0
18	Бодрак (243)	638,9	88,0	7,3	80,7	305,0	132,0	19,9	6,0	н, о,	8,4
19	Бодрак (207)	537,2	76,0	4,9	66,0	268,4	104,2	17,8	0	22,9	8,5
20	Бодрак (165)	760,5	132,0	24,3	37,7	402,6	135,4	25,6	3,0	19	8,3

Примечание. Н. о. — не определялось; Т — температура.

Анализ гидрохимических данных речных вод позволяет утверждать, что их минерализация меняется в широких пределах, увеличиваясь по направлению с юго-востока на северо-запад (рис., табл.). Для летнего периода минерализация меняется от 0,3 г/л в верховьях рек до 1 г/л в нижнем течении. Это имеет как естественные, так и техногенные причины. В верховьях рек (кроме р. Западный Булганак) в анионном составе доминируют гидрокарбонаты, в катионном — кальций, что характерно для верхнеюрского водоносного комплекса. Преодолевая Южное межгрядовое понижение (где развиты флишевые отложения таврической серии), речные воды обогащаются сульфат-анионом. Повышенные содержания сульфатов в трещинных водах флишевых отложений объясняются выветриванием серных колчеданов, нередких в таврических глинистых сланцах, а также окислению рассеянного в породе пирита и марказита (Каюкова, 2024). В пробах, отобранных непосредственно при впадении реки в море (образец 13), предсказуемо на первое место в анионном составе выходит хлор, в катионном — натрий.



Точки опробования и состав речных вод на диаграмме Пайпера

Реки северо-западного склона Крымских гор, как правило, пресные, за исключением приустьевых участков, где происходит фильтрация морских вод или есть антропогенное загрязнение. Преобладающий тип вод (не затронутый антропогенным воздействием) — гидрокарбонатный магниево-кальциевый. Доминирующие механизмы, контролирующие формирование химического состава речных вод, — выветривание горных пород.

В верховьях р. Бодрак химический состав вод формируется в основном за счет выветривания алюмосиликатов. В среднем и нижнем течении реки доминирующие процессы формирования химического состава — растворение и выщелачивание карбонатных пород. Минерализация рек меняется в широких пределах, увеличиваясь по направлению с юго-востока на северо-запад. Наименьшая минерализация речных вод связана с зимними и весенними осадками. В качестве индикатора экологического состояния поверхностных вод региона может быть использован естественный химический состав воды р. Бодрак, а также ставков (водоемов), расположенных в верхнем течении р. Бодрак (Каюкова и др., 2022). Химический состав поверхностных вод в предгорьях Крыма зависит от ряда факторов — метеоусловий года (температуры приземного воздуха, количества зимне-весенних атмосферных осадков), паводковых вод, геолого-гидрогеологических условий, а также антропогенных факторов.

Литература

Каюкова Е. П. О формировании природных вод в предгорьях Крыма // Геология и водные ресурсы Крыма: материалы VI Всерос. конф. «Полевые практики». Крым: Изд-во «ЛЕМА», 2022. С. 54–56.

Каюкова Е. П. О формировании химического состава вод рек северо-западного склона крымских гор // Водные ресурсы. 2024. Т. 51, № 6. С. 851–870.

Каюкова Е. П., Харитонова Н. А., Филимонова Е. А., Чарыкова М. В. Формирование химического и изотопного состава поверхностных вод открытых водоемов бассейна реки Бодрак (северо-западный склон Крымских гор) // Водные ресурсы. 2022. Т. 49, № 4. С. 492–505.

СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОННЫХ БАЗ ДАННЫХ ПО ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ)

Н. В. Кирпичникова

Институт водных проблем Российской академии наук, Москва, Россия

e-mail: nkirp@list.ru

THE STRUCTURE OF ELECTRONIC DATABASES FOR THE IDENTIFICATION OF POLLUTION SOURCES (USING THE UPPER VOLGA RIVER AS AN EXAMPLE)

N. V. Kirpichnikova

Объект исследований — участок Верхней Волги, водосбор Иваньковского водохранилища, площадь 41 000 км^2. На основании многолетних экспериментальных исследований разработаны специальный мониторинг и методические подходы по идентификации неконтролируемых (диффузных) источников загрязнения, в основе которых предложен учет многообразных факторов природного и антропогенного характера, влияющих на особенности гидрохимического режима и накопления загрязняющих веществ в замыкающем водоеме-водоприемнике.

Водоохранное строительство в России в основном базируется на водном законодательстве (Водный кодекс…, 2026), государственном мониторинге и отчетности по сбросу контролируемых сточных вод в гидрографическую сеть. Примеров восстановления и реабилитации речных систем крайне мало. Основная причина в недоучете целого класса неконтролируемых (диффузных) источников загрязнения и отсутствии их мониторинга. Системный контроль и методика по идентификации также не прописаны до сих пор в водных законах.

Научные исследования, направленные на оценку и сопоставление основных источников загрязнения по формированию и особенностей поступления загрязняющих веществ в речную сеть, позволили обосновать методическую основу по сопоставлению и ранжированию мощности поступления загрязнений с водосбора от разных источников (Кирпичникова, 1991, 2000, 2016). В предложенном подходе основным принципом является учет многолетней динамики целого ряда факторов, влияющих как на формирование самих потоков с водосборов, так и на качественное состояние водных объектов-водоприемников.

Общая структура электронной базы всех параметров по идентификации источников загрязнения представлена в работах (Кирпичникова, Черненко, 2022; Кирпичникова и др., 2023).

Блок 1. Метеорологические параметры — температура воздуха, осадки. В базе данных представлены многолетние характеристики мониторинга Росгидромета по четырем метеорологическим станциям водосбора: г. Тверь (период наблюдений 1871–2020 гг.), Осташков (1922–2020 гг.), г. Старица (1892–2020 гг.), г. Торжок (1937–2020 гг.)

Блок 2. Гидрологические параметры — водный баланс Иваньковского водохранилища. Для представления водного баланса разработана структура электронной базы данных и наполнена ежедневными параметрами за многолетний период (1988–2018 гг.).

Блок 3. Качество воды — базируется на представлении пространственной и временной динамики основных гидрохимических показателей в Иваньковском водохранилище и боковых притоках (период наблюдений 20 лет).

Блок 4. Источники загрязнения. Этот блок представлен многолетними параметрами двух классов источников загрязнения: контролируемые (точечные) и неконтролируемые (диффузные).

Первый класс: контролируемые (точечные) источники загрязнения. Для представления многолетней динамики использованы данные отчетности 2 ТП-водхоз для всех предприятий водосбора (15 лет).

Для более полной характеристики и анализа данного класса источников загрязнения представлены основные подблоки: схема расположения выпусков сточных вод; объемы воды и массы загрязняющих веществ предприятий, сбрасывающие сточные воды в гидрографическую сеть водосбора по административному делению; объемы и массы загрязняющих веществ по типу водопользователей; структура сточных вод по степени очистки (достаточно очищенные, недостаточно очищенные, без очистки).

Второй класс: неконтролируемые (диффузные) источники загрязнения (Кирпичникова, 1991, 2000, 2016). Как показали исследования на многих водосборах (Диффузное загрязнение…, 2020), этот класс доминирует в загрязнении и деградации водных объектов по широкому спектру химических параметров, основные загрязнители: поверхностный смыв с территории городов; поверхностный смыв с промышленных площадок; поверхностный смыв с сельскохозяйственных территорий.

Основные выводы:

1. Разработан и обоснован мониторинг по оценке интенсивности поступления загрязняющих веществ от разных источников загрязнения с учетом многолетней динамики.

2. Многолетние экспериментальные исследования на водосборе Иваньковского водохранилища позволили разработать методическую базу по оценке, динамике, сопоставлению и ранжированию источников загрязнения.

3. Специальный гидрологический и гидрохимический многолетний мониторинг в замыкающем водном объекте-водохранилище является базовым к обоснованию пространственно-временного распределения гидрохимических показателей и их связи с динамикой выноса загрязняющих веществ с водосбора.

4. Разработана структура электронных баз данных основных расчетных природных и антропогенных параметров по идентификации контролируемых (точечных) и неконтролируемых (диффузных) источников загрязнения.

Работа выполнена в соответствии с темой № FMWZ-2025-0002 «Исследования процессов формирования качества поверхностных и подземных вод, природных и антропогенных механизмов изменения экологического состояния водных объектов, разработка методов и технологий управления водными ресурсами и качеством вод» государственного задания ИВП РАН.

Литература

Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ; ред. от 29.12.2025 (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2026).

Кирпичникова Н. В. Исследование неконтролируемых источников загрязнения (на примере Иваньковского водохранилища): автореф. на соиск. к.т.н., 1991. 23 с.

Кирпичникова Н. В. Неконтролируемые источники загрязнения // Иваньковское водохранилище. Современное состояние и проблемы охраны. М.: Наука, 2000. С. 36–62.

Кирпичникова Н. В. Мониторинг источников загрязнения водных объектов // В кн.: Научные основы создания систем мониторинга качества природных поверхностных вод. М.: Научный мир, 2016. С. 183–212.

Кирпичникова Н. В., Черненко Ю. Д. Разработка структуры многолетней базы данных к идентификации диффузных источников загрязнения сельскохозяйственных территорий: сб. тр. IV междунар. науч.-практ. конф., посв. памяти Б. И. Яковлева. Горки, Беларусь. 21–22 апреля 2022 г. С. 101–111.

Кирпичникова Н. В., Вишневская И. А., Черненко Ю. Д. Идентификация защищенности гидрографической сети сельскохозяйственных территорий от диффузного загрязнения // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 1. С. 20–43.

Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения / под ред. В. И. Данилова-Данильяна. М.: РАН, 2020. 510 с.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СМЫВА ЗАГРЯЗНЕНИЙ С УРБАНИЗИРОВАННЫХ ВОДОСБОРОВ НА ОСНОВАНИИ ПОСТВОРНОГО МОНИТОРИНГА В РЕКЕ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ЯУЗЫ)

Н. В. Кирпичникова[1]*, **К. П. Воронина**[2]

[1] *Институт водных проблем Российской академии наук, Москва, Россия*
[2] *Автономная некоммерческая организация «Развитие городских технологий», Москва, Россия*

* *e-mail: nkirp@list.ru*

IDENTIFICATION OF SURFACE RUNOFF OF POLLUTANTS FROM URBANIZED WATERSHEDS BASED ON POST-STORM MONITORING IN THE RIVER (USING THE EXAMPLE OF THE YAUZA RIVER)

N. V. Kirpichnikova, K. P. Voronina

Малые реки наиболее подвержены антропогенному влиянию. Особенно загрязнены водотоки, куда поступают как сточные воды промышленных предприятий, так и неочищенный поверхностный сток городов. Многолетний анализ качества воды р. Яузы, водосбор которой практически весь находится под прессом двух крупных городов, Мытищи и Москва, показал высокие концентрации многих гидрохимических показателей на протяжении последних десятилетий. Проводимые водоохранные за весь многолетний период сосредоточены практически на двух мероприятиях: дноуглубление и расчистка берегов, которые не привели к улучшению качества воды. Очистные сооружения ливневого стока также имеют недостаточную эффективность.

Река Яуза — самый крупный левобережный приток р. Москвы, ее длина составляет 48 км (из них в черте города 29 км), общая водосборная площадь 452 км^2 (в пределах г. Москвы 272 км^2, или 60 % от общей площади). В пределах г. Мытищи (площадь городской территории 35 км^2) протяженность участка р. Яузы составляет 8 км, и таким образом практически по всей длине реки формирование качества воды подвержено мощному антропогенному воздействию, особенно на урбанизированных участках водосбора, — это Мытищинский городской округ и г. Москва.

На первом этапе сформирована электронная база данных с многолетними рядами наблюдений в системе мониторинга Росгидромета в бассейне р. Яузы за период 1986–2021 гг.: температура воздуха; атмосферные осадки; водный сток, гидрохимические показатели (взвешенные вещества, нефтепродукты, аммоний, нитраты, нитриты, фосфаты, хлориды, сульфаты, медь, цинк).

На втором этапе по многолетним тенденциям проведен комплексный анализ водного стока и концентраций загрязняющих веществ в устьевом створе с определением нелинейных трендов.

По внутригодовому комплексному анализу сделан вывод, что стандартная система мониторинга с дискретностью отбора проб воды один раз в месяц не позволяет идентифицировать источники загрязнения диффузного характера, так как в большинстве случаев отборы не охватывают многоводные фазы водного режима, характерные для формирования поверхностного смыва загрязнений с водосбора.

В многолетнем анализе гидрохимических показателей сделан вывод: наблюдается многократное превышение $ПДК_{рб}$ практически по всем гидрохимическим параметрам (незначительно хлориды, сульфаты и фосфаты). Обоснованы приоритетные загрязняющие вещества, проведена статистическая обработка многолетних рядов, определена частота превышений загрязняющих веществ по отношению к ПДК рыбохозяйственного назначения за многолетний период (Кирпичникова и др., 2022; Кирпичникова, Воронина, 2023).

На следующем этапе проведен анализ концентраций по дополнительному постворному мониторингу (семь створов, длина участка реки 25,2 км) в пределах г. Москвы за период 2010–2021 гг. Рассчитаны потоки загрязняющих веществ, определен их баланс между створами. Поскольку отсутствуют данные по сбросу сточных вод предприятий (схема выпусков сточных вод, концентрации загрязняющих веществ и их ежегодные массы сбросов), в результате комплексного постворного анализа определены характерные загрязняющие вещества, которые по массе выноса доминируют на отдельных участках. Например, взвешенные вещества и нефтепродукты, их поступление в речную сеть традиционно связано с неконтролируемыми (диффузными) источниками загрязнения, а ряд тяжелых металлов — с контролируемыми (точечными) (Кирпичникова, 2000; Кирпичникова, 2016).

Второй подход по идентификации поверхностного смыва загрязнений с территории г. Москвы (включая точечные источники) заключается в анализе водного и загрязненного стока по данным выпусков ливневых коллекторов. Всего с территории г. Москвы насчитывается 27 выпусков ливневых коллекторов в р. Яузу без очистки, 7 выпусков с глубокой очисткой, 9 с очисткой — пруды-отстойники.

Построены электронные карты и определены границы и площади водосборов по каждому ливневому коллектору, рассчитаны сезонные модули водного стока и модули выноса загрязняющих веществ с каждого водосбора с ранжированием по каждому показателю, рассчитаны соответствующие коэффициенты корреляции и доля загрязненного стока с территории г. Москвы от общего массового расхода в реке.

Проведен также анализ эффективности работы очистных сооружений (9 прудов-отстойников, 7 глубокой очистки с фильтрами) ливневого стока г. Москвы, сделан вывод о их низкой эффективности по ряду показателей.

По анализу водоохранных программ для р. Яузы в последние 30 лет сделан вывод об их неэффективности, так как качество воды за рассматриваемый период не улучшилось ни по одному показателю.

Таким образом, проведен комплексный анализ государственного и экспериментального постворного мониторинга за качеством воды в р. Яузе, рассчитан водный и массовый загрязненный сток по каждому водосбору ливневых коллекторов, рассчитана доля загрязненного стока с территории г. Москвы в общем массовом расходе в реке за многолетний период, проведена оценка эффективности работы очистных сооружений ливневого стока и водоохранных программ.

Работа выполнена в соответствии с темой № FMWZ-2025-0002 «Исследования процессов формирования качества поверхностных и подземных вод, природных и антропогенных механизмов изменения экологического состояния водных объектов, разработка методов и технологий управления водными ресурсами и качеством вод» государственного задания ИВП РАН.

Литература

Кирпичникова Н. В. Мониторинг источников загрязнения водных объектов // В кн.: Научные основы создания систем мониторинга качества природных поверхностных вод. М.: Научный мир, 2016. С. 183–212.

Кирпичникова Н. В. Неконтролируемые источники загрязнения // Иваньковское водохранилище. Современное состояние и проблемы охраны. М.: Наука, 2000. С. 36–62.

Кирпичникова Н. В., Воронина К. П. Основные факторы формирования качества воды р. Яузы в многолетней динамике // В сб.: Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Т. 2. Пермь, 2023. С. 96–100.

Кирпичникова Н. В., Воронина К. П., Хорошевская О. В. Анализ систем мониторинга на разных уровнях организации в оценке динамики гидрохимических показателей водных объектов и источников загрязнения // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России: сб. тр. V Всерос. науч. конф. Иркутск, 2022. С. 67–73.

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ЯДЕРНОГО ГЕНА *RAG1* ДЛЯ ПРОЯСНЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ГИБРИДИЗАЦИИ МУКСУНОВ И ПЫЖЬЯНОВ В СИМПАТРИЧЕСКИХ ПОПУЛЯЦИЯХ

М. Н. Киселева*, Д. К. Митрюшкина, О. В. Апаликова

Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга»), Санкт-Петербург, Россия

** e-mail: marina.marinakisel@yandex.ru*

ON THE USE OF THE NUCLEAR GENE *RAG1* TO CLARIFY THE PROBLEM OF HYBRIDIZATION BETWEEN MUKSUN AND PIDSCHIAN IN SYMPATRIC POPULATIONS

M. N. Kiseleva, D. K. Mitryushkina, O. V. Apalikova

Сиговые являются объектами рыбохозяйственного значения. Эволюция этих рыб напрямую связана с экологической пластичностью, географической изоляцией и гибридизацией, что усложняет систематику и требует комплексного подхода в исследованиях с использованием различных генетических маркеров. В данной работе проведен анализ ядерного гена *RAG1* для исследования гибридизации среди муксунов и пыжьянов в условиях совместного обитания. Выявлена специфическая однонуклеотидная замена, встречающаяся у сига-пыжьяна и муксуна, выловленных в р. Пясине. Полученные данные подтверждают литературные данные о возможности генетического обмена между пыжьяном и муксуном.

Сиговые рыбы являются объектом промысла, имеющим важное рыбохозяйственное значение, особенно для северных регионов России. Эволюционная история сиговых рыб включает совокупность сложных процессов расселения, изоляции и гибридизации (Бочкарев и др., 2026). В результате адаптивной радиации образовалось множество экологических форм, которые при этом могут характеризоваться ограниченным генетическим разнообразием (Hudson et al., 2007). Сходные условия обитания, слабая генетическая дивергенция, кариотипическая совместимость, а также высокая пластичность сиговых видов приводят к относительно частым гибридизациям между видами (Гайденок, 2023), что отражается в общих гаплотипах. Например, при исследовании вариативности участка мтДНК, включающего в себя первую и вторую субъединицы надоксиддегидрогеназы (*ND1/ND2*), у муксуна было выявлено более 12 гаплотипов, один из которых являлся общим для муксуна и сига-пыжьяна (неопубликованные данные).

Наблюдение этого феномена у сиговых привело исследователей к заключению, что при разном количестве форм, вовлеченных в гибридизацию, за относительно недолгий период времени мтДНК одной из форм с высокой вероятностью замещается на мтДНК численно преобладающей на данной территории формы, в дальнейшем эволюционируя независимо в условиях симпатрии (Медников, 2000; Avise, 2000). Вследствие этого использование изменчивости участков мтДНК в качестве молекулярно-генетических маркеров для межвидовой дифференциации сига-пыжьяна и муксуна неэффективно, несмотря на выраженные морфологические отличия этих видов.

В настоящее время существует гипотеза о том, что муксун является эволюционно стабилизировавшимся гибридом, в генотипе которого участвовали сиг-пыжьян и ряпушка или пелядь (Балдина и др., 2008). Процесс смешения этих видов продолжается и сегодня. В результате чего особенно актуальным становится поиск доказательств о гибридизации этих двух видов, посредством нахождения маркеров в ядерном геноме.

Одним из таких маркеров может служить ген *RAG1*, который является филогенетическим маркером, при помощи которого можно определить степень родства между видами.

Гены *RAG* (Recombination Activating Genes) — это ядерные гены, которые играют ключевую роль в системе рекомбинации V (D) J, обеспечивающей разнообразие антигенных рецепторов лимфоцитов в процессе формирования адаптивного иммунитета. Они также используются в качестве филогенетических маркеров для реконструкции эволюционных связей между организмами (Шедько и др., 2012).

Материалом для анализа послужили образцы ДНК-содержащих тканей коллекции Санкт-Петербургского филиала ВНИРО («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга) из выборок муксуна (*Coregonus muksun*) и сига-пыжьяна (*Coregonus lavaretus pidschian*), отловленных в бассейне р. Пясины. Для сравнения нуклеотидной последовательности гена *RAG1* были выбраны образцы ДНК-содержащих тканей: чира (*Coregonus nasus*), отловленных там же, ряпушки (*Coregonus albula*) и сига (*Coregonus lavaretus* из Ладожского озера.

Выделение и очистка тотальной ДНК из зафиксированных в 95% этаноле проб тканей проведены солевым методом (Aljanabi et al., 1997). Участок гена *RAG1* длиной около 700 п. н. был амплифицирован и отсеквенирован с использованием разработанных в лаборатории праймеров, их нуклеотидные последовательности: 5'… ATCAAGGAGTCCTGCGATGG …3'; 5'… CTTCCTGACGCTCCTCTGAG…3'. Очистку ампликонов проводили с помощью PEG 6000. Секвенирующая реакция проводилась в амплификаторе T100 MyCycler в 10 мкл реакционной смеси. Для реакции использовали набор BrilliantDye™ Terminator (v3.1) Cycle Sequencing Kit.

Мы проанализировали последовательность *RAG1* у пеляди, ряпушки, сига, сига-пыжьяна, муксуна и чира. При сравнении наших данных о нуклеотидной последовательности *RAG1* с аналогичной последовательностью представителей рода *Coregonus* из базы генетических данных GenBank в последовательностях этого высоконсервативного гена была выявлена мутация, которая встречается у сига-пыжьяна и муксуна, что подтверждает литературные данные о возможности генетического обмена между пыжьяном и муксуном.

При этом важно, что аминокислотная последовательность *RAG1,* построенная на основании последовательностей нуклеотидов в программе MEGA, оказалась единой у всех исследованных экземпляров сиговых рыб, что объясняется вырожденностью генетического кода (триплеты ACT и ACC кодируют одну и ту же аминокислоту треонин).

Авторы глубоко признательны Д. С. Сендеку за предоставленные образцы тканей сиговых видов рыб, использованных в исследовании.

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием № 076-00005-25-02.

Литература

Балдина С. Н., Гордон Н. Ю., Политов Д. В. Генетическая дифференциация муксуна *Coregonus muksun* (Pallas) и родственных видов сиговых рыб (Coregonidae, Salmoniformes) Сибири по мтДНК // Генетика. 2008. Т. 44, № 7. С. 896–905.

Бочкарев Н. А., Суханова Л. В., Политов Д. В. [и др.] Популяционная структура сига (*Coregonus lavaretus pidschian, Coregonidae*) в водоемах бассейна верхнего и среднего течения реки Енисей. К вопросу происхождения экологических форм // Генетика. 2026. Т. 62, № 1. С. 74–91.

Гайденок Н. Д. Результаты анализа природы дифференциации нерестилищ муксуна Енисея часть 1. От геологии к генетике // Рыбное хозяйство. 2023. № 4. С. 61–66.

Медников Б. М., Шубина Е. А., Мельникова М. Н. Сиговые рыбы: новый механизм репродуктивной изоляции // Журнал общей биологии. 2000. Т. 61, № 4. С. 393–399.

Национальный центр биотехнологической информации [Электронный ресурс]: URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/

Сендек Д. С., Иванов Е. В. О причинах генетической неоднородности сига-пыжьяна *Coregonus lavaretus pidschian* реки Анабар // Экологическая генетика. 2017. Т. 15, № 3. С. 20–26.

Шедько С. В., Мирошниченко И. Л., Немкова Г. А. Филогения лососевых рыб (Salmoniformes: Salmonidae) и ее молекулярная датировка: анализ ядерного гена *RAG1* // Генетика. 2012. Т. 48, № 5. С. 676.

Aljanabi S. M., Martinez I. Universal and rapid salt-extraction of high quality genomic DNA for PCR-based techniques // Nuc. Acid. Res. 1997. Vol. 25, N 22. P. 4692–4693.

Avise J. C. Phylogeography: the history and formation of species. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2000. 41 p.

Hudson A., Vonlanthen P., Müller R. & Seehausen O. Review: the geography of speciation and adaptive radiation in coregonines // in M. Jankun, P. Brzuzan, P. Hliwa, & M. Luczynski (Eds.), Advances in limnology: biology and management of coregonid fishes – 2005. Proceedings of the ninth international symposium on the biology and management of coregonid fishes held in Olsztyn, Poland, 2007. P. 111–146.

ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА, ПРИЛИВНАЯ И СУБПРИЛИВНАЯ ДИНАМИКА ВОД ПРОЛИВА ВЕЛИКАЯ САЛМА БЕЛОГО МОРЯ

И. Е. Козлов*, И. О. Копышов, П. В. Гайский, С. А. Шутов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН», Севастополь, Россия

** e-mail: igor.eko@gmail.com*

HYDROLOGICAL STRUCTURE, TIDAL AND SUBTIDAL DYNAMICS IN THE VELIKAYA SALMA STRAIT OF THE WHITE SEA

I. E. Kozlov, I. O. Kopyshov, P. V. Gaisky, S. A. Shutov

Представлены результаты натурных измерений гидрологического режима вод и субприливных процессов в проливе Великая Салма Белого моря, выполненных зимой и летом 2026 г. Измерения выполнялись на станциях вдоль нескольких поперечных и одного продольного разреза через пролив. И в зимний, и в летний периоды в проливе наблюдается выраженная плотностная стратификация вод, которая усиливается летом. Непрерывные измерения на суточных станциях показали интенсивную приливную динамику вод, обусловленную генерацией и распространением внутренних волн приливного и субприливного периодов. Высота приливных колебаний достигает 20 м, а проникновение теплых вод из придонного слоя прослеживается до глубин 35–40 м.

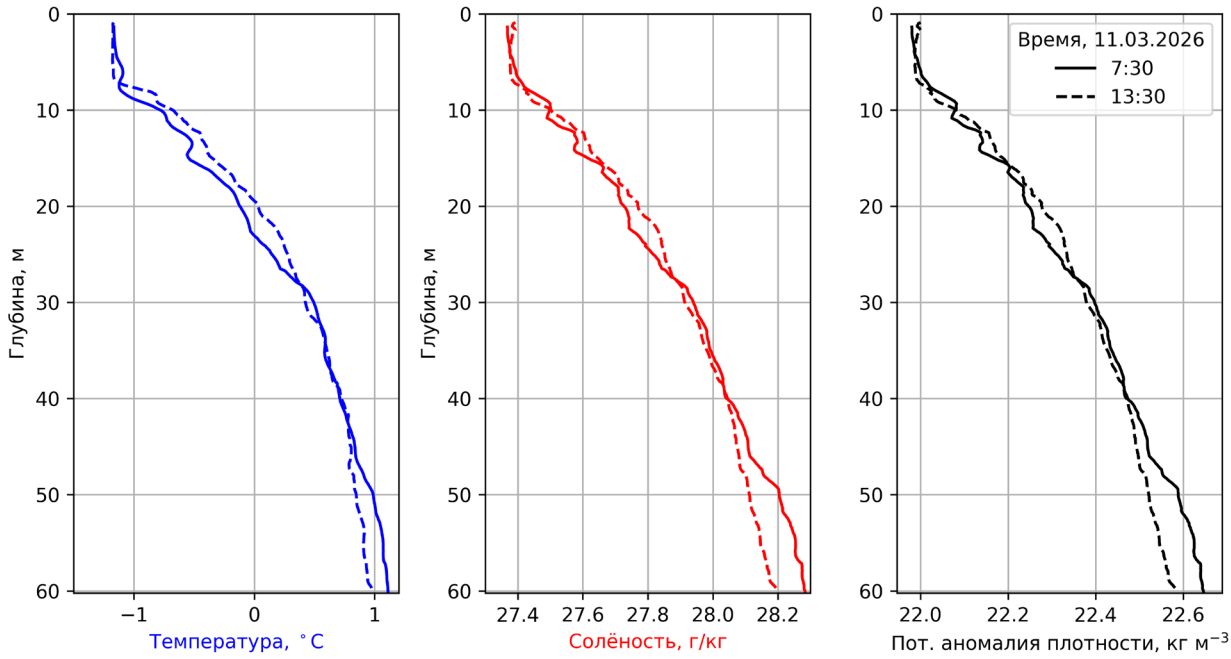
В работе представлены результаты натурных измерений гидрологического режима вод, приливных и субприливных процессов в проливе Великая Салма Белого моря, выполненных подо льдом в марте 2026 г. и в июле — августе 2026 г. Измерения в зимний период включали учащенные СТД-зондирования зондом AML-3 LGR и непрерывные записи вертикальных профилей температуры воды от поверхности до глубин 45–60 м на основе термопрофилемеров TPArctic производства МГИ РАН (Gaisky, Kozlov, 2023). В летний период измерения были дополнены использованием микроструктурного зонда MSS90L и акустического допплеровского измерителя течений ADCP Workhorse Monitor 300 kHz.

И в зимний, и в летний периоды в проливе наблюдается выраженная плотностная стратификация вод. В зимний период она обусловлена наличием холодных ($T_w < 0$ °C) и распресненных ($S < 27{,}7$ г/кг) вод в верхнем слое от поверхности до горизонта около 20 м, и более теплых ($T_w > 1$ °C) и соленых ($S > 28$ г/кг) вод в нижнем слое (рис.). В летний период верхний распресненный слой становится существенно теплее нижнего, и плотностная стратификация усиливается.

Измерения на суточной станции, выполненные над южным склоном пролива в зимний период, показали выраженные колебания изопикн приливного периода высотой до 20 м в придонном слое. Непрерывные записи термопрофилемеров выявили проникновение теплых вод из придонного слоя (60–65 м) до глубин 35–40 м. В такие периоды во всей толще вод от поверхности до дна наблюдались существенные вертикальные неоднородности в поле температуры, обилие турбулентных пятен и выраженных короткопериодных внутренних волн с высотами до 5–7 м. При этом в записях отчетливо регистрировались как внутренние волны понижения (заглубление холодных вод), так и внутренние волны повышения (подъем теплых вод из глубоких слоев в верхний слой).

Анализ измерений на продольном и поперечных гидрологических разрезах показал, что теплые и соленые воды, поднятие которых обнаружено на суточной станции, располагались ниже горизонта 60–70 м в самой глубоководной части пролива с глубинами до 120 м. Вполне вероятно, что под действием прилива эти теплые и соленые воды могут поступать

из глубоководной части пролива вверх по склону на мелководье, где по спутниковым данным в зимний период регистрируется большое количество полыней. В этом случае горизонтальная адвекция теплых вод совместно с механическим воздействием приливных течений может являться основной причиной таяния и разрушения морского льда и, как следствие, образования полыней, что подтверждается более ранними работами (Morozov et al., 2019).



Вертикальные профили температуры, солености и плотности морской воды в разные приливные фазы на суточной станции, расположенной на южном склоне пролива Великая Салма

Натурные измерения гидрологического режима в проливе Великая Салма выполнены в рамках государственного задания FNNN-2024-0017. Исследование структуры и динамики внутренних волн и их влияния на вертикальный турбулентный обмен и формирование морского льда выполнено в рамках гранта РНФ № 25-17-00309, https://rscf.ru/project/25-17-00309/.

Литература

Gaisky P. V., Kozlov I. E. Thermoprofilemeter for Measuring the Vertical Temperature Distribution in the Upper 100-Meter Layer of the Sea and its Testing in the Arctic Basin // Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea. 2023. Vol. 1. P. 137–145.

Morozov E. G., Marchenko A. V., Filchuk K. V., Kowalik Z., Marchenko N. A., Ryzhov I. V. Sea ice evolution and internal wave generation due to a tidal jet in a frozen sea // Applied Ocean Research. 2019. Vol. 87. P. 179–191.

КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ТУРБУЛЕНТНЫЙ ОБМЕН В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ

И. Е. Козлов*, И. О. Копышов, А. В. Кузьмин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН», Севастополь, Россия

** e-mail: igor.eko@gmail.com*

SHORT-PERIOD INTERNAL WAVES AND THEIR INFLUENCE ON VERTICAL TURBULENT EXCHANGE IN THE ARCTIC BASIN

I. E. Kozlov, I. O. Kopyshov, A. V. Kuzmin

Представлены результаты анализа характеристик короткопериодных внутренних волн (КВВ) в арктическом бассейне, полученные на основе обработки большого массива спутниковых радиолокационных измерений за разные годы. В ходе работы определены очаги генерации КВВ, их параметры, а также выполнен анализ наиболее вероятных механизмов генерации наблюдаемых КВВ в арктическом бассейне. Результаты спутниковых наблюдений дополнены анализом данных натурных микроструктурных измерений, позволивших оценить вклад интенсивных КВВ в вертикальный турбулентный обмен.

В работе представлены результаты комплексного анализа поля короткопериодных внутренних волн (КВВ) в арктическом бассейне, полученные на основе обработки уникального массива спутниковых радиолокационных данных Envisat ASAR, ALOS-2 PALSAR-2 и Sentinel-1 за летние периоды 2007, 2011, 2018 гг.

На основе анализа спутниковых данных были определены «горячие точки» образования КВВ, их пространственные и кинематические характеристики. Дальнейший анализ позволил определить основные механизмы генерации КВВ в различных районах Арктики.

На следующем шаге на основе обработки данных натурных микроструктурных измерений для отдельных районов Арктики оценивался вклад интенсивных КВВ в вертикальный турбулентный обмен. В моменты прохождения интенсивных КВВ максимальные вертикальные потоки тепла достигали значений 10–50 Вт/м^2. В эти же моменты скорость диссипации кинетической энергии турбулентности возрастала на несколько порядков.

Исследование выполнено в рамках гранта РНФ № 25-17-00309, https://rscf.ru/project/25-17-00309/.

ВЛИЯНИЕ ЛЕКАРСТВЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА КАЧЕСТВО ПРИРОДНЫХ ВОД

М. А. Козлова

Институт водных проблем Российской академии наук, Москва, Россия

e-mail: mblshok@mail.ru

THE IMPACT OF PHARMACEUTICAL POLLUTION ON THE WATER QUALITY

M.A. Kozlova

Рассмотрена проблема загрязнения природных и сточных вод лекарственными препаратами. Показано, что в современном мире, где производство и использование лекарств являются повсеместными, лекарства неизбежно попадают в водные объекты, где могут мигрировать, деградировать и трансформироваться в зависимости от условий среды. Многочисленные зарубежные исследования показывают, что такие вещества обнаруживаются во всех регионах мира, а основными группами лекарств являются антибиотики, гормоны, НПВС, антидепрессанты и др. В России мониторинг и контроль за поступлением лекарственных препаратов невозможен без скоординированной работы всех надзорных ведомств и законодательных органов власти.

Антропогенная нагрузка на водные объекты, связанная с попаданием в них лекарственных веществ, неуклонно возрастает, что обусловлено повсеместным использованием лекарств как в медицине, так и в ветеринарии, животноводстве, птицеводстве и пр. Накопившиеся в мировой литературе данные о характере этого явления вызывают озабоченность не только мирового научного сообщества, но и крупных международных организаций, в том числе ВОЗ.

Большинство современных лекарственных соединений относятся либо к совершенно чуждым для человека веществам, либо к синтетическим аналогам биологически активных веществ человеческого организма. Легкость распространения лекарств в водных объектах, перенос загрязнения водотоками, включая трансграничные переносы, воздействие на гидробиоту и, наконец, возможность их попадания в питьевые воды делают водное загрязнение лекарствами достаточно опасным, но до сих пор недостаточно изученным.

Ключевыми источниками поступления лекарств в водную среду выступают непосредственно производственные площадки (из-за несовершенства очистных систем или аварий), лечебно-профилактические и аптечные организации (вследствие некорректной утилизации отходов), научные лаборатории, занятые разработкой и тестированием препаратов, а также аграрный сектор, интенсивно применяющий ветеринарные препараты, гормоны роста и пр. Свой «вклад» вносит и население — через естественное выведение остатков лекарств и их метаболитов, а также выбрасывая просроченные препараты и использованные медицинские изделия с бытовыми отходами.

Бесконтрольная миграция фармсубстанций способна влиять на живые организмы и людей. Это стимулирует формирование новой научной дисциплины, задачи которой включают мониторинг концентраций медикаментов и продуктов их распада в природе; оценку токсичности путей переноса этих соединений к человеку и биотическим сообществам; идентификацию реальных источников загрязнения; разработку технологий очистки природных и сточных вод; совершенствование нормативно-правовой базы. Отдельную тревогу вызывает то, что постоянное присутствие антибиотиков в водной среде способствует выработке резистентности у патогенов, что чревато падением эффективности антибактериальной терапии при вспышках инфекций.

Мониторинг содержания фармацевтических субстанций в объектах окружающей среды (прежде всего в поверхностных и сточных водах) активно ведется в разных регионах мира.

Подобные исследования проводились, в частности, в Великобритании, Испании, Словении, США, Южной Корее и ряде других государств; историография вопроса детально освещена в обзорах (Santos et al., 2010; Козлова, 2019; Anbarasu, Yuvarajan, 2025), а обобщающие данные представлены в (Ternes, Joss, 2007). В спектре обнаруживаемых загрязнителей чаще всего фигурируют антибиотики, половые гормоны, нестероидные противовоспалительные препараты, а также средства для лечения эпилепсии и депрессивных расстройств.

Высокая гидрофильность большинства препаратов делает их удаление из сточных вод крайне проблематичным. Более того, эти соединения демонстрируют устойчивость к биодеградации активным илом очистных сооружений и проходят транзитом через всю цепочку, беспрепятственно попадая в природные водоемы. Усугубляет ситуацию то, что в водную среду мигрируют не только сами лекарства, но и их метаболиты с продуктами трансформации, которые нередко обладают даже более выраженной биологической активностью, чем родительские субстанции.

Данное обстоятельство диктует необходимость пересмотра технологических подходов к водоподготовке и водоочистке, особенно в густонаселенных регионах, ориентированных на поверхностные водозаборы. Параллельно требуется внедрение организованной системы сбора и утилизации просроченных и невостребованных лекарств у населения — практика, уже успешно зарекомендовавшая себя за рубежом. Назрела потребность в налаживании плотной координации между надзорными ведомствами (Росприроднадзор, Роспотребнадзор, Ростехнадзор, Минприроды, Минздравсоцразвития), а также в подключении Федерального Собрания РФ к разработке целостного пакета законодательных и нормативно-правовых актов, направленных на мониторинг и минимизацию фармацевтического загрязнения водных ресурсов.

Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2025-0002 государственного задания ИВП РАН.

Литература

Козлова М. А. Исследование лекарственного загрязнения водных объектов в зонах сброса сточных вод городов и промышленных предприятий // Вода: химия и экология. 2019. № 3–6. С. 30–36.

Anbarasu K., Yuvarajan D. Pharmaceutical pollution in soil and water and its impacts on human health and the environment // Water, Air, and Soil Pollution, 2025. 236: 877.

Santos L., Araujo A., Fachini A. et al. Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment // Journal of Hazardous Materials. 2010. 175. P. 45–95.

Ternes T., Joss A. Human Pharmaceuticals, Hormones and Fragrances: The Challenge of Micropollutants in Urban Water Management. IWA Publishing; London, UK. 2007. 468 p.

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ НЕИЗУЧЕННЫХ ОЗЕР СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

С. А. Кондратьев[1]*, **С. Д. Голосов**[2], **И. С. Зверев**[2], **А. М. Расулова**[1]

[1] *Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга»), Санкт-Петербург, Россия*
[2] *Институт озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия*

* *e-mail: kondratyev@niorh.vniro.ru, 3718470@gmail.com*

REMOTE MONITORING OF UNEXPLORED LAKES IN THE NORTHERN TERRITORIES

S. A. Kondratiev, S. D. Golosov, I. S. Zverev, A. M. Rasulova

Цель исследования — создание методической основы расширения возможностей мониторинга озер арктической зоны за счет совместного использования спутниковой съемки акваторий и математического моделирования. Основа методики — выполнение расчетов ретроспективной (1940 г. — настоящее время) и прогностической (до 2100 г.) динамики ледотермических и кислородных характеристик малых и средних озер с использованием одномерной термогидродинамической модели FLake/FLakeEco.

Возможная схема организации мониторинга неизученных (труднодоступных) озер северных территорий, включающая три основные его компоненты (измерения, оценку и прогноз) и отражающая специфические территориальные аспекты, представлена на рис.

Система организации измерений характеристик труднодоступных водоемов и прогноза их возможных изменений под влиянием климатических вариаций ориентирована прежде всего на результаты дистанционного зондирования Земли. Источником информации в этом случае могут служить многоспектральные спутниковые снимки (Sentinel, Landsat, PROBA-V, MODIS), с помощью которых можно дешифрировать водоем и оценить его



Схема организации мониторинга неизученных озер северных территорий

площадные характеристики. Контактные измерения характеристик водоема выполняются на относительно небольшом числе тестовых озер. Одним из предназначений данных, собранных на тестовых водоемах и их водосборах, является калибровка и верификация моделей, выступающих основным средством получения информации о прошлых, современных и прогнозируемых характеристиках неизученных арктических водных объектов.

Оценка морфометрических характеристик (глубина, объем) водоема может быть проведена с помощью геостатистических методов. Для оценки глубины применяется геостатистический метод, основанный на сходном происхождении озерных котловин в рамках одного озерного региона, где озерные котловины одного генезиса имеют одинаковые отношения между морфометрическими параметрами, в том числе между площадью и средней глубиной, которые выявляются с использованием общедоступных баз данных, таких, как WORDLAKE — https://wldb.ilec.or.jp/ и HydroLAKES — https://www.hydrosheds.org/products/hydrolakes.

В качестве входной информации для гидротермодинамического моделирования служат данные реанализа семейства ERA5, который представляет собой ряды восстановленных значений метеорологических параметров для всего земного шара https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5. Данные реанализа доступны с 1940 г. по настоящее время.

Прогнозирование последствий климатических изменений в XXI веке выполняется на основе использования сценариев выбросов в атмосферу парниковых газов SSP (Shared Socio-economic Pathway — https://cds.climate.copernicus.eu). В частности, можно предположить, что выбросы парниковых газов в XXI веке будут проходить по сценариям SSP-2.6 или SSP-8.5, то есть по лучшему или худшему с точки зрения воздействия на окружающую среду. Значения метеорологических параметров, соответствующих реализации сценариев SSP в изучаемом регионе на период до 2100 г., рассчитываются с использованием какой-либо климатической модели.

Ретроспективная оценка метеопараметров, прогностические сценарии их изменения в XXI веке в совокупности с геостатистической оценкой глубины водоема являются входной информацией в модель водоема Flake/FLakeEco. Термогидродинамическая одномерная модель FLake — www.lakemodel.net не требует дополнительной апробации, так как в настоящее время уже широко применяется в нашей стране в составе системы COSMO, которую использует Росгидромет для прогноза погоды на территории РФ. FLake рассчитывает теплоперенос между атмосферой, льдом, водой и донными отложениями, профиль температуры по глубине в воде и донных отложениях, сроки ледостава и толщину льда, а также динамику оттаивания донных отложений в озерах зоны многолетней мерзлоты. Вариант модели с добавленными экологическими блоками, получивший название FLakeEco, существенно расширяет возможности модельной оценки характеристик озера и позволяет рассчитывать профиль концентрации растворенного кислорода по глубине и толщине анаэробной зоны (при наличии), содержание биогенных элементов (прежде всего — фосфора) в водной массе озера, первичную продукцию и биомассу фитопланктона, а также прозрачность воды.

Определив координаты озера и рассчитав его глубину, можно оценить ретроспективную динамику теплопереноса между атмосферой, льдом, водой и донными отложениями, профиля температуры по глубине в воде и донных отложениях, сроков ледостава и толщины льда, профиля концентрации растворенного кислорода по глубине и толщине анаэробной зоны (при наличии), содержания биогенных элементов в водной массе озера, первичной продукции и биомассу фитопланктона, а также прозрачности воды и оттаивания донных отложений в озерах зоны многолетней мерзлоты, а также составить прогноз возможных изменений указанных показателей по любым известным на настоящий момент климатическим сценариям вплоть до 2100 г.

Разработанный подход к дистанционной оценке характеристик озер с использованием моделей Flake/FLakeEco, данных реанализа ERA5 и прогностических сценариев SSP позволяет в определенной степени компенсировать недостаточную плотность наблюдательной сети в труднодоступных северных регионах нашей страны.

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМИЧЕСКОГО И КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМОВ ЭКОСИСТЕМ ОЗЕР РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН ЕВРАЗИИ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ)

С. А. Кондратьев [1]*, С. Д. Голосов [2], И. С. Зверев [2], А. М. Расулова [1]

[1] *Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга»), Санкт-Петербург, Россия*
[2] *Институт озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия*

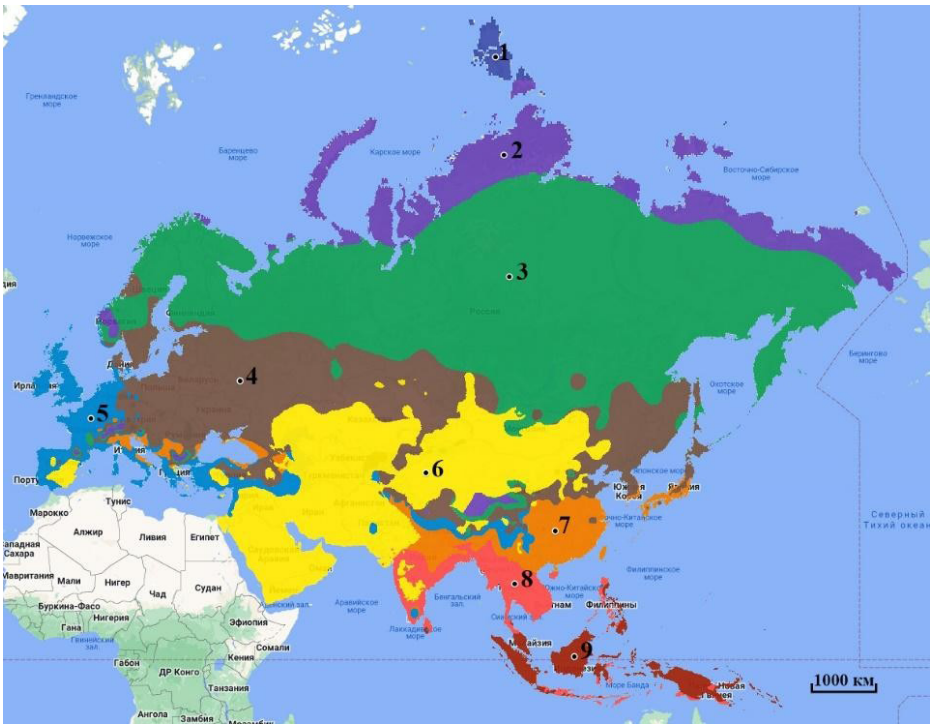
** e-mail: kondratyev@niorh.vniro.ru, 3718470@gmail.com*

ASSESSMENT OF THE CHARACTERISTICS OF THE THERMAL AND OXYGEN REGIMES OF LAKE ECOSYSTEMS IN VARIOUS CLIMATIC ZONES OF EURASIA (BASED ON THE RESULTS OF MATHEMATICAL MODELING)

S. A. Kondratyev, A. M. Rasulova, S. D. Golosov, I. S. Zverev

С использованием математического моделирования исследованы современные тренды в термическом и кислородном режимах озер Евразии в зависимости от их расположения в различных климатических зонах. Инструментом дистанционной оценки характеристик озер послужила модель Flake/FLakeEco, состоящая из термодинамической и химико-биологической компонент. Полученные результаты моделирования соответствуют представлениям современной физической лимнологии о влиянии климатических факторов на экосистемы озер.

В работе представлен подход к решению задачи модельной оценки характеристик термического и кислородного режимов экосистем озер различных климатических зон Евразии. На основе классификации климата по Кёппену на территории Евразии выделено девять основных климатических зон, которые имеют наибольшее влияние на термогидродинамику водных объектов (рис.).



Климатические зоны Евразии. Арабскими цифрами обозначены следующие типы климата:
1 — полярный (арктический),
2 — полярный (арктической тундры),
3 — субарктический,
4 — континентальный,
5 — умеренный,
6 — пустынный и полузасушливый,
7 — субтропический,
8 — тропический,
9 — экваториальный

С использованием методов математического моделирования были исследованы современные (за период с 1984 г. по настоящее время) тренды в ледотермическом и кислородном режимах озер Евразии. При этом привлекались данные гидрометеорологического реанализа ERA5 Европейского центра среднесрочного прогнозирования погоды. Расчеты выполнялись для условных водоемов фиксированной средней глубины озер Евразии Инструментом дистанционной оценки характеристик озер различных климатических зон Евразии послужила модель Flake/FLakeEco (www.lakemodel.net). Анализ результатов математического моделирования позволил дать оценку современных климатических трендов экосистем озер Евразии в следующем виде:

– Температура воздуха для всех зон имеет положительные тренды, что отражает текущую тенденцию к потеплению климата. Максимальная скорость увеличения температуры воздуха наблюдается в зоне полярного (арктического) климата (зона 1).

– Поверхностная температуры воды в озерах всех девяти зон повышалась, что отражает широтную изменчивость факторов, определяющих температурный режим водоемов, а именно температуры воздуха и коротковолнового солнечного излучения.

– Сходное зональное распределение получено и для придонной температуры в озерах. Значения температуры также увеличиваются от 1 к 8–9 зонам. Временные тренды существенно отличаются от трендов в поверхностной температуре. Максимальные значения приходятся на 1, 2, 5 и 8 зоны, минимальные — наблюдаются 3 и 6 зонах. Неравномерное распределение временных трендов в придонной температуре между климатическими зонами может быть объяснено механизмами переноса тепла в озерах в вертикальном направлении.

– Зональное распределение средней по столбу воды температуры и ее временные тренды в целом повторяет предыдущее распределение, полученное для придонной температуры, — значения увеличиваются от 1 к 8–9 зонам. Распределение временных трендов больше напоминает таковое, полученное для поверхностной температуры. Максимальные тренды характерны для 5 умеренного климатического пояса.

– В озерах 1–6 климатических зон происходило уменьшение толщины льда и периода ледостава. В зонах 7–9 лед вообще не образуется.

– Зональное уменьшение поверхностной концентрации растворенного кислорода наблюдалось во всех климатических поясах, что отражает обратную зависимость растворимости кислорода от температуры поверхности воды.

– В отличие от поверхностной концентрации зональное распределение придонной концентрации растворенного кислорода не имеет выраженной зависимости от температуры. Так же, как и в случае с придонной температурой, концентрация кислорода в придонной области формируется главным образом балансом между поступлением кислорода, связанным с условиями перемешивания в озере, и его потреблением при бактериальном разложении органического вещества.

– Анаэробные условия могут возникать в озерах всех климатических поясов. Реже всего такие условия возникают в водоемах тундровой, субарктической и континентальной зонах несмотря на длительность ледостава. Максимальные значения толщины анаэробной зоны по понятным причинам возникают в изолированных от контакта с атмосферой полярных озерах в течение всего года. Тем не менее временные тренды отрицательны именно в этих зонах, во всех остальных — тренды положительны, то есть наблюдается тенденция к ухудшению качества воды в озерах этих климатических поясов.

Разработанный подход к дистанционной оценке характеристик озер с использованием моделей Flake/FLakeEco и данных реанализа ERA5 позволяет компенсировать недостаточную плотность наблюдательной сети в труднодоступных регионах Евразии. Полученные результаты моделирования соответствуют основным представлениям современной физической лимнологии о влиянии климатических факторов на озерные экосистемы и могут служить основой для разработки мер по сохранению качества водных ресурсов и рациональному управлению экосистемами озер.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СООБЩЕСТВ ПЕЛАГИЧЕСКОГО ЗООПЛАНКТОНА КОНДОПОЖСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Д. С. Коновалов

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

e-mail: konovalov.daniil1998@gmail.com

THE CURRENT STATE OF PELAGIC ZOOPLANKTON COMMUNITIES IN THE KONDOPOGA BAY OF LAKE ONEGA

D. S. Konovalov

Цель настоящей работы — оценка многолетних изменений сообществ зоопланктона Кондопожской губы Онежского озера при влиянии на них антропогенных факторов. В вершинную часть залива сбрасываются сточные воды ЦБК, а отходы форелевых хозяйств поступают в центральную часть. Функционирование зоопланктонных сообществ в вершинной части губы отражает непосредственное (токсическое и стимулирующее) и опосредованное (содержание биогенных элементов и обилие фитопланктона) воздействие объема и химического состава сточных вод ЦБК. В зоопланктоне центральной части губы в 2020-е гг. стали фиксировать увеличение обилия, по сравнению со среднемноголетними данными, связанное, вероятно, с деятельностью форелевых хозяйств. По данным немногочисленных исследований, локально в районе форелевых хозяйств происходит резкое увеличение численности и биомассы зоопланктона, в отдельные годы превышающее таковое в вершинной части губы.

Кондопожская губа — один из крупнейших заливов Онежского озера, подвержена многолетнему и интенсивному антропогенному воздействию, основным источником которого является деятельность Кондопожского целлюлозно-бумажного комбината. Дополнительным источником антропогенной нагрузки в настоящее время выступают форелевые хозяйства (Теканова и др., 2019). Загрязнение вод органическим веществом и биогенными элементами привело к последовательной трансформации экосистемы и развитию эвтрофирования, достигающего центральной части залива (Тимакова и др., 2011).

Объект настоящего исследования — метазойный пелагический зоопланктон Кондопожской губы. В работе представлены результаты исследования современного состояния и многолетней динамики сообществ зоопланктона губы в контексте антропогенного воздействия.

В Кондопожской губе сообщества зоопланктона характеризуются высокой пространственной неоднородностью, что связано со сложной морфометрией и неравномерной антропогенной нагрузкой на залив. В вершинной части губы, куда сбрасываются сточные воды ЦБК, зоопланктон отражает непосредственное влияние компонентов сточных вод. Так, в 1970-х гг., когда стоки сбрасывались без очистки, проявилось их токсическое воздействие, и биомасса зоопланктона не превышала 5 г/м^2. После введения биологической очистки сточных вод в 1980-х гг. в залив стало поступать большое количество фосфора, что существенно ускорило его эвтрофирование. В ответ на эти процессы показатели зоопланктона возросли до 60 г/м^2. В 1990-х гг., с наступлением экономической рецессии, объемы сточных вод сократились, что отразилось на снижении показателей зоопланктона (Тимакова и др., 2014).

В отличие от вершинной части, в центральном глубоководном районе Кондопожской губы влияние сточных вод ЦБК на водные сообщества ослаблено за счет их разбавления. Начиная с 2000-х гг. в прибрежной части центрального района стали функционировать форелевые хозяйства. Влияние отходов аквакультуры суммировалось с действием сточных вод комбината, поэтому в последние 25 лет показатели обилия зоопланктона в центральной части залива спорадически стали превышать численность и биомассу в вершинной части

губы (Коновалов, Сярки, 2026). Так, в июле 2025 г. биомасса зоопланктона в центральной части залива была почти в четыре раза выше таковой в вершинной части.

Начиная с 2017 г. исследования состояния зоопланктона ведутся в районе форелевых садков, расположенных в прибрежных районах центральной части губы. В летний период здесь отмечена более высокая биомасса зоопланктона по сравнению с глубоководным центральным районом (Фомина и др., 2019). В июле и сентябре 2025 г. биомасса зоопланктона изменялась от 5,8 до 26,5 г/м^2 и также была выше, чем в вершинной и центральной частях залива. В зимний период 2026 г. отмечали биомассу зоопланктона 3,4 г/м^2, что соответствует α-мезотрофному уровню (Китаев, 2007).

Большие размеры акватории залива, межгодовые колебания антропогенной нагрузки, а также высокий уровень пространственной неоднородности трофических условий затрудняют выявление трендов в изменении зоопланктонных сообществ. Несмотря на это, в глубоководном центральном районе было выявлено увеличение частоты отклонений биомассы зоопланктона от среднемноголетней траектории сезонной динамики. В локальных очагах загрязнения — в вершинной части губы и в районе форелевых хозяйств — это явление более выражено.

Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» в рамках государственного задания ИВПС КарНЦ РАН № FMEN-2026-0011 «Функционирование экосистемы Онежского озера и озерно-речных систем его водосборной территории в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия».

Литература

Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 394 с.

Коновалов Д. С., Сярки М. Т. Состояние зоопланктона пелагиали Кондопожской губы Онежского озера в условиях антропогенной нагрузки и климатических изменений // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2026. № 1. С. 90–105.

Теканова Е. В., Рыжаков А. В., Калинкина Н. М. и др. Состояние экосистемы Кондопожской губы Онежского озера в условиях многофакторного воздействия: тез. докл. II междунар. конф. «Водные ресурсы: проблемы и пути их решения». Казань, 2019. С. 190–194.

Тимакова Т. М., Куликова Т. П., Литвинова И. А. и др. Изменение биоценозов Кондопожской губы Онежского озера под влиянием сточных вод целлюлозно-бумажного комбината // Водные ресурсы. 2014. Т. 41, № 1. С. 74–74.

Тимакова Т. М., Сабылина А. В., Полякова Т. Н. и др. Современное состояние экосистемы Онежского озера и тенденции его изменения за последние десятилетия // Труды КарНЦ РАН. 2011. № 4. С. 42–49.

Фомина Ю. Ю., Теканова Е. В., Калинкина Н. М. Биоиндикация современного состояния Кондопожского залива Онежского озера в районе расположения форелевых хозяйств по показателям зоопланктона // Водные биоресурсы и среда обитания. 2019. Т. 2, № 2. С. 20–26.

ТРОСТНИК ОБЫКНОВЕННЫЙ КАК ОБЪЕКТ МИКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Г. П. Кононенко*, А. А. Буркин

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко Российской академии наук», Москва, Россия

** e-mail: kononenkogp@mail.ru*

COMMON REED AS AN OBJECT OF MYCOTOXICOLOGICAL MONITORING

G. P. Kononenko, A. A. Burkin

В ходе биомониторинга у гелофита тростника обыкновенного (*Phragmites australis*) из трех территориально удаленных водных объектов изучено содержание токсичных метаболитов микроскопических грибов методом иммуноферментного анализа, выявлены устойчивая контаминация листьев и метелок альтернариолом и эмодином, частое присутствие фоновых количеств афлатоксина B_1, редкая встречаемость Т-2 токсина, зеараленона, цитринина и отсутствие фузариотоксинов дезоксиниваленола, фумонизинов, как и метаболитов грибов других таксонов — охратоксина А, стеригматоцистина, PR-токсина и роридина А. Случаи обнаружения циклопиазоновой кислоты и эргоалкалоидов варьировали по местообитаниям, степень контаминации стеблей везде была снижена в сравнении с листьями и метелками. В листьях и метелках накопление альтернариола соответствовало диапазону 16–64 нг/г, эмодина — 47–166 нг/г.

Типичный представитель воздушно-водных растений семейства Злаковые (тростник обыкновенный, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) относится к космополитам (Губанов и др., 2002) и вызывает особый научный интерес как организм, способный оказывать влияние на состояние водной среды, однако конкретных сведений в отношении макрофитов этой экологической группы известно немного. В ходе изучения микобиоты тростника в пресных и солоноватых водных объектах в воздушной среде и на отмерших растениях, погруженных в воду, найдены аскомицеты родов *Alternaria* (*A. alternata*, *A. tenuissima*), *Aspergillus* (*A. flavus*, *A. versicolor*), *Cladosporium* (*C. herbarum*), *Fusarium* (*F. poae*, *F. sporotrichioides*), *Penicillium* sp., *Phoma* (*P. herbarum*, *P. laundoniae*), *Trichoderma* sp. и указано на их способность вызывать опасные заболевания рыб (Voronin et al., 2021; Воронин, Копытина, 2023). Для большинства из перечисленных видов микромицетов известно продуцирование токсичных метаболитов (микотоксинов).

За период с 1998 по 2010 гг. в лаборатории микотоксикологии и санитарии кормов ВНИИВСГЭ разработаны иммуноферментные тест-системы и унифицированная методика определения 16 аналитов, в их числе Т-2 токсин (Т-2), дезоксиниваленол (ДОН), диацетоксисцирпенол (ДАС), зеараленон (ЗЕН), фумонизины группы В (ФУМ), альтернариол (АОЛ), охратоксин А (ОА), цитринин (ЦИТ), стеригматоцистин (СТЕ), афлатоксин B_1 ($АВ_1$), циклопиазоновая кислота (ЦПК), микофеноловая кислота (МФК), эргоалкалоиды (ЭА), эмодин (ЭМО), PR-токсин (PR) и роридин А (РОА).

В 1999 г. были начаты работы с тростником из плотного травостоя на заболоченном участке берега р. Волги. В ходе микологического анализа из растения были выделены грибы *Alternaria* sp., *Trichoderma* sp., *Cladosporium* sp. и *Fusarium* (*F. sporotrichioides*, *F. graminearum*). Мицелий и мицелиально-зерновая биомасса изолятов *F. sporotrichioides* содержали Т-2 и ЗЕН, *F. graminearum* — ЗЕН. Те же микотоксины оказались и в числе контаминантов этого растения — Т-2 (1,6 нг/г) и ЗЕН (302 нг/г) при фоновой концентрации СТЕ.

Растения, отобранные в 2009 г. из удаленных экотопов побережья Белого моря (Северная Карелия), содержали АОЛ (153 и 190 нг/г) и ДАС (245 и 213 нг/г). В перезимовавшем тростнике из оз. Мстино (Тверская область), наряду с АОЛ (40 нг/г) и СТЕ (110 нг/г), также присутствовали ЭА (500 нг/г) и ЭМО (410 нг/г). Для уточнения характера контаминации вегетирующего тростника в 2025 г. были обследованы 58 образцов из территориально удаленных водных объектов — оз. Мстино (Тверская область), пойма р. Сетунь (ЗАО, Москва) и побережье Белого моря (северная Карелия) (табл.).

Частота встречаемости n^+/ среднее содержание (нг/г) аналитов в стеблях, листьях и метелках вегетирующего тростника из трех водных объектов

Аналит	Озеро Мстино (15.06; 10.07)			Река Сетунь (5.07; 10.08)			Белое море (20.08)		
	стебли n = 12	листья n = 14	метелки n = 5	стебли n = 5	листья n = 8	метелки n = 5	стебли n = 4	листья n = 3	метелки n = 2
Т-2	–	–	–	–	–	1/20	–	–	–
ЗЕН	–	–	1/21	–	–	–	–	–	–
АОЛ	4/13 12–13	14/19 16–32	5/35 31–40	–	8/28 20–40	5/48 35–63	4/28 25–31	3/63 61–64	2/52 42, 62
ЦИТ	–	–	–	–	1/63	–	–	–	–
$АВ_1$	–	10/3 2–5	5/4 3–5	–	3/3 3–3	2/3 3, 3	1/3	3/3 3–3	1/3
ЦПК	1/158	–	–	3/77 74–79	3/390 200–490	–	–	–	–
ЭА	1/12	3/17 11–20	1/11	–	4/18 13–20	3/46 40–50	–	3/8 8–8	2/22 10, 34
ЭМО	6/27 18–42	14/83 47–141	5/102 74–166	2/25 34, 42	8/110 81–142	3/150 144–153	4/64 61–70	3/102 100–105	2/76 75, 76

Фузариотоксины ДОН, ФУМ, как и метаболиты грибов других таксонов — ОА, СТЕ, PR, РОА, — в образцах не были обнаружены. Редкими по встречаемости были Т-2, ЗЕН (в метелках) и ЦИТ (в листьях). Степень контаминации микотоксинами стеблей была снижена в сравнении с листьями и метелками. Случаи обнаружения азотсодержащих метаболитов — ЦПК и ЭА — варьировали по местам обитания. Контаминация листьев и метелок АОЛ и ЭМО была устойчивой с диапазонами количеств 16–64 нг/г и 47–166 нг/г и часто с фоновыми содержаниями $АВ_1$ (3–4 нг/г). Об обедненном составе микотоксинов с доминированием АОЛ и ЭМО ранее сообщено и для других дикорастущих злаков европейской России (Буркин, Кононенко, 2015).

Литература

Губанов И. А., Киселёва К. В., Новиков В. С., Тихомиров В. Н. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Т. 1: Папоротники, хвощи, плауны, голосеменные, покрытосеменные (однодольные). М.: Тов-во науч. изд. КМК, Ин-т технологич. исслед., 2002. 526 с.

Voronin L. V., Kopytina N. I., Bocharova E. A. Checklist of fungi and fungi-like organisms on common reed *Phragmites australis* // Asian Journal of Mycology. 2021. Vol. 4 (2). P. 67–113.

Воронин Л. В., Копытина Н. И. Микобиота отмерших фрагментов тростника, погруженных в воду (Ярославская обл., Россия) // Биология внутренних вод. 2023. № 1. С. 20–27.

Буркин А. А., Кононенко Г. П. Контаминация микотоксинами луговых трав в европейской части России // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50, № 4. С. 503–512.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГОНАДОСОМАТИЧЕСКОГО ИНДЕКСА ДЛЯ БИОИНДИКАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ОБЫКНОВЕННОГО СИГА В ОЗЕРАХ СЕВЕРО-ЗАПАДА МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

И. М. Королева*, П. М. Терентьев

Институт проблем промышленной экологии Севера, ФИЦ «Кольский НЦ РАН», Апатиты, Россия

** e-mail: koririn@yandex.ru*

USING THE GONADOSOMATIC INDEX FOR BIOINDICATION ON THE EXAMPLE OF COMMON WHITEFISH IN LAKES OF THE NORTH-WEST OF THE MURMANSK REGION

I. M. Koroleva, P. M. Terentjev

Метод морфофизиологических индикаторов позволяет опосредованно, на основании анализа морфологических признаков, получить представление о физиологии исследуемых объектов, состоянии популяции и характере воздействия на нее окружающей среды. В данной работе обобщены материалы многолетних наблюдений за динамикой гонадосоматического индекса (ГСИ) у обыкновенного сига (*Coregonus lavaretus* (L.)) из водоемов приграничного с Финляндией и Норвегией Печенгского района Мурманской области.

Метод морфофизиологических индикаторов был предложен в качестве дополнения к эколого-физиологическим исследованиям и со временем стал самостоятельным, широко используемым в полевой экологии, при оценке качества природных вод и в токсикологических экспериментах. На основании оценки величины отдельных морфологических признаков и их изменчивости делается вывод о биологическом своеобразии изучаемых популяций. Вес гонад, как абсолютный, так и относительный, дает представление о ходе созревания половых продуктов. По степени зрелости можно прогнозировать сроки подхода рыб к нерестилищам, продолжительность самого нереста (Правдин, 1951). Данная информация необходима при планировании промысла и проведении охранных мероприятий, в частности установлении сроков запрета на вылов.

Данные были собраны в водоемах на северо-западе водосбора Баренцева моря в период с 2002 по 2024 гг. (август — сентябрь). С применением метода морфофизиологических индикаторов проанализировано 580 экземпляров обыкновенного сига (*Coregonus lavaretus* (L.)). Величина гонадосоматического индекса (относительного веса гонад, он же коэффициент зрелости) определялась как отношение веса органа в граммах к общему весу тела без внутренностей (к порке):

ГСИ = $P_1/P_0 \times 100$, где ГСИ — относительный вес органа в процентах, P_1 — вес органа (гонад), P_0 — вес тела. Поскольку относительный вес органа наиболее зависим от пола, физиологического состояния и размера рыбы, для анализа изменчивости признака сиги были разбиты на 1) самцов и самок, 2) группы потенциально готовых к нересту и пропускающих нерест текущего года особей и 3) дополнительно были разделены на подгруппы крупных (более 200 г) и мелких (менее и равных 200 г) особей.

Возрастной ряд сигов в контрольных уловах представлен семнадцатью группами. Основу уловов суммарно по всем озерам составляют пяти-восьмилетние рыбы, на их долю приходится 70 %.

В оз. Куэтсъярви у самцов и самок различия между крупной и мелкой формами недостоверны. При этом величина ГСИ у готовых к нересту крупных самок пятикратно превышает таковую у самцов, у мелких особей разница меньше. Среди незрелых или пропускающих нерест особей наблюдаются более высокие значения ГСИ у мелких самцов относительно самок (табл.). В оз. Кочеяур у нерестовых и у пропускающих нерест, мелких самцов

ГСИ выше, чем у крупных. У самок это справедливо для нерестовых особей. При сопоставлении нерестовых самцов и самок, у последних ГСИ в 2,5–3 раза выше, чем у самцов. В оз. Виртуовошъяур вне зависимости от формы и физиологического состояния ГСИ у самок в 2–2,6 раза выше во всех случаях. Для озер Иля-Наутсиярви и Хутоявр вследствие небольшого объема выборки сопоставление величин ГСИ не проводилось. Данные приводятся как реперные для данных водоемов.

Вариабельность гонадосоматического индекса (M±m) у сигов в озерах северо-западной части Мурманской области (♂самцы, ♀самки), %

Пол	Форма	Куэтсъярви (227 экз.)	Кочеяур (215 экз.)	Виртуовошъяур (104 экз.)	Иля-Наутсиярви (15 экз.)	Хутоявр (19 экз.)
готовящиеся к нересту						
♂	мелкие	1,71±0,18	2,33±0,22	1,30±0,10	–*	1,38±0,26
	крупные	1,44±0,30	1,85±0,14	1,60±0,18	1,18±0,26	–
♀	мелкие	6,24±0,37	6,46±0,79	3,43±0,37	4,59±0,46	4,25±0,72
	крупные	7,07±0,83	4,58±0,37	3,49±0,19	4,13 (1 экз.)	–
пропускающие нерест						
♂	мелкие	1,06±0,16	0,99 (1 экз.)	1,11±0,10	0,95±0,15	0,09 (1 экз.)
	крупные	1,43 (1 экз.)	0,19±0,01	1,08±0,24	0,55±0,25	–
♀	мелкие	0,32±0,08	0,44±0,15	1,91±0,29	0,29 (1 экз.)	0,53±0,14
	крупные	0,39±0,13	0,56±0,07	0,73 (1 экз.)	0,57 (1 экз.)	–

Примечание. *– отсутствие данных.

Сопоставление самцов и самок показывает, что относительный вес гонад заметно выше у готовых к нересту самок. Для не участвующих в нересте рыб такой тенденции не выявлено.

По результатам наблюдений за ихтиофауной приграничных с Финляндией и Норвегией субарктических озер Мурманской области установлена величина гонадосоматического индекса (коэффициента зрелости) у обыкновенного сига. Выявлена его вариабельность в зависимости от пола, размера, физиологического состояния и характеристик водоема. Полученные величины могут быть приняты за региональную «норму» и использоваться в целях решения задач полевой экологии и для биоиндикации.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме НИР FMEZ-2025-0061 «Оценка и прогноз состояния арктических пресноводных экосистем в условиях потепления климата и современных вариаций антропогенной нагрузки».

Литература

Королева И. М., Терентьев П. М. Природная вариабельность морфофизиологических индексов пресноводных рыб Мурманской области // Экология и эволюция: новые горизонты: материалы междунар. симп., посв. 100-летию академика С. С. Шварца (1–5 апреля, 2019 г., Екатеринбург), Екатеринбург: Гуманитарный ун-т, 2019. С. 244–246.

Правдин И. Ф,. Вопросы методики ихтиологических исследований // Известия Карело-Финского филиала АН СССР. Петрозаводск, 1951. № 3. С. 61–74.

ВЛИЯНИЕ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ НА ДИАТОМОВУЮ ФЛОРУ ОЗЕРА СЕМЕНОВСКОГО ЗА ПОСЛЕДНЕЕ СТОЛЕТИЕ (Г. МУРМАНСК) (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИАТОМОВОГО И ГЕОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗОВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ)

А. Л. Косова [1]*, Д. Б. Денисов [1], З. И. Слуковский [1, 2]

[1] Институт проблем промышленной экологии Севера — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки ФИЦ «Кольский научный центр РАН», Апатиты, Россия

[2] Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

** e-mail: annkosova1976@yandex.ru*

THE INFLUENCE OF THE URBAN ENVIRONMENT ON THE DIATOM FLORA OF LAKE SEMENOVSKOE OVER THE PAST CENTURY (MURMANSK) (BASED ON THE RESULTS OF DIATOM AND GEOCHEMICAL ANALYSES OF BOTTOM SEDIMENTS)

A. L. Kosova, D. B. Denisov, Z. I. Slukovskii

Исследованы исторические изменения таксономического состава и структуры диатомовых комплексов донных отложений оз. Семеновского, расположенного в черте г. Мурманска, за период с начала прошлого века до современности. Было выявлено 117 видов и внутривидовых таксонов из 46 родов. Последовательные трансформации экологической структуры диатомовых комплексов позволили выделить четыре периода развития экосистемы озера, отражающих изменения естественных условий под влиянием антропогенных факторов. Корректность выделения границ периодов подтверждают геохимические маркеры и данные о возрасте отложений. За исследованный период накопления отложений произошло снижение видового богатства, общей численности и изменение экологической структуры диатомовых комплексов в сторону увеличения планктонных алкалифильных видов. Выявлены исторические тренды увеличения значений pH, минерализации и трофического статуса водоема в ответ на загрязнение вод, обусловленное интенсивным развитием городской инфраструктуры и промышленного освоения региона.

Озера городских территорий подвержены интенсивному комплексному антропогенному воздействию. Активная хозяйственная деятельность человека в пределах урбанизированных территорий преобразует весь комплекс гидрологических, гидрохимических и гидробиологических процессов в водных экосистемах; вызывает химическое и тепловое загрязнение водоемов, увеличивает масштабы и темпы эвтрофирования, нарушает экологическое равновесие и процессы саморегулирования (Орехов, 2008).

Диатомовые водоросли являются чутким индикатором изменений параметров окружающей среды. Изучение особенностей состава, структуры и развития диатомовой флоры в донных отложениях представляет важную информацию при проведении палеоэкологических исследований. Мурманская область является ключевым регионом для палеоэкологических исследований из-за чувствительности арктических экосистем к изменениям окружающей среды и наличия мощного промышленного комплекса. Впервые для городских озер Мурманской области проведена реконструкция истории развития водоема методом диатомового анализа.

Объектом исследования послужило оз. Семеновское (68.99080° N, 33.08851° E), расположенное в центре г. Мурманска. Мурманск является самым крупным городом, расположенным за Северным полярным кругом, с населением 264 тыс. человек (41 % от всего населения Мурманской области). Город был основан в 1916 г. Молодой возраст города позволяет восстановить и проследить историю его развития.

Была изучена колонка донных отложений мощностью 43 см, отобранная в апреле 2019 г. гравитационным отборником Limnos. Подготовка проб для диатомового анализа выполнена по стандартной методике (Диатомовый анализ, 1949) с этапами прокаливания (550 °C) и окисления в автоклавах (Сандимиров и др., 2019). Время накопления донных отложений и скорость седиментации рассчитаны по методу неравновесного ^{210}Pb (Купцов, 1986).

В 24 образцах выявлено 117 таксонов диатомовых водорослей из 46 родов, 25 семейств. По результатам кластерного анализа выделено четыре экологические зоны, отражающие последовательную смену диатомовых сообществ. Динамика развития и смены диатомовых комплексов согласуется с историческими периодами развития г. Мурманска. За исследованный период (более 130 лет) выявлены кардинальные изменения экосистемы оз. Семеновского: переход от олиготрофного ацидофильного состояния к мезотрофному алкалифильному на фоне эвтрофирования и химического загрязнения.

Работа выполнена в Институте проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН в рамках тем НИР FMEZ-2025-0061 и FMEZ-2024-0014.

Литература

Диатомовый анализ. Л.: Госгеолиздат, 1949. Кн. 1. 240 с.; кн. 2. 238 с.

Купцов В. М. Абсолютная геохронология донных осадков океанов и морей. М.: Наука, 1986. 271 с.

Орехов Г. В. Водные объекты на урбанизированных территориях и инженерные системы замкнутого водооборота // Экология урбанизированных территорий. 2008. № 2. С. 88–93.

Сандимиров С. С., Кудрявцева Л. П., Даувальтер В. А. и др. Методы экологических исследований водоемов Арктики: монография. Мурманск: МГТУ, 2019. 180 с.

СОВРЕМЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ ОЗЕР ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

М. В. Косова [1]*, О. Ю. Деревенская [2], Е. Н. Унковская [3], О. В. Палагушкина [2], Н. В. Шурмина [1], Ф. М. Мухаметзянова [1], Ю. А. Игнатьев [1], В. В. Маланин [1], В. С. Валиев [1]

[1] Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, Россия
[2] Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
[3] Федеральное государственное бюджетное учреждение «Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник», Садовый, Россия

** e-mail: mary.burunina96.5@yandex.ru*

CURRENT HYDROCHEMICAL STATE AND PLANKTON COMMUNITIES STRUCTURE OF LAKES OF VOLZHSKO-KAMSKY NATURE RESERVE

M. V. Kosova, O. Yu. Derevenskaya, E. N. Unkovskaya, O. V. Palagushkina, N. V. Shurmina, F. M. Mukhametzyanova, Yu. A. Ignatiev, V. V. Malanin, V. S. Valiev

В озерах заповедника исследовались фито- и зоопланктон в комплексе с гидрохимическими показателями. В придонных слоях отмечались дефицит кислорода, присутствие сероводорода, высокие концентрации биогенных элементов и многократное превышение ПДК по тяжелым металлам. В зоопланктоне обнаружены 64 вида. Доминирующей группой являлись коловратки. Численность составляла 34,7–2285,4 тыс. экз./м^3, биомасса — 0,31–27,6 г/м^3. В фитопланктоне выявлены 100 таксонов. По численности лидировали зеленые, сине-зеленые и эвгленовые водоросли. Численность изменялась от 184 до 59 397 тыс. кл./л, биомасса — от 0,08 до 7,34 мг/л. Трофическая оценка водоемов различалась в зависимости от используемой группы гидробионтов: по фитопланктону (индекс трофности) большинство озер характеризовались как мезотрофные, тогда как по зоопланктону (индекс Шеннона) преобладали эвтрофные водоемы.

Водные объекты особо охраняемых природных территорий являются критически важными рефугиумами биоразнообразия и эталонами природных процессов. Однако в современных условиях испытывают антропогенное и климатическое воздействие, что обусловливает их повышенную реакцию на изменения температурного и гидрологического режима, трофического статуса. Для озер Раифского участка Волжско-Камского заповедника особую значимость имеют оценка устойчивости гидробиоценозов и выявление ранних признаков структурной перестройки водных сообществ в этих условиях. Цель работы — оценить гидрохимическое состояние и структурные показатели фито- и зоопланктона озер Раифского участка заповедника.

Комплексные исследования проводились на разнотипных озерах заповедника Раифское, Бело-Безводное (Белое), Линево, Илантово, Круглое, Крутое, Шатуниха, Гнилое, Долгое, Моховое и Торфяное в июле — августе 2023 г. на мониторинговых станциях.

Пробы воды на гидрохимический анализ отбирали с помощью батометра Молчанова. Анализ включал определение 24 ингредиентов по общепринятым в экологическом анализе методикам. Оценено содержание тяжелых металлов (меди, цинка, марганца, никеля, свинца). Всего обработано 18 проб.

Пробы фитопланктона отбирали при помощи батометра Молчанова в соответствии по общепринятой методике. Пробы фиксировались 40 %-ным формалином, концентрировались отстойным способом, просчитывались в камере Нажотта объемом 0,02 мл. Биомассу определяли общепринятым способом по объемам массовых видов водорослей.

Пробы зоопланктона отбирали при помощи сети Джеди с газом № 70 и диаметром входного отверстия 12 см. На глубоководных озерах пробы отбирали по горизонтам

(эпи-мета-гиполимнион), на мелководных — интегральные — от дна до поверхности; в прибрежной зоне озер — процеживанием 50 л воды через сеть Апштейна. Отобраны и обработаны 19 проб. Камеральная обработка включала определение видового состава зоопланктона, расчет численности, биомассы и биотических индексов.

Водородный показатель воды в озерах изменялся от слабокислой до слабощелочной реакции среды (5,39–8,18). В придонном слое многих озер зафиксирован дефицит растворенного кислорода — 0,76–5,02 мг/дм^3 (озера Белое, Линево, Гнилое, Долгое, Моховое и Круглое) и присутствие сероводорода и сульфидов — 0,007–0,215 мг/дм^3 (озера Белое, Линево, Гнилое, Долгое, Моховое). Отмечено повышенное содержание биогенных элементов на дне, в основном по аммоний-иону — 0,66–1,72 мг/дм^3 (озера Белое, Линево, Гнилое, Долгое и Моховое). Для всех водоемов отмечено устойчивое превышение $ПДК_{р.х.}$ по тяжелым металлам, в первую очередь по железу общему — до 100 $ПДК_{р.х.}$ (на дне оз. Линево), меди — до 5,3 $ПДК_{р.х.}$ (на дне оз. Илантово), а также по марганцу — до 14,8 $ПДК_{р.х.}$ (на дне оз. Гнилое) и свинцу — до 3,3 $ПДК_{р.х.}$ (на поверхности оз. Илантово) в отдельных водоемах, что обусловлено геохимическими особенностями региона.

В фитопланктоне озер заповедника было определено 100 таксонов рангом ниже рода из семи отделов. Наибольшее количество видов выявлено в оз. Круглое (35), наименьшее — в оз. Гнилое (5).

По численности преобладали зеленые (озера Раифское, Белое, Илантово, Моховое, Крутое, Шатуниха и Торфяное), эвгленовые (озера Белое, Моховое, Торфяное), диатомовые (оз. Долгое), динофитовые (оз. Моховое), сине-зеленые (озера Линево, Илантово, Круглое, Крутое, Шатуниха, Торфяное) и золотистые (оз. Гнилое) водоросли. Среди зеленых форм лидировали — *Phacotus coccifer* (оз. Раифское), эвгленовых — *Euglena viridis* и *Trachelomonas volvocina* (озера Белое, Моховое, Торфяное), диатомовых — *Aulacoseira granulata* (оз. Долгое), динофитовых — *Peridinium cinctum* (оз. Моховое), сине-зеленых — *Oscillatoria* sp. (оз. Линево), *Gomphosphaeria lacustris* (оз. Илантово), *Anabaena flos-aquae* (озера Круглое, Крутое), *Microcystis aeruginosa* (оз. Шатуниха), золотистых — *Mallomonas acaroides* (оз. Гнилое).

Численность фитопланктона менялась от 184 (оз. Долгое) до 59 397 тыс. кл./л (оз. Шатуниха), биомасса — от 0,08 (оз. Гнилое) до 7,34 мг/л (оз. Шатуниха).

По индексу трофности преобладающая часть озер отнесена к мезотрофным, олиготрофный статус характерен для озер Гнилое и Торфяное, эвтрофным — оз. Шатуниха.

В зоопланктоне озер заповедника было встречено 64 вида (39 — Rotifera, 19 — Cladocera, 9 — Copepoda). Наибольшее число видов выявлено в оз. Линево (26), наименьшее — в оз. Торфяное (4). В структуре зоопланктона в основном доминировали коловратки. Среди них чаще по численности преобладали виды *Keratella cochlearis* (озера Илантово, Долгое, Моховое, Круглое, Крутое), *Gastropus hyptopus* (озера Линево, Круглое), *Asplanchna priodonta* (озера Белое, Гнилое), *Keratella quadrata* (озера Раифское, Белое). По биомассе в отдельных озерах массово доминировали коловратки — *Asplanchna priodonta* (озера Белое, Илантово, Гнилое, Долгое), *Asplanchna girodi* (озера Гнилое, Моховое, Круглое) и веслоногие ракообразные — *Eudiaptomus graciloides* (озера Раифское, Шатуниха).

Численность зоопланктона варьировала от 34,7 (оз. Раифское) до 2285,4 тыс. экз./м^3 (оз. Белое), биомасса — от 0,31 (оз. Долгое) до 27,6 г/м^3 (оз. Гнилое).

По индексу Шеннона (H_N) большинство озер относились к эвтрофному типу (озера Белое, Илантово, Гнилое, Долгое, Моховое). Мезотрофный тип был характерен для озер Круглое, Шатниха, Крутое, олиготрофный — для озер Раифское и Линево.

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ПРЕССИНГА НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ВБЛИЗИ БЫВШЕГО РАДИЕВОГО ПРОМЫСЛА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Л. С. Кочева [1]*, Н. Г. Рачкова [2], Л. М. Шапошникова [2], А. П. Карманов [2], Г. В. Игнатьев [1]

[1] Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия
[2] Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

** e-mail: lskocheva@geo.komisc.ru*

HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF WATER RESOURCES UNDER ANTHROPOGENIC PRESSURE USING THE EXAMPLE OF OBJECTS LOCATED NEAR THE FORMER RADIUM ENTERPRISE IN THE KOMI REPUBLIC

L. S. Kocheva, N. G. Rachkova, L. M. Shaposhnikova, A. P. Karmanov, G. V. Ignatiev

В рамках комплексного изучения техногенных стрессовых воздействий на природные системы с целью экологического мониторинга и улучшения качества жизни населения северных территорий России, в том числе оценки динамики изменений и последствий, проведено изучение гидрохимических характеристик, содержания и фазового распределения радия-226, состава микропримесей в поверхностных и грунтовых водах вблизи бывшего радиевого промысла на территории Республики Коми.

Гидрогеохимический мониторинг экологического состояния речных бассейнов, расположенных в зоне влияния предприятий по добыче и переработке радиоактивного сырья, имеет важное значение для оценки степени техногенного воздействия на импактные территории и обеспечения безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов.

Нами проведена оценка содержания и межфазового распределения радия-226 в поверхностных и грунтовых водах в зоне влияния производственных объектов бывшего радиевого промысла, располагавшегося в период с 1931 по 1956 гг. на территории Ухтинского района Республики Коми.

Для решения поставленных задач исследованы воды, отобранные в зимний период 2020–2025 гг. из дренирующих территорий бывших химических заводов предприятия поверхностных водотоков (ручьев и оборудованных стоков) и из р. Ухты в ее импактном створе. Фоновая точка пробоотбора на реке располагается на 26 км выше по течению от ближайшего объекта промысла. При проведении исследований учитывалось, что радий-226 способен рассеиваться и мигрировать из очагов радиоактивного загрязнения в составе разнообразных природных растворов.

Ранее исследования показали высокую вариативность гидрохимического состава воды в зоне влияния бывшего предприятия по добыче радия. Концентрация кальция, магния, гидрокарбонатов, сульфатов и органического вещества, а также удельная электропроводность воды изменяются в течение года и в многолетней динамике. Удельная активность радия-226 и другие показатели соответствуют нормам радиационной безопасности для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового использования. Радий в основном находится в растворимой форме, но для речных вод выражен тренд на его перераспределение во взвешенное вещество, особенно в теплый период. Высокая минерализация воды весной усиливает гидрогенную миграцию радионуклида. Установлено: концентрация радия на взвешенных частицах связана с увеличением содержания железа и органического вещества в воде.

В настоящем исследовании определение концентрации элементов-примесей в десяти пробах природных вод, проведенное с использованием масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой Agilent 7700x (Agilent Technologies, США), подтвердило, что пробы существенно различаются по уровню минерализации и набору минеральных компонентов. Это наиболее характерно для грунтовых вод из скважин глубиной до 6 м и подземного стока с территории производственных объектов.

Исследованные пробы воды разделяются на три типа по уровню минерализации и набору микроэлементов: низкоминерализованные, умеренно минерализованные (табл.) и высокоминерализованные. Низкоминерализованные воды характеризуются стабильными концентрациями Ni (0,28–0,31 мг/л) и Mo (0,072–0,085 мг/л), что может служить региональным геохимическим критерием.

Средние содержания химических элементов-примесей в пробах умеренно минерализованных речных и грунтовых вод с территории вблизи участка хранения радиоактивных отходов, мг/л

Элемент	Речная вода № 14	Грунтовая вода № 18	Грунтовая вода № 15
Li	0,02	0,02	0,008
B	0,05	0,17	0,12
Sc	0,007	0,005	0,012
Ti	0,003	–	0,011
Cu	0,03	0,03	0,22
Rb	0,0008	0,003	0,15
Sr	0,93	1,5	1,7
Ag	–	–	0,0004
Cs	–	–	0,008
Ba	0,02	0,06	0,18
Zn	0,01	–	0,002
Mo	0,05	0,04	0,02

В высоко- и умеренно минерализованных водах отмечаются повышенные содержания таких элементов, как B, Sr, Ba, Rb, Cu, Ti, а также некоторых РЗЭ, в частности Sc. Обнаружены повышенные относительно речной системы содержания урана в грунтовых водах бывших производственных объектов промысла (№ 15 — 0,0069 мг/л U), что указывает на локальное урановое техногенное загрязнение. В целом широкий набор благородных и редких металлов в отдельных пробах (в основном высокоминерализованных) вызывает к ним интерес с точки зрения геохимических изысканий и изучения потенциала подземных вод района исследований в отношении благородных и редких металлов.

Результаты проведенных исследований способствуют прогнозированию техногенных последствий вследствие добычи и переработки радиоактивного сырья в регионах России, что важно для снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду и улучшения качества жизни населения северных территорий России.

Исследования проведены в рамках гос. задания Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Действие ионизирующего излучения и факторов нерадиационной природы на биологические объекты и биогенная миграция тяжелых естественных радионуклидов» № гос. рег. 122040600024-5 и госзадания Института геологии Коми НЦ УрО РАН «Развитие минерально-сырьевого комплекса Тимано-Североуральско-Баренцевоморского региона на основе эффективного прогноза, геологического моделирования, геолого-экономической оценки ресурсного потенциала и новых технологий переработки полезных ископаемых» № гос. рег. 122040600011-5 с использованием оборудования ЦКП «Геонаука».

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИРОДНЫХ ЗАКАЗНИКОВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

М. А. Краснова*, Е. В. Гайдукова

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург, Россия

** e-mail: krasmasha19@yandex.ru*

STUDYING THE FEATURES OF WATER BODIES IN NATURAL RESERVES OF THE LENINGRAD REGION

M. A. Krasnova, E. V. Gaidukova

Представлены рекогносцировочные исследования, произведенные на особо охраняемых природных территориях Ленинградской области. В ходе полевых исследований 2025 г. получены данные по основным гидрохимическим показателям водных объектов в различные сезоны года. Проведены исследования на реках Тосна и Луга. Планируется продолжение экологического мониторинга в 2026 г. для создания расширенной базы данных. Результаты исследования важны для оценки экологического состояния водных объектов особо охраняемых природных территорий и прогнозирования их изменений.

В научных статьях, посвященных территории Ленинградской области, уделяется внимание проблемам экологического состояния атмосферы, гидросферы, почвенного покрова, флоры и фауны. Особое место занимают вопросы, касающиеся экологического состояния особо охраняемых природных территорий (ООПТ), однако количество таких публикаций невелико (Краснова, Гайдукова, 2005).

Также, безусловно, рассматриваются вопросы совместного развития ООПТ и малых населенных пунктов. Например, природный заказник «Шалово-Перечицкий» относится к типу территорий, где населенный пункт полностью включен в границы ООПТ. В то же время границы заповедника «Лисинский» имеют сложную конфигурацию, и населенный пункт не входит в его состав. Эти особенности непосредственно влияют на состояние экосистемы заповедника (Веретенникова, Дмитриев, 2023). Например, в исследовании (Симонова и др., 2025) отмечается, что территория заказника «Шалово-Перечицкий» характеризуется камовым рельефом, наличием озер и разнообразием лесов, среди которых встречаются исключительно редкие для области сухотравные боры.

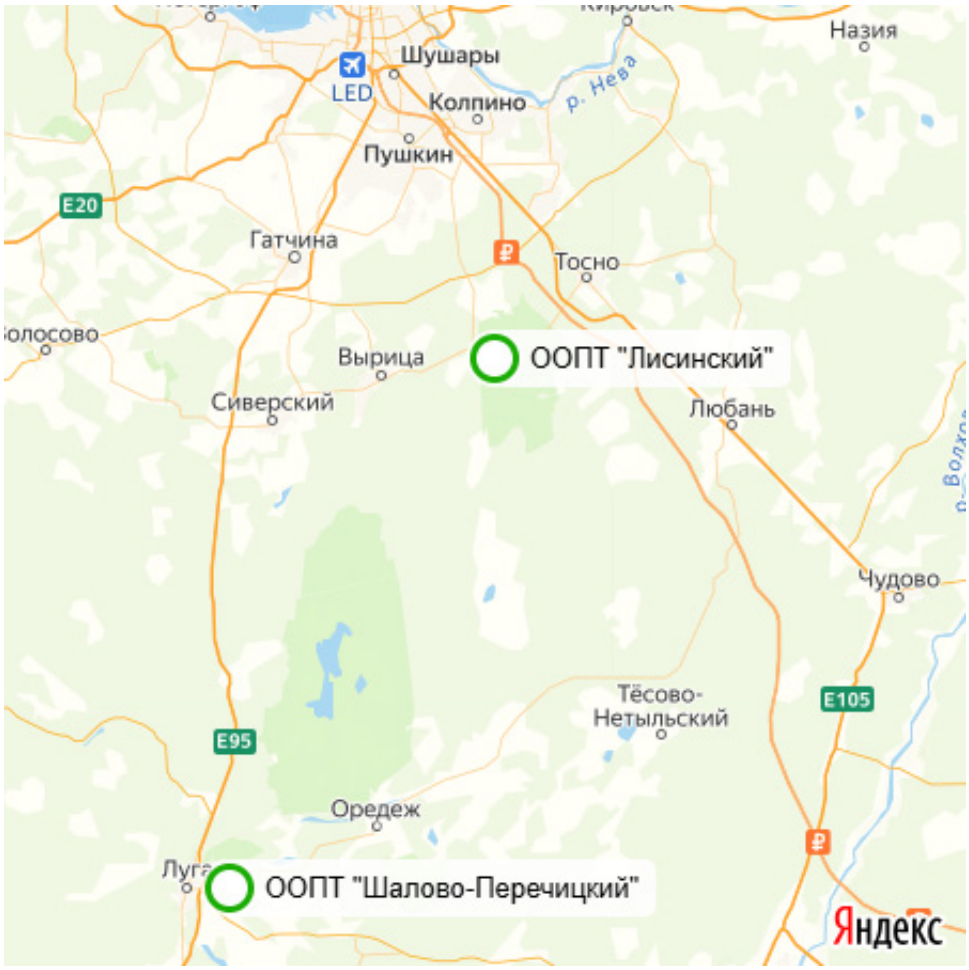
Установлено, что в альфегумусовых почвах Лужского района валовое содержание тяжелых металлов в разы ниже гигиенических нормативов (минимум в два раза, максимум — в сотни раз). При этом содержание подвижного цинка было существенно выше именно в лесных почвах за счет органогенных и отчасти аккумулятивно-гумусовых горизонтов. Доля подвижных форм цинка достигала 50 % от валового содержания в органогенных горизонтах.

В 2025 г. были произведены выезды в два заповедника: «Лисинский», находящийся на территории Тосненского района, и «Шалово-Перечицкий», находящий в районе Лужского района. Их местоположение обозначено на рис.

Конкретные исследования водных объектов на территории природных заказников, посвященные их гидрологическим и гидрохимическим характеристикам, отсутствуют. Имеющиеся научные работы, как правило, не затрагивают изучения специфики водных объектов.

В ходе полевых исследований были получены данные по основным гидрохимическим показателям в осенне-зимний и летний периоды для ООПТ «Шалово-Перечицкий», а также в летний период для ООПТ «Лисинский» (Краснова и др., 2026).

В 2026 г. планируется проведение очередных выездов в летне-осенний период с целью пополнения базы данных по гидрохимическим показателям рек Тосна и Луга, протекающих по территории заповедников.



Местоположение ООПТ «Лисинский» и «Шалово-Перечицкий»

Основными задачами дальнейших исследований являются мониторинг гидрохимических характеристик, выявление их особенностей и зависимостей от водности территории, а также последующая разработка методов прогнозирования.

Значимость данных перспективных исследований заключается в формировании научной основы для разработки эффективных стратегий управления и охраны водных ресурсов особо охраняемых природных территорий Ленинградской области. Мониторинг гидрохимического состояния позволяет своевременно выявлять негативные антропогенные воздействия, оценивать устойчивость экосистем к климатическим изменениям и принимать обоснованные управленческие решения.

Литература

Веретенникова К. В., Дмитриев И. С. Особенности совместного развития особо охраняемых природных территорий и прилегающих к ним населенных пунктов Ленинградской области // Урбанистика. 2023. № 2. С. 84–96.

Краснова М. А., Гайдукова Е. В. Экологический мониторинг водосборов рек Ленинградской области // Инженерная гидрология – 2025: коллективная монография по материалам междунар. конф. Казань: ООО «Бук», 2025. С. 93–98.

Краснова М. А., Мирзалиев М. Н., Гайдукова Е. В. Изучение гидрохимических особенностей водных объектов Ленинградской области // Шестые Виноградовские чтения. Гидрология нового поколения: сб. докл. междунар. науч. конф. памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова, Санкт-Петербург, 13–19 октября 2025 года. СПб.: ООО «Издательство ВВМ», 2026. С. 433–436.

Симонова Ю. В., Кивович Д. П., Русаков А. В., Гостинцева Е. В. Фоновое содержание тяжелых металлов и металлоидов для оценки загрязнения почв при проведении инженерно-экологических изысканий и мониторинга (на примере альфегумусовых почв Лужского района Ленинградской области) // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. Науки о Земле. 2025. 70 (3). С. 493–520.

ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАРСКОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ (ЕВРОПЕЙСКАЯ АРКТИКА)

С. Б. Крашенинникова [1]*, А. А. Сысоев [1], И. В. Сысоева [1], М. И. Силаков [1], А. В. Темных [1], Н. И. Копытина [1, 2], В. В. Законнов [1,2]

[1] ФИЦ Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия
[2] Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

** e-mail: svetlanabk@mail.ru*

HYDROBIOLOGICAL STUDIES OF THE KARA AND BARENTS SEAS (EUROPEAN ARCTIC)

S. B. Krasheninnikova, A. A. Sysoev, I. V. Sysoeva, M. I. Silakov, A. V. Temnykh, N. I. Kopytina, V. V. Zakonnov

Представлены результаты гидробиологических исследований в Карском и Баренцевом морях в полярную ночь (2023 г.) и полярный день (2024 г.). Впервые для региона определены стадии зрелости фитопланктона по гетеротрофно-фотоавтотрофному индексу, выявлена его адаптивность к сезонным изменениям. Получены данные о биолюминесценции гребневиков, медуз и сифонофор в зависимости от стимуляции. Исследована структура микромицетов донных отложений: в илистых грунтах доминируют *Penicillium* и *Aspergillus*, их численность выше на мелководье, что связано с гранулометрией и содержанием органики.

Изучение планктонных сообществ морей Европейской Арктики актуально в связи с климатическими изменениями, так как они служат индикаторами состояния экосистем. Фитопланктон — ключевое звено трофической сети, концентрация хлорофилла *a* — показатель биопродуктивности, а численность, биомасса и видовой состав дополняют оценку экологической ситуации. Для комплексного анализа применяются АТФ-люминесценция (аденозинтрифосфат) (оценка биомассы и сукцессий), биохимические методы, а также измерения продукции и деструкции органического вещества.

Многие желетелые организмы (гребневики, медузы, оболочники) биолюминесцируют, что позволяет оценивать их физиологическое состояние и распределение в толще воды.

Микобиота донных отложений морей Арктики слабо изучена. Одним из основных факторов, определяющих пространственную неоднородность бентосных организмов, выступает структура донных осадков.

Цель работы — исследовать особенности пространственного распределения и стадии зрелости сообщества фитопланктона в морях Европейской Арктики (Карском и Баренцевом) с учетом влияния абиотических факторов среды в разные сезоны; изучить биолюминесцентную реакцию желетелого зоопланктона; исследовать структуру микромицетов в донных отложениях разного гранулометрического состава.

Исследования фитопланктона, биолюминесценции желетелых видов и грибов в донных отложениях проведены в 93-м (полярная ночь, ноябрь — декабрь 2023 г.) и 96-м (полярный день, июль — август 2024 г.) рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш». Макрозоопланктон собирали сетью ИКС-80, живые организмы акклиматизировали при 14–16 °С. Биолюминесценцию стимулировали механически (турбулентность) и химически (этанол) с использованием комплекса «Свет». Гидрологические параметры оценивали по данным GLORYS12v1.

Впервые для акватории Карского и Баренцева морей определены стадии зрелости фитопланктонного сообщества с использованием гетеротрофно-фотоавтотрофного индекса. Установлено, что в прибрежных водах Ямала и Байдарацкой губы сформировано смешанное сообщество (миксотрофы: автотрофные диатомеи и гетеротрофные динофлагелляты), тогда как у побережья Новой Земли доминирует развитое гетеротрофное сообщество (динофлагелляты). Установлено, что микропланктон Европейской Арктики демонстрирует высокую адаптивность к сезонным изменениям абиотических факторов.

Были получены данные о параметрах биолюминесценции двух видов гребневиков из родов *Beroe* и *Pleurobrachia*, гидромедузы рода *Euphysa* и сифонофоры из рода *Lensia*. Биолюминесцентный отклик у гребневика из рода *Mertensia* не выявлен в температурных условиях эксперимента. Самый длительный биолюминесцентный сигнал — до 60 сек — зарегистрирован у сифонофор. Импульс с максимальной энергией — амплитудой сигнала — узкий и не превышает по длительности 0,1 сек. У гребневиков и медуз диапазон длительности сигнала находится в пределах от 1 до 6 сек. У представителей рода *Beroe* при обоих видах стимуляции длительность сигнала одинакова, но энергетические показатели биолюминесцентного сигнала при химической стимуляции намного выше, чем при механической. У гидромедуз рода *Euphysa* параметры биолюминесцентного отклика зависят как от длительности экспозиции в темноте, так и от вида стимуляции. При небольшой экспозиции в темноте уровень амплитуды при механической стимуляции в 3–5 раз ниже, чем при длительной. При длительной экспозиции (более 3 ч) биолюминесцентный отклик на химическую стимуляцию часто отсутствует. У представителей гребневиков рода *Pleurobrachia* энергия сигнала самая низкая по сравнению с остальными исследуемыми желетелыми.

Исследование грибов Карского моря в илистых грунтах на 11 станциях в ноябре 2023 г. (рейс № 93 НИС «Академик Мстислав Келдыш») подтвердило, что в морях Арктики в видовом составе преобладают представители класса Eurotiomycetes (*Penicillium* — 12 видов и *Aspergillus* — 5). Выявлено, что на структуру комплексов грибов влияет средний диаметр частиц ($d_{сред}$), содержание (%) песка, пелита, органического вещества (ОВ) и органического углерода ($C_{орг}$) (коэффициенты ранговой корреляции Спирмена ρ = 0,582–0,661). В осадках на глубине < 40 м фракция пелита составляла (0,4–19,4 %), ОВ (0,6–1,9 %), $C_{орг}$ (0,3–1,1 %), а средний диаметр частиц $d_{сред}$ = 0,07–0,27 мм, средняя численность (456 ± 173 КОЕ/г сух. грунта ± стандартное отклонение) и количество морфотипов грибов (23, по станциям 6 ± 1) было выше в 2,4–4,0 раза, чем в осадках на глубинах 122–251 м. В видовом составе доминировали мицелиальные грибы. Глубоководные осадки характеризовались высоким содержанием фракции пелита (45,4–55,5 %), а также ОВ (7,2–12,1 %), $C_{орг}$ (4,0–6,7 %), которые были представлены желеподобной массой в составе фракции песка. В осадках доминировали дрожжи и виды рода *Penicillium.* Аналогичные исследования проводили и в 96 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш».

Авторы выражают благодарность начальнику экспедиции к. г.-м. н. М. Д. Кравчишиной (ИО РАН) и всему научному составу и экипажу 93-го, 96-го рейсов НИС «Академик Мстислав Келдыш» за всестороннюю поддержку научных исследований.

Работа выполнялась по темам государственного задания ФИЦ ИнБЮМ (№ 124030100137-6), Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН (№ 124032500012-6, 124032100076-2).

НОВЫЕ ДАННЫЕ О РАННЕГОЛОЦЕНОВОЙ РЕГРЕССИИ БЕЛОГО МОРЯ: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ НОВОГО РАЗРЕЗА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА БОЛЬШОЕ КОРЗИНО (СОЛОВЕЦКИЙ АРХИПЕЛАГ)

Ю. А. Кублицкий [1]*, М. И. Христев [1], М. С. Потахин [2], Д. Н. Левкова [1], А. В. Орлов [1], В. В. Брылкин [1], А. В. Пронина [2], А. В. Лудикова [3], П. А. Леонтьев [1], Д. Д. Кузнецов [3], Д. А. Субетто [1], Н. А. Белкина [2]

[1] *Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия*

[2] *Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия*

[3] *Институт озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия*

** e-mail: uriy_87@mail.ru*

NEW DATA ON THE EARLY HOLOCENE REGRESSION OF THE WHITE SEA: RESULTS OF THE STUDY OF THE NEW SEDIMENT SEQUENCE FROM LAKE BOLSHOYE KORZINO (SOLOVETSKY ARCHIPELAGO)

Yu. A. Kublitskiy, M. I. Khristev, M. S. Potakhin, D. N. Levkova, A. V. Orlov, V. V. Brylkin, A. V. Pronina, A. V. Ludikova, P. A. Leontiev, D. D. Kuznetsov, D. A. Subetto, N. A. Belkina

Озеро Большое Корзино на Соловецком архипелаге является самым высоко расположенным изолированным бассейном, в донных отложениях которого ранее были обнаружены свидетельства трансгрессии среднего голоцена (Тапес). В рамках полевых работ 2025 г. отобрана новая колонка донных отложений, в которой вскрыта осадочная последовательность, отражающая раннеголоценовый этап регрессии уровня Белого моря, ранее не документированный для изучаемого региона. Полученные материалы создают основу для уточнения хронологии раннеголоценовой регрессии и дополняют региональные модели изменения относительного уровня моря.

Изолированные бассейны являются ключевыми архивами постледниковых колебаний относительного уровня моря и широко используются для реконструкции голоценовой истории побережий, испытывавших гляциоизостатические движения. Для Карело-Кольского берега и Онежского полуострова выделены два трансгрессивно-регрессивных цикла: позднеледниковая трансгрессия, раннеголоценовая регрессия, среднеголоценовая трансгрессия Тапес и последующая регрессия (Колька, Корсакова, 2017; Корсакова, 2022; Леонтьев и др., 2022; Kublitskiy et al., 2023; Лудикова и др., 2025). В донных отложениях озер Соловецкого архипелага ранее надежно фиксировались только среднеголоценовая трансгрессия Тапес и начавшееся в среднем голоцене непрерывное понижение относительного уровня моря (Субетто и др., 2012; Кузнецов и др., 2022; Ludikova et al., 2023), тогда как позднеледниковая трансгрессия и раннеголоценовая регрессия по озерным разрезам до настоящего времени не были идентифицированы.

Для выявления наиболее древних стадий изменения уровня Белого моря на Соловецком архипелаге выбран изолированный бассейн оз. Большое Корзино, расположенный на высоте 17 м над у. м. Нижняя часть колонки его донных отложений ранее интерпретировалась как свидетельство трансгрессии Тапес (Субетто и др., 2012). Высокое положение порога стока озера позволяет ожидать минимальную мощность среднеголоценовых морских осадков, что увеличивает вероятность пройти через эту толщу к осадкам более ранних стадий.

В апреле 2025 г. в наиболее глубокой части озера отобрана колонка БК2. Разрез мощностью 1,85 м (интервал ~6,85–5,00 м по глубине отбора) представлен снизу вверх

темно-серыми тонкослоистыми алевритами с примесью мелкого песка, коричневым торфом, коричневой гиттией, глинистыми алевритами и коричневой гиттией. Сходная осадочная последовательность отмечалась в изолированных бассейнах Онежского полуострова (Леонтьев и др., 2022; Kublitskiy et al., 2023), где зафиксированы стадии позднеледниковой трансгрессии, раннеголоценовой регрессии и среднеголоценовой трансгрессии Тапес с последующей регрессией. Нижние алевриты предварительно интерпретируются как осадки морского или ледниково-морского бассейна, торфянистый прослой и гиттия — как отложения стадии изоляции и регрессии раннего голоцена, вышележащий глинистый алеврит представляет собой осадки морской трансгрессии Тапес, верхняя гиттия соответствует пресноводным условиям.

Для образцов колонки выполняются гранулометрический анализ и анализ потерь при прокаливании для оценки распределения размерности фракций, содержания органического вещества и карбонатов. Радиоуглеродное датирование торфянистого горизонта и гиттии позволит привязать выделенные фации к абсолютной хронологии и соотнести их с региональными этапами колебаний уровня Белого моря (Колька, Корсакова, 2017; Корсакова, 2022; Лудикова и др., 2025). Полученные данные создают основу для надежного выделения на Соловецком архипелаге раннеголоценового регрессивного этапа и начала трансгрессии Тапес по материалам донных отложений оз. Большое Корзино и сопоставления локальной кривой относительного уровня моря с региональными моделями для Белого моря.

Работа выполнена в рамках темы НИР ИВПС КарНЦ РАН «Состояние прибрежной экосистемы Белого моря в пределах Соловецкого архипелага» (FMEN 2024-0016).

Литература

Колька В. В., Корсакова О. П. Восстановление относительного положения уровня Белого моря в позднеледниковье и голоцене по данным литологического, диатомового анализов и радиоуглеродного датирования донных отложений озер // Геоморфология. 2015. № 4. С. 15–28.

Колька В. В., Корсакова О. П. Положение береговой линии Белого моря и неотектонические движения на северо-востоке Фенноскандии в позднеледниковье и голоцене // Система Белого моря. Т. IV. Процессы осадкообразования, геология и история. М.: Научный мир, 2017. С. 222–249.

Корсакова О. П. Побережье Белого моря в пределах Фенноскандинавского кристаллического щита в неоплейстоцене и голоцене // Известия РАН. Серия географическая. 2022. Т. 86, № 6. С. 883–897.

Кузнецов Д. Д., Лудикова А. В., Субетто Д. А. и др. Хроно- и литостратиграфия озерных отложений острова Анзер (Соловецкие острова) в контексте послеледниковой истории Белого моря // Известия РАН. Серия географическая. 2022. Т. 86, № 6. С. 914–932.

Леонтьев П. А., Субетто Д. А., Репкина Т. Ю. и др. Реконструкция относительного перемещения уровня моря в голоцене на северо-западе Онежского полуострова (губа Конюхова, Белое море) на основе палеолимнологических исследований // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86, № 6. С. 933–945.

Лудикова А. В., Субетто Д. А., Кузнецов Д. Д., Леонтьев П. А. Изменения относительного уровня Белого моря в южной части Онежского залива в позднеледниковье — голоцене // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2025. Т. 522, № 2. С. 275–285.

Субетто Д. А., Шевченко В. П., Лудикова А. В. и др. Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления // ДАН. 2012. Т. 446, № 2. С. 183–190.

Kublitskiy Y., Repkina T., Leontiev P. et al. Reconstruction of relative sea-level changes based on a multiproxy study of isolated basins on the Onega Peninsula (White Sea, Northwestern Russia) // Quaternary International. 2023. Vol. 644–645. P. 79–95.

Ludikova A. V., Subetto D. A., Kuznetsov D. D., Sapelko T. V. From a large basin to a small lake: Siliceous microfossils stratigraphy of the isolation basins on Big Solovetskiy Island (the White Sea, NW Russia) and its implication for paleoreconstructions // Quaternary International. 2023. Vol. 644–645. P. 61–78.

РЕЗКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ ОБСТАНОВОК В ОТЛОЖЕНИЯХ МАЛЫХ ОЗЕР ПРИЛАДОЖЬЯ КАК ИНДИКАТОР ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ ГОЛОЦЕНА

Д. Д. Кузнецов*, А. В. Лудикова

Институт озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

** e-mail: dd_kuznetsov@mail.ru*

RAPID CHANGES IN SEDIMENTATION ENVIRONMENTS IN SMALL LAKES IN THE LADOGA REGION AS AN INDICATOR OF THE SHORELINE DISPLACEMENT OF LAKE LADOGA IN THE SECOND HALF OF THE HOLOCENE

D. D. Kuznetsov, A. V. Ludikova

Резкая смена условий осадконакопления, фиксируемая по изменению литологического состава и состава диатомовых комплексов отложений из малых озер Приладожья, рассматривается как индикатор перемещения береговой линии Ладожского озера во второй половине голоцена. Приводится сводка датированных разрезов. Недавно полученные радиоуглеродные датировки из горизонтов, маркирующих понижение уровня Ладожского озера, составляют около 4000 кал. л. н.

Возникновение р. Невы в финальную стадию ладожской трансгрессии — точка зрения, преобладающая в региональных палеогеографических исследованиях. При этом высказываются и альтернативные гипотезы о возникновении р. Невы после спуска Балтийского ледникового озера на рубеже позднеледниковья — голоцена. Одним из аргументов в пользу катастрофически быстрого завершения Ладожской трансгрессии, вызванного прорывом р. Невы, служит относительно синхронное возникновение в Приладожье малых озер на месте палеозаливов Ладожского озера, что свидетельствует о резком понижении уровня последнего. При реконструкции изоляционных событий основным методическим подходом является изучение стратиграфии озерных отложений, диатомовый анализ и радиоуглеродное датирование переходных горизонтов (так называемый метод изоляционных бассейнов).

Первый крупный массив датировок по изоляции малых озер получен на внутренних озерах островов Кильпола и Валаам, что позволило оценить возраст образования р. Невы в ~3300–3400 кал. л. н. (Saarnisto, Grönlund, 1996; Saarnisto, 2012). Быстрый переход от ладожских отложений к отложениям малого озера однозначно выявлен в озерах Узловом (северо-западное Приладожье) и Св. Сергия (о. Путсари), однако они недостаточно надежно датированы (Лудикова и др., 2005; Dolukhanov et al., 2010). Время образования малых озер на трассе палеопролива в северной части Карельского перешейка (прекратившего свое существование после образования р. Невы) оценивается в ~3000–3500 кал. л. н., при этом начало изоляционного процесса датировано возрастом 4000–4500 кал. л. н. (Кузнецов и др., 2022; Ludikova et al., 2024).

Изоляция палеозаливов может объясняться не только падением уровня Ладожского озера, но и поднятием территории. Но поскольку скорость и амплитуда гляциотектонического поднятия уменьшается с северо-запада на юго-восток, в случае такого сценария должна отмечаться значительная асинхронность времени возникновения малых озер, расположенных в различных частях Приладожья и на различных абсолютных отметках. Однако к настоящему времени количества датированных озерных разрезов для полноценной реконструкции пространственно-временного хода изоляции ладожских палеозаливов недостаточно.

За последние годы нами изучено несколько новых разрезов, получено несколько радиоуглеродных дат из горизонтов с резкой сменой седиментационных условий по колонкам

малых озер Приладожья и Карельского перешейка, а также собственно ладожской котловины. Резкая перестройка условий осадконакопления, интерпретируемая как понижение уровня Ладожского озера, отмечена около 4000 кал. л. н. в колонках из Сортавальского залива и оз. Лавиярви в северном Приладожье и из южной части ладожской акватории. Этот возраст несколько древнее приводимого в (Saarnisto, Grönlund, 1996; Saarnisto, 2012), однако лучше согласуется с результатами, полученными по озерам Гейниокского палеопролива (Кузнецов и др., 2022).

Исследование проведено в рамках государственного задания Института озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН № FFZF-2024-0001.

Литература

Кузнецов Д. Д., Субетто Д. А., Лудикова А. В. Соединение Ладожского озера с Балтийским морем в позднем голоцене — новые палеолимнологические данные // Доклады РАН. Науки о Земле. 2022. Т. 506, № 1. С. 111–116.

Лудикова А. В., Субетто Д. А., Давыдова Н. Н. и др. Колебания уровня Ладожского озера в голоцене (на основе палеолимнологических исследований оз. Святого Сергия на о. Путсаари) // Известия РГО. 2005. Т. 137, вып. 6. С. 34–41.

Dolukhanov P. M., Subetto D. A., Arslanov Kh. A. et al. Holocene oscillations of the Baltic Sea and Lake Ladoga levels and early human movements // Quaternary International. 2010. Vol. 220. P. 102–111.

Ludikova A. V., Subetto D. A., Kuznetsov D. D. et al. New diatom and sedimentary data confirm the existence of the northern paleo-outlet from Lake Ladoga to the Baltic Sea // Quaternary. 2024. Vol. 7: 31.

Saarnisto M. Late Holocene land uplift/neotectonics on the island of Valamo (Valaam), Lake Ladoga, NW Russia // Quaternary International. 2012. N 260. P. 143–152.

Saarnisto M., Grönlund T. Shoreline displacement of Lake Ladoga — new data from Kilpolansaari // Hydrobiologia. 1996. Vol. 322. P. 205–215.

ВОДНО-БОЛОТНЫЕ УГОДЬЯ КАРЕЛИИ, ИХ РАЗНООБРАЗИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ

О. Л. Кузнецов

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

e-mail: kuznetsov@krc.karelia.ru

WETLANDS OF KARELIA: DIVERSITY AND FUNCTIONING

O. L. Kuznetsov

Водно-болотные угодья (ВБУ) объединяют широкий набор биотопов, играющих важную роль для водоплавающих птиц в период их миграций, а также мест гнездования. В бореальной зоне это различные водоемы и их побережья, а также все типы болот и заболоченных земель. В Карелии ВБУ занимают более 30% территории, они имеют значительные различия в функционировании. Мелководные и малые озера с развитой водной растительностью служат кормовыми и гнездовыми угодьями для птиц. Приморские ВБУ — это места стоянок и кормежки птиц на пролете. Травяные и моховые болота аккумулируют углерод в торфе.

Водно-болотные угодья (ВБУ), согласно Рамсарской конвенции 1971 г., включают очень широкий спектр биотопов (Водно-болотные…, 1998). Конвенция в первую очередь направлена на охрану ВБУ, имеющих важное значение для охраны водоплавающих птиц в местах их стоянок во время миграций, а также гнездований, поэтому их классификация фактически тополого-гидрологическая, признаки растительности биотопов в ней слабо отражены. Она содержит два уровня, главные это морские (прибрежные), внутренние и ВБУ, в каждом из которых выделены типы, имеющие буквенные шифры и очень краткие названия и характеристики. Отдельно выделены антропогенные ВБУ. Водные объекты в состав ВБУ включаются до глубин не более 6 м.

На территории Карелии представлен весь спектр ВБУ, встречающихся в таежной зоне. На побережье Белого моря это приливно-отливная зона и разнообразные марши и мелководья, играющие важную роль в продукционных процессах, а также являющиеся стоянками для птиц во время миграций. Внутренние ВБУ включают многочисленные неглубокие озера, а также мелководья (до 6 м) средних и крупных озер, реки и водотоки, и все разнообразие болот. В совокупности все типы ВБУ занимают в Карелии более 30% территории, значительно различаются по своему функционированию и роли в жизни водоплавающих птиц.

В функционировании озерных экосистем имеются значительные различия в зависимости от их типов и гидрологического режима. На прибрежных мелководных участках и малых проточных озерах хорошо развита водная и прибрежно-водная растительность, вносящая вклад в продуцирование органического вещества и осадконакопление. В таких водоемах часто гнездятся и кормятся водоплавающие птицы. В олиготрофных водоемах тектонического генезиса часто почти нет водной растительности, в них происходит отложение сапропелей различного состава. Акватории крупных озер, а также их побережья служат стоянками птиц во время миграций. В дистрофных полигумозных водоемах, в основном окруженных болотами и часто бессточных, происходит накопление торфянистых отложений за счет размыва берегов.

Бореальные болота в международной классификации (Водно-болотные…, 1998) отнесены к нескольким классам, которые с позиций болотоведения неудачные и слабо отражают специфику их функционирования (Кузнецов, 2025), а в российской классификации ВБУ выделено всего два класса болот: низинные и верховые.

Класс **Тр** включает постоянные пресноводные болота, а также мелководные водоемы, обводненные большую часть вегетационного периода — это фактически стадия зарастания мелководных водоемов в процессе формирования приозерных травяных болот. Они включаются в болотоведческих классификациях в класс низинных травяных болот (Юрковская, 1992; Кузнецов, 2017). На них происходит накопление низинных травяных торфов.

Класс **U** назван как безлесные торфяники, включая кустарниковые. Это очень широкое определение позволяет включить в него все типы открытых (безлесных и слабо облесенных) болот, встречающихся во всех природных зонах России. Это все типы верховых и переходных сфагновых болот, низинных травяных и травяно-гипновых за исключением пойменных, отнесенных в классы **Tp** и **Ts**. Среди них болотоведами и выделяются несколько типов — это кустарниковые, сфагновые верховые и переходные, низинные травяные и травяно-моховые (кроме пойменных) и аапа болота (Юрковская, 1992; Кузнецов, 2025). Эти типы болот характеризуются активным торфонакоплением и связыванием углерода в торфяных залежах и играют важную роль в регулировании углеродного баланса в атмосфере.

В Карелии преобладают болота верхового сфагнового и аапа типов, они часто образуют сложные системы разной площади. Такие болота служат как стоянками для птиц во время миграций, так и местами гнездований. Ряд болот Карелии включен в Теневой (перспективный) список ВБУ международного значения России (Водно-болотные…, 2000) и Перечень ключевых орнитологических территорий. К сожалению, за последние 30 лет в России не учреждено ни одного ВБУ международного или национального значения и до сих пор не разработана правовая база их охраны.

Классы **Xf**, **Xp** названы как пресноводные лесные ВБУ (**Xf**) и лесные торфяники (**Xp**), они включают как пойменные лесные болота (в первую очередь в России это черноольховые), так и лесные болота, функционирующие без воздействия весенних разливов (Пьявченко, 1963). Сюда же отнесены мелкозалежные заболоченные леса. Эти типы болот и заболоченные леса распространены по всей бореальной зоне, занимают они большие площади и в Карелии. Лесные болота вне пойм имеют разный генезис и высокое типологическое разнообразие в зависимости от условий водно-минерального питания и характеризуются медленным накоплением нормальнозольных (до 12 %) торфов (Кутенков, Кузнецов, 2013). В пойменных черноольшаниках часто формируются торфяно-минеральные отложения.

Литература

Водно-болотные угодья России. Том 1. Водно-болотные угодья международного значения (под общ. ред. В. Д. Кривенко). М.: Wetlands International Publication, 1998. № 47. 256 с.

Водно-болотные угодья России. Том 3. Водно-болотные угодья, внесенные в перспективный список Рамсарской конвенции (под общ. ред. В. Д. Кривенко). М.: Wetlands International Global Series, 2000. 490 с.

Кузнецов О. Л. Разнообразие болотных экосистем в составе водно-болотных угодий и особенности их функционирования: материалы III междунар. конф. «Озера Евразии: проблемы и пути решения, Казань, 20–23 мая 2025 г.». Казань, 2025. С. 105–108.

Кузнецов О. Л. Разнообразие типов болот таежной зоны Европейского Севера России // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее: материалы Пятого междунар. полевого симп. (Ханты-Мансийск, 19–29 июня 2017 г.). Томск: ТГУ, 2017. С. 26–28.

Кутенков С. А., Кузнецов О. Л. Разнообразие и динамика заболоченных и болотных лесов Европейского Севера России // Разнообразие и динамика лесных экосистем / под ред. акад. А. С. Исаева. Книга 2. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2013. С. 152–204.

Пьявченко Н. И. Лесное болотоведение. М.: АН СССР, 1963. 192 с.

Юрковская Т. К. География и картография растительности болот европейской России и сопредельных территорий. СПб., 1992. 256 с.

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДА И ПАРАМЕТРЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕР ЗОН СПЛОШНОЙ И ПРЕРЫВИСТОЙ МЕРЗЛОТЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Д. Г. Курашев*, Р. М. Манасыпов

Томский государственный университет, Томск, Россия

**e-mail: danil_kurashev@mail.ru*

CARBON ISOTOPE COMPOSITION AND ORGANIC MATTER TRANSFORMATION IN LAKE SEDIMENTS OF CONTINUOUS AND DISCONTINUOUS PERMAFROST ZONES, WESTERN SIBERIA

D. G. Kurashev, R. M. Manasypov

Проведен сравнительный анализ содержания углерода (C, %), отношения C/N и изотопного состава $\delta^{13}C$ в донных отложениях термокарстовых озер зон прерывистой и сплошной мерзлоты Западной Сибири. В зоне прерывистой мерзлоты $\delta^{13}C$ закономерно облегчается с увеличением площади озера (от –24,6 до –29,2 ‰). В зоне сплошной мерзлоты — противоположный тренд: наиболее легкие значения $\delta^{13}C$ (до –33,4 ‰) зафиксированы в малом озере.

В условиях глобального потепления динамика площадей термокарстовых озер в криолитозоне Западной Сибири претерпевает значительные изменения, что напрямую влияет на региональный углеродный баланс. Современные исследования показывают, что озера этого региона являются источниками выбросов парниковых газов в атмосферу, при этом интенсивность этих потоков тесно связана с гидрохимическим режимом и стадией развития водоема. Минерализация органического вещества (ОВ) является ключевым процессом в донных отложениях (Audry et al., 2011; Serikova, 2019; Manasypov et al., 2020).

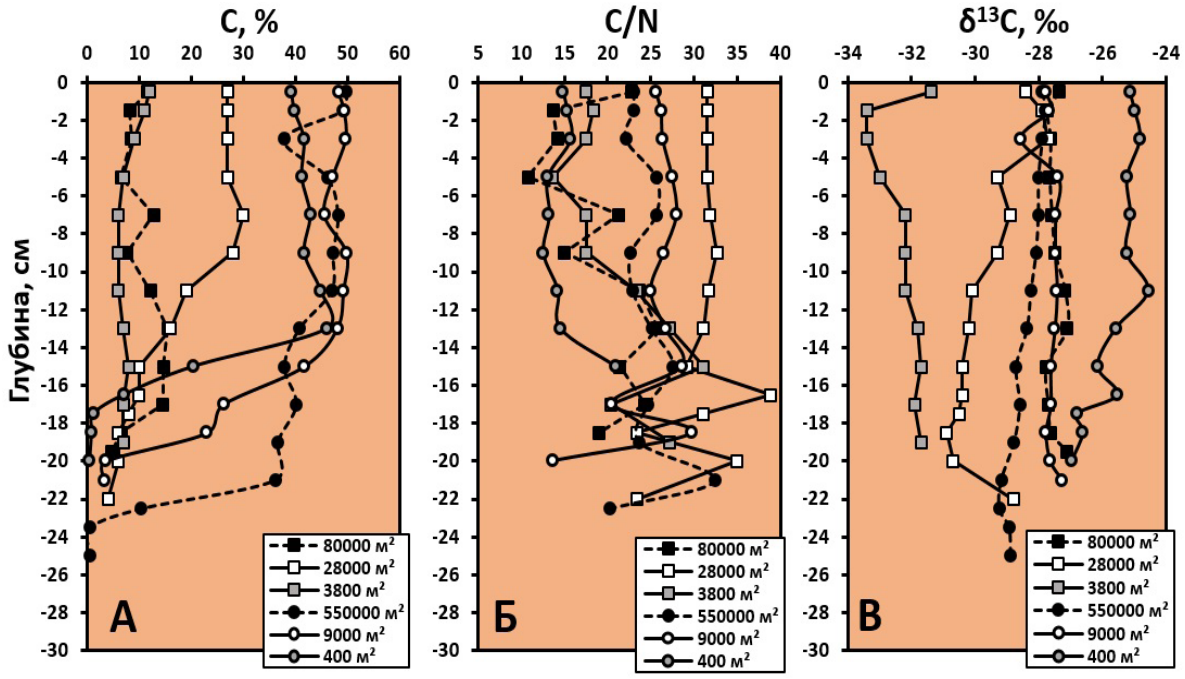
Для оценки интенсивности этого процесса и путей трансформации углерода применяется изотопно-геохимический анализ, согласно которому метаногенез и окисление метана формируют изотопные метки в остаточном субстрате (Whiticar, 1999). Однако изотопные параметры твердой фазы осадков в градиенте от прерывистой до сплошной мерзлоты остаются недостаточно изученными. Цель данной работы — сравнить изотопно-геохимические параметры донных отложений термокарстовых озер разной площади в зонах прерывистой и сплошной мерзлоты.

Содержание C и N определяли методом сухого сжигания на элементном анализаторе. Изотопный состав $\delta^{13}C$ измеряли на масс-спектрометре Delta V Advantage, калибровка — по стандарту IAEA-CH-3 (–24,72 ‰), погрешность не превышала 0,2 ‰. Статистическую обработку проводили с использованием U-теста Манна — Уитни и корреляционного анализа Спирмена ($p < 0,05$).

Анализ общего содержания углерода (C,%) выявил двухслойную структуру донных отложений во всех исследуемых объектах (рис., А). В прерывистой зоне верхний органический горизонт (до 15–21 см) характеризуется экстремально высоким накоплением органического вещества, до 49,8 %. В озерах зоны сплошной мерзлоты содержание углерода в верхнем слое существенно ниже и варьирует от 11,7 до 30 %. Ниже этой границы во всех профилях зафиксирован резкий переход к подстилающему минеральному горизонту с падением концентрации углерода до 1–5 %.

На рис., Б показано, что в крупных и средних озерах прерывистой зоны мерзлоты C/N стабильно высок (22–35), что указывает на доминирование торфа. В малом озере (400 м^2) C/N снижается до 12–21 в верхней части, отражая начальную микробную деструкцию. В сплошной мерзлоте диапазон C/N также широк (14–39), максимальные значения (до 39) зафиксированы в среднем озере (28 000 м^2). В малом озере (3800 м^2) C/N снижается до 14–18.

В прерывистой зоне мерзлоты (рис., В) изотопный состав углерода закономерно облегчается с увеличением площади озера. В малом озере (400 м^2) зафиксированы наиболее тяжелые значения (до –24,6 ‰). В крупном озере (550 000 м^2) выявлены наиболее легкие значения, до –29,2 ‰. В сплошной мерзлоте тренд противоположный: в крупном озере (80 000 м^2) $\delta^{13}C$ стабилен и составляет –27,5 ‰. В среднем озере $\delta^{13}C$ варьирует от –28,4 до –30,9 ‰. Наиболее легкие значения $\delta^{13}C$ (до –33,4 ‰) зафиксированы в малом озере (3800 м^2). Различия между озерами статистически значимы (U-тест Манна — Уитни, $p < 0{,}001$).



Изотопный состав $\delta^{13}C$ (‰), отношение C/N и содержание углерода (C, %) в донных отложениях озер криолитозоны Западной Сибири: □ — сплошная мерзлота; ○ — прерывистая мерзлота

Тяжелые значения $\delta^{13}C$ в малых озерах прерывистой мерзлоты связаны с изотопным фракционированием при метаногенезе: микроорганизмы избирательно потребляют легкий углерод, утяжеляя остаточный субстрат (Whiticar, 1999). В крупных озерах стабильность $\delta^{13}C$ отражает сохранность первичного торфяного сигнала благодаря замедленной микробной деструкции в холодных придонных слоях и быстрой седиментационной изоляции (Meyers, 1994; Audry et al., 2011). Мы предполагаем, что легкие значения $\delta^{13}C$ (до –33,4 ‰) в малых озерах сплошной мерзлоты обусловлены вкладом метанотрофной биомассы, ассимилирующей изотопно-легкий метан из глубинных горизонтов (Conrad, 2005). В условиях криолитозоны низкие температуры способствуют эффективному захоронению этой биомассы, формируя специфическую ловушку углерода метанового генезиса.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 25-17-00329).

Литература

Audry S., Pokrovsky O. S., Shirokova L. S. et al. Organic matter mineralization and trace element post-depositional redistribution in Western Siberia thermokarst lake sediments // Biogeosciences. 2011. Vol. 8. P. 3341–3358.

Conrad R. Quantification of methanogenic pathways using stable carbon isotopic signatures // Organic Geochemistry. 2005. Vol. 36, iss. 5. P. 739–752.

Manasypov R. M., Lim A. G., Krickov I. V. et al. Spatial and Seasonal Variations of C, Nutrient, and Metal Concentration in Thermokarst Lakes of Western Siberia Across a Permafrost Gradient // Water. 2020. Vol. 12: 1830.

Meyers P. A. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter // Chemical Geology. 1994. Vol. 114. P. 289–302.

Serikova S., Pokrovsky O., Laudon H. et al. High carbon emissions from thermokarst lakes of Western Siberia // Nature Communications. 2019. Vol. 10: 1552.

Whiticar M. J. Carbon and hydrogen isotope systematics of bacterial formation and oxidation of methane // Chemical Geology. 1999. Vol. 161. P. 291–314.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРОЗОНАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДИНАМИКИ ЗАЛИВОВ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

И. Е. Курбатова[1, 2]*, **М. О. Мулин**[1, 3]

[1] *Институт водных проблем Российской академии наук, Москва, Россия*
[2] *Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия*
[3] *Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия*

* *e-mail: irenkurb@yandex.ru*

USING MULTISPECTRAL SATELLITE INFORMATION TO MONITORING THE DYNAMICS OF THE TSIMLYANSK RESERVOIR BAYS

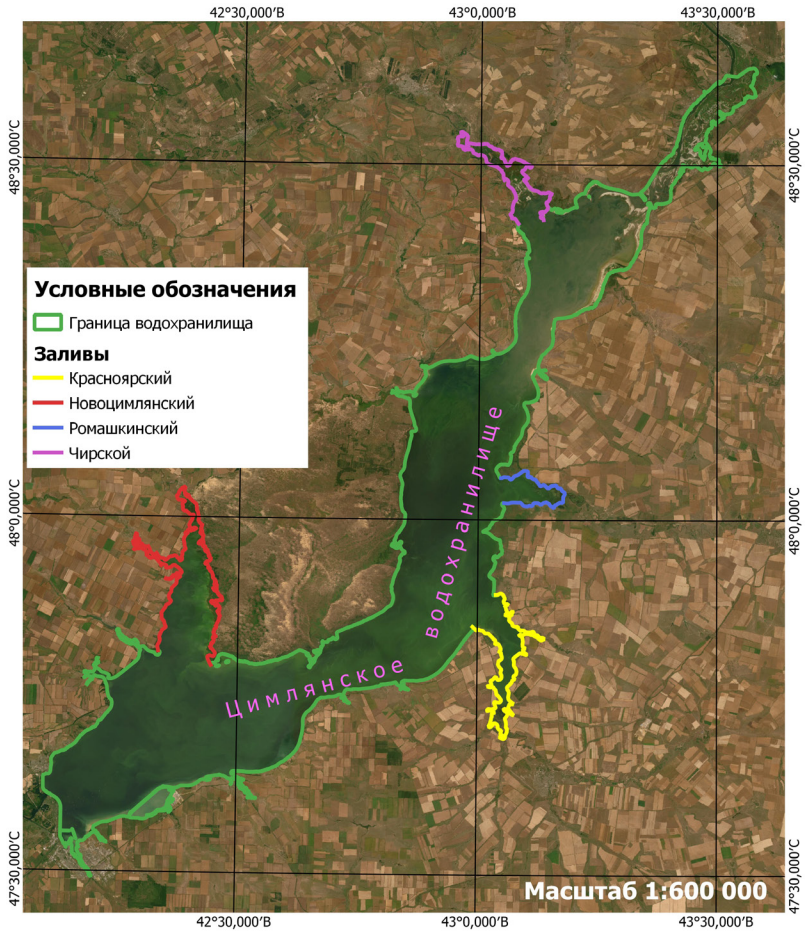
I. E. Kurbatova, M. O. Mulin

Работа посвящена изучению трансформации Цимлянского водохранилища, которая происходит на протяжении всего существования искусственного водоема. Наиболее чувствительны к преобразованиям заливы, сформировавшиеся в устьях боковых притоков. Отсутствие регулярных наблюдений компенсировано проведением комплексного спутникового мониторинга, структура которого и содержание основных блоков разработаны на основе бассейновой концепции природопользования, позволяющей выявить взаимосвязи и взаимозависимости базовых частей единой геосистемы «водосбор — водоток — устье — залив — приемный водоем». Информационная база мониторинга дополнена за счет новых методов обработки мультиспектральных спутниковых изображений с помощью пакета расчетных индексов — водного MNDWI, вегетационного NDVI, мутности воды NDTI, что существенно облегчило дешифрирование спутниковых изображений и расширило круг решаемых задач. Получены количественные характеристики изменения водной поверхности и зарастания заливов для различных по водности лет за период 2015–2025 гг.

В Цимлянское водохранилище впадают 24 притока, общая площадь их водосборов составляет 46 тыс. км^2, а суммарный объем бокового стока 1,1 км^3 (около 6% всех поступлений) (Гидрометеорологический…, 1977). К самым крупным заливам (рис.) относятся Новоцимлянский площадью 133,7 км^2, Чирской (55 км^2), Красноярский (67,1 км^2), Ромашковский (34,7 км^2).

В многолетнем переформировании заливов попеременно доминируют следующие факторы: аккумуляция наносов за счет волновой переработки берегов и поступления твердого речного стока, сезонное изменение уровня водохранилища в маловодные и многоводные годы, поступление загрязняющих веществ с водосбора. Стационарные наблюдения за трансформацией заливов отсутствуют. Разработана методология спутникового мониторинга, информационное обеспечение которого включало около 100 снимков заливов с ИСЗ Landsat-8/9, Sentinel-2A, 2B за последние 11 лет, когда наблюдались как многоводные, так и маловодные периоды. Каждый снимок был обеспечен данными Донского бассейнового водного управления об уровне водохранилища на дату съемки. Оценка изменения зеркала воды, зарастания заливов выполнялась с помощью расчетных индексов — водного MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index), вегетационного NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и мутности воды NDTI (Normalized Difference Turbidity Index).

Кроме того, по снимкам в видимом диапазоне было выполнено изучение структуры землепользования водосборов боковых притоков водохранилища для оценки риска деградации их речной сети под влиянием природных и антропогенных факторов, а также выполнена оценка возможного объема выноса твердых взвесей с сельскохозяйственных полей в акваторию водоема. Работы выполнялись в программе ArcGIS Pro и QGIS. Отдельные методические положения для разных заливов рассмотрены в работах (Курбатова, Мулин, 2023, 2025).



Местоположение заливов. Новоцимлянский залив — красным цветом, Чирской — фиолетовым, Красноярский — желтым, Ромашковский — синим

Выполненный анализ трансформаций всех перечисленных выше заливов показал, что при одном и том же минимальном уровне водохранилища площадь водной поверхности заливов изменяется в диапазоне от 40 % (Новоцимлянский залив) и 51 % (Красноярский залив) до 75 % (Чирской залив). Различия в характере обводнения определяются существенной разницей в морфометрическом строении участков заливов, количеством мелководий и интенсивностью заиления. Площадь зарастания высшей водной растительностью (ВВР) зависит от площади мелководий залива и увеличивается при долговременном понижении уровня. При его повышении до НПУ (нормального проектируемого уровня) наблюдается отмирание ВВР в зависимости от длительности или интенсивности затопления в аквальной части залива и перемещению ее к тыловой (устьевой) более мелководной части. К примеру, в маловодный 2015 г. при уровне 31,25 м (уровень мертвого объема равен 31,0 м) Красноярский залив зарос ВВР на 50 %, а в многоводный 2018 г. площадь зарастания составила только 19 %.

По итогам анализа спутниковых снимков составлены карты заливов, которые отображают экстремальные и промежуточные изменения положения береговой линии и площади зарастания при разных значениях уровня водохранилища и карты антропогенной нагрузки на водосборы.

Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2025-0002 государственного задания ИВП РАН.

Литература

Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Цимлянское, водораздельные и Манычские водохранилища. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 204 с.

Курбатова И. Е., Мулин М. О. Оценка геоэкологического состояния водосборов боковых притоков Цимлянского водохранилища (на примере р. Россошь) «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов // Труды IX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч. Пермь: ПГНИУ, 2023. Т. 1. С. 265–269.

Курбатова И. Е., Мулин М. О. Оценка состояния заливов Цимлянского водохранилища в условиях маловодного периода юга России: материалы 23-й междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М.: ИКИ РАН, 2025. С. 307.

РЕКОНСТРУКЦИЯ РАЗВИТИЯ БОЛОТА ЧУДЕСНАЯ ЛАМБА (ЗАПОВЕДНИК «КИВАЧ», КАРЕЛИЯ)

С. А. Кутенков

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

e-mail: effort@krc.karelia.ru

RECONSTRUCTION OF THE CHUDESNAYA LAMBA BOG DEVELOPMENT (KIVACH NATURE RESERVE, KARELIA)

S. A. Kutenkov

Представлены материалы исследования органических залежей болота Чудесная ламба на ботанический состав, проведена реконструкция развития озерно-болотной системы. Показано, что первые торфа были сформированы прибрежно-водными травами и мхами более 9000 л. н., образование верхового болота современного вида произошло около 8000 л. н. Процесс развития сплавины крайне медленный, и современное состояние озерно-болотной системы рассматривается как условно стабильное.

Болото Чудесное (Чудесная ламба) расположено в заповеднике «Кивач», в термокарстовой котловине в пределах флювиогляциального ландшафта у подножия песчаного оза. Живописное болото с небольшим озерком в центре является одним из объектов организованного экологического туризма в заповеднике, а также модельным объектом системы мониторинга парниковых газов в озерно-речных системах Российской Федерации (Лукина и др., 2024).

Болото относится к верховому типу, это одно из самых маленьких болот заповедника, его общая площадь составляет около 3 га, еще около 0,68 га занимает озеро. Болото залегает в понижении, состоящем из двух смежных котловин глубиной до 8,2 м. Минеральное дно обеих котловин перекрыто сапропелем и сапропелевидным торфом, хотя современное озеро находится в пределах только одной, восточной котловины. Торфяная залежь болота достигает 6 м, в наиболее глубоких частях котловин она подстилается озерными органическими отложениями толщиной до 1 м.

В работе представлены результаты изучения стратиграфии торфяной залежи с реконструкцией развития озерно-болотной системы Чудесная ламба в голоцене на основе авторских и архивных данных. На участке болота с наибольшей толщей органических отложений (около 7 м) в 20 м от берега озера была заложена опорная скважина, проведен анализ торфа на ботанический состав, 5 образцов датировано радиоуглеродным методом. Кроме того, дополнительным материалом послужили данные 4 скважин Р. П. Козловой (1961 г.) и 9 скважин Н. А. Белоусовой (1975–1976 гг.), имеющиеся в архиве лаборатории болотных экосистем ИБ КарНЦ РАН.

После отступления ледника котловина являлась частью огромного приледникового озера, впоследствии поэтапно отступившего. История озерной стадии развития на фоне отступления Онежского озера в раннем голоцене, приведшей к отложениям алевритов, подробно освещена в предыдущих работах (Кутенков, 2021; Потахин и др., 2025). В данном исследовании основное внимание уделено развитию болота.

Первые массовые отложения растительного материала датируются более 9000 кал. л. н. и представлены остатками прибрежно-водных трав: Phragmites, Typha, Polygonum, Potamogeton, Nuphar, все они, кроме кубышки (*Nuphar lutea*), слагают лишь самый нижний 28-см слой залежи. Торф имеет высокую степень разложения и примесь песка. Вероятно, период его накопления приходился на время, когда озеро еще не полностью обособилось. Мхи в отложениях того времени представлены видом *Warnstorfia fluitans*, который сохраняется с самого начала торфонакопления и по настоящее время формирует здесь придонные заросли, так же, как и кубышка, по-прежнему растущая в озере.

Чуть позднее в прибрежной полосе мелеющего залива распространились и евтрофные сфагновые мхи *Sphagnum subsecundum* и *S. inundatum*. Слой торфа из остатков кубышки и мхов составляет около 1 м, в его составе также отмечаются остатки сосны и березы, произраставших тогда на берегу водоема.

На глубине 5,75 м фиксируется резкая смена низинного торфа верховым с доминированием *Sphagnum divinum* (*S. magellanicum* s.l.), участием других верховых видов сфагнов, шейхцерии, пушицы, сосны, болотных кустарничков и осоки топяной. Это свидетельствует о начале развития здесь верхового болота и может быть связано с окончательным обособлением озера. Возраст данной смены около 8000 кал. лет. Состав растительности болота того времени уже соответствует современному, и впоследствии происходит лишь флуктуация участия видов в покрове.

Sphagnum divinum на болоте присутствовал всегда, временами достигая участия 70% в формировании торфа. Данный мох, хотя и обычен для болот Карелии, как правило, не является здесь доминантным видом, и его высокое современное покрытие и роль основного торфообразователя является особенностью болота Чудесная ламба. Вид формирует ковры и невысокие кочки на верховых болотах. В разных частях исследованного болота в залежи наблюдается его чередование как с кочковым *Sphagnum fuscum*, так и мочажинными *S. balticum* и *S. majus*, что говорит о динамике микрорельефа болота.

На глубине 320 см в опорной скважине наблюдается смена ослизненного, заиленного торфа с прослойками сапропелевидного, обычным болотным, в котором возрастает содержание кочкового *Sphagnum fuscum*. Возраст данной границы в месте отбора составляет около 2300 кал. лет. Накопление залегающего ниже нее торфа шло в условиях сплавины около 5700 лет. Таким образом, зарастание озера болотной сплавиной в данном случае очень медленный процесс, длящийся тысячелетиями, и современное состояние озерно-болотной системы можно рассматривать как условно стабильное.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ КарНЦ РАН № 122031700449-3.

Литература

Кутенков С. А. Тайны глубин Чудесной ламбы // Заповедник Кивач — 90 лет на страже природы: история, достижения и перспективы. Петрозаводск: Версо, 2021. С. 17–21.

Лукина Ю. Н., Белкина Н. А., Калинкина Н. М. и др. Разработка системы мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов в водных экосистемах Европейского Севера России // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2024. № 5. С. 97–114.

Потахин М. С., Белкина Н. А., Богданова М. С. и др. Особенности накопления органического вещества в донных отложениях озера Чудесная ламба (заповедник «Кивач») // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2025. № 2. С. 62–73.

КОМПЛЕКСНЫЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЙМЕННЫХ ОЗЕР ЗАПОВЕДНИКА «НУРГУШ» (КИРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Т. И. Кутявина[1]*, Т. И. Кочурова[2], Т. Г. Шихова[3]

[1] *Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия*
[2] *Государственный природный заповедник «Нургуш», Киров, Россия*
[3] *Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б. М. Житкова, Киров, Россия*

* *e-mail: kutyavinati@gmail.com*

COMPREHENSIVE HYDROCHEMICAL AND HYDROBIOLOGICAL STUDIES OF FLOODPLAIN LAKES OF THE NURGUSH RESERVE (KIROV REGION)

T. I. Kutyavina, T. I. Kochurova, T. G. Shikhova

В летний период 2025 г. изучены гидрохимические условия и сообщества зообентоса четырех заповедных пойменных озер р. Вятки (Нургуш, Кривое, Нефёдово, Калеичи), находящихся на разных стадиях сукцессионного ряда зарастания. По величине концентрации хлорофилла *a* озера относятся к мезотрофному (Нефёдово, Нургуш) и эвтрофному (Калеичи, Кривое) типам. Индекс сапробности Пантле — Букка (модификация Сладечека) характеризует озера Нургуш, Кривое и Нефёдово как ß-мезосапробные, а оз. Калеичи — как α-мезосапробный водоем. В наиболее зарастающем оз. Калеичи отмечено высокое содержание органических веществ и низкое — растворенного в воде кислорода, что негативно отражается на состоянии зообентоса: снижаются таксономическое богатство и биомасса донных организмов, формируется монодоминантное хирономидное сообщество.

На территории государственного природного заповедника (ГПЗ) «Нургуш» в пойме р. Вятки насчитывается более 80 озер, находящихся на разных стадиях сукцессионного ряда зарастания. Эти озера могут служить естественной моделью при изучении гидробиологических особенностей вятской поймы и влияния периодического затопления паводковыми водами на ее флору и фауну (Соловьёв, 2020).

В 2025 г. совместно сотрудниками заповедника и научных организаций г. Кирова проведены комплексные исследования четырех пойменных озер ГПЗ «Нургуш»: Нургуш, Кривое, Нефёдово (заповедная зона), Калеичи (охранная зона) с целью оценки их экологического состояния. В данном ряду степень зарастания озер высшей водной растительностью (ВВР) увеличивается от более молодого оз. Нургуш к наиболее старому и небольшому оз. Калеичи. Донные грунты в изучаемых водоемах неоднородные: в оз. Нургуш — песчаные с присутствием гравия и детрита, вдоль правого берега — с наилком; в оз. Кривое — песчаные с наилком, вдоль правого берега — ил с обилием детрита; в оз. Нефёдово — глинистые с присутствием детрита и наилком; в оз. Калеичи — ил с обилием детрита.

В августе 2025 г. были отобраны пробы воды из поверхностного слоя для химического анализа и определения пигментов фитопланктона. В литоральной зоне с донного грунта и в зарослях прибрежно-водной растительности отобраны пробы зообентоса. Отбор и анализ проб зообентоса проводили общепринятыми методами (Руководство…, 1983; Руководство…, 1992).

Согласно полученным результатам, все четыре озера относятся к сверхпресным водоемам (минерализация < 200 мг/дм^3) гидрокарбонатного класса кальциевой группы, содержание соединений N и P низкое. Воды в озерах Нургуш и Кривое слабощелочные (pH 7,1–7,3), Нефёдово и Калеичи — слабокислые (pH 5,8–6,6). В оз. Калеичи величина ХПК почти в 2 раза больше (87±17 мгО/дм^3), чем в трех других озерах, а содержание растворенного

кислорода почти в 2–3 раза меньше (2,5±0,4 мг/дм^3), что является неблагоприятным фактором для развития и жизнедеятельности гидробионтов.

Цветность воды в озерах Нургуш, Кривое и Нефёдово составляла 37–48 градусов, мутность — 2,7–4,1 ЕМФ. В оз. Калеичи эти показатели достигали 431±16 градусов цветности и 19,8±2,8 ЕМФ, соответственно. Высокая мутность в данном случае может быть обусловлена взмучиванием ила и детрита, а также интенсивным развитием фитопланктона, о чем косвенно можно судить по концентрации пигментов. Содержание хлорофилла *a* (мкг/дм^3) в оз. Калеичи достигало 33,2±3,3; в оз. Кривое — 33,1±3,3; в оз. Нургуш — 9,0±0,9 и в оз. Нефёдово — 3,20±0,32. По этому показателю, в соответствии со шкалой С. П. Китаева (1984), был определен тип изучаемых озер: озера Нефёдово и Нургуш — мезотрофный, озера Кривое и Калеичи — эвтрофный. Более низкое значение трофности оз. Нефёдово, вероятно, обусловлено его глубиной — 6,3 м, максимальной из всех четырех озер.

В составе зообентоса исследуемых озер обнаружены представители 94 таксонов видового и надвидового рангов из 23 систематических групп: губки, гидры, нематоды, малощетинковые черви, пиявки, мшанки, двустворчатые и брюхоногие моллюски, водяные клещи, ветвистоусые, веслоногие и равноногие ракообразные, жесткокрылые, водные клопы, личинки стрекоз, поденок, большекрылых, сетчатокрылых, ручейников, чешуекрылых, хирономид, мокрецов и прочих двукрылых.

Наибольшим таксономическим богатством характеризовался зообентос оз. Нургуш (66 таксонов), наименьшим — оз. Калеичи (24 таксона); в озерах Кривое и Нефёдово зарегистрированы представители 50–51 таксона. Численность зообентоса находилась в пределах от 1,7 до 42,1 тыс. экз./м^2, биомасса — от 1,12 до 45,61 г/м^2. Максимальные значения численности и биомассы отмечены на илистых грунтах оз. Кривое, минимальная численность — в оз. Нефёдово, минимальная биомасса — на илистых грунтах оз. Калеичи. По значениям биомассы кормового бентоса (без учета пиявок и крупного моллюска) в 2025 г. озера Калеичи и Нефёдово соответствовали категории малокормных водоемов для рыб-бентофагов, оз. Нургуш — среднекормных, оз. Кривое — весьма высококормных. В ядро бентосных сообществ озер Нургуш и Нефёдово входили хирономиды, олигохеты, двустворчатые и брюхоногие моллюски, личинки поденок, а в оз. Кривое — еще и личинки большекрылых. Обитатели илистых грунтов оз. Калеичи были представлены только личинками хирономид. Во всех водоемах фитофильные (зарослевые) сообщества были богаче в таксономическом плане, чем донные.

По результатам биоиндикации с использованием индексов Вудивисса и олигохетного Гуднайта и Уитлея качество воды в оз. Кривое оценивалось 2-м классом, в оз. Нефёдово — 2-м и 3-м классами. В оз. Нургуш по сравнению с предыдущими годами зарегистрировано увеличение олигохетного индекса до значений 4-го класса, что указывало на нарастание степени органического загрязнения. Индекс сапробности Пантле — Букка (модификация Сладечека) в озерах Нургуш, Кривое и Нефёдово составил, соответственно, 2,200; 2,198; 1,906 баллов и характеризовал водоемы как ß-мезосапробные. В оз. Калеичи данный показатель равнялся 2,708 — α-мезосапробный водоем.

Согласно полученным данным, во всех изученных озерах, кроме оз. Калеичи, складываются благоприятные условия для развития гидробионтов. Бентосные сообщества илистых грунтов оз. Калеичи характеризуются худшим состоянием, что объясняется сильным зарастанием озера ВВР, накоплением органических веществ в донных отложениях и менее благоприятным кислородным режимом.

Литература

Китаев С. П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 207 с.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 319 с.

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 239 с.

Соловьев А. Н. Заповедание территорий в аспекте природопользования. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2020. 250 с.

ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ И БАКТЕРИИ КАК ОСНОВА ПИТАНИЯ ЛИЧИНОК РЕЧНОЙ МИНОГИ В РЕКАХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

А. В. Кучерявый [1]*, Н. В. Полякова [1], М. И. Юрчак [2], С. А. Мурзина [3], В. П. Воронин [3], Д. С. Павлов [1]

[1] Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия
[2] Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия
[3] Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

** e-mail: kucheryavyy@sevin.ru*

DIATOMS AND BACTERIA AS THE TROPHIC BASIS OF EUROPEAN RIVER LAMPREY LARVAE IN RIVERS OF LENINGRAD OBLAST

A. V. Kucheryavyy, N. V. Polyakova, M. I. Yurchak, S. A. Murzina, V. P. Voronin, D. S. Pavlov

Исследована сезонная динамика питания личинок речной миноги *Lampetra fluviatilis* в реках южной части Балтийской низменности. Для реконструкции трофических связей использован комплексный подход, объединяющий визуальный анализ содержимого кишечника и анализ жирнокислотных маркеров в мышечной ткани. Показано, что основу питания составляют диатомовые водоросли и бактерии, а их относительный вклад изменяется по сезонам и между реками.

Материал собран в реках Черная, Серебристая, Каменка и Систа бассейна Финского залива. В 2017–2018 гг. исследовали 65 личинок, в 2022–2023 гг. — 82 личинки; для анализа жирных кислот использовали 48 экземпляров из сборов 2018 г. и 45 экземпляров из сезонной серии 2023 г. Длина личинок составляла 35–132 мм, масса — 0,18–3,1 г, преобладали особи возрастных групп 2+ и 3+. Одновременно с отловом личинок проводили отбор проб фитопланктона, микрофитобентоса и зоопланктона, а также измеряли температуру, pH, электропроводность и перманганатную окисляемость воды. Пищевой комок исследовали микроскопически, а ассимилированную пищу оценивали по жирнокислотным маркерам в мышечной ткани.

Во всех исследованных реках в видимой биотической части болюса доминировали одноклеточные водоросли, прежде всего диатомовые; летом их доля в биотической части пищевого комка могла достигать 90 %. В составе потенциальной кормовой базы диатомовые также преобладали, составляя в большинстве проб 80–90 % общего числа клеток. Наиболее богатые и сезонно динамичные планктонные и бентосные сообщества отмечены в р. Черной, тогда как в р. Каменке развитие микроводорослей оставалось слабым из-за затенения и нестабильного гидрологического режима. В р. Серебристой, напротив, был хорошо развит микрофитобентос, но фитопланктон оставался относительно бедным.

Личинки активно питались на протяжении всего периода наблюдений: средний индекс наполнения кишечника обычно составлял 3–4 балла. В р. Систе сезонные средние значения были минимальны в мае и максимальны в октябре, что указывает на сохранение высокой пищевой активности даже при осеннем росте доли детрита и минеральных частиц в пищевом комке. Беспозвоночные встречались эпизодически; их вклад обычно был незначительным, хотя в р. Черной в отдельные сроки в кишечнике обнаруживали 200–650 коловраток *Keratella cochlearis* на особь.

Жирнокислотный анализ подтвердил двойную трофическую основу питания. В трех реках 2018 г. бактериальные маркеры составляли 26,2–33,2 % суммы жирных кислот, а маркеры водорослей — 26,4–28,9 %. Максимальная доля бактериальных маркеров отмечена в р. Каменке (33,2±0,9 %), минимальная — в р. Серебристой (26,2±1,7 %). Для р. Черной

характерны наиболее высокие значения n-3/n-6–3,16±0,20, тогда как в Серебристой и Каменке это отношение составляло 1,50±0,05 и 1,64±0,06, соответственно. Диатомовый маркер 16:1 (n-7) также был особенно высок в Черной и Каменке — 21,68±1,33 % и 24,25±0,45 %.

В р. Систе выявлена выраженная сезонная изменчивость жирнокислотного профиля. Летом возрастала доля полиненасыщенных жирных кислот, включая 20:5 (n-3) до 1,1–9,0 % и 22:6 (n-3) до 0,6–4,8 %, что совпадало с максимумом развития водорослей. Осенью вклад бактериальных маркеров увеличивался до 30,2–34,8 %, тогда как доля водорослевых снижалась до 24,5–27,2 %. Отношение n-3 / n-6 в Систе было максимальным весной (2,6–3,6), снижалось летом до 1,3–1,6 и лишь немного возрастало осенью до 1,5–1,8.

Совокупность данных показывает, что питание личинок *Lampetra fluviatilis* определяется двумя основными трофическими линиями — диатомовой и бактериальной. Этот вывод опирается на сочетание двух независимых источников информации. Микроскопический анализ кишечного содержимого фиксирует немедленное потребление диатомей и отражает сезонные пики их поступления в кишечник, тогда как жирнокислотные профили характеризуют уже ассимилированную пищу и выявляют устойчиво высокую долю бактериального компонента, неразличимого при обычной микроскопии. Именно поэтому при бедной альгофлоре Каменки и в осенних выборках Систы бактериальные маркеры остаются высокими, несмотря на уменьшение вклада видимых водорослей в пищевом комке.

Различия между реками хорошо согласуются с характеристиками местообитаний. Более высокое отношение n-3 / n-6 и значительный вклад маркеров диатомовых в Черной соответствуют более продуктивным и сравнительно стабильным условиям. В Каменке, где отмечены резкие колебания гидрологического режима и обедненные сообщества водорослей, возрастает роль бактериально-детритной линии, что подтверждается максимальной долей бактериальных маркеров. Серебристая занимает промежуточное положение: при хорошо развитом микрофитобентосе здесь наблюдается более низкое отношение n-3 / n-6, вероятно отражающее специфику гидрохимических условий и качества кормовой базы.

Сезонные изменения в Систе дополнительно подтверждают высокую трофическую пластичность личинок. При весенне-летнем развитии водорослей усиливается вклад полиненасыщенных жирных кислот и сохраняется существенная доля водорослевых маркеров, тогда как осенью возрастает значение бактериальной ассимиляции. Следовательно, личинки речной миноги способны эффективно использовать разные компоненты речного сестона и донного органического вещества, а соотношение диатомового и бактериального путей определяется сезонной динамикой и локальными особенностями речных экосистем. Это делает комплексный подход, сочетающий анализ пищевого комка и жирнокислотных маркеров, особенно информативным для оценки качества местообитаний личинок миног.

При финансовой поддержке РНФ 24-14-00111 (https://rscf.ru/en/project/24-14-00111/).

К ИЗУЧЕНИЮ ПАРАЗИТОВ РЫБ ВОДОЕМОВ МОНГОЛИИ: УТОЧНЕНИЕ ВИДОВОГО СОСТАВА С ПОМОЩЬЮ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МЕТОДОВ

Д. И. Лебедева [1]*, Д. О. Зайцев [2], Б. Мэндсайхан [3], Я. Лумме [4]

[1] Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия
[2] Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия
[3] Институт геоэкологии Академии наук Монголии, Улан-Батор, Монголия
[4] Университет Оулу, Оулу, Финляндия

** e-mail: daryal78@mail.ru*

MOLECULAR REFINEMENT OF FISH PARASITES IN MONGOLIAN RESERVOIRS

D. I. Lebedeva, D. O. Zaitsev, B. Mendsaikhan, J. Lumme

Исследованы эктопаразиты рода *Gyrodactylus* у рыб водоемов Монголии, относящихся к разным водным бассейнам. У хозяев из трех семейств (Leuciscidae, Salmonidae, Nemacheilidae) выявлено 13 видов гиродактилюсов. Из них четыре вида (*Gyrodactylus albolacustris*, *G. radimi, G. tayshirensis, G. zavkhanensis*) описаны впервые.

Пресноводные экосистемы в пределах Центральной Азии принадлежат к трем водным бассейнам: рек Тихого океана, рек Северного Ледовитого океана и Центрально-Азиатского бессточного бассейна, водоразделы которых четко определены. Центрально-Азиатский бессточный бассейн Монголии занимает огромное пространство, включающее межгорье Хангая и Монгольского Алтая, Хангайское плоскогорье и Увснурскую котловину. Водосборная площадь бассейна занимает 65 % территории страны и содержит 32 % ее водных ресурсов. Этот район был изолирован от Сибири и водоразделов Северного Ледовитого океана и Амура на протяжении десятков миллионов лет начиная с орогенных изменений в третичном периоде.

Палеонтологические исследования ихтиофауны, проведенные Е. К. Сычевской (1983), показали, что в раннем плиоцене (5,3–2,6 млн л. н.) уровень воды в котловине был по меньшей мере на 200 м выше современного и в озере обитали представители пресноводной ихтиофауны европейской части Сибири. Озерная фауна исчезла к среднему плейстоцену из-за засушливого климата и связанных с этим изменений в химическом составе воды и лимнологии. Ю. Ю. Дгебуадзе с соавт. (Dgebuadze et al., 2012) описывают 12 эндемичных видов и три вида завезенных рыб, обитающих в бессточном бассейне.

С помощью молекулярного «штрихкодирования» по области ядерной рибосомальной ДНК мы пытались оценить последствия исторического изменения климата для фауны и обновить систематику гиродактилусов в водоемах Монголии. Моногенеи тесно зависят от своих хозяев, то есть не способны сбежать или повторно заселиться с помощью промежуточных хозяев.

В 2011–2012 гг. в ходе совместной Российско-Монгольской экспедиции были проведены сборы паразитов в нескольких водоемах Монголии, относящихся к разным водным бассейнам.

Были исследованы шесть видов рыб трех семейств. Из семейства Leuciscidae — гольян обыкновенный *Phoxinus phoxinus* (L., 1758), осман карликовый алтайский осман *Oreoleuciscus humilis* Warpachowski, 1889 и алтайский осман *O. potanini* (Kessler, 1879). Из представителей семейства Salmonidae был изучен монгольский хариус *Thymallus brevirostris* (Kessler, 1879). Исследованные представители сем. Nemacheilidae — голец усатый *Barbatula conilobus* Prokofiev, 2016 и голец усатый *B. cobdonensis* (Gundriser, 1973).

Паразиты были собраны и зафиксированы в 96º спирте, а затем исследованы с помощью стандартного интегративного метода (Lebedeva et al., 2023). Часть тела моногеней с прикрепительным аппаратом использована для морфологического изучения, а другая — для молекулярного, на основе последовательностей ядерного маркера ДНК — ITS1–5.8S-ITS2.

Полученные сиквенсы ITS паразитов были использованы для конструкции глобальной филогенетической структуры, основанной на известных ДНК последовательностях гиродактилид. Нами отмечены девять видов из подрода *Gyrodactylus* (*Limnonephrotus*) и четыре из *G.* (*Gyrodactylus*). При этом девять видов были идентифицированы как таксоны, описанные ранее, и четыре были описаны как новые. Паразиты эндемичного монгольского хариуса представлены четырьмя видами, только один из них относится к группе вагенери (wageneri), типичной для лососевых рыб (*Gyrodactylus radimi*). Два представляют группу немахили (nemachili): *G. zavkhanensis* и *G. pseudonemachili* Ergens & Bychowsky, 1967. И вид *G. amurensis* Akhmerov, 1952 — из подрода G. (*Gyrodactylus*). Моногенеи *G. pseudonemachili* были также обнаружены у османа и гольца усатого. Кроме того, клада паразитов, типичная для сем. Nemacheilidae, была представлена видами *G. tayshirensis* (только на *Barbatula conilobus*), *G. mongolicus* Ergens & Dulmaa, 1970 и *G. nemachili* Bychowsky, 1936. Нами прослежена та же ослабленная специфичность к виду хозяина, о которой уже ранее упоминали Р. Эргенс и А. Дулмаа (Ergens & Dulmaa, 1970). У гольяна из р. Туул был выявлен новый вид *Gyrodactylus albolacustris*, зарегистрированный также в бассейне Белого моря и восточной части Балтийского бассейна (Lumme et al., 2017).

В обновленной глобальной филогении двух подродов, обитающих в пресной воде, паразиты из монгольских реликтовых популяций заняли позиции, согласующиеся с гипотезой о множественных древних интродукциях из европейско-сибирской фауны, сильном разрежении и трех случаях эндемической дивергенции.

Исследование проведено в рамках темы научно-исследовательских работ ИБ КарНЦ РАН (№ государственной регистрации 122032100130-3).

Литература

Сычевская Е. К. История формирования ихтиофауны Монголии и проблема фаунистических комплексов // Рыбы Монгольской Народной Республики. М.: Наука, 1983. С. 225–250.

Dgebuadze Y., Mendsaikhan B., Dulmaa A. Exploration into the Biological Resources of Mongolia // Diversity and Distribution of Mongolian Fish: Recent State, Trends and Studies; University of Nebraska: Lincoln, NE, USA, 2012. Vol. 23. P. 219–230. Available online: http://digitalcommons.unl.edu/biolmongol/23

Ergens R., Dulmaa A. Monogenoidea from fishes of the genus *Oreoleuciscus* (Cyprinidae) from Mongolia // Folia Parasitol. 1970. Vol. 17. P. 1–11.

Lebedeva D. I., Ziętara M., Mendsaikhan B., Ermolenko A., Lumme J. Survivors from a Pliocene climatic catastrophe: *Gyrodactylus* (Platyhelminthes, Monogenea) parasites of the relict fishes in the Central Asian Internal drainage basin of Mongolia // Diversity. 2023. Vol. 15, N 7. P. 860.

Lumme J., Ziętara M. S., Lebedeva D. Ancient and modern genome shuffling: Reticulate mito-nuclear phylogeny of four related allopatric species of *Gyrodactylus* von Nordmann, 1832 (Monogenea: Gyrodactylidae), ectoparasites on the Eurasian minnow *Phoxinus phoxinus* (L.) (Cyprinidae) // Systematic Parasitology. 2017. Vol. 94. P. 183–200.

РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ЗАПОВЕДНЫЕ ЗОНЫ — ОПЫТ СОЗДАНИЯ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ОПАЛА (ЗАПАДНАЯ КАМЧАТКА)

В. Н. Леман

Главный научный центр Российской Федерации ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия

e-mail: leman@vniro.ru

FISHERY PROTECTED AREAS — THE EXPERIENCE OF CREATION ON THE EXAMPLE OF THE OPALA RIVER (WESTERN KAMCHATKA)

V. N. Leman

На примере бассейна р. Опала (Западная Камчатка) даны анализ современного состояния, трудностей и подход к их решению при создании рыбохозяйственной заповедной зоны.

Особо охраняемые природные территории федерального или регионального подчинения — действенная форма сохранения лососевых рыб и среды их обитания, но далеко не популярная среди рыбодобывающих и туристических предприятий, поскольку статус ООПТ отпугивает их возможными ограничениями хозяйственной деятельности. В отличие от ООПТ, рыбохозяйственные заповедные зоны (далее — РХЗЗ) сочетают в себе задачи сохранения водных биоресурсов и условий их естественного воспроизводства с задачами по созданию условий для развития аквакультуры и рыболовства (ст. 49 Федерального закона от 20.12.2004 № 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов».

Принятие Постановления Правительства РФ от 16.11.2023 г. № 1928 «Правила установления РХЗЗ, изменения их границ, принятия решений о прекращении существования РХЗЗ» (далее — Постановление № 1928) и Приказа Минсельхоза России от 23.05.2024 г. № 279 «Порядок подготовки биологических обоснований установления РХЗЗ, изменения их границ или прекращения существования РХЗЗ» (далее — Приказ № 279) обеспечили нормативную правовую базу для создания РХЗЗ в водных объектах рыбохозяйственного значения.

Общая идея создания РХЗЗ состоит в том, что это исключительный случай состояния водных биоресурсов, когда определенные виды хозяйственной деятельности не могут быть согласованы ни при каких условиях. В таком случае важно, чтобы природопользователи могли, ознакомившись с условиями функционирования РХЗЗ, понять, какую деятельность нельзя планировать. РХЗЗ, а значит, и ограничения на хозяйственную деятельность устанавливаются бессрочно. Особое внимание следует обратить на то, что согласно Постановлению № 1928 хозяйственная деятельность, осуществляемая до установления РХЗЗ, не ограничивается.

В 2023 г. распоряжением Правительства РФ была создана РХЗЗ на оз. Байкал, что стало значимым шагом в охране природных ресурсов и обеспечении устойчивого развития данного региона. Уникальный статус Байкала требовал особых подходов и процедур согласования РХЗЗ, отличных для других регионов. В 2026 г. после длительного согласования была завершена подготовка биологического обоснования РХЗЗ «Река Опала», что стало первым опытом создания РХЗЗ для речного бассейна.

Река Опала, расположенная на Западной Камчатке, является водным объектом высшей рыбохозяйственной категории, площадь ее бассейна — 4070 км^2. Площадь РХЗЗ «Река Опала», построенная по координатам характерных точек, согласованных с Управлением Росреестра по Камчатскому краю, составляет 1636 км^2.

Изначально границы создаваемой РХЗЗ планировались с охватом всей водосборной территории р. Опала исходя из представлений, что река и ее водосбор — единая система, требующая комплексной охраны. В итоговой редакции Постановления № 1928 определено, что ширина территории, прилегающей к водному объекту рыбохозяйственного

значения или его части, не должна превышать расстояния 5 км от границ данного водного объекта, а в случае, если в границы РХЗЗ не включаются горные и лесные массивы, — 3 км. Это ограничение требует тщательного картирования распределения нерестилищ в реке, включая небольшие притоки, ручьи и ключи (Леман, Леман, 2025), что позволяет подтвердить их рыбохозяйственный статус и биологически обосновать границы РХЗЗ.

По материалам Камчатского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», в бассейне р. Опалы к ценным видам относятся тихоокеанские лососи (чавыча, кета, горбуша, нерка, сима), также здесь обитают голец (мальма), кунджа и микижа, проходная форма которой занесена в Красную книгу России. Общая площадь нерестилищ тихоокеанских лососей составляет 7,15 км^2, уловы варьируют по годам от 868,5 до 22 309,8 т, составляя в среднем за 13 лет 7578 т/год.

Местный промысел, осуществляемый на морских и речных участках с помощью ставных и закидных неводов и ставных сетей, полностью обеспечивается за счет естественного воспроизводства лососевых рыб, и поэтому сохранность нерестовых рек является основой его устойчивого существования в будущем. Факт создания РХЗЗ никак не ограничивает местное рыболовство, тем более что по требованию рыбодобывающих предприятий из границ РХЗЗ была выведена узкая прибрежная полоса, на которой расположена рыбохозяйственная инфраструктура. Кроме того, р. Опала относится к одному из наиболее востребованных на Камчатке мест рыболовного туризма, где сформированы три рыболовных участка для любительского рыболовства.

Необходимость установления РХЗЗ, согласно Приказу № 279, определяется исходя из наличия двух из четырех условий. Для РХЗЗ «Река Опала» эти два условия определяются:

– наличием особо ценных и ценных видов водных биоресурсов в водном объекте и их значением для развития аквакультуры (рыбоводства) и рыболовства;

– снижением в течение трех лет эффективности естественного воспроизводства водных биоресурсов более чем на 20 % от исходного состояния.

Важным является то, что биологическое обоснование создания РХЗЗ разрабатывается по данным государственного мониторинга водных биоресурсов, осуществляемого Федеральным агентством по рыболовству и подведомственными ему бюджетными учреждениями, а также гражданами и юридическими лицами, осуществляющими в установленном порядке рыболовство в научно-исследовательских и контрольных целях.

Определение возможных негативных факторов, влияющих на состояние водных биоресурсов и среды их обитания, является важнейшей задачей обоснования создания РХЗЗ. Необходимо заранее принимать во внимание потенциальные экологические риски при планировании осуществления хозяйственной деятельности в границах РХЗЗ. На акватории речного бассейна р. Опала, включаемой в границы формируемой РХЗЗ, хозяйственная деятельность регулируется действующей статьей 49 (часть 3) № ФЗ-166 (с изм. в ред. Федерального закона от 30.12.2021 № 445-ФЗ), где приведен перечень видов хозяйственной и иной деятельности, которые могут быть запрещены либо ограничены полностью или частично, постоянно или временно в границах РХЗЗ. В биологическом обосновании РХЗЗ «Река Опала» представлен соответствующий перечень запрещаемых и ограничиваемых видов хозяйственной деятельности.

Литература

Леман В. Н., Леман А. А. Опыт ГИС-картирования нерестилищ и распределения тихоокеанских лососей в модельных реках Западной Камчатки с использованием архивных данных // Труды ВНИРО, 2025. Т. 199. С. 36–53.

ОЦЕНКА ЛЕДОВО-СНЕЖНОГО ПОКРОВА ВОДОЕМОВ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА ПО ДАННЫМ SENTINEL-1 И SENTINEL-2

Ли Цзинъюань

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

e-mail: jingyuanli.msu@gmail.com

ASSESSMENT OF ICE AND SNOW COVER OF WATER BODIES IN THE MOSCOW REGION USING SENTINEL-1 AND SENTINEL-2 DATA

Li Jingyuan

Рассмотрен подход к оценке ледово-снежного покрова водоемов Московского региона по данным Sentinel-1 и Sentinel-2. Использованы глобальные базы водоемов и спутниковые данные, а также наземные измерения толщины льда. Показана возможность сопоставления параметра VV–VH с полевыми наблюдениями и получения предварительной эмпирической зависимости для дальнейшей локальной калибровки.

Водоемы Московской области имеют важное природное и хозяйственное значение: они участвуют в регулировании местного стока, используются для водоснабжения, рекреации, рыболовства и поддержания устойчивости водных экосистем. В условиях высокой антропогенной нагрузки и климатической изменчивости зимнее состояние этих водоемов становится важным показателем их гидрологического режима. Продолжительность ледостава, сроки замерзания и вскрытия, а также свойства ледяного и снежного покрова отражают особенности теплообмена между атмосферой и водной поверхностью и могут влиять на подледные гидрохимические и биологические процессы (Magnuson et al., 2000; Вагнер, Дмитриева, 2004).

Цель исследования — разработать подход к оценке ледово-снежного покрова водоемов Московского региона по данным Sentinel-1 и Sentinel-2. Представленная работа не подразумевает получения окончательной универсальной модели точного расчета толщины льда. На данном этапе основное внимание уделено проверке возможности использования спутниковых данных для выделения ледово-снежного покрова, анализа радиолокационных параметров и сопоставления их с данными наземных наблюдений.

Актуальность работы связана с тем, что существующие глобальные базы HydroLAKES, HydroSHEDS и LakeTEMP дают важную фоновую информацию о водоемах и ледовых условиях, однако они недостаточно подробно отражают ледовую фенологию и толщину льда для большого числа малых и средних водоемов Московской области (Messager et al., 2016; Korver et al., 2024). Поэтому необходима регионально адаптированная методика, основанная на данных дистанционного зондирования.

Эмпирическую базу для исследования составили данные Sentinel-2 SR Harmonized, Sentinel-1 GRD IW, JRC Global Surface Water, HydroLAKES, HydroSHEDS и LakeTEMP (Messager et al., 2016; Pekel et al., 2016; Korver et al., 2024; Google Earth…). На основе границы Московской области и данных о водных объектах составлена карта, отображающая расположение озер и водохранилищ в пределах исследуемой территории. В Google Earth Engine выполнена предварительная фильтрация коллекций Sentinel-1 и Sentinel-2 по территории, датам съемки и основным параметрам снимков. Для Sentinel-2 рассчитывали индекс NDSI. Он использовался для первичного выделения участков ледово-снежного покрова в границах водной поверхности. Чтобы ограничить анализ только акваторией водоемов, применяли маску устойчивых водных объектов JRC Global Surface Water (Korver et al., 2024).

При работе с исходными SAR-данными Sentinel-1 необходимы радиометрическая калибровка, фильтрация спекл-шума, геометрическая коррекция и перевод коэффициента обратного рассеяния в дБ. В данной работе на текущем этапе используются предварительно обработанные данные Sentinel-1 GRD в Google Earth Engine, поэтому основное внимание уделяется тематической обработке, фильтрации сцен и анализу параметров VV, VH и VV–VH. Из коллекции Sentinel-1 GRD IW были отобраны снимки за зимние сезоны 2022–2025 гг. с учетом режима съемки, поляризации, направления орбиты и временного интервала (Google Earth…).

Для ключевых водоемов, включая Можайское водохранилище, озера Глубокое, Белое, Святое, Чёрное и Косинские озера, получены временные ряды VV, VH и VV–VH. Отдельно проверена процедура сопоставления спутниковых данных Sentinel-1 с наземными измерениями толщины льда. Например, для измерения 9 марта 2025 г., когда толщина льда составляла 17 см, ближайший снимок Sentinel-1 был получен 10 марта 2025 г.; для данной точки значения составили: VV = –15,107 дБ, VH = –24,218 дБ, VV–VH = 9,111 дБ.

На основании имеющихся полевых данных была проверена простая эмпирическая зависимость между толщиной льда и параметром VV–VH. Предварительная линейная модель имеет вид: h_ice = –16,01 + 4,18 (VV–VH_mean_30m), где h_ice — толщина льда, см; VV–VH_mean_30m — среднее значение разности VV и VH в буфере 30 м вокруг точки измерения. Для имеющегося набора наблюдений коэффициент детерминации составил около $R^2 = 0,73$, а среднеквадратическая ошибка — около RMSE = 6,5 см.

Полученные результаты следует рассматривать как предварительные, поскольку количество наземных измерений ограничено, а радиолокационный сигнал Sentinel-1 зависит не только от толщины льда, но и от структуры ледяного покрова, наличия снега, влажности, неоднородности поверхности и спекл-шума. В то же время анализ показал, что использование среднего значения в буфере 30 м оказалось более устойчивым, чем использование значения одного пикселя. Это позволяет рассматривать параметр VV–VH как потенциальный индикатор для дальнейшей эмпирической оценки ледовых характеристик водоемов Московского региона при условии расширения базы наземных наблюдений и локальной калибровки модели.

Литература

Вагнер Б. Б., Дмитриева В. Т. Озера и водохранилища Московского региона. М.: МГПУ, 2004. 105 с.

Google Earth Engine Guides. Sentinel-1 Algorithms. URL: https://developers.google.com/earth-engine/guides/sentinel1.

Google Earth Engine Data Catalog. Sentinel-1 SAR GRD: C-band Synthetic Aperture Radar Ground Range Detected, log scaling. URL: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S1_GRD.

Korver M. C., Lehner B., Cardille J. A. et al. Surface water temperature observations and ice phenology estimations for 1.4 million lakes globally // Remote Sensing of Environment. 2024. Vol. 308. Article 114164.

Magnuson J. J. et al. Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere // Science. 2000. Vol. 289, N 5485. P. 1743–1746.

Messager M., Lehner B., Grill G. et al. Estimating the volume and age of water stored in global lakes using a geo-statistical approach // Nature Communications. 2016. Vol. 7. Article 13603.

Pekel J.-F., Cottam A., Gorelick N., Belward A. S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes // Nature. 2016. Vol. 540. P. 418–422.

ОЦЕНКА ПОТЕРЬ РОУ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ РАСХОДОВ ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА МУХРИНО

Л. В. Литвинов*, Е. А. Заров, И. С. Иванова

Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

** e-mail: l.l.v.86@icloud.com*

LOSSES OF DOC BASED ON THE MODEL OF WATER REMOVAL ON MUKHRINO OLIGOTROPHIC BOG

L. V. Litvinov, E. A. Zarov, I. S. Ivanova

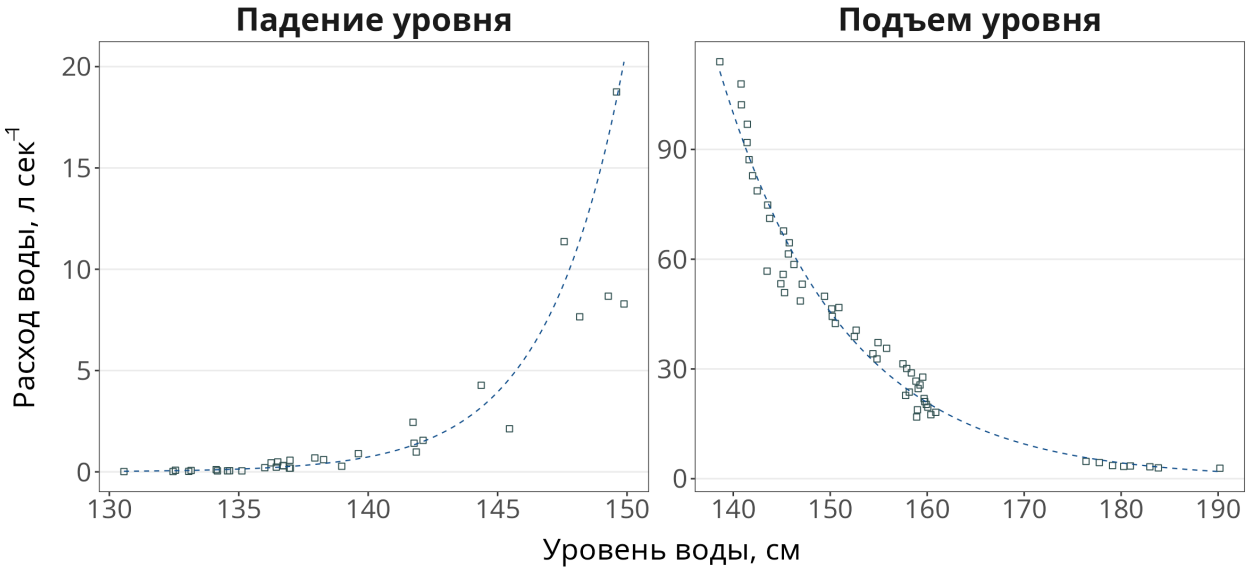
Рассмотрена сезонная и многолетняя динамика потери РОУ с одного из водосборов олиготрофного болота Мухрино. В качестве инструмента для расчета выноса РОУ была использована гидрологическая модель, построенная на сопоставлении уровня болотных вод и расходов воды в ручье. Были установлены две фазы — наполнения и истощения, где первой соответствует вынос менее обогащенных РОУ вод, но большим объемом стока воды. Вторая фаза характеризуется увеличением концентраций РОУ в водах, но уменьшением интенсивности стока.

Одним из наиболее распространенных типов ландшафтов Западной Сибири являются болота, выступающие резервуаром воды и органического углерода. На территории северной части Западной Сибири наиболее распространены олиготрофные болота (Filippov, Lapshina, 2008). С точки зрения формирования гидрохимических систем, особенностью данных болот является преобладание доли растворенного органического вещества (РОВ) над неорганической частью (Bourbonniere, 2009). По этой причине истоки ручьев, сформированные олиготрофными болотами, характеризуются низкой минерализацией и обилием органического вещества. Наиболее показательной фракцией РОВ принято считать растворенный органический углерод (РОУ), представленный органическими соединениями, остающимися в растворе при пропускании вод через мембранный фильтр диаметром пор 0,45 мкм. РОУ является наиболее стабильной органической фракцией гидрохимическиских систем, что выражается в его большей миграционной способности (Leenheer, 2003). Ввиду высокой мобильности и концентрации оценка интенсивности выноса РОУ с болотным стоком является одним из ключевых показателей при оценке гидрохимической трансформации рек под воздействием заболоченных водосборов. Учитывая сложность оценки выноса РОУ с заболоченных водосборов ввиду наличия динамичного и неявно выраженного русла, построение гидрологической модели разгрузки болотной воды в реки позволяет уточнить современные оценки выноса РОУ с заболоченных водосборов.

Построение модели проводилось на основе данных, полученных на олиготрофном болоте в пределах карбонового полигона Мухрино в период с 2011 по 2025 г. Модель расходов была построена на взаимосвязи уровня болотных вод (УБВ), полученных при помощи уровненемерров (HOBO, 20LU-04, ежечасные измерения) и фактических измерений расходов емкостью (объем 15 л, измерение раз в две недели). Параллельно с фактическим измерением расходов производился отбор проб для определения концентраций РОУ методом каталитического окисления.

В ходе сопоставления фактических измерений расхода воды с уровнем болотных вод между показателями были выявлена экспоненциальная зависимость, где тренд соответствует фазам гидрологического года — отдельно для фаз наполнения болота талой водой и фаза истощения (рис.).

Наибольшие значения расходов отмечаются в фазу наполнения, соответствующего периоду с марта по май, и варьируются в диапазоне от 3 до 114 л/с. Многолетняя динамика показателей формирует устойчивый тренд к увеличению выноса воды с понижением УБВ. Учитывая временной промежуток рассматриваемой фазы, данное явление объясняется



Модель зависимости расхода воды и уровня болотных вод, ось абсцисс — высота водного столба над логгером (см), ось ординат — фактический расход воды (л/с)

переносом талых снеговых вод по замерзшей поверхности болота с последующим разбавлением в участке смешения — ручье.

В пользу данной гипотезы свидетельствует относительно малая интенсивность растворения РОУ в данный период в диапазоне от 23,17 до 38,87 мг/л. Фаза истощения представлена измерениями в промежутке с мая по октябрь и характеризуется меньшим диапазоном расходов воды, от 2,87 до 113,97 л. Вынос РОУ с болотного массива в этот период характеризуется значительным увеличением концентраций, до 30,41–58,4 мг/л, с наибольшими значениями при низком уровне болотных вод.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ, проект № 25-27-00272 «Вынос растворенного органического вещества и сопряженных с ним микроэлементов из верхового болота, его трансформация в гидрологическом континууме».

Литература

Bourbonniere R.A. Review of water chemistry research in natural and disturbed peatlands // Canadian water resources journal. 2009. Vol. 34, N 4. P. 393–414.

Filippov I.V., Lapshina E.D. Peatland unit types of lake-bog systems in the Middle Priob'ie (Western Siberia) // Environmental Dynamics and Global Climate Change. 2008. Vol. 1, N 1S. P. 115–124.

Leenheer J.A., Croué J.P. Peer reviewed: characterizing aquatic dissolved organic matter // Environmental Science & Technology. 2003. Vol. 37, N 1. P. 18A–26A.

НАКОПЛЕНИЕ СЕРОВОДОРОДА В МОРСКИХ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ОЗЕРАХ

Г. Н. Лосюк*, Н. М. Кокрятская

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия

** e-mail: glosyuk@yandex.ru*

ACCUMULATION OF HYDROGEN SULFIDE IN STRATIFIED MARINE LAKES

G. N. Losyuk, N. M. Kokryatskaya

В стратифицированных озерах, образованных в результате отделения части морского залива, может накапливаться сероводород в придонных горизонтах в больших концентрациях за счет бактериального восстановления сульфатов (от 100 до 600 мг/л). Количество накопленных сульфидов зависит от времени нахождения озера в стабильной скарифицированной структуре, а также от количества поступающего органического вещества, которое является основным источником питания (донором электронов) для сульфатредуцирующих бактерий в анаэробной зоне стратифицированных озер.

Вдоль Кольского и Карельского берегов Белого моря за счет сложного фьордно-шхерного строения рельефа и в результате их поднятия после отступления последнего ледника образовались водоемы, которые отделяются от моря. Эти озера, чаще всего небольшие по размерам и глубине, имеют общие черты — стратифицированную структуру различной устойчивости, а в придонных горизонтах в них накапливаются продукты бактериальной сульфатредукции — сульфиды/сероводород, которые оказывают негативное влияние на живущих в водоеме гидробионтов. Некоторые такие отделившиеся озера имеют устойчивую меромиктическую структуру, а в другие еще периодически поступает свежая морская вода и промывает их. Такие озера являются удобной моделью для исследований водоемов, которые могут быть отделены от моря искусственно.

Для исследований было выбрано несколько водоемов с устойчивой стратификацией. На Карельском берегу Белого моря исследованы: находящиеся на меромиктической стадии отделения озера Трехцветное (Ругозерская губа) и Большие Хрусломены (расположено на острове Олений, губа Ковда Кандалакшского залива); оз. Еловое — в которое иногда на приливах может поступать морская вода; Лагуна на Зеленом мысе и Плес I Порьей губы (Кольский берег), которые хоть и сохраняют связь с морем, но в наиболее глубоком участке имеют небольшую по толщине линзу, которая не перемешивается в течение длительного времени (Лосюк и др., 2021, 2025; Кокрятская и др., 2024, 2025а).

Кроме того, представлены данные для меромиктического водоема, расположенного на острове Кильдин в Баренцевом море и отделившегося около 1500 лет назад, — оз. Могильного (Кокрятская и др., 2025б). В отличие от всех остальных представленных водоемов, оз. Большие Хрусломены было отделено в результате хозяйственной деятельности человека. В табл. приведены данные по глубинам и расположению хемоклина в исследованных озерах, а также показаны длительность изоляции этих водоемов от моря и максимальные значения содержания сероводорода в придонных горизонтах.

Во всех озерах за счет стабильной стратифицированной структуры водной толщи накапливается сероводород, наиболее высокие значения его концентраций наблюдались в меромиктических водоемах, в которых идет активное развитие планктонных сообществ в зоне хемоклина.

Так как все представленные озера являются солеными, то количество сульфатов в водной толще не ограничивает протекание процесса бактериальной сульфатредукции в них.

Количество накопленных сульфидов зависит не только от времени нахождения озера в стабильной скарифицированной структуре, но и от интенсивности самого процесса сульфатредукции, а также от количества поступающего автохтонного органического вещества, которое является основным источником питания (донором электронов) для сульфатредуцирующих бактерий в анаэробной зоне меромиктических озер.

Глубины и максимальные концентрации сероводорода в стратифицированных морских озерах

Водоем / Параметр	Порья губа Плес I	Озеро Еловое	Лагуна на Зеленом мысе	Озеро Трехцветное	Озеро Большие Хрусломены	Озеро Могильное
Максимальная глубина, м	8,0	5,0	6,0	7,5	19,5	16,0
Глубина хемоклина, м	6,5	2,0	5,5	2,1	4,0	8,0
Длительность изоляции, лет	90	–	–	400	130	1500
Максимальные концентрации H_2S, мг/л	1–16	90–154	80–160	400–600	500–600	104–210

Наибольшие количества сероводорода были определены в меромиктических озерах Трехцветное и Большие Хрусломены (до 600 мг/л), наименьшие были получены для Плеса I в Порьей губе (до 16 мг/л). Это обусловлено тем, что еще недавно этот залив активно сообщался с морем и отделяющий плес порог регулярно углублялся, так как рядом была расположена крупная деревня, которая в настоящее время полностью заброшена. В остальных представленных водоемах — максимальные концентрации сероводорода были определены в достаточно больших количествах (до 160 мг/л), что является подтверждением активно протекающих в них процессов сульфатредукции в водной толще и наличием стабильной стратификации, которая позволяет накапливаться сульфидам.

Таким образом, при отделении от моря небольших заливов независимо от способа изоляции (естественный или искусственный) формирование стратифицированной структуры сопровождается накоплением сульфидов/сероводорода в придонных горизонтах. Процесс бактериальной сульфатредукции хоть и естественный, но влечет гибель аэробных организмов в морских изолятах.

Литература

Кокрятская Н. М., Лосюк Г. Н., Колпакова Е. С. и др. Современное состояние экосистемы анхиалинового меромиктического озера Могильное (остров Кильдин, Баренцево море) // Океанология. 2025. Т. 65, № 2. С. 264–279.

Кокрятская Н. М., Лосюк Г. Н., Краснова Е. Д. и др. Эволюция окислительно-восстановительных условий в отделяющихся водоемах залива Порья Губа и Кандалакшского берега Белого моря // Океанология. 2024. Т. 64, № 3. С. 438–449.

Кокрятская Н. М., Лосюк Г. Н., Попов С. С., Титова К. В. Гидрохимические параметры озер большие и малые Хрусломены (по данным экспедиции 2024 года) // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: материалы 3-й междунар. конф., Казань, 20–23 мая 2025 года. Казань: АН РТ, 2025. С. 403–407.

Лосюк Г. Н., Кокрятская Н. М., Краснова Е. Д. Сероводородное заражение прибрежных озер на разных стадиях изоляции от Белого моря // Океанология. 2021. Т. 61, № 3. С. 401–412.

Лосюк Г. Н., Кокрятская Н. М., Попов С. С. Соединения восстановленной серы в отделяющихся водоемах Белого моря // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: материалы 3-й междунар. конф. Казань, 20–23 мая 2025 года. Казань: АН РТ, 2025. С. 443–446.

ЭВОЛЮЦИЯ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА В ГОЛОЦЕНЕ ПО ДАННЫМ ЛИТО- И БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ: НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

А. В. Лудикова*, Д. Д. Кузнецов

Институт озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

** e-mail: ellerbeckia@yandex.ru*

THE EVOLUTION OF LAKE LADOGA IN THE HOLOCENE ACCORDING TO THE LITHO- AND BIOSTRATIGRAPHIC SEDIMENT STUDIES: RECENT RESULTS

A. V. Ludikova, D. D. Kuznetsov

Обобщены недавние результаты изучения содержания органического вещества, гранулометрического состава, состава диатомовых комплексов и содержания остатков кремнистых микроводорослей в донных отложениях Ладожского озера. Выявленные закономерности изменения лито- и биостратиграфических характеристик донных осадков могут быть использованы для корреляции разрезов из разных частей ладожской котловины.

Продолжающееся изучение донных отложений Ладожского озера направлено на выявление гео- и биоиндикационных признаков изменений состояния ладожской экосистемы в геологическом прошлом с целью получения новых данных и уточнения существующих представлений об основных этапах его эволюции. Изучение динамики содержания органического вещества в осадках, являющейся косвенным отражением изменений биопродуктивности водоема, позволило выявить несколько периодов органонакопления, выделяемых во всех районах ладожской котловины, но наиболее отчетливо прослеживаемых в ее центральной части (Кузнецов, 2024). По-прежнему дискуссионным остается вопрос о причинах спада содержания органического вещества во второй половине голоцена. Привлечение результатов гранулометрического анализа позволило предположить, что к этому могло привести не только снижение биологической продуктивности озерной экосистемы в ответ на изменения климатической обстановки, но и падение уровня Ладожского озера, вызванное образованием р. Невы в позднем голоцене (Кузнецов и др., 2025).

Применение современных сведений о систематике и экологии диатомовых водорослей, использование цист золотистых водорослей в качестве вспомогательной группы индикаторных микрофоссилий, а также данных о флористическом разнообразии диатомовых комплексов и количественном содержании остатков кремнистых микроводорослей позволило охарактеризовать отклик ладожской экосистемы на изменения термического, гидрохимического и гидробиологического режимов, глубины и конфигурации бассейна (Лудикова, 2024; Лудикова и др., 2025). Показана возможность использования выявленных закономерностей изменения лито- и биостратиграфических характеристик донных осадков для корреляции разрезов из разных частей ладожской котловины.

Исследование проведено в рамках государственного задания Института озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН № FFZF-2024-0001.

Литература

Кузнецов Д. Д. Палеолимнологические исследования в Институте озероведения РАН последнего десятилетия — литостратиграфический аспект // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2024. № 5. С. 115–127.

Кузнецов Д. Д., Лудикова А. В., Субетто Д. А. Голоценовое накопление органического вещества в отложениях Ладожского озера и причины позднеголоценового минимума // Динамика экосистем в голоцене = Dynamics of ecosystems in the Holocene [электронный ресурс]: материалы VII Всерос. науч. конф. с междунар. уч. (г. Пермь: ПГНИУ, 20–25 октября 2025 г.). Пермь: Тов-во науч. изд. КМК, 2025. С. 202–203.

Лудикова А. В. 60 лет изучения диатомовых водорослей в донных отложениях Ладожского озера. Что нового можно сказать об истории развития и современном состоянии крупнейшего водоема Европы? // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2024. № 5. С. 128–142.

Лудикова А. В., Кузнецов Д. Д., Шаталова А. Е. Стадия Анцилового озера в осадочной летописи его восточной периферии // Вестник СПбГУ. 2025. Т. 70, вып. 1. С. 121–142.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОМ РАЗРЕЗЕ ПО 39° В. Д. В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

О. Н. Лукьянова [1]*, И. А. Гангнус [2], К. В. Артамонова [3]

[1] Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия
[2] Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия
[3] Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

** e-mail: lukyanova.on@ocean.ru*

SEASONAL DYNAMICS OF CHEMICAL CHARACTERISTICS IN THE OCEANOGRAPHIC SECTION ALONG 39° E IN THE BARENTS SEA

O. N. Lukyanova, I. A. Gangnus, K. V. Artamonova

На основе материалов, полученных в экспедициях НЭС «Академик Трешников» в марте — мае 2019 г. и НИС «Академик Мстислав Келдыш» в ноябре — декабре 2023 г. в российской части Баренцева моря, проанализирована сезонная изменчивость содержания растворенного кислорода и биогенных элементов на океанографическом разрезе вдоль 39° в. д. — аналоге векового стандартного разреза «Кольский меридиан». По атомарным соотношениям минерального азота, фосфора и кремния определены биогенные элементы, лимитирующие образование первичной продукции.

Изучение экосистемы Баренцева моря вызывает большой интерес как в связи с глобальными изменениями климата, так и в связи с изменениями условий среды обитания гидробионтов. Гидрохимические показатели могут использоваться в качестве маркеров физических и биологических процессов. Изменение концентрации биогенных элементов в течение года тесно связано с поступлением в Баренцево море атлантических и арктических вод, с зимней вертикальной конвекцией, а также с жизнедеятельностью фитопланктона, которому для поддержания роста необходимы такие элементы, как азот, фосфор и кремний (Гидрометеорология и гидрохимия…, 1992; Экологический..., 2020; Система Баренцева моря, 2021).

В работе были проанализированы гидрохимические данные, полученные в экспедициях НИС «Академик Мстислав Келдыш» в ноябре — декабре 2023 г. и НЭС «Академик Трешников» в марте — мае 2019 г. в российской части Баренцева моря. Гидрохимические показатели определялись непосредственно после отбора проб в судовых лабораториях аттестованными методиками, принятыми для анализа морских и пресных вод (Современные методы…, 1992; Руководство…, 2023). Рассмотрены особенности распределения гидрохимических показателей в атлантических и арктических водах на океанографическом разрезе вдоль 39° в. д. — аналоге векового стандартного разреза «Кольский меридиан» в разные сезоны.

В марте в результате зимнего вертикального конвективного перемешивания распределение биогенных элементов в слое воды от поверхности до 200 м было квазиоднородное и составляло: 4–5 μM — силикатов, 0,6–0,7 μM — фосфатов и 10–11 μM — нитратов. Максимальная концентрация растворенного кислорода достигала 7,6 мл/л и наблюдалась в наиболее холодной арктической воде. Насыщение вод кислородом не превышало 92 %.

В мае активное цветение фитопланктона приводило к увеличению содержания кислорода в верхнем фотическом слое до 8,4–9,6 мл/л и уменьшению концентрации биогенных элементов (до 1–2 μM силикатов, 0,2–0,4 μM фосфатов и 1–5 μM нитратов). Процентное насыщение кислородом достигало 114 %.

В ноябре — декабре начавшееся зимнее вертикальное конвективное перемешивание и преобладание деструкционных процессов приводили к уменьшению содержания кислорода в фотическом слое до 7,2–7,8 мл/л и росту концентрации биогенных элементов (до 2–3 μM силикатов, 0,6 μM фосфатов и 8–9 μM нитратов). Насыщение воды кислородом не превышало 96 %.

Установлено, что в Баренцевом море по атомарному соотношению силикатов, фосфатов и нитратов образование первичной продукции в поздневесенний период лимитирует азот и кремний, для зимнего периода соотношение азота к фосфору становится близким к стехиометрическому.

Экспедиционные работы в 2023 г. выполнены с использованием оборудования уникальной научной установки НИС «Академик Мстислав Келдыш» в составе ЦКП «Научный флот ИО РАН» https://rv.ocean.ru/flot/abf/nis-akademik-mstislav-keldyish.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН (тема № FMWE-2024-0020).

Литература

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 1. Баренцево море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. Л.: Гидрометеоиздат, 1992. 182 с.

Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана / под ред. Сапожникова. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 203 с.

Система Баренцева моря / под ред. академика А. П. Лисицына. М.: ГЕОС, 2021. 672 с.

Современные методы гидрохимических исследований океана. М.: АН СССР. Институт океанологии им. П. П. Ширшова, 1992. 200 с.

Экологический атлас. Баренцево море / ПАО «НК «Роснефть», ООО «Арктический Научный Центр». М.: Фонд «НИР», 2020. 447 с.

ЗИМНИЙ ФИТОПЛАНКТОН ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

О. А. Ляшенко

Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга»), Санкт-Петербург, Россия

e-mail: lyashenko_oa@niorh.vniro.ru

WINTER PHYTOPLANKTON OF THE EASTERN PART OF THE GULF OF FINLAND

O. A. Liashenko

По результатам исследования зимнего фитопланктона восточной части Финского залива на различных акваториях в период открытой воды и частично в период ледостава в 2024–2025 гг. показано, что он в целом характеризуется сходными с отмечаемыми в летне-осенний период структурой и таксономическим составом при некоторых обусловленных особенностями акваторий отличиях. Средние величины биомассы варьировали от 0,03 до 0,69 г/м^3, на станциях биомасса достигала 1,6 г/м^3. Величины биомассы зимнего фитопланктона восточной части Финского залива, преимущественно до ледостава, сроки которого в связи с изменением климата сдвигаются на поздний период, сопоставимы с отмечаемыми осенью.

В практике гидробиологических исследований для регионов с ярко выраженными сезонными различиями условий развития гидробионтов под «вегетационным периодом» зачастую понимают весенне-осенний период развития планктонных водорослей, тогда как несмотря на низкие температуры и уровень освещения в зимний период водоросли в планктоне вегетируют круглогодично и могут достигать достаточно высоких количественных показателей развития.

Данные о составе и количественных показателях зимнего фитопланктона восточной части Финского залива единичны, однако в связи с глобальным изменением климата его исследование представляет интерес с точки зрения возможного расширения временного диапазона «вегетационного периода» и более корректной оценки количественных показателей развития фитопланктона в годовом аспекте.

Пробы фитопланктона отбирали в последних числах ноября и декабре (единично — в марте) 2024 и 2025 гг. в различных акваториях восточной части Финского залива: акватории у острова Сескар, в Невской и Лужской губах и Выборгском заливе (бухта Малая Пихтовая) в период открытой воды, а в Выборгском заливе — также в период ледостава.

Интегральные пробы на станциях отбирали батометром Паталаса через каждый метр до глубины, соответствующей утроенной прозрачности по диску Секки. Идентификацию и подсчет водорослей проводили в счетной камере объемом 0,05 мл. Биомассу фитопланктона рассчитывали счетно-объемным методом на основании размеров водорослей, определяемых в процессе камеральной обработки (Методы гидробиологических…, 2024).

По результатам исследований в планктоне отмечены водоросли девяти систематических групп: цианобактерии, золотистые, криптофитовые, динофитовые, желто-зеленые, эвгленовые, зеленые, харовые водоросли. Таксономический состав и структура фитопланктона в большинстве случаев были сходными с наблюдаемыми в летне-осенний период.

В последних числах ноября 2024 г. в открытой части акватории залива у острова Сескар основу биомассы фитопланктона составляли цианобактерии с преобладанием *Aphanizomenon flos-aquae*, общая биомасса в среднем составляла 0,23 г/м^3. В те же сроки в Невской губе у острова Котлин преобладали диатомовые с доминированием *Aulacoseira islandica*, биомасса достигала 1 г/м^3, в среднем составив 0,52 г/м^3.

Минимальные для зимнего периода биомассы (0,03–0,04 г/м^3) при преобладании цианобактерий (с доминированием *A. flos-aquae*) и диатомовых отмечены в начале декабря 2024 г. в Лужской губе. В тот же период в Выборгском заливе (бухта Малая Пихтовая) фитопланктон отличался преобладанием криптомонад (водоросли рода Cryptomonas) и диатомовых (*Pauliella taeniata*), его средняя биомасса составила 0,69 г/м^3 (при максимальной 1,6 г/м^3).

В Невской губе на акватории возле устья р. Невы в конце декабря 2025 г. средняя биомасса фитопланктона составила 0,22 г/м^3, преобладали диатомовые, доминировали *A. islandica* и *Aulacoseira subarctica.*

В период ледостава в конце декабря 2024 и 2025 гг., а также в марте 2025 г. в бухте Малая Пихтовая биомасса фитопланктона при доминировании криптомонад составляла около 0,1 г/м^3.

Структура зимних планктонных альгоценозов была сходна с наблюдаемой в летне-осенний период, однако отмечены и некоторые отличия. Так, преобладание в фитопланктоне Невской губы *A. islandica* — холодноводного доминанта фитопланктона Ладожского озера (Современное состояние…, 2021), вероятно, обусловлено поступлением в ее акваторию вод р. Невы. В наиболее эвтрофированной акватории средней части Выборгского залива (Ляшенко, 2024) фитопланктон в зимний период характеризовался преобладанием миксотрофных криптомонад, что позволяет предположить значительную гетеротрофную составляющую в питании водорослей на этой обогащенной органическим веществом акватории зимой, особенно в подледный период, для которого были характерны минимальные биомассы фитопланктона.

В целом результаты исследований показали, что в зимний период количественное развитие фитопланктона, особенно до ледостава, сроки которого в связи с изменением климата в восточной части Финского залива сдвигаются на поздний период (Солощук, 2010), может быть сопоставимым с наблюдаемым в восточной части Финского залива осенью (Ляшенко, 2025).

Литература

Ляшенко О. А. Фитопланктон восточной части Финского залива в XXI веке: V Всерос. конф. с междунар. уч. «Актуальные проблемы планктонологии» с таксономическим тренингом для молодых ученых. Тезисы докладов. Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2025. С. 81–82.

Ляшенко О. А. Фитопланктон Выборгского залива Балтийского моря в XXI веке // Рыбохозяйственная наука. История, современность, перспективы: материалы междунар. науч.-практ. конф., посв. 110-летию Санкт-Петербургского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга»), г. Санкт-Петербург, 23–24 октября 2024 г. М.: Изд-во ВНИРО, 2024. С. 339–341.

Методы гидробиологических исследований внутренних вод. Ярославль: Филигрань, 2024. 592 с.

Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата. М.: РАН, 2021. 637 с.

Солощук П. В. Изменение климата и ледовых условий водной системы Финский залив — Невская губа — река Нева в осенне-зимний период за последние 15 лет // Ученые записки Российского гос. гидрометеорологического ун-та. № 14. СПб.: РГГМУ, 2010. С. 34–41.

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОЙ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЗЕРА ИМАНДРА И ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ОРГАНОВ РЫБ (НА ПРИМЕРЕ НАЛИМА)

С. И. Мазухина [1]*, В. А. Маслобоев [1], С. В. Дрогобужская [2], И. М. Королева [1], П. М. Терентьев [1]

[1] *Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, Россия*
[2] *Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

* *e-mail: simazukhina@mail.ru*

ASSESSMENT OF THE MODERN HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF LAKE IMANDRA AND THE ELEMENTAL COMPOSITION OF FISH ORGANS (USING BURBOT AS AN EXAMPLE)

S. I. Mazukhina, V. A. Masloboev, S. V. Drogobuzhskaya, I. M. Koroleva, P. M. Terentjev

Термодинамическое моделирование химического состава вод оз. Имандра в летнее (открытая система) и зимнее (закрытая система) время показало состав новообразованных фаз, равновесных с водой. Не вызывает сомнений, что химический состав воды является ведущим в элементном статусе живого организма, но и сам организм является активным участником этих процессов, формируя барьеры для поступления элементов, а иногда активно их концентрируя. Установлено, что за исключением цинка, ртути и мышьяка максимальные концентрации микроэлементов выявлены в мозге налима. Полученные результаты позволяют формировать представление о причинах возникновения патологических состояний живых систем, включая человека, делать прогноз заболеваемости и проводить профилактические мероприятия по улучшению состояния окружающей среды.

Объективной оценкой состояния окружающей среды являются показатели здоровья человека. Среди городов и районов Мурманской области по заболеваниям костно-мышечной системы, мочекаменной болезни и органов пищеварения выделяются города Кировск и Апатиты (http://mpr.gov-murman.ru, дата обращения: 05.07.2017).

Озеро Имандра подвергнуто антропогенному воздействию и является источником питьевого водоснабжения жителей г. Апатиты. На основании результатов моделирования (Мазухина, 2012) и мониторинга (Экологическое…, 2023) было показано, что в результате воздействия сточных вод апатитового производства (АП) в водной среде оз. Имандра происходит увеличение концентраций Na^+, K^+, Cl^-, F^-, SO_4^{2-}, SiO_2, HCO_3^- и значений pH, уменьшение концентрации O_2, изменение состава донных отложений.

В рамках данной работы представлены гидрохимические данные за 2025 г. (табл. 1) и элементный состав органов рыб, на примере налима *Lota lota* L. (табл. 3).

Таблица 1. **Результаты гидрохимического анализа вод Йокостровской Имандры, мг/л**

Na^+	K^+	Ca^{2+}	Cl^-	F^-	SO_4^{2-}	SiO_2
20,19	2,712	6,418	9,82	0,478	23,266	1,56

Результаты исследования системы при разной температуре в открытых и закрытых условиях к атмосфере (летнее и зимнее время, когда озеро подо льдом) (ПК Селектор, Чудненко, 2010) показали изменение форм миграции поливалентных элементов (U, La, Ce), составы новообразованных фаз и газового режима (табл. 2).

Таблица 2. **Состав новообразованных фаз, %**

Система открыта к атмосфере (летнее время) T 15 °C, P 1 бар. CO_2 10,01; O_2 9,34 (мг/л)							
MnO_2	FeO (OH)	Msc	Apt	Mnt	Eh, B	pH	
1,41	13,41	56,56	28,59	0,03	0,827	6,84	
Система закрыта к атмосфере (зимнее врем) (T 5 °C, P 1 бар). CO_2 1,87; HS^- 6,36 (мг/л)							
PbS	FeS_2	Hg_2Cl_2	Apt	Mnt	$CuFeS_2$	Eh, B	pH
4,89	13,04	0,13	25,41	49,54	4,51	–0,275	7,84

Примечание. Msc — мусковит $KAl_3Si_3O_{10}O_2H_2$ $(H_2O)_4$; Apt — апатит Ca_5 $(PO_4)_3F$; Mnt — монтмориллонит $Na_{0.33}Al_{2.33}Si_{3.67}O_{10}$ $(OH)_{2^-}$

Анализ данных по содержанию микроэлементов в организме налима выявил, что кроме Zn, Hg, U и As их максимальные концентрации выявлены в мозге (табл. 3).

Таблица 3. **Медианное содержание элементов в организме налима из оз. Имандра**

Элемент	Скелет	Жабры	Почки	Печень	Мышцы	Мозг
Макроэлементы, мг/г сух. веса						
Ca	**165**	47	0,7	0,2	0,8	1,5
K	1,5	5,0	**17**	5,4	9,5	**17**
Na	6,9	7,4	7,7	1,9	1,9	**25**
Mg	**2,4**	1,2	0,9	0,3	1,2	1,0
Микроэлементы, мкг/г сух. веса						
Br	31,3	53,5	18,9	1,91	10,1	**209**
Cr	< 0,001	4,10	3,82	2,78	0,001	**17,0**
Pb	0,010	0,036	0,033	0,014	0,009	**0,158**
Zn	30,2	66,1	**140**	43,9	6,1	66
Hg	< 0,0001	0,069	**0,172**	0,041	0,002	0,161
As	0,22	0,83	**2,67**	0,8	0,16	1,33
U	0,0040	**0,0078**	0,0021	0,0020	0,0009	0,0043

Из результатов исследования следует, что необходимо продолжение работ с использованием метода электронно-микроскопического анализа для определения наноминеральных фаз, способных мигрировать и накапливаться в разных частях организма. После дополнительных исследований при использовании рыбы как модели для выявления закономерностей распределения химических элементов открываются возможности для прогнозирования заболевания людей в зависимости от химического состава вод.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ 24-17-00114 «Оценка химического состояния природных и питьевых вод Мурманской области, форм миграции, влияние на элементный статус жителей».

Литература

Мазухина С. И. Формирование поверхностных и подземных вод Хибинского горного массива. Апатиты: КНЦ РАН, 2012. 173 с.

Чудненко К. В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения / К. В. Чудненко. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. 287 с.

Экологическое состояние озера Имандра / под ред. Т. И. Моисеенко, В. А. Даувальтера, С. С. Сандимирова. Том 1: Гидролого-геохимические условия. Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2023. 221 с.

ОЦЕНКА РАЗНООБРАЗИЯ ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕРА БАЙКАЛ ДНК-МЕТАБАРКОДИРОВАНИЕМ

Т. Ю. Майор*, А. П. Федотов

Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

** e-mail: tatyanabfo@mail.ru*

ASSESSMENT OF ZOOPLANKTON DIVERSITY IN LAKE BAIKAL USING DNA METABARCODING

T. Yu. Mayor, A. P. Fedotov

ДНК-метабаркодирование позволяет быстро оценивать разнообразие зоопланктона, выявлять редкие инвазивные виды и является перспективным методом для полуколичественного мониторинга. В сентябре 2023 г. в прибрежной зоне оз. Байкал отобрано 10 проб для ДНК-метабаркодирования (COI, ITS1) и микроскопии. Сравнение показало, что генетические методы лучше идентифицируют циклопов, Bosmina и некоторых коловраток (*Synchaeta grandis* и *Gastropus stylifer*), а микроскопия — *Eudiaptomus graciloides*, *Chydorus cf. sphaericus*, *Asplanchna* sp., *Ascomorpha ecaudis*, *Filinia terminalis*, *Conochilus unicornis*, *Collotheca* sp. С помощью метабаркодирования было выявлено 75 % доминантов, расширен состав за счет циклопов и Synchaeta и обнаружены генетические линии у Keratella и Kellicottia. Метод не заменяет микроскопию, но служит ценным дополнением.

ДНК-метабаркодирование позволяет быстро оценивать генетическое разнообразие зоопланктона, эффективно выявляя редкие и инвазивные виды, в том числе на ранних стадиях развития. Наиболее часто используют гипервариабельные участки гена 18S рРНК (V4, V9) и гена COI. Хотя корреляция между числом прочтенных последовательностей и реальной численностью или биомассой организмов часто нелинейная и зависит от таксона, метод остается перспективным для полуколичественного мониторинга.

В сентябре 2023 г. для ДНК-метабаркодирования в прибрежной зоне оз. Байкал были собраны 10 проб сетью Джеди с использованием научно-исследовательского судна «Папанин» (ЦКП «Центр научно-исследовательских судов ЛИН СО РАН на озере Байкал»). Аликвоту пробы (100 мл, ~1/7 часть пробы) фиксировали для генетического анализа, оставшуюся часть пробы фиксировали для анализа методом микроскопии. Для ДНК-метабаркодирования были выбраны фрагменты гена COI (313 п. о.) и первого внутреннего транскрибируемого спейсера рибосомной ДНК (ITS1) (~350 п. о.). Высокопроизводительное секвенирование проводилось на приборе Illumina MiSeq с использованием набора реагентов MiSeq Reagent Kit v2 (500 циклов; 2 × 250) V2 (Illumina, США) в ЦКП ГТПиКБ ФГБНУ ВНИИСХМ (Пушкин, Россия).

Сопоставление данных, полученных методами микроскопии и ДНК-метабаркодирования, позволило выявить максимальное видовое разнообразие на каждой станции. ДНК-метабаркодирование показало преимущество в оценке таксономического состава циклопов, которые на ювенильных стадиях не идентифицировались по морфологии, ветвистоусых ракообразных рода *Bosmina,* а также таких видов коловраток, как *Synchaeta grandis* и *Gastropus stylifer*. Методами микроскопии эффективнее были найдены *Eudiaptomus graciloides*, *Chydorus* cf. *sphaericus*, *Asplanchna* sp., *Ascomorpha ecaudis*, *Filinia terminalis*, *Conochilus unicornis*, *Collotheca* sp. С помощью ДНК-метабаркодирования была идентифицирована большая часть доминантных таксонов зоопланктона (75 %).

Дополнительно применение вариабельных фрагментов COI и ITS1 позволило расширить полученный методом микроскопии видовой состав зоопланктона за счет лучшей идентификации циклопов и уточнить состав таксономически сложного рода *Synchaeta*. Было выявлено несколько генетических линий среди круглогодичных и доминантных видов *Keratella*

cochlearis и *Kellicottia longispina.* Таким образом, хотя ДНК-метабаркодирование на сегодняшний день не может полноценно заменить метод микроскопии в экологическом мониторинге пресноводного зоопланктона, тем не менее этот метод служит для него информативным дополнением.

Исследование проводили за счет финансирования в рамках темы государственного задания № FWSR-2026-0015 (1025032400008-1-1.5.12).

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ ЧЕРЕЗ ЗНАКОМСТВО С ВОДНО-БОЛОТНЫМИ УГОДЬЯМИ БЕЛАРУСИ (НА ПРИМЕРЕ БОЛОТА ЕЛЬНЯ)

Т. И. Макаренко, О. Н. Ратникова*, И. В. Агейчик, А. Т. Борш

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

** e-mail: ratnikova@nature-nas.by*

FORMING AN ENVIRONMENTAL AWARENESS AMONG STUDENTS THROUGH FAMILIARIZATION WITH THE WETLANDS OF BELARUS (USING THE YELNYA SWAMP AS AN EXAMPLE)

T. I. Makarenko, O. N. Ratnikova, I. V. Ageychik, A. T. Borsh

Подчеркивается значимость формирования экологической культуры и проведения экологического просвещения в обществе. Особое внимание уделено водно-болотным угодьям — уникальным природным ландшафтам с богатым биоразнообразием, находящимся под угрозой исчезновения вследствие увеличения антропогенной нагрузки. Для сохранения этих территорий в Беларуси организуются разнообразные научно-популярные мероприятия, направленные на информирование населения о необходимости бережного отношения к окружающей среде, правильного поведения и о возможностях личного вклада в охрану природы. Также представлены наиболее посещаемые экологические мероприятия и предложены новые планы по повышению уровня экологической культуры среди населения.

Вопрос экологического просвещения является приоритетным как для государственных структур, так и для научного сообщества. Охрана торфяников закреплена в ряде нормативных актов, среди которых ключевое значение имеет Закон Республики Беларусь от 18 декабря 2019 года № 272-З «Об охране и использовании торфяников». Данный законодательный акт направлен на комплексное решение задач, связанных с охраной, рациональным и устойчивым использованием торфяников, а также восстановлением болотных экосистем и их биосферных функций.

Закон регламентирует поддержание гидрологического режима болот, методы предотвращения их деградации, сохранение биологического разнообразия, а также экологически безопасные способы добычи торфа. Кроме того, он предусматривает удовлетворение экономических и иных потребностей общества в торфяных ресурсах с учетом интересов настоящих и будущих поколений. В целях сбалансированного использования торфяных ресурсов и охраны болот как уникальных экосистем, а также обеспечения устойчивого управления с соблюдением международных экологических соглашений в законодательстве четко определены требования рационального использования торфяников.

В Беларуси для формирования экологической культуры о водно-болотных угодьях и внедрения экологического законодательства в повседневную жизнь всех слоев населения ежегодно проводятся разнообразные просветительские и популяризационные мероприятия. В рамках тематических лекций, мастер-классов, викторин и интерактивных игр происходит активное развитие экологического сознания участников.

Наиболее масштабной научно-популярной платформой в данной сфере является ежегодный Фестиваль науки, который проводится в первые выходные сентября. В 2025 г. фестиваль посетили около 38 000 человек, представляющих более 170 организаций из Беларуси, России и стран СНГ. Мероприятие ориентировано на широкую аудиторию всех возрастных категорий. За последние три года участия в фестивале на локации института авторами представлены экспозиции, посвященные водно-болотным угодьям Беларуси (наглядная демонстрация «болота в миниатюре», структуры растений-торфообразователей и хитина с помощью микроскопа, продукции на основе торфа), тематическая лекция о роли болот и необходимости

их сохранения, различные мастер-классы. Особое внимание уделялось правилам поведения в лесных и болотных экосистемах с целью предотвращения ущерба как для природы, так и для человека.

Ежегодно Академия наук Беларуси проводит мероприятие «Моя семья Академия», где среди младших школьников в доступной форме пропагандируют охрану окружающей среды и мотивируют их к изучению научных исследований белорусских ученых.

В последние годы в Беларуси наблюдается рост популярности экологического туризма, однако массовое посещение охраняемых территорий, в частности болот, при несоблюдении правил поведения может привести к значительному ущербу болотной экосистемы. В ходе просветительских бесед и лекций акцентируется внимание на негативных последствиях для экосистем халатного отношения туристов.

Особое значение имеет болото Ельня — крупнейшее верховое болото Беларуси и одно из крупнейших в Европе, входящее в состав ландшафтного заказника республиканского значения. На одном из экологических маршрутов болота Ельня установлены информационные стенды и оборудованы стоянки для отдыха, где посетители могут самостоятельно ознакомиться с редкими видами птиц, насекомых и растений, обитающими в этом уникальном водно-болотном угодье. Особенно популярно болото осенью, люди приезжают сюда собирать дикорастущие ягоды, возрастает экологический туризм. Однако массовые неконтролируемые посещения оказывают отрицательное воздействие на естественное состояние болота: происходит вытаптывание растительного покрова, уплотнение торфяной залежи, что в конечном итоге приводит к деградации экосистемы болота. Кроме того, на территории болота часто остается мусор, а нарушение правил противопожарной безопасности — разведение костров и курение — приводит к возникновению пожаров, которые наносят значительный ущерб природе.

В Беларуси реализуется множество волонтерских проектов, среди которых выделяется проект Yelnyatrip. Совместно с авторами участники данного проекта проводят лекции и семинары, посвященные вышеуказанным проблемам, и активно продвигают их в социальных сетях. Кроме того, команда регулярно организует сбор мусора вручную и вывоз его за пределы территории болота, способствуя улучшению экологического и пожароопасного состояния.

Особое внимание в экологическом просвещении уделяется проблеме возникновения пожаров и их сложности тушения. Верховые болота восстанавливаются очень медленно после возгораний. За последние 50 лет около 80 % территории болота Ельня пострадало от пожаров, в большинстве случаев по вине человека, что нанесло колоссальный ущерб экосистеме и создало угрозу для здоровья и жизни людей, живущих рядом.

В настоящее время благодаря государственной поддержке проводится комплексный мониторинг торфяников, в том числе мониторинг болота Ельня. Это позволяет систематически оценивать состояние торфяных залежей, поверхностных и грунтовых болотных вод, растительного покрова и иных компонентов экосистемы, обеспечивая тем самым эффективное управление и сохранение болотных экосистем. В рамках реализации одного из научно-исследовательских проектов разрабатывается Электронная карта болота Ельня, отображающая природные компоненты — воду, водную среду, недра и биоту — в виде отдельных блоков. На Фестивале науки – 2026 продемонстрирован тестовый режим этой карты. Посетители смогут оставить отзывы и предложения по ее улучшению, а также с помощью VR-очков погрузиться в виртуальное путешествие по самому большому и древнему верховому болоту Беларуси. В ходе мероприятия планируется обсудить современное состояние болота, существующие угрозы (пожары, загрязнение мусором, хождение по поверхности) и способы их предотвращения.

Авторы ставят цель воспитать бережное отношение к природе, повысить осведомленность об уникальных белорусских ландшафтах, в том числе о водно-болотных угодьях, познакомить с деятельностью научных организаций и обучить правилам безопасного нахождения на болотах. Такой комплексный подход способствует сохранению природного наследия и устойчивому развитию регионов Беларуси.

СТРУКТУРА ЛИТОРАЛЬНОГО ЗООПЛАНКТОНА НЕКОТОРЫХ ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Ю. А. Малинина

Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга»), Санкт-Петербург, Россия

e-mail: MJul@rambler.ru

STRUCTURE OF LITTORAL ZOOPLANKTON IN SOME LAKES AND RESERVOIRS IN THE EUROPEAN PART OF RUSSIA

Yu. A. Malinina

The structure and functioning of zooplankton communities in a number of large Reservoirs (Saratov, Volgograd, Sursky (Penza), and Iriklinsky) and Lake Ilmen were analyzed. The reservoirs differ in their hydrological characteristics and the area of their pronounced littoral zone. The quantitative characteristics of zooplankton communities in individual littoral areas depend on the ecological characteristics of the zooplankton species and the degree of overgrowth in the areas. Higher aquatic plants create a barrier to the movement of air and water masses, which creates favorable conditions for the development of zooplanktonic organisms and increases their productivity.

Мелководная зона водоемов играет весьма существенную роль в жизни гидробионтов. На этом специфическом биотопе осуществляются важнейшие биопродукционные процессы. Здесь развивается прибрежно-водная растительность, являющаяся средообразующим фактором для сообществ фито-, зоопланктона, зообентоса, одним из источников первичного органического вещества и детрита и создающая нерестовый субстрат для фитофильных видов рыб. Разнообразие типов мелководий и фактическое соотношение мелководной и глубоководной зон определяют функциональную роль водных биоценозов в природе и хозяйственной деятельности человека.

Анализировали структуру и функционирование зоопланктоценозов ряда крупных водохранилищ: Саратовского, Волгоградского, Сурского (Пензенского), Ириклинского и оз. Ильмень. Водоемы различаются по гидрологическому режиму и площади выраженной литоральной зоны. Все изучаемые мелководные участки по морфологическим признакам условно разделили на следующие типы:

– открытые литоральные участки, примыкающие к руслу водохранилища (озера);

– пойменные участки, которые различались по степени проточности (высокая, средняя, слабопроточная). На всех исследуемых участках были выделены три типичных биотопа: условно открытый (лишенный растительности); заросший воздушно-водной растительностью; заросший погруженной растительностью. Пробы зоопланктона отбирали в период максимальной вегетации высшей водной растительности. Отбор и обработку проб проводили по общепринятым в гидробиологии методикам.

Доминирующие виды высшей водной растительности на исследуемых водоемах — рогоз узколистный, тростник обыкновенный, камыш обыкновенный (1-й ярус), рдест пронзеннолистный, уруть колосистая, роголистник темно-зеленый (2-й ярус). Анализ численности основных групп зоопланктона показал, что на заросших участках преобладали типичные виды мелководной фауны: *Sida cristallina, Euricercus lamellatus, Simocephalus vetulis, Ceriodaphnia pulchaella.* На всех исследуемых участках зарегистрированы *Acroperus harpae, Chidorus sphaericus, Brachionus quadridentatus, Euchlanis triquetra*. Значительная часть встреченных (около 25 % видов) — обитатели мелководных участков со стоячей водой или с медленным течением (например, *Alona costata, Macrothrix laticornis*). Видовое разнообразие в сообществах исследуемых биотопов было сравнительно высоким (индекс Шеннона 1,65–2,69). Основу зоопланктона (72 %) составляли мирные формы.

На биотопах, характеризующихся массовым развитием моллюсков р. Dreissena, до 80 % численности и биомассы приходилось на веслоногих ракообразных. Среди них по численности доминировали представители п/отр. Cyclopoida, по биомассе — Calanioda.

На всех выделенных по морфологическому признаку участках наименьшие количественные показатели развития зоопланктона зарегистрированы на условно открытых, не заросших макрофитами биотопах. Зоопланктон литоральных участков, примыкающих к руслу водохранилища, подвержен воздействию интенсивного ветрового перемешивания, представлен теми же пелагическими формами, что и в русловой зоне. Однако данные ценозы характеризуются более высокой информационной насыщенностью и эквитабельностью. Исследования показали, что на защищенных участках в связи с благоприятными температурными условиями, обилием пищи в виде микрофлоры и детрита наблюдается интенсивное развитие зоопланктонных организмов. Количественные показатели зоопланктона пойменных участков со средней плотностью зарастания высшей водной растительностью превышают аналогичные показатели литоральных участков, примыкающих к руслу водохранилища, в 3–5 раз. Состав зоопланктона прибрежной зоны определяется защищенностью ее от волнений и типом зарослей макрофитов.

Таким образом, установлено, что повышенная прогреваемость, обилие микрофлоры и детрита в зарослях макрофитов, а также защищенность от ветровых воздействий способствуют увеличению биомассы зоопланктона. Анализ распределения зоопланктона по отдельным биотопам исследованных разнотипных водоемов выявил неоднородность развития сообществ и зависимость количественных показателей от скорости течения, плотности стеблестояния растений, температурного режима и глубины биотопов.

Сравнительный анализ распределения зоопланктона на различных литоральных участках по продольному и поперечному профилям исследуемых волжских водохранилищ показал, что при распределении планктонных организмов сохраняется тенденция к повышению численности и биомассы у левого берега в связи с более выраженной зоной литорали и благоприятными трофическими и температурными условиями в левобережной части водохранилищ. В среднем численность у левого мелководного берега превышает таковую у правого в 2 раза, биомасса — в 1,5 раза.

В Ириклинском водохранилище зона литорали выражена слабо, разница в количественных показателях развития зоопланктона русловой зоны и открытой литорали статистически незначима.

Количественные характеристики зоопланктоценозов на отдельных литоральных участках зависят от экологических особенностей видов, а также наличия макрофитов. Высшие водные растения создают барьер движению воздушных и водных масс, вследствие чего создаются благоприятные условия для развития зоопланктонных организмов, увеличения их продукционных характеристик.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПИТЬЕВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ АРКТИЧЕСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

А. И. Малов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук», Архангельск, Россия

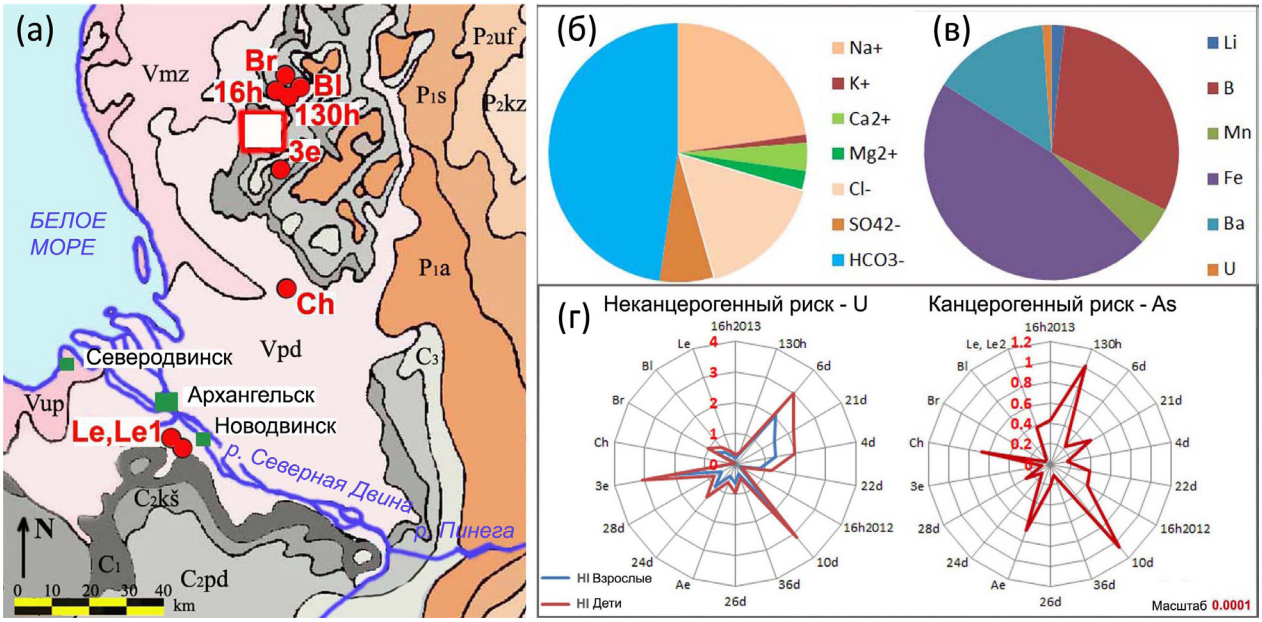
e-mail: malovai@yandex.ru

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF DRINKING GROUNDWATER USING THE EXAMPLE OF THE ARCTIC AGGLOMERATION

A. I. Malov

На примере Архангельской агломерации, население которой составляет 21 % населения Российской Арктики и 9,3 % населения Мировой Арктики, выполнена оценка возможностей водоснабжения арктических регионов за счет использования подземных вод с определением индексов качества воды и рисков для здоровья. В целом подземные воды имеют хорошее качество. Однако на отдельных участках водоносных горизонтов повышенные концентрации урана и мышьяка могут провоцировать неканцерогенные и канцерогенные риски. Повышение уровня воды в море в связи с существенным потеплением на арктических территориях может повысить негативное воздействие на качество воды интрузии соленых вод с повышенным содержанием натрия. Таяние многолетней мерзлоты усилит поставку органических соединений с железом и марганцем.

В связи с глобальными процессами изменения климата ухудшаются условия водоснабжения населения на арктическом побережье за счет использования поверхностных вод. В данной работе на примере восточноевропейской агломерации, расположенной в устье крупнейшей европейской реки Северная Двина (рис., а), рассматриваются возможности использования подземных вод для централизованного питьевого водоснабжения, а также возникающие при этом проблемы, их значимость и пути решения.



Общая схема расположения исследованных скважин на геологической карте (а); распределение основных макро- (б) и микрокомпонентов (в) в подземных водах; риски от использования воды из отдельных скважин (г)

Установлено, что восемь элементов (Ba, Fe, Na, B, Si, U, Li и Mn) наиболее негативно влияют на качество воды (рис., б, в), а два элемента (U и As) могут провоцировать неканцерогенные или(и) канцерогенные риски (рис., г). Почти все они, за исключением лития, кремния и мышьяка, имеют максимальные значения выше предельно допустимой концентрации по СанПиН 1.2.3685-21. При этом следует отметить, что марганец и железо, по СанПиН 1.2.3685-21, имеют 3-й класс опасности, характеризующий органолептические свойства. Неудобство связано с их активным выпадением в осадок при кипячении воды. Это биоактивные элементы, и в малых концентрациях они полезны для здоровья (WHO-2022…, 2022). По некоторым оценкам, их оптимальные вариации составляют (в мкг/л) для Fe 300–800, для Mn 100–300. В системах водоснабжения они сравнительно легко удаляются при предварительной очистке воды аэрацией.

Остальные элементы, по СанПиН 1.2.3685-21, имеют 2-й класс опасности, характеризующий санитарно-токсикологические свойства. Однако биологически активные натрий и барий в низких концентрациях (50–100 мг/л и 50–100 мкг/л, соответственно) также полезны для здоровья. Повышенные концентрации натрия являются закономерным результатом естественной эволюции подземных вод от Ca-HCO_3 состава к Na-HCO_3 составу по мере насыщения воды карбонатами и перехода к доминированию растворения алюмосиликатов. Также имеет место влияние реликтов древних и современных морских трансгрессий. Na-HCO_3 состав подземных вод и их высокая щелочность также благоприятны для накопления высоких концентраций бора и лития. Содержание кремния 2–5 мг/л стабильно в исследованных водах независимо от их минерализации и соответствует условиям равновесия кварца с пресными водами вендских отложений.

В целом наиболее проблемными элементами представляются мышьяк и уран. Мышьяк — из-за своих канцерогенных свойств, уран — из-за высоких концентраций. Последние определяются недосыщенностью пресных вод по отношению к урановым минералам и высоким содержанием сорбированного и соосажденного с карбонатами урана в твердой фазе водоносного горизонта (Malov, Zykov, Tyshov, 2021). Повышенные концентрации мышьяка были обнаружены в наиболее высокоминерализованных водах с TDS 0,7–0,9 г/л и низким содержанием железа 0,02–0,10 мг/л, а также в слабоминерализованных водах с TDS 0,20–0,25 г/л и высоким содержанием железа 1,6–2,3 мг/л. Поэтому для питьевых целей предпочтительнее использовать слабоминерализованную воду с предварительной аэрацией, в ходе которой железо и мышьяк выпадут в осадок. Было показано, что среды на основе оксида железа и гидроксида железа весьма эффективны как для арсенатных, так и для арсенитных форм. Ионный обмен и активированный алюминий более эффективны для удаления урана (WHO-2022…, 2022).

Ввиду типичности рассматриваемой проблемы для арктических регионов полученные результаты могут быть использованы и на других участках Циркумполярной зоны.

Литература

СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и(или) безвредности для человека факторов среды обитания». Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Главный государственный санитарный врач РФ; 2021. Зарегистрировано в Минюсте России 29 января 2021 г. № 62296.

Malov A. I., Zykov S. B., Tyshov A. S. Distribution of Uranium Isotopes in Sandy Deposits by Sequential Extraction // Minerals. 2021. Vol. 11, N 5: 467.

WHO-2022 «Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda». Geneva: World Health Organization, 2022.

ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ — ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМОВ В МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГИПСА

А. И. Малов*, В. А. Находа, С. В. Дружинин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук», Архангельск, Россия

** e-mail: malovai@yandex.ru*

BOTTOM SEDIMENTS — WATER BODY CONDITION ASSESSMENTS IN MONITORING STUDIES DURING GYPSUM DEPOSIT DEVELOPMENT

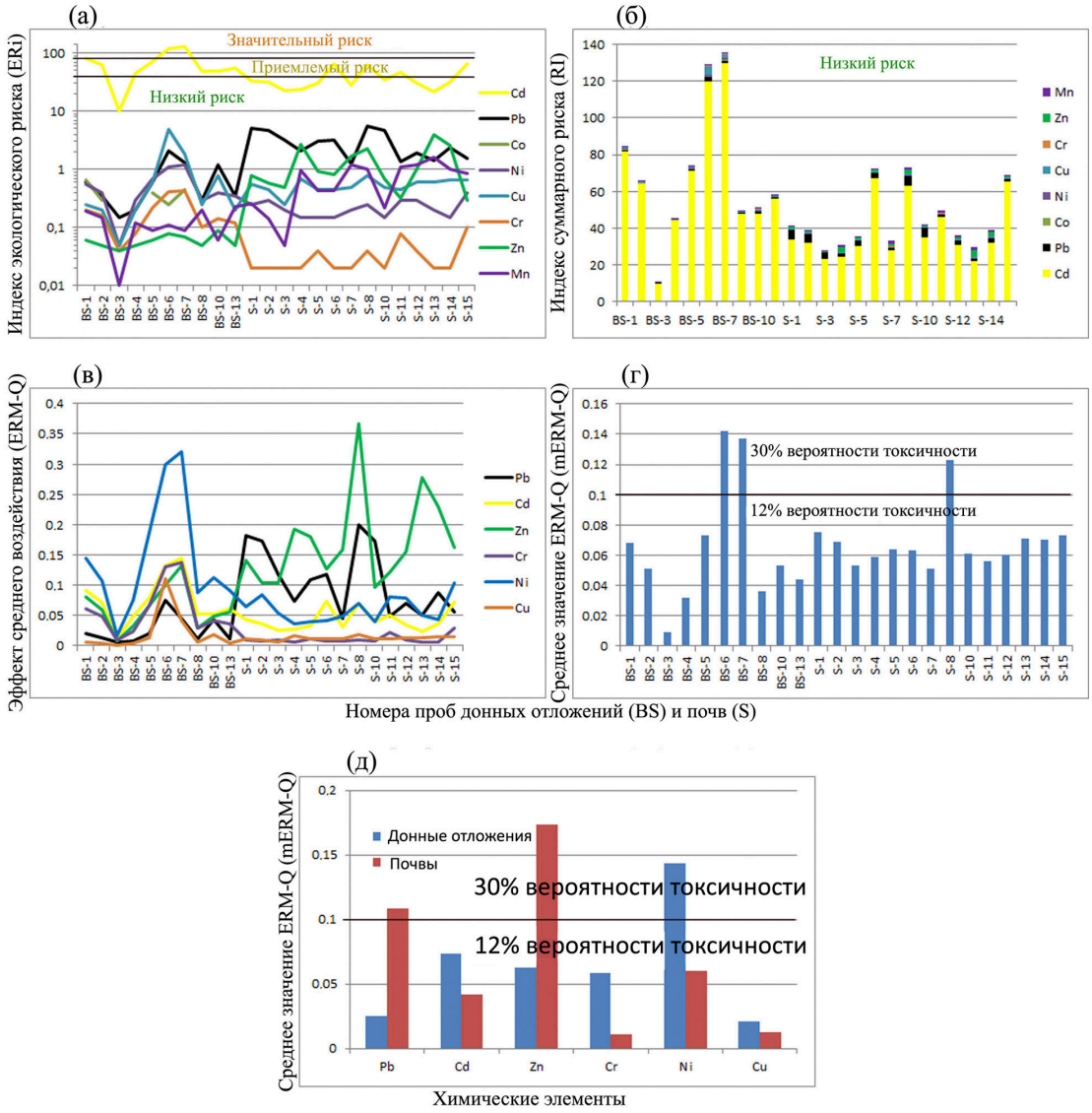
A. I. Malov, V. A. Nakhod, S. V. Druzhinin

Выполнена оценка воздействия гипсовой промышленности на окружающую среду в специфических условиях северной тайги на разрабатываемом месторождении гипса Глубокое в Архангельской области. Установлено, что донные отложения наиболее загрязнены молибденом и кадмием, а почвы кадмием, цинком и свинцом. Все эти элементы обнаружены в повышенных количествах в пробах снега, а цинк и свинец — в поверхностных водах. Максимальное загрязнение определено по пробам донных отложений с максимальным содержанием органического вещества. Согласно значениям индекса экологического риска, общий уровень загрязнения характеризовался низким потенциальным экологическим риском, а загрязнение кадмием в отдельных пробах донных отложений с повышенным содержанием органического вещества достигало значений, характеризуемых значительным риском.

Исследование снежного покрова в радиусе 750 м от действующего карьера по добыче гипса показало наличие загрязнения следующими микроэлементами (МЭ): Fe > Zn > Mo > Mn > Pb > Sb > V > Cr > Cu > As > Cd > Ni > Co. Интенсивность загрязнения снижалась по мере удаления от границ карьера. Для поверхносных вод на расстоянии до 4 км от карьера распределение МЭ выглядело следующим образом: Sr > Fe > Mn > Zn > Cr > Pb > Cu и соответствовало распределению, полученному при исследовании проб снега.

Донные отложения на территории добычи гипса были наиболее загрязнены молибденом и кадмием. Для почв основное загрязнение было связано с кадмием, цинком и свинцом. Эти элементы были установлены в повышенных количествах и в пробах снега, а цинк и свинец и в поверхностных водах, что может свидетельствовать об их хотя бы частично антропогенных источниках. Максимальные концентрации цинка и меди установлены в сточных водах. В оз. Карасевом, расположенном у южной границы карьера, с которой начиналась его разработка, зафиксировано максимальное суммарное количество Pb, Zn, Cr и Cu. Кроме того, установлено, что молибден в исследованных пробах почв оказался ниже предела обнаружения, в то время как в донных отложениях он является одним из основных загрязнителей. Это может указывать на сравнительно молодой антропогенный источник загрязнения молибденом территории добычи гипса. Максимальное загрязнение было установлено по пробам донных отложений озер с максимальным содержанием органического вещества.

В целом, согласно нормативам качества осадков (*SQGs*) и показателям потенциальной токсикологической значимости (*mERM-Q*) (MacDonald, Ingersoll, Berger, 2000), загрязнение донных отложений и почв в районе добычи гипса не должно вызывать негативных биологических эффектов (вероятность токсичности 12 %), однако на отдельных локальных участках они иногда возможны за счет загрязнения никелем, цинком и свинцом (вероятность токсичности 30 % (рис., в, г, д). Данный вывод можно дополнить значениями индекса экологического риска (*ERi*) (Hakanson, 1980), согласно которым уровень загрязнения донных отложений и почв в целом характеризуется низким экологическим риском, а загрязнение кадмием — умеренным экологическим риском (рис., а, б).



Распределение индексов, характеризующих токсикологические риски для организмов, обитающих в донных отложениях и почвах: (а) индекс экологического риска для элементов (*ERi*); (б) индекс экологического риска для проб (*RI*), (в) доля эффекта среднего диапазона воздействия для отдельных элементов (*ERM-Q*); (г) среднее значение *ERM-Q* (*mERM-Q*) для проб; (д) среднее значение *ERM-Q* (*mERM-Q*) для элементов

В донных отложениях три компонента объяснили 91,5 % общей дисперсии набора данных. С влиянием первого компонента с 64,8 % общей дисперсии связаны породообразующие элементы Na, K, Ca, девять МЭ Zn, Ti, V, Cu, Ni, Cr, Pb, Mo, Cd и физико-химические параметры, такие, как органическое вещество, CO_3^{2-} и растворимые соли. Это антропогенное воздействие, обусловленное как региональным атмосферным переносом, так и деятельностью горно-добывающего предприятия на участке исследований. Второй компонент — это природные процессы выщелачивания марганца кислыми водами из почв и основных и ультраосновных пород и растворения карбонатных пород, содержащих магний и стронций, с последующим выносом и частичным отложением в реках и озерах. Воздействие третьего компонента объединяет Zn, Mo, Cd, Fe и Co. Его можно интерпретировать в качестве промежуточного, учитывающего как литогенные источники Zn, Mo и Cd, так и антропогенные источники Fe и Co.

Литература

Hakanson L. Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach // Water Research. 1980. Vol. 14, N 8. P. 975–1001.

MacDonald D. D., Ingersoll C. G., Berger T. A. Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2000. N 39. P. 20–31.

МИКРО- И НАНОПЛАСТИК В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ: ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА И ИННОВАЦИОННЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

И. В. Медведева [1, 2]*, Г. А. Студенок [1], К. А. Уфимцев [1], О. М. Медведева [3]

[1] *Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия*
[2] *Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия*
[3] *Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия*

* *e-mail: ivmedko@mail.ru*

MICRO- AND NANOPLASTICS IN NATURAL WATERS: MONITORING CHALLENGES AND INNOVATIVE PERSPECTIVES

I. V. Medvedeva, G. A. Studenok, K. A. Ufimtsev, O. M. Medvedeva

Рассматривается глобальная проблема — распространение твердых частиц искусственных полимеров (полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид и др) с размерами менее 5 мм (микропластик) в природных водных объектах. Обсуждаются проблемы количественной идентификации и мониторинга распространения микропластиков в реках, озерах, морях России. Особое внимание уделяется аналитическим методам определения микронных и субмикронных частиц и инновационным перспективам исследований микропластика. Обсуждаются методологические и законодательные аспекты организации мониторинга микропластика в поверхностных водах России.

Распространение твердых частиц искусственных полимеров с размерами менее 5 мм (микропластик) в природных средах признано новой глобальной угрозой экосистемам и здоровью людей. Согласно оценкам, за последние 70 лет в мире произведено не менее 8 млрд т пластиков, и их производство непрерывно наращивается, достигая в настоящее время 400 млн т в год (Geyer et al., 2017).

На основе сравнительно небольшого числа пластиков (полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид и др.), производимых из продуктов переработки природных углеводородов, созданы тысячи композитных материалов, содержащих различные добавки. Произведенные изделия, превращаясь со временем в отходы, под воздействием природных факторов деградируют, фрагментируются и активно мигрируют в окружающей среде — воздухе, водах, почвах. Частицы микро- и нанометровых размеров накапливаются в природных водоемах, попадают в пищевые цепи организмов, угрожая экосистемам. Установлено присутствие микропластиков в дыхательных, пищеварительных, кровеносных, репродуктивных органах животных и людей (Nouri et al., 2025). Проблемы количественной идентификации и мониторинга распространения микропластиков в природных водных объектах — реках, озерах, морях — исключительно важны для прогнозирования и принятия соответствующих превентивных мер.

В настоящее время в мире, в том числе в России, проводятся исследования по определению содержания микропластиков в морских, речных и озерных водах (Чубаренко и др., 2021; Filimonova et al., 2024). Существующие методы отбора проб воды (тралы/сети, эпибентосные сани, фильтрующие насосы) позволяют задерживать частицы с размерами не менее 100 мкм, оставляя за пределами исследований частицы микрометровых и нанометровых размеров. Получение достоверной информации о количестве, составе и размерах микропластиков в водных средах требует тщательной подготовки образцов и концентрирования частиц в пробе различными инновационными методами.

Для определения химического состава микропластиков и добавок, морфологии частиц и распределения по их размерам используется комплекс современных аналитических методов. Среди них наиболее распространенными являются: визуализация частиц с использованием оптической и электронной микроскопии, ИК-спектроскопия с преобразованием

Фурье, спектроскопия комбинационного рассеяния, пиролитическая газовая хромато-масс-спектрометрия, термодесорбционная газовая хромато-масс-спектрометрия, термогравиметрический анализ, дифференциальная сканирующая калориметрия, их сочетания между собой и с другими методами (Ермолин и др., 2025). Эти методы позволяют в лабораторных условиях идентифицировать частицы пластиков с минимальными размерами порядка нескольких десятков микрометров.

Дальнейшее совершенствование аналитической идентификации частиц пластиков с размерами менее 100 мкм, в том числе в нанометровом диапазоне, осуществляется в направлениях усиления аналитического сигнала при взаимодействии излучения с определяемой частицей, использования детекторов нового поколения с повышенной чувствительностью и скоростью регистрации, автоматизации измерений, развития программного обеспечения и использования технологий искусственного интеллекта для обработки экспериментальных данных.

На текущий момент в законодательстве РФ отсутствуют специализированные нормативно-правовые акты, устанавливающие требования или единые стандарты, относящиеся к мониторингу микропластика в природных водах. Не утверждены методики улавливания микро- и нанопластиков в водоемах и методики их идентификации. Не утверждены экологические нормативы — предельно допустимые концентрации (ПДК) для микропластика в природных водоемах.

Перспективные инновационные подходы для реализации мониторинга распространения микро- и нанопластиков в поверхностных водах РФ целесообразно развивать по нескольким направлениям. Наряду с развитием методов аналитической идентификации частиц пластиков должны совершенствоваться технические средства, обеспечивающие получение репрезентативных проб воды. В частности, этому будет способствовать создание портативных систем для фильтрации воды и идентификации микропластиков прямо на месте забора проб (*in situ*).

Для разработки нормативной базы мониторинга пластика в природных водных объектах предлагается выработать интегральные показатели (аналогичные БПК или иным кинетическим параметрам в химии воды), отражающие изменение основных характеристик загрязненности во времени. Такие дополнения в будущем позволят эффективно отслеживать динамику реального распространения микропластика в водных экосистемах, оценивать потенциальную опасность для окружающей среды и человека и на этой основе вырабатывать меры защиты от нового твердого поллютанта.

Литература

Ермолин М. С. и др. Методы изучения и химического анализа микропластика и ассоциированных с ним соединений // Журнал аналитической химии. 2025. Т. 80, № 9. С. 904–936.

Чубаренко И. П. и др. Микропластик в морской среде. М.: Научный мир, 2021. 520 с.

Filimonova E. et al. Microplastics in Russian Freshwater Systems: a Review // Russ. J. Earth. Sci. 2024. Vol. 24: ES3005.

Geyer R. et al. Production, use, and fate of all plastics ever made // Sci. Adv. 2017. Vol. 3: e1700782.

Nouri M. et al. Microplastics in human body: a narrative on routes of exposure to contamination and potential health effects // Environmental Pollutants and Bioavailability. 2025. Vol. 37: 2538535.

РЕЗУЛЬТАТЫ КАРЕЛЬСКОЙ УЧЕБНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ НА ТЕРРИТОРИИ КАЛЕВАЛЬСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА

С. В. Межеловская [1, 2]*, **А. Н. Вальков** [2]

[1] *ФГБУН Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия*
[2] *ФГБОУ ВО Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия*

* *e-mail: mezhelsofya@gmail.com*

RESULTS OF THE KARELIAN EDUCATIONAL GEOLOGICAL FIELD PRACTICE IN THE KALEVALA NATIONAL PARK

S. V. Mezhelovskaya, A. N. Valkov

Рассмотрены результаты учебной геологической практики студентов МГРИ на ООПТ Карелии (Костомукшский район, Калевальский национальный парк). В пределах слабо изученного войницкого диорит-тоналит-эндербит-метатектит-гранитового комплекса (Вокнаволокский гранулитовый комплекс) впервые установлены гранатсодержащие породы — гранат-биотитовые плагиогнейсы–плагиограниты. Приведены их петрографическая характеристика и геохимические данные (SiO_2 ~ 69 %, Mg# 0,46, ASI 1,1, Na_2O / K_2O 2,5). Полученные результаты позволяют предполагать смешанный мантийно-коровый источник расплавов и полихронный характер метаморфизма.

Для будущих прикладных геологов учебные полевые практики представляют собой обязательный этап профессиональной подготовки, обеспечивающий возможность применения теоретических знаний в реальных условиях. В связи с этим Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе при подготовке кадров делает акцент именно на полевых учебных практиках, последовательно расширяя географию их проведения и углубляя сотрудничество с различными организациями. Одним из перспективных направлений такого взаимодействия выступает тесный контакт с особо охраняемыми природными территориями (ООПТ). ООПТ в пределах Российской Федерации созданы с целью сохранения биологического и ландшафтного разнообразия, охраны природного и культурного наследия регионов, а также рационального использования территорий в рекреационных, эколого-просветительских и туристических целях. Наряду с биологическим и культурным богатством территории могут включать уникальные геологические объекты.

Начиная с 2024 г. университет проводит практику для студентов специальностей 21.05.02 «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений твердых полезных ископаемых» и «Прикладная геохимия, минералогия, геммология». В рамках геологических полевых маршрутов студенты знакомятся с геологическим строением района, изучают особенности магматизма и метаморфизма, разрывной тектоники и условий генерации расплавов, а также реконструируют процессы осадконакопления. Докембрийские породы Балтийского щита в пределах Костомукшского района остаются на сегодняшний день фрагментарно и недостаточно изученными, что создает пробелы в понимании региональной геологической истории. Таким образом, уникальность докембрийских комплексов определила направление научных работ в рамках полевой практики. За прошедшие два года нами были получены первые предварительные результаты, их описание приводится ниже.

На территории Костомукшского заповедника и национального парка «Калевальский» широко развиты метаморфические и ультраметаморфические образования гранитоидного ряда. Особого внимания заслуживают метаморфогенно-плутонические образования

войницкого диорит-тоналит-эндербит-метатектит-гранитового комплекса, относимые к Вокнаволокскому гранулитовому комплексу, которые на сегодняшний день недостаточно изучены. Комплекс расположен в пределах Вокнаволокского блока 2-го порядка площадью около 2500 км^2 (Яковлева и др., 2017) и представлен мезо- и неоархейскими породами, широко варьирующими по составу, с постепенными переходами между петрографическими разностями. В качестве наиболее ранних выступают породы средне-кислого состава: кварцевые диориты, тоналиты, плагиограниты (амфибол-биотитовые и биотитовые), а также реже встречающиеся эндербиты. К последним отнесены породы тоналит-плагиогранитного состава, содержащие моноклинный пироксен и редко гиперстен в виде реликтовых зерен.

Характерной чертой всех указанных пород независимо от состава является их темная окраска (за счет темно-серого плагиоклаза и марионового кварца). Неоднородность проявляется как в цвете пород (от темно-серого до розовато-серого), так и в структурно-текстурных особенностях. Выделяются массивные, а также более часто встречающиеся огнейсованные и пятнисто-полосчатые разновидности. Структура варьирует от мелкозернистой до грубозернистой. Вопросы генезиса и параметров метаморфизма при образовании пород комплекса являются актуальной задачей для расшифровки истории развития региона. Ранее в работах (Максимов и др., 2026) для безгранатовых пород — эндербитов были установлены умеренные давления P = 6–7 кбар и температуры T = 750 °C, характеризующие условия гранулитовой-амфиболитовой фации метаморфизма, а для чарнокитов более низкие P = 3–5 кбар и T = 750–810 °C, что, по мнению авторов, характеризует неоархейскую надсубдукционную обстановку.

В рамках практики при изучении пород войницкого комплекса в петротипическом районе, в обнажениях вдоль дороги Вокнаволок — Войница, нами были установлены гранатсодержащие породы с биотитом, что может позволить по-иному посмотреть на условия формирования комплекса и предположить полихронный характер метаморфизма. Рассматриваемые породы являются крупнозернистыми, обладают гранобластовой структурой, массивной, местами полосчатой текстурой, состоят на 35 % из кварца, 42 % плагиоклаза, в подчиненном количестве содержится калиевый полевой шпат до 10 %, около 7 % гранат, до 5 % биотит, возможно около 1 % микроклин. В качестве акцессорных минералов наблюдаются циркон, сфен, рутил, магнетит и рудный минерал. Данные породы можно отнести к гранат-биотитовым плагиогнейсам-плагиогранитам, которые ранее не описывались в рамках данного комплекса. Геохимически породы состоят на 69 мас. % SiO_2, являются среднемагнезиальными Mg# — 0,46, слабоперглиноземистыми ASI (Aluminum Saturation Index) — 1,1, существенно натровыми Na_2O/K_2O — 2,5 и относятся к известково-щелочной серии, нормативно содержат гиперстен до 6 амс. %.

Совокупность геохимических данных наиболее согласуется с моделью формирования пород при участии мантийного и корового компонентов, однако не исключает и полностью коровый I-тип из метамагматического протолита без непосредственного смешения с мантией. Расчет параметров температур и давлений для данных пород является актуальной задачей для дальнейшего исследования.

Литература

Максимов О. А., Лезжов А. М., Слабунов А. И., Сибелев О. С. Два этапа неоархейского гранулитового метаморфизма в Вокнаволокском комплексе (Фенноскандинавский щит) // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2026. № 2. С. 124–128.

Яковлева И. Ю., Корсакова М. А., Иванов Н. М. и др. Объяснительная записка к Государственной геологической карте РФ масштаба 1: 200 000 (издание второе). Серия Карельская. Листы Q-35-XXX, Q-36-XXV, XXVI (Калевала). Книга 6, часть 2. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2017. 252 с.

ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ПРИБРЕЖНЫХ ПТИЦ НА ВОДОЕМАХ С ГОРНО-ПОЙМЕННЫМ ВОДНЫМ РЕЖИМОМ

Ю. И. Мельников

Байкальский музей Сибирское отделение Российской академии наук, Иркутская область, Листвянка, Россия

e-mail: yumel48@mail.ru

BOTTOM SEDIMENTS AND THE SPATIAL STRUCTURE OF COASTAL BIRDS IN WATER BODIES WITH A MOUNTAIN-FLOODPLAIN WATER REGIME

Yu. I. Mel'nikov

На основе исследований 1972–2009 гг. рассматриваются донные отложения в дельте р. Селенги (оз. Байкал). Они формируются в периоды высоких уровней воды за счет активного переноса взвешенного и влекомого материалов с верхних участков дельты на ее нижние участки. Такие отложения располагаются в устьях проток, впадающих в озера, а также на нижних участках дельты (в сорах). Вдоль речного русла они формируются на резких поворотах проток, а также на участках перелива воды через низкие берега. Зимой сильные ветра снимают поверхностный слой почвы и переносят ее к зарослям тростника южного *Phragmites australis* и камыша лавочногорного *Scirpus tabernaemontani*, где наблюдается постепенное накопление наносов, заливаемых в периоды высоких уровней воды. Высокая продуктивность бентоса привлекает сюда практически все виды прибрежных птиц, которые формируют здесь крупные гнездовые скопления уток (до 2400 гнезд/км^2), колонии и линники селезней (до нескольких тысяч птиц).

Работа выполнена в 1972–2005 гг. на юге Восточной Сибири (котловина оз. Байкал). Для водоемов Восточной Сибири наиболее типичным является горно-пойменный водный режим, поскольку истоки рек и основной их сток формируются в горных условиях. Наиболее четко особенности функционирования водно-болотных экосистем данного типа прослеживаются в дельте р. Селенги. Она принадлежит к типу выдвинутых и имеет площадь 1120 км^2. Основными характеристиками горно-пойменного водного режима являются высокий, но короткий весенний паводок и несколько подъемов уровня воды в летний период, иногда имеющих вид катастрофических наводнений. Причиной сильных паводков являются таяние снежников в горах, а также обложные многодневные дожди (4–7 дней) и сильные, но короткие ливни (2–3 часа). За это время выпадает месячная, а в отдельные сезоны и 2–3-месячная нормы осадков (Мельников, 2010, 2011, 2016). На побережье оз. Байкал, в сорах и на больших озерах дельты часто наблюдается подъем уровня воды на 20,0 см и более за счет сгонно-нагонных ветров. Для дельты Селенги характерна густая сеть проток 2-го, 3-го и 4-го порядков, которая в сочетании с большим количеством небольших низин и понижений рельефа между протоками формирует обширную сеть озер разных типов. Количество и разнообразие типов озер полностью определяется величиной паводков конкретного года наблюдений. Очень важным фактором является существование большой сети мелких проток, впадающих в крупные озерные системы дельты (при высоком и среднем уровнях ее обводнения).

В период паводков для дельты Селенги характерна очень высокая мутность воды за счет большого количества взвешенных и влекомых частиц грунта в речном потоке (для р. Селенги в среднем 73,0 г/м^3). В озерной части дельты Селенги мутность воды по различным протокам меняется от 20,0 до 104,0 г/м^3 (Власова, 1983). В это время за счет боковой эрозии повсеместно наблюдаются подмыв и обрушение берегов, активный перенос взвешенного и влекомого материала с верхних участков дельты на ее нижние участки, а также размыв и переотложение ранее образовавшихся кос и отмелей основных проток.

При впадении проток в озера и соры на крутых поворотах проток, а также на участках перелива воды через низкие бровки берегов формируются обширные пятна седиментационного материала, содержащего большое количество органики. Слой наилка после опорожнения поймы от паводочных вод в пониженных местах достигает 17,0–23,0 см, а в повышенных 10,0–15,0 см. Такие наносы формируют пойму, образуя мощные озерно-аллювиальные и озерно-болотные отложения (Власова, 1983).

Образование пятен седиментации, содержащих большое количество органики, имеет и другие последствия. Такие участки отличаются повышенной биомассой бентоса — в дельте р. Селенги в устьях основных проток в среднем она составляет 23,6 г/м^2, а на отдельных участках — 107,0 г/м^2 (Бекман, Мизандронцев, 1971). На местах интенсивной кормежки азиатского бекасовидного веретенника *Limnodromus semipalmatus* — одного из наиболее редких видов куликов фауны России, гнездящегося в дельте Селенги в окрестностях пятен седиментации, биомасса бентоса колебалась от 20,6 до 36,9 г/м^2 (Мельников, 2010). На прилежащих территориях биомасса кормов для птиц по разным фитоценозам составляла от 0,4 до 8,2 г/м^2 (Дубешко, 1995). В связи с этим режим седиментации в пойменных экосистемах приобретает значение важнейшего экологического фактора.

Высокая продуктивность седиментационных пятен привлекает огромное количество прибрежных птиц. При отсутствии пятен седиментации плотность гнездования уток колеблется от 0,01 до 0, 001 гн./га. Несмотря на то что такая плотность значительно снижает уровень хищничества, основная часть птиц гнездится в более плотных агрегациях — индекс плотности К, по В. А. Зубакину (1975), составляет К = 0,002–0,008 (Мельников, 2016). В обычных условиях средняя плотность населения гнездящихся птиц в дельте р. Селенги составляет 29,0 гн./км^2. Вблизи седиментационных пятен она колеблется от 80–100 до 2200 гн./км^2, а в районах очень крупных или многочисленных пятен седиментации плотность гнездования чаек, крачек, уток и серой цапли *Ardea cinerea* может достигать 25,0–30,0 тыс. гн./км^2 (Мельников, 2011). Формирование пятен седиментации определяет пространственную структуру прибрежных птиц. Они гнездятся в таких местах, образуя плотные скопления, соответствующие нижнему пределу плотности гнездования у основной части факультативно-колониальных видов чайковых птиц — К = 0,01–0, 06.

Обычная плотность гнездования чайковых птиц, принадлежность которых к колониальным видам не оспаривается всеми орнитологами, колеблется в довольно широких пределах. Она зависит от рельефа колонии и допустимого видового предела максимальной возможной плотности расположения гнезд. Данный предел индекса плотности Зубакина у разных видов составляет от 0,013 (малая чайка *Larus minutus*) до 0,4 (чеграва *Sterna caspia*) (Мельников, 2016). В последнем случае — это индекс плотности Зубакина для облигатно-колониальных видов чайковых птиц. Хорошо видно, что плотность гнезд неколониальных видов птиц в определенных ситуациях соответствует плотности гнездования факультативно-колониальных видов. Это подчеркивает то, что первичной причиной формирования плотных агрегаций гнезд всех видов птиц является стремление гнездиться в районах максимального обилия корма. Именно это стремление определяет пространственную структуру всех видов птиц.

Литература

Бекман М. Ю., Мизандронцев И. Б. О связи между распределением бентоса и органического вещества в осадках // Лимнология придельтовых пространств Байкала. Л.: Наука, 1971. С. 127–132.

Власова Л. К. Речные наносы бассейна озера Байкал. Новосибирск: Наука, 1983. 132 с.

Дубешко Л. Н. Продукционные возможности энтомоценозов дельты р. Селенги // Эколого-географическая характеристика зооценозов Прибайкалья. Иркутск: ИГПИ, 1995. С. 38–50.

Зубакин В. А. Индекс плотности гнездования некоторых видов чайковых птиц и способ его вычисления // Зоологический журнал. 1975. Т. 54, № 9. С. 1386–1389.

Мельников Ю. И. Гетерогенность водно-болотных экосистем и ее связь с популяционными параметрами птиц // Современные проблемы эволюции и экологии — Любищевские чтения XXX: материалы междунар. конф. (5–7 апреля 2016 г., г. Ульяновск, Россия). Ульяновск: УлГПУ, 2016. С. 78–89.

Мельников Ю. И. Мезо- и микрорельеф территории как экологический фактор, определяющий пространственное распределение птиц водно-болотных экосистем (на примере дельты р. Селенга) // Народное хозяйство. 2011. № 2. С. 224–234.

Мельников Ю. И. Структура ареала и экология азиатского бекасовидного веретенника *Limnodromus semipalmatus* (Blyth, 1848). Иркутск: Изд-во НЦРВХ СО РАМН, 2010. 284 с.

ИНДИКАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВНЕШНЕЙ БИОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ НА ВОДОСБОРАХ РАВНИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ

Е. А. Минакова [1]*, А. П. Шлычков [1], С. А. Кондратьев [2], Д. А. Минакова [1]

[1] Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
[2] Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Санкт-Петербург, Россия

** e-mail: ekologyhel@mail.ru*

INDICATIVE MANAGEMENT OF EXTERNAL NUTRIENT LOADS IN LOWLAND RESERVOIR CATCHMENTS

E. A. Minakova, A. P. Shlychkov, S. A. Kondratiev, D. A. Minakova

Приводятся результаты применения авторского метода индикативного обоснования водоохранных мероприятий на водосборе, предназначенного для управления биогенной нагрузкой. Метод представляет собой интегральную оценку биогенной нагрузки с использованием индикаторов. Обоснование управленческих решений по снижению биогенной нагрузки на водосборе выполняется с использованием показателя потенциальная внешняя биогенная нагрузка на водный объект (*PNL*), позволяющего выявлять приоритетные территории, для которых необходимо первоочередное внедрение комплекса мероприятий, направленных на снижение биогенной нагрузки.

Водные ресурсы играют важную роль в развитии человеческого общества. Научное обоснование мероприятий по снижению уровня внешней биогенной нагрузки на водные объекты, способствующих сдерживанию развития процессов эфтрофирования, является важным этапом геоэкологических исследований (Ясинский и др., 2023). Согласно литературным источникам, в настоящее время отмечается кризис управления водными ресурсами (Рыбкина, 2023). Ухудшение состояния водных объектов и нарастающие темпы эвтрофирования являются следствием нарушения устойчивости водных экосистем в результате неэффективного ведения хозяйственной деятельности на водосборе. Для управления внешней биогенной нагрузкой на водосборе, а также преодоления экологических и экономических проблем, связанных с этим процессом, необходимо научное обоснование.

В настоящее время универсальные подходы, позволяющие на интегральной основе оценивать внешнюю биогенную нагрузку на водные объекты, не разработаны. Наиболее перспективными направлениями для разработки научно обоснованных подходов к управлению биогенной нагрузкой на водосборе являются: агрегирование индикаторов в показатели /индексы; описание состояния экосистем на языке индикаторов; описание динамики и прогнозирование состояния экосистем с помощью индикаторов и индексов (Музалевский и др., 2012; Федоров и др., 2014).

Для решения задач управления биогенной нагрузкой разработан метод регулирования биогенной нагрузкой на водосборе водного объекта, который включает: геоэкосистемную оценку, направленную на выявление основных факторов биогенной нагрузки; расчет индикаторов и разработку научно обоснованных водоохранных мероприятий с учетом специфики как регионального, так и административно-территориального уровня. Метод индикативного обоснования водоохранных мероприятий на водосборе представляет собой интегральную оценку внешней (организованной и диффузной) биогенной нагрузки и выделение приоритетных территорий, на которых необходимо первоочередное внедрение комплекса мероприятий, направленных на снижение биогенной нагрузки.

Блок-схема метода индикативного обоснования водоохранных мероприятий на водосборе представлена на рис.



Блок-схема метода индикативного обоснования водоохранных мероприятий на водосборе

В основу метода положен разработанный новый интегральный показатель *потенциальная внешняя биогенная нагрузка на водный объект — Potential external Nutrient Load on a water body* (*PNL*), представляющий собой обобщенную нормированную характеристику уровня внешней биогенной нагрузки на водный объект (Минакова, 2023). Метод включает в себя несколько этапов: выявление основных факторов внешней биогенной нагрузки на водосборе, количественная оценка составляющих внешней биогенной нагрузки на водные объекты, районирование территории изучаемого субъекта РФ по уровню *PNL* для дальнейшего обоснования водоохранных мероприятий в зависимости от уровня биогенной нагрузки. Разработанный метод позволяет переходить от мониторинга к рациональному управлению биогенной нагрузкой на водосборе равнинных водохранилищ, разрабатывать эффективные научно обоснованные водоохранные мероприятия по снижению биогенной нагрузки, сопоставлять территории субъектов РФ по уровню внешней биогенной нагрузки на водные объекты.

Литература

Минакова Е. А. Метод индикативного обоснования водоохранных мероприятий на водосборе // Проблемы региональной экологии. 2023. № 3. С. 97–102.

Музалевский А. А., Карлин Л. Н. Индикаторы ESI и EVI как показатели оценки экологического состояния исследуемой территории // Международный экологический форум «День Балтийского моря». СПб., 2012. С. 64–66.

Рыбкина И. Д. Оценка антропогенной нагрузки на водные ресурсы и эффективности их использования: обзор методологических подходов // Антропогенная трансформация природной среды. 2023. Т. 9, № 2. С. 55–67.

Федоров М. П., Музалевский А. А. Индикаторы и индексы в моделировании природно-технических систем // Биосфера. 2013. № 5 (3). С. 311–326.

Ясинский С. В., Кашутина Е. А., Сидорова М. В. Диффузное загрязнение водных объектов равнинных территорий: проблемы оценки // Известия Российской академии наук. Серия Географическая. 2023. Т. 87, № 1. С. 115–130.

СОСТОЯНИЕ ПОПУЛЯЦИЙ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ БИОРЕСУРСАМИ ОСТРОВА КУНАШИР

А. В. Михайлов

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Москва, Россия

e-mail: mikhailov@vniro.ru

THE STATE OF PACIFIC SALMON POPULATIONS AND PROSPECTS FOR THE MANAGEMENT OF AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES ON KUNASHIR ISLAND

A. V. Mikhailov

Представлены результаты мониторинга водных биоресурсов острова Кунашир в условиях аномального потепления. Зафиксировано критическое падение численности тихоокеанских лососей при рекордно низком заполнении их нерестилищ. Промышленный лов горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) полностью остановлен, освоение кеты минимально. В структуре исследуемого заводского стада кеты *O. keta* (Walbaum, 1792) выявлены серьезные нарушения полового и возрастного состава. Обоснована необходимость перехода к адаптивному экосистемному управлению водными ресурсами, сохранения естественного нерестового фонда и введения ограничительных мер для предотвращения дальнейшей деградации популяций тихоокеанских лососей острова.

Остров Кунашир расположен на южной границе естественного ареала тихоокеанских лососей. ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» осуществляет многолетний мониторинг подходов горбуши и кеты к побережью острова, сбор биостатистических данных и обследование условий их естественного воспроизводства в нерестовых водотоках. Данные, полученные в 2025 г., свидетельствуют о рекордно низком заполнении нерестилищ за весь период наблюдений.

Результаты мониторинга заполнения нерестилищ в 2025 г. характеризуют подходы как критические для обоих доминирующих видов лососей. Для горбуши, популяция которой демонстрировала многолетний отрицательный тренд с пикового вылова 7566 т в 2007 г. до фактически нулевых показателей в нечетные годы последнего десятилетия, заполнение нерестилищ в 2025 г. составило всего 0,12 % от оптимума. На обследованных 26 870 м² нерестилищ было учтено лишь 112 производителей, практически все они сосредоточились в двух водотоках — р. Илюшина и р. Полынова, тогда как на остальных водотоках производители отсутствовали полностью. Промышленный и научно-исследовательский лов горбуши полностью остановлен.

Ситуация с кетой также оценивается как аномально неблагополучная. При выделенных объемах вылова в 5780 т фактический вылов в 2025 г. составил лишь 24,0 т (0,41 %). Заполнение нерестилищ — 0,62 % от оптимума. Особую тревогу вызывает структура нерестового стада кеты. Биологический анализ 543 экземпляров кеты из уловов морских ставных неводов в реках и оз. Лагунном выявил серьезные нарушения полового и возрастного состава: в реперных реках Илюшина и Серноводка доминируют четырехлетки (50,0 и 45,1 % соответственно), 65,0 % из которых самцы при практически полном отсутствии самок в младших возрастных группах. Данные соотношения нетипичны для кеты острова Кунашир, отклонения свидетельствуют о серьезных проблемах в эффективности воспроизводства и потенциальном полном закрытии промысла кеты.

По всей видимости, в 2025 г. климатический фактор оказал значимое влияние на популяции тихоокеанских лососей. По данным ТИНРО, Южно-Курильский пролив находился под воздействием мощных потоков течения Соя с аномально высокой температурой воды

(18–22 °C, что на 2–4 °C выше среднемноголетней нормы). Косвенным подтверждением перестройки ихтиоцена служит массовый прилов в ставные невода большой корифены — теплолюбивого вида, характерного для субтропических широт. Аналогичная ситуация наблюдалась на соседнем Итурупе, где в 2025 г. впервые в истории введен полный запрет на промысел горбуши.

С точки зрения рационального природопользования и охраны водных ресурсов острова, совокупность полученных данных диктует необходимость реализации комплекса неотложных мер. В области управления промыслом должен быть реализован принцип предосторожности через сохранение моратория на лов горбуши и установление жестких ограничений на вылов кеты. Основой долгосрочной стратегии должно стать сохранение и восстановление естественного нерестового фонда. Переосмысления требует и политика искусственного воспроизводства: наличие ЛРЗ «Лагунное» не стало страховкой от коллапса численности кеты. Управление водными ресурсами острова должно быть адаптивным и основываться на непрерывном потоке оперативных научных данных. Только такой подход, интегрирующий океанологическую, ихтиологическую и гидрологическую информацию, способен обеспечить рациональное использование ресурсов.

Таким образом, воспроизводство популяций тихоокеанских лососей острова Кунашир в 2025 г. характеризуется как катастрофически низкое. Дальнейшее рациональное использование водных ресурсов невозможно без смены парадигмы с ресурсоориентированной на экосистемно ориентированную, где приоритетами становятся сохранение биологического разнообразия, поддержание естественного гидрологического режима водотоков и применение принципа предосторожности в отношении всех форм антропогенного воздействия.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ЭМИССИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ТОРФЯНЫХ ОЗЕРАХ НА СЕВЕРНЫХ ОТРОГАХ БОЛЬШОГО ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА

Б. А. Михалейко*, С. Н. Воробьев, Д. Г. Курашев, Ю. Я. Колесниченко, О. С. Покровский

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

** e-mail: xoxoxanas123@gmail.com*

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND CARBON DIOXIDE EMISSION OF PEAT LAKES OF THE SPURS OF THE GREAT VASYUGAN MIRE

B. A. Mikhaleiko, S. N. Vorobyev, D. G. Kurashev, Yu. Ya. Kolesnichenko, O. S. Pokrovsky

Представлены результаты измерений основных экологических и гидрохимических параметров и эмиссии парниковых газов торфяных озер на одном из северных отрогов Большого Васюганского болота.

На территории Большого Васюганского болота насчитывается почти миллион торфяных и мелководных озер (Arsenault et al., 2022). Практически не затронутые антропогенным воздействием водоемы играют важную роль в биогеохимическом круговороте: получают растворенные вещества из атмосферных осадков и торфа, обмениваются парниковыми газами с атмосферой и экспортируют растворенный органический углерод, питательные вещества и микроэлементы в нижележащие водные сети (Kirpotin et al., 2021). Несмотря на обширные исследования озер, их внутригодовая гидрохимическая динамика остается слабо изученной.

Исследование проводилось в 2024 и 2025 гг. в разные сезоны — летом (август), осенью (октябрь), зимой (февраль), весной (май) на одном из северных отрогов Большого Васюганского болота (58,147° с. ш., 80,99° в. д.). Ключевой участок является типичным грядово-озерным комплексом в зоне средней тайги Западно-Сибирской низменности. В каждый сезон исследовано около 20 водных объектов.

В озерах определяли pH и электропроводность (WTW Multi 3320), атмосферное давление (Silva). Растворенный O_2 и температуру измеряли с помощью оптического кислородного зонда YSI ProODO.

Концентрации растворенного органического углерода (РОУ) измеряли с помощью анализатора Shimadzu TOC–VSCN. Растворенный pCO_2 регистрировали с использованием портативного инфракрасного газоанализатора (IRGA; GMT222, Vaisala). Потоки CO_2 оценивали с использованием плавающих камер, оснащенных недисперсионным инфракрасным регистратором CO_2 (SenseAir) (Serikova et al., 2019).

Концентрации и выбросы CO_2 в целом снижались с увеличением размера бассейна, хотя эта тенденция была более очевидна при рассмотрении в рамках отдельных сезонов, чем по всему годовому набору данных (рис. 1, A, B). Среди всех сезонов закономерности, связанные с размером, как в концентрациях, так и в потоках были наиболее выражены зимой.

Например, коэффициент детерминации (R^2) для зависимости pCO_2 от S_{area} достигал 0,75 зимой, но был существенно ниже весной (0,36), летом (0,26) и осенью (0,18). Эти результаты наглядно демонстрируют, что зимние условия усиливают пространственную структуризацию динамики углерода в водоемах разного размера.

Во все сезоны площадь поверхности водоема (S_{area}) являлась ключевым параметром, контролирующим ряд гидрохимических свойств. Как pH, так и электропроводность демонстрировали четкую зависимость от размера: pH увеличивался с увеличением площади водоема, тогда как электропроводность имела противоположную тенденцию к снижению (рис. 2, A, B).

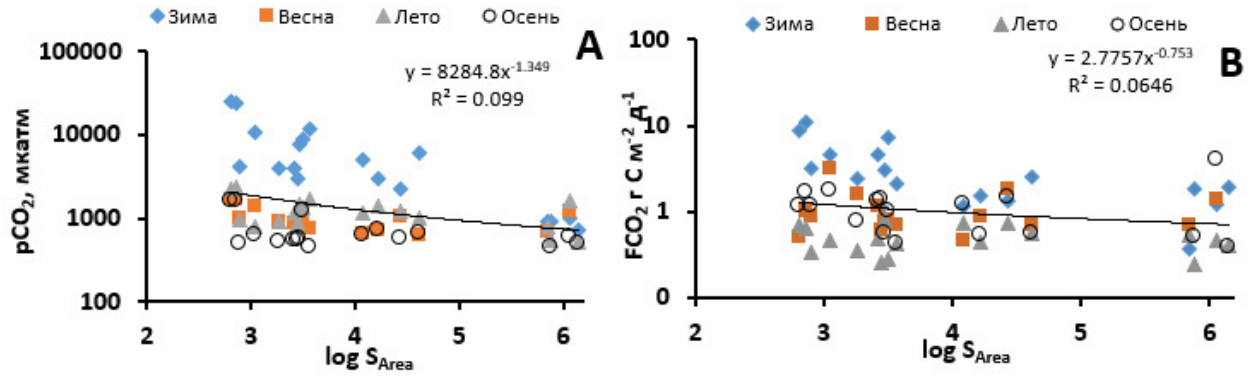


Рис. 1. Зависимости между pCO_2 (A), FCO_2 (B) и площадью водоема (S_{area})

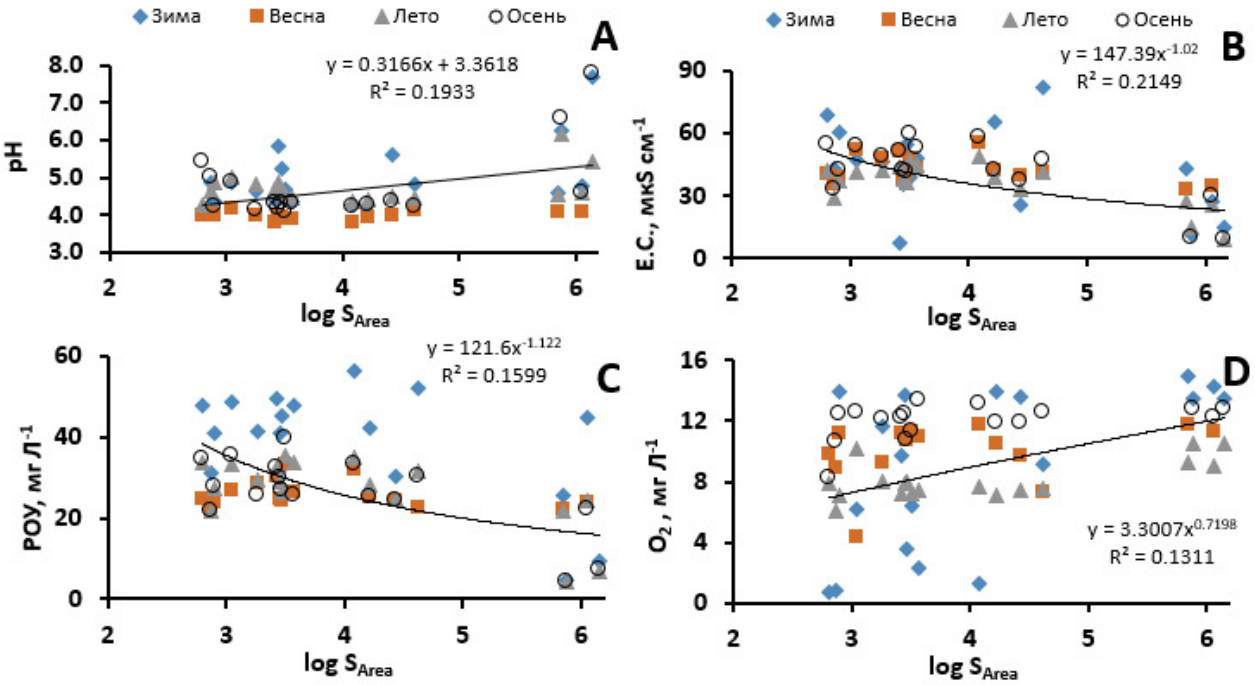


Рис. 2. Зависимости между pH (A), электропроводностью (B), РОУ (C) и O_2 (D) и площадью водоема (Sarea)

Содержание РОУ демонстрировало сильную обратную зависимость от S_{area}, снижаясь примерно в 5 раз при увеличении размера водоема на 4–5 порядков (рис. 2, C). Концентрация растворенного кислорода слабо, но стабильно увеличивалась с размером озера, достигая максимальных значений в крупных водоемах (рис. 2, D).

В совокупности наблюдения указывают на то, что малые водоемы получают непропорционально большое количество растворенных веществ и газов из верхних слоев торфа и растительности. Небольшие водоемы имеют высокое соотношение периметра к объему, что увеличивает приток наземных вод и способствует быстрой биогеохимической переработке.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-16-00300.

Литература

Arsenault J., Talbot J., Brown L. et al. Biogeochemical distinctiveness of peatland ponds, thermokarst waterbodies, and lakes // Geophysical Research Letters. 2022. Vol. 49: e2021GL097492.

Kirpotin S. N., Joosten H., Tanneberger F. et al. Great Vasyugan Mire: How the world's largest peatland helps addressing the world's largest problems // Ambio. 2021. Vol. 50. P. 2038–2049.

Serikova S., Pokrovsky O. S., Laudon H. et al. High carbon emissions from thermokarst lakes of Western Siberia // Nature Communications. 2019. Vol. 10: 1552.

ЗООПЛАНКТОН ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА И ОБВОДНЕННЫХ КАРЬЕРОВ ЕГО БАССЕЙНА В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В. В. Моисеенко [1, 2]*, **А. С. Семенова** [1, 3]

[1] *Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Калининград, Россия*
[2] *ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия*
[3] *Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия*

* *e-mail: moiseenko@atlant.vniro.ru*

ZOOPLANKTON COMMUNITIES OF THE VISTULA BAY AND THE WATER-FLOODED QUARRIES OF ITS BASIN IN THE KALININGRAD REGION

V. V. Moiseenko, A. S. Semenova

Приведено сравнение зоопланктонных сообществ Вислинского залива и четырех водоемов карьерного происхождения Калининградской области, расположенных в пределах его водосборного бассейна. Результаты исследования показали низкий уровень сходства данных водных объектов как по видовому составу, так по численности и биомассе зоопланктона. Солоноватоводный вид *Eurytemora affinis,* специфичный для Вислинского залива, обнаружен только в карьерах Голубом и Форелевом.

Лагуны, эстуарии и лиманы, как переходные экосистемы между пресноводной и морской средами, характеризуются достаточно сильными колебаниями абиотических и биотических факторов (Karpowicz, 2023).

Вислинский (Калининградский) залив, который фактически является лагуной, отделенной от моря песчаной Балтийской косой, отличается крайне изменчивыми условиями окружающей среды. На северо-восточном побережье Калининградского залива располагается район с наибольшей площадью обводненных карьеров, отделенных от него и между собой дамбами и узкими перемычками (Домнин, 2023). На данном участке расположены водоемы системы «Голубых озер», которые представляют собой не озера, а обводненные карьеры, но в большинстве источников упоминаются как «озера» (Моисеенко и др., 2024). Данная система состоит из нескольких водоемов, отделенных от залива дамбой, самыми большими по площади из которых являются «озеро Голубое» и «пруд Форелевый» (обводненные примерно в 1950-е гг.). На расстоянии около 3 км к западу расположены еще два обводненных карьера, Мечта и Рыбачий, которые образовались позднее, в 2000-х гг. Карьеры Мечта, Форелевое и Голубое активно используются в рекреационных целях. Уровень солености Вислинского залива (5–8 промилле) затрудняет развитие как пресноводных, так и морских видов зоопланктона (Karpowicz et al., 2025). Сравнение зоопланктонных сообществ Вислинского залива и обводненных карьеров актуально для оценки формирования видового богатства зоопланктона в новообразованных экосистемах обводненных карьеров под влиянием экосистем лиманов, что является целью данного исследования.

Для сбора и обработки зоопланктона применяли стандартные методы (Методы…, 2024). Видовое богатство зоопланктона изученных обводненных карьеров за период исследований составило 41 вид, из четырех категорий таксономических групп (Rotifera — 9, Cladocera — 20, Copepoda — 14, прочие — Conchostraca). Наибольшее видовое разнообразие зоопланктона выявлено в обводненном карьере Голубом, наименьшее в Мечте и Рыбачьем. Все водоемы имеют схожую видовую структуру с преобладанием ветвистоусых раков (Cladocera). Общими для всех исследованных водных объектов являются виды-космополиты: *Coronatella (Alona) rectangula* (G. O. Sars, 1862), *Bosmina longirostris*

(O. F. Müller, 1785), *Chydorus sphaericus* (O. F. Müller, 1785), *Daphnia longispina* (O. F. Müller, 1776), *Diaphanosoma brachyurum* (Liévin, 1848), *Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863), *Keratella quadrata* (O. F. Müller, 1786). Солоноватоводный вид *Eurytemora affinis* (Lilljeborg, 1853) был обнаружен только в Голубом и Форелевом карьерах.

По структуре численности и биомассы зоопланктона в Голубом и Рыбачьем карьерах преобладают веслоногие раки, что характерно для олиготрофных водоемов (Андроникова, 1996); в Мечте и Форелевом — коловратки, что присуще эвтрофированным водоемам. Наибольшая численность и биомасса зоопланктона на единицу объема наблюдаются в Форелевом; водоемы Голубой и Мечта по данным показателям демонстрируют близкие, но более низкие значения; а Рыбачий, где продолжается добыча песчано-гравийного материала и периодически присутствует непосредственная гидрологическая связь с Вислинским заливом, — наименьшие, что может быть связано с взмучиванием вод из-за добычи песка. Низкое видовое богатство зоопланктонных сообществ в Мечте и Рыбачьем может быть признаком эвтрофии этих водоемов (Андроникова, 1996), но в данном случае может объясняться молодым возрастом и продолжением формирования их водных экосистем.

Кластерный и MDS-анализ показали большие различия видового состава, численности и биомассы планктонных сообществ обводненных карьеров и залива (сходство составляет менее 30 %). По наибольшему сходству вышеуказанных параметров выделяются следующие подкластеры: Форелевый и Голубое (уровень сходства 60 %), что отражает достаточно высокую однотипность их зоопланктонных сообществ. Мечта и Рыбачий обладают меньшим сходством (40 %). При этом по показателям численности и биомассы Рыбачий выделяется в отдельный кластер с уровнем сходства относительно остальных обводненных карьеров примерно 20 %.

Таким образом, несмотря на близкое расположение данных водоемов с Вислинским заливом обнаружен только один вид (*Eurytemora affinis*), специфический для солоноватых вод. Большинство видов в них являются космополитами, характерными для других пресноводных обводненных карьеров Калининградской области.

Литература

Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.

Домнин Д. А. Особенности возникновения и развития обводненных карьеров в гидрологической системе Калининградской области. Географическое пространство: сбалансированное развитие природы и общества: материалы III междунар. науч.-практ. конф. Челябинск, 13–15 октября 2023 года. Челябинск: Общество с ограниченной ответственностью «Край Ра», 2023. С. 96–103.

Методы гидробиологических исследований внутренних вод / А. В. Крылов, И. А. Барышев, Д. М. Безматерных [и др.]; под ред. А. В. Крылова; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Российская академия наук, Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН. Борок, Ярославская обл.: ИБВВ РАН; Ярославль: Филигрань, 2024. 592 с.

Моисеенко В. В., Цупикова Н. А., Севостьянов Н. В., Попов А. А. Экологическое состояние водоемов системы Голубых озер по результатам гидрохимических исследований в 2023 г. Балтийский морской форум: материалы XII междунар. Балтийского морского форума: в 6 т. Калининград, 30 сентября — 04 октября 2024 года. Калининград: Калининградский гос. тех. ун-т, 2024. С. 219–224.

Семенова А. С. Планктонные сообщества системы «река Преголя — Вислинский залив — Калининградский морской канал (КМК) — Балтийское море» / А. С. Семенова, О. А. Дмитриева // Труды Зоологического института РАН. 2023. Т. 327, № 3. С. 430–450.

Karpowicz M., Kornijów R., Ejsmont-Karabin J. et al. Seasonal dynamics of phytoplankton and zooplankton communities in the estuarine Elblag Bay (Vistula Lagoon, southern Baltic) dominated by floating-leaved plants // Ecohydrology & Hydrobiology. 2025. Vol. 25. P. 215–224.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ И РАДИОТРАССЕРНАЯ ДАТИРОВКА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ЭКОСИСТЕМАХ РЕК КРЫМА

И. Н. Мосейченко

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

e-mail: i.moseichenko@ibss-ras.ru

DISTRIBUTION OF GAMMA-EMITTING RADIONUCLIDES AND RADIOTRACER DATING OF BOTTOM SEDIMENTS IN THE ECOSYSTEMS OF CRIMEAN RIVERS

I. N. Moseichenko

В 2022–2025 гг. выполнены исследования по распределению гамма-излучающих радионуклидов на протяжении течения рек Салгир и Биюк-Карасу и эстуарной зоны р. Черной. Проведена геохронология донных осадков по пикам техногенного радионуклида цезий-137, на основании этих данных рассчитана скорость осадконакопления для исследуемых участков р. Салгир. Достоверно зафиксировано ежегодное поступление цезия-137 в донные отложения эстуарной зоны р. Черной на протяжении последних 30 лет.

Реки Черная, Салгир и Биюк-Карау являются основными водотоками полуострова, а последняя также важнейшей транспортной артерией для подачи воды в Северо-Крымский канал. После аварии на Чернобыльской АЭС радиоактивные вещества, включая гамма-излучающие искусственные радионуклиды, с атмосферными осадками выпали на поверхности территории Крыма. В дальнейшем чернобыльские радионуклиды, прежде всего долгоживущий радионуклид 137Cs, поступали в крымский регион с днепровской водой через СКК до 2014 г. и вновь — после открытия СКК в 2022 г. (Мирзоева и др., 2025). Цезий-137, кроме периода глобальных и чернобыльских выпадений, поступал с водами СКК на территорию Крыма и в результате активного использования их для орошения сельскохозяйственных земель перешел в почву. Далее из почвы с дождевыми потоками и пылевыми частицами он поступал в реки Крымского полуострова. Поэтому актуальной проблемой является изучение современного экологического состояния рек в отношении гамма-излучающих радионуклидов при изменении антропогенных и климатических условий. В 2023–2025 гг. выполнены исследования по распределению гамма-излучающих радионуклидов на протяжении течения рек Салгир, Биюк-Карасу и эстуарной зоны р. Черной.

Цель исследований — изучение распределения гамма-излучающих радионуклидов в абиотических и биотических компонентах пресноводных экосистем р. Черной, Салгир и Биюк-Карасу.

Гамма-измерения проводились на полупроводниковом детекторе на основе особо чистого германия (НТЦ «РАДЭК», Санкт Петербург, РФ). Для обработки спектров использовалась программное обеспечение ASW НТЦ «РАДЭК» (Санкт Петербург, РФ).

Донные отложения водных объектов отбирали с помощью запатентованного нами пробоотборника с внутренним диаметром пробоотборной трубки 58 мм. Определения активности 137Cs проводили по регистрации излучения гамма-квантов его дочернего радионуклида — 137mBa с энергией 661,6 кэВ. Для определения эффективности измерения использовались стандартные образцы МАГАТЭ.

Сравнение распределения цезия-137 по слоям колонок донных отложений методом радиоизотопной геохронологии из разных участков рек Салгир, Биюк-Карасу показывает, что в них обнаруживаются три максимума активности техногенного 137Cs, соответствующие вторичному поступлению радионуклидов с водой СКК в 2022–2023 гг., чернобыльской

катастрофе и периоду глобальных ядерных испытаний в 60-х гг. прошлого века. Определенные на основе датировки слоев скорости осадконакопления в р. Салгир в районе с. Искра, Пятихатка и Изобильное составили 0,37±0,06, 0,39±0,06 и 0,42±0,05 см/год, соответственно. В колонке, отобранной в р. Биюк-Карасу в 2025 г., скорость осадконакопления составляет 0,49±0,06 см/год. С учетом этих данных был определен временной период накопления слоев кернов и восстановлены годы их накопления. На станции у с. Искра керн осадков соответствовал периоду накопления, с 1955 г. по настоящее время, у с. Пятихатка — с 1963 г., у с. Изобильное — с 1971 по 2023 г., в районе г. Белогорска — с 1964 по 2025 г.

В донных отложениях в устье р. Черной была обнаружена более высокая концентрация радионуклидов, чем в реках Салгир и Биюк-Карасу. Проведенный анализ свидетельствует о наличии радиоцезия в каждом слое. Поскольку в месте отбора колонки скорость осадконакопления не определяли, мы приняли допущение, что данный параметр соответствует показателю в районе, непосредственно граничащим с местом отбора проб (0,93 см/год) (Егоров и др., 2018). По этим данным, отобранные керны охватывают период около 30 лет. Профили удельной активности цезия-137 показали, что наблюдалось ежегодное поступление техногенного цезия-137 в устьевую зону реки. Удельная активность цезия-137 при этом не превышала нормы радиационной безопасности РФ. За последние два года в осадках эстуария этого водотока также было зафиксировано значительное поступление техногенного цезия-137. Результаты сравнения колонок донных отложений из эстуарной зоны р. Черной за 2022–2024 гг. и поверхностных слоев за 2022, 2024 и 2025 гг. показывают увеличение удельной активности цезия-137, что связано со значительным поступлением этого элемента с открытием Северо-Крымского канала. При этом на других участках акватории Севастопольской бухты цезий встречается редко и в незначительных количествах. В колонках илистых отложений из различных частей бухты удельная активность цезия-137 не превышала значений от 3 до 9 Бк/кг сухого веса. В пробах, отобранных вдоль течения р. Черной, в районе 4 и 9 км от устья, цезий-137 не регистрировался, его удельная активность находилась ниже пределов детектирования (0,1 Бк/кг сухого веса). В устьевых зонах соседних рек Кача и Бельбек удельная активность цезия-137 в пробах составила от 4 до 8 Бк/кг сухого веса.

Полученные нами результаты имеют важное значение как для расширения изучения экосистем наиболее крупных рек Крыма, так и для обоснования рекомендаций по коллективным дозовым нагрузкам на организм человека по ряду гамма-излучающих радионуклидов.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Трансформация пресноводных и мезогалинных экосистем Понто-Каспийского бассейна под влиянием природных и антропогенных факторов» (№ государственной регистрации 126020216284-6) и частично «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемоэкологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ государственной регистрации 124030100127-7).

Литература

Егоров В. Н., Гулин С. Б., Малахова Л. В. и др. Нормирование качества вод Севастопольской бухты по потокам депонирования загрязняющих веществ в донные отложения // Водные ресурсы. 2018. Т. 45, № 2. С. 188–195.

Мирзоева Н. Ю., Мирошниченко О. Н., Сидоров И. Г., Мосейченко И. Н., Архипова С. И. Искусственные (90Sr, 137Cs) и природные (40K, 232Th и 238U) радионуклиды в днепровской воде Северо-Крымского канала и орошаемых вдоль него поливных сельскохозяйственных угодьев (2022–2023 гг.) // Водные ресурсы. 2025. Т. 52, № 3. С. 128–144.

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДОХРАНИЛИЩА ЛОСОСИНСКОГО

Н. А. Мясникова

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

e-mail: nadezda_myasnikova@mail.ru

GRAIN-SIZE DISTRIBUTION OF SEDIMENTS THE LOSOSINSKOYE RESERVOIR

N. A. Myasnikova

Представлены результаты литостратиграфического и гранулометрического анализа донных отложений водохранилища Лососинского (Карелия) мощностью до 7,5 м. Выделены два основных интервала: голоценовые (гиттия) и плейстоценовые (глинистый алеврит с песком) отложения. Установлено, что большинство проб относятся к плохо сортированным осадкам. Выявлено не менее шести смен гидродинамических режимов при переходе от нивального климата к гумидному. Определены фациальные обстановки: от турбидитных потоков до низкоскоростных течений в разные периоды формирования водоема.

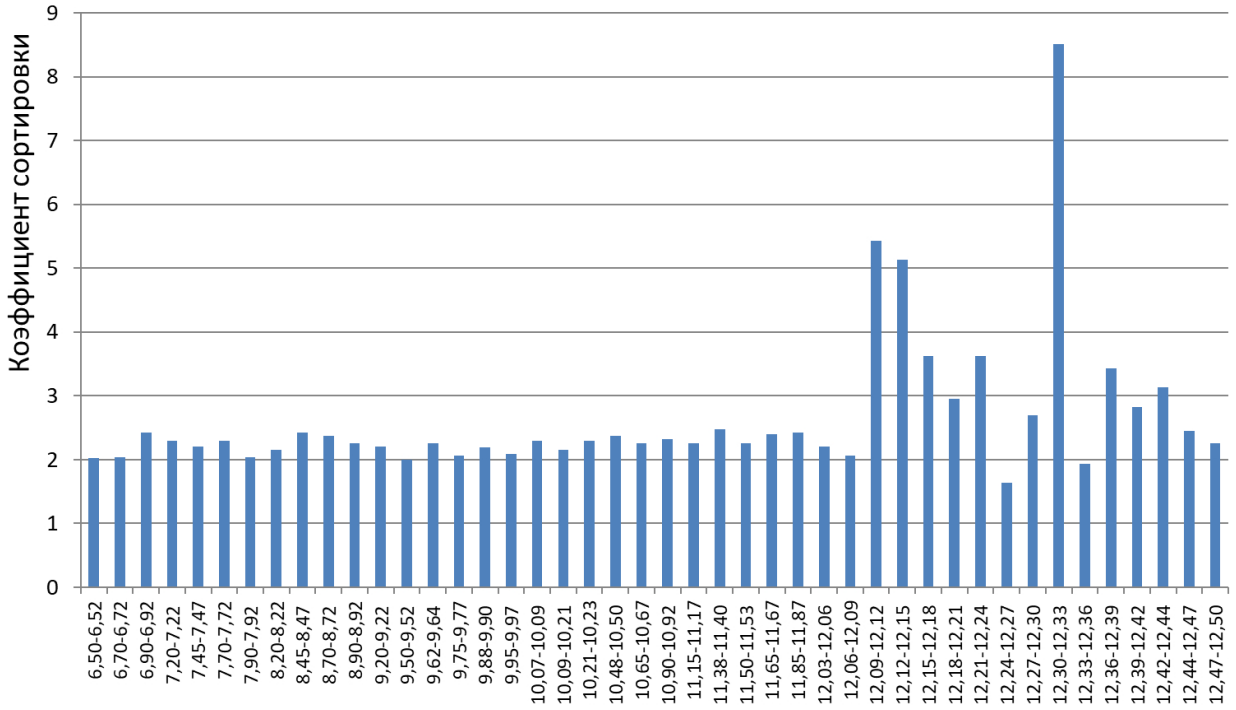
Донные осадки представляют собой идеальные архивы информации о природных событиях прошлого и настоящего. Для реконструкции условий осадконакопления были исследованы донные отложения водохранилища Лососинского, расположенного на северо-западе России (Республика Карелия).

Котловина ледникового происхождения, площадь водохранилища 10,2 км^2, высота над уровнем моря 183 м (Озера Карелии…, 2013). Были вскрыты два разреза донных осадков мощностью до 7,50 м и выполнено их литостратиграфическое описание. Зрительно колонку донных отложений исследуемого разреза 6,50–12,50 м можно разделить на два промежутка: осадки в интервале 6,50–12,06 м, представленные коричневой гомогенной оливковой гиттией, сформировавшиеся в голоцене; отложения в интервале 12,06–12,50 м — серый глинистый алеврит с прослоями среднезернистого песка, опесчаненный алеврит, сформировавшийся в период плейстоцена.

На основе классификации осадков по П. Д. Траску (Trask, 1932) девять проб донных отложений водохранилища Лососинского относится к среднесортированным осадкам (6,50–6,52 м; 6,70–6,72 м; 7,90–7,92 м; 9,50–9,52 м; 9,75–9,77 м; 9,95–9,97 м; 12,06–12,09 м; 12,24–12,27 м; 12,33–12,33 м), в остальных образцах — плохо сортированные осадки (рис.).

На основе распределения гранулометрических фракций донных осадков на интервале 6,50–12,50 м выявлены палеогидродинамические условия осадконакопления в водохранилище Лососинском. Показано, что в период изменения нивального климата на гумидный произошло не менее шести смен динамических режимов вод.

Проведенные исследования проб донных отложений водохранилища Лососинского выявили следующую закономерность: на глубине 6,50–9,22 м происходит уменьшение крупноглинистой (0,031–0,002 мм, иловой) фракции за счет увеличения фракции песка (0,5–0,063 мм). В интервале 6,50–6,52 м крупноглинистая фракция составляет 70,1 %, фракция песка — 28,2 %, а на глубине 7,45–7,47 м крупноглинистая фракция — 54,1 %, фракция песка — 44,5 %. На глубине 9,50–12,06 м увеличивается крупноглинистая фракция с 50 % в слое 9,50–9,52 м до 73,4 % в слое 12,03–12,06 м. В пробах 12,06–12,47 м фракция песка составляет от 0,2 до 7,8 %, а крупноглинистая фракция увеличивается до 85 %. Исключением являются интервалы: 12,24–12,27 м и 12,30–12,36 м, где фракция песка варьирует от 54 до 86 %. Самый глубокий интервал 12,47–12,50 м представлен 44 % фракцией песка и 51 % крупноглинистой фракцией. Песчаные отложения могут быть сформированы в результате сложных гидродинамических условий плейстоцена.



Изменение коэффициента сортировки в исследуемых пробах водохранилища Лососинского

Фракция глины в интервале 6,50–12,06 м представлена в среднем 2 %, на глубине 12,06–12,50 м в среднем 13 %. Максимальное содержание в интервале 12,09–12,12 м — 19 %. Это, возможно, связано с оседанием в зимний период взвеси, находящейся в воде.

При формировании донных осадков водохранилища Лососинского в плейстоцене — поздний дриас в результате сложных гидродинамических условий происходило чередование турбидитных отложений, отложений течений с низкими скоростями, донных осадков потоков и отложений течений с высокими скоростями. В голоцене наблюдается чередование отложений течений с низкими скоростями и отложений потоков. Самый верхний интервал 6,50–6,52 м — турбидитные отложения, для этого периода характерны высокодинамические условия формирования водохранилища.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственных заданий FMEN-2021-0006 и FMEN-2026-0011 КарНЦ РАН.

Литература

Озера Карелии. Справочник / под ред. Н. Н. Филатова, В. И. Кухарева. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.
Trask P. D. Origin and environment of source sediment of petroleum. Houston, 1932. 281 p.

ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ЛАДОЖСКОГО И ОНЕЖСКОГО ОЗЕР: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ, РЕЗУЛЬТАТЫ И ПРОБЛЕМЫ

М. А. Науменко*, В. В. Гузиватый

Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГОСНИОРХ» им. Л. С. Берга»), Санкт-Петербург, Россия

** e-mail: m.a.naumenko@mail.ru*

THERMAL REGIME OF LAKE LADOGA AND LAKE ONEGA: CURRENT STATE OF STUDY, RESULTS AND CHALLENGES

M.A. Naumenko, V.V. Guzivaty

Состояние изученности термического режима крупнейших димиктических европейских озер — Ладожского и Онежского, их реакция на климатические изменения обсуждаются в докладе на основе публикаций XXI века.

Температура оказывает принципиально важное влияние на структуру и функционирование экосистем озера. Общее потепление озер наблюдается по всему миру, что отражается в разном уровне их биологической продуктивности. Состояние изученности термического режима крупнейших димиктических европейских озер — Ладожского и Онежского, их реакция на климатические изменения обсуждаются в докладе на основе публикаций XXI века (Науменко и др., 2023).

Термический режим крупных димиктических европейских озер — Ладожского и Онежского — определяется сезонным ходом поступления тепла к поверхности и распространением тепла в глубь озера. Ладожское и Онежское озера расположены на одном общем водосборе, хотя имеют собственные частные водосборы, отличающиеся площадями, высотами и другими геоморфологическими особенностями. Уровень Онежского озера на 28 м выше уровня Ладожского. Они соединяются через зарегулированную р. Свирь. Ладожское озеро — замыкающее в системе великих европейских озер.

Димиктизм каждого из озер проявляется в том, что озеро дважды в год перемешивается от поверхности до дна за счет аномалии плотности пресной воды при температуре 3,98 °С на поверхности. Следствием этого является ежегодное возникновение весенней/осенней термических фронтальных зон (термобара).

Изменения ледовых условий, а также периодов полного весеннего и осеннего перемешивания, продолжительности устойчивой вертикальной стратификации, времени наступления годовых максимумов на различных горизонтах от поверхности до дна и придонных минимумов температуры в различных лимнических районах Ладожского озера приводят к значимым изменениям термодинамической структуры крупных озер.

Проанализированы среднеклиматическое распределение температуры поверхности воды, особенности пространственного распределения ее в весенний (со второй половины апреля до начала июля) период существования термического фронта и его продвижения от мелководных районов озера в глубоководную часть (Науменко, 2021). Показано более раннее исчезновение фронтальной зоны по сравнению со средними многолетними датами в Ладожском озере. Пространственно-временные характеристики ежегодного существования весенней фронтальной зоны в Ладожском озере зависят от ледового покрова, более раннего наблюдаемого устойчивого перехода температур воздуха через 0 °С и уменьшения средней скорости ветра в весенний период. Подтверждено наличие трендов температуры поверхности воды в глубоководной части озера (Naumenko et al., 2006).

Климатические соотношения температуры воздуха и поверхности воды для различных лимнических районов в период открытой воды, в том числе гистерезис между температурами воздуха и температурой водной массы озера (Науменко, Гузиватый, 2022), обсуждаются в докладе.

Для периода открытой воды с мая по ноябрь на основе совместного анализа климатического сезонного хода температуры поверхности воды и температуры придонного горизонта с декадным осреднением были определены характерные даты возникновения и диссипации вертикальной стратификации в Ладожском озере, которые могут служить реперами (нормами) для обнаружения отклонений от среднеклиматического хода (Науменко, Гузиватый, 2025).

Статистический анализ изменчивости вертикальных профилей температуры, измеренной за длительный период времени, с 1897 по 2017 гг., в центральной части Ладожского озера, позволил впервые разработать эмпирические количественные соотношения между параметрами стратификации с высокими коэффициентами детерминации. Исходя из различия физических особенностей процессов нагревания и охлаждения поверхности озера для каждого из периодов найдены регрессионные зависимости, которые описывают сезонный ход термических параметров Ладожского озера на различных глубинах. Оценены скорости изменения температуры воды и параметров слоя скачка в период открытой воды (Науменко, Гузиватый, 2022).

Ледовые процессы в Ладожском озере играют значительную роль не только в термогидродинамической картине озера, но и в его экологическом состоянии. Период, когда озеро полностью покрыто льдом, может варьировать от нескольких дней до 120 суток. Начиная с зимы 2013/14 гг. полный ледостав на всей акватории Ладожского озера наблюдался только зимой 2017/18 гг. Таким образом, за последние десять лет каждую зиму были открытые участки воды в глубоководной части озера.

Результаты, полученные на основе анализа больших массивов натурных данных и космических съемок, свидетельствуют о прогрессе в изучении термики Ладожского и Онежского озер. Требуются более детальные целенаправленные долговременные измерения лимнических параметров с использованием буйковых станций для подтверждения полученных выводов, а также верификации и совершенствования математических моделей.

Литература

Науменко М. А. Особенности климатических соотношений температуры поверхности воды и приводного слоя воздуха в период весеннего прогрева Ладожского озера // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2021. Т. 14, № 2. С. 78–88.

Науменко М. А., Гузиватый В. В. Климатические соотношения между температурой воздуха и температурами воды различных лимнических районов Ладожского озера // География и природные ресурсы. 2022. Т. 43, № 1. С. 83–92.

Науменко М. А., Гузиватый В. В. Характерные черты климатического годового хода придонной температуры различных районов Ладожского озера // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2025. Т. 18, № 4. С. 80–93.

Науменко М. А., Гузиватый В. В., Каретников С. Г. Изучение разномасштабных термических процессов и морфометрических особенностей в Ладожском озере контактно-дистанционными методами. Оценка тенденций климатических изменений и их влияние на термическую структуру озера // 80 лет развития лимнологии в Институте озероведения Российской академии наук. М.: РАН, 2023. С. 40–58.

Naumenko M. A., Guzivaty V. V. Methodological Approaches and Results of an Analysis of the Climatic Seasonal Course of Stable Stratification Parameters of a Dimictic Lake (Case Study of the Central Part of Lake Ladoga) // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2022. Vol. 58, N 1. P. 44–53.

Naumenko M. A., Guzivaty V. V., Karetnikov S. G. Climatic trends of the water surface temperature in Lake Ladoga during ice-free periods // Dokl. Earth Sc. 2006. Vol. 409. P. 750–753.

ОБОБЩЕНИЕ МНОГОЛЕТНИХ ДАННЫХ О ЦВЕТЕНИЯХ *EMILIANIA HUXLEYI* В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ (НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЛИТЕРАТУРЫ И НАБЛЮДЕНИЙ)

И. А. Наумов*, М. Д. Кравчишина, Л. А. Паутова, В. А. Силкин, Н. В. Политова

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

** e-mail: Naumov.IA@ocean.ru*

SYNTHESIS OF LONG-TERM DATA ON *EMILIANIA HUXLEYI* BLOOMS IN THE BARENTS SEA (BASED ON PUBLISHED DATA AND ORIGINAL OBSERVATIONS)

I. A. Naumov, M. D. Kravchishina, L. A. Pautova, V. A. Silkin, N. V. Politova

Представлен комплексный анализ многолетних данных (2017–2024 гг.) о цветениях кокколитофориды *Emiliania huxleyi* в Баренцевом море, интегрирующий опубликованные литературные данные с результатами оригинальных экспедиционных наблюдений. Исследование охватывает анализ пространственного распределения цветений, их связи с гидрофизической структурой водной толщи, характеристики сезонной стратификации и гидрохимические условия поверхностного слоя. Установлено, что массовое развитие *E. huxleyi* пространственно приурочено к зонам преимущественного влияния атлантических водных масс и реализуется в пределах стратифицированного поверхностного слоя, характеризующегося дефицитом растворенного кремния и минеральных форм азота. Цветения сопровождаются существенной трансформацией гранулометрического состава взвешенного вещества за счет доминирования мелкодисперсной карбонатной фракции. Максимальные зарегистрированные концентрации достигали $12{,}0 \times 10^6$ кл/л.

Летние цветения кокколитофориды *Emiliania huxleyi* сопровождают современную трансформацию арктической морской среды (Giraudeau et al., 2016; Pozdnyakov et al., 2021). Атлантификация Баренцева моря индуцирует изменения термохалинной структуры водной толщи, модификацию режима сезонной стратификации, смещение положения фронтальных зон и перестройку характера обеспеченности поверхностного слоя биогенными элементами (Oziel et al., 2016; Lind et al., 2018).

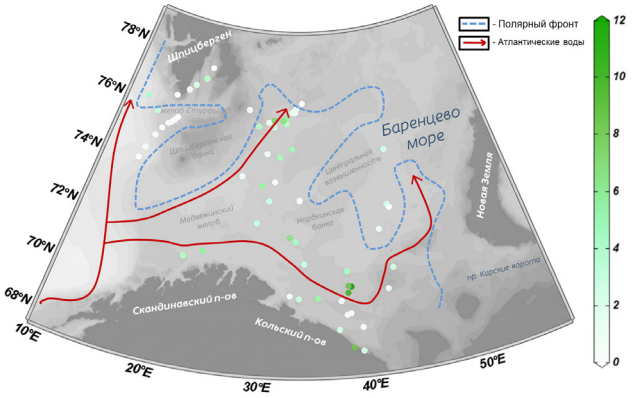
В Баренцевом море данный вид демонстрирует выраженную приуроченность к определенным гидрологическим условиям, а его массовое развитие приобретает экологическое, биооптическое и геохимическое значение (Garcia et al., 2011; Копелевич и др., 2017). Высвобождение карбонатных чешуек (кокколитов) в период цветения существенно меняет оптические свойства водной толщи, формируя «молочное» окрашивание поверхностных вод (Garcia et al., 2011).

Цель работы — комплексное обобщение многолетних данных о цветениях *E. huxleyi* в Баренцевом море, о пространственной изменчивости явления, вертикальной организации водной толщи в районах цветения, роли сезонной стратификации и гидрохимических характеристиках поверхностного слоя.

Данные по цветениям получены в рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2017–2024 гг., выполнявшихся по программе экспедиционных исследований ИО РАН «Европейская Арктика: геологическая летопись изменений окружающей среды и климата» при поддержке целевого финансирования Минобрнауки России. Измерения в водной толще выполнялись с помощью CTD-зонда, прозрачномера (ИО РАН), комплекса LiCOR, лазерного дифрактометра LISST-Deep, а также лабораторного анализатора частиц счетчика Коултера.

Массовое развитие *E. huxleyi* в Баренцевом море приурочено преимущественно ко второй половине летнего сезона — от конца июля до сентября (Giraudeau et al., 2016; Silkin et al., 2020). Формирование цветений происходит в период сезонной стратификации, обусловленной прогревом поверхностных вод и ослаблением вертикального перемешивания (Oziel et al., 2016). Установлено, что аномально теплые годы характеризуются более ранним началом цветения и увеличением его продолжительности.

Пространственное распределение цветений определяется общей гидрофизической структурой Баренцева моря и конфигурацией путей распространения атлантических вод, положением зон их взаимодействия с арктическими и прибрежными водными массами (Lind et al., 2018). Наиболее интенсивное развитие *E. huxleyi* характерно для южной, юго-западной и западной частей моря, районов с наибольшим влиянием атлантического водообмена (Dylmer et al., 2013). Спутниковые наблюдения подтверждают, что районы максимальных концентраций кокколитов совпадают с зонами повышенной яркости поверхности моря (Копелевич и др., 2017).



Численность *E. huxleyi* ($\times 10^6$ кл/л)

Максимальная зарегистрированная концентрация составила $12{,}0*10^6$ кл/л (Silkin et al., 2020) (рис.). Данный вид в период цветения доминирует в составе фитопланктонного сообщества, определяя направление сезонной сукцессии (Паутова, 2021).

Фракция 3–8 мкм, соответствующая коккосферам и отдельным кокколитам, составляет 32–67% суммарной объемной концентрации частиц в исследованном диапазоне размеров. В период цветений *E. huxleyi* становится доминирующим компонентом, в том числе дисперсной структуры взвеси. Они образовывают выраженный пик в распределении частиц по размерам в диапазоне 2–10 мкм (Лохов и др., 2020).

Таким образом, к числу ключевых условий цветения *E. huxleyi* относятся усиление влияния атлантических вод, формирование устойчиво стратифицированного поверхностного слоя, наличие выраженного сезонного пикноклина и летнее истощение верхнего горизонта по растворенному кремнию и минеральному азоту.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (№ 25-17-00334, https://rscf.ru/project/25-17-00334/).

Литература

Копелевич О.В., Каралли П.Г., Лохов А.С. и др. Перспективы улучшения точности оценки параметров кокколитофоридных цветений в Баренцевом море по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14, № 7. С. 267–279.

Лохов А.С., Кравчишина М.Д., Клювиткин А.А., Коченкова А.И. Измерение характеристик взвешенных частиц Баренцева моря in situ с помощью лазерного дифрактометра LISST-Deep // Океанология. 2020. Т. 60, № 5. С. 747–761.

Паутова Л.А. Фитопланктон Баренцева моря // Система Баренцева моря / ред. А.П. Лисицын. М.: ГЕОС, 2021. С. 317–330.

Dylmer C.V. et al. The coccolithophores *Emiliania huxleyi* and *Coccolithus pelagicus*: extant populations from the Norwegian-Iceland Sea and Fram Strait // Biogeosciences Discussions. 2013. Vol. 10, N 9. P. 15077–15106.

Garcia C.A. E. et al. Environmental conditions and bio-optical signature of a coccolithophorid bloom in the Patagonian shelf // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2011. Vol. 116, iss. C3: CO3025. P. 1–17.

Giraudeau J. et al. A survey of the summer coccolithophore community in the western Barents Sea // Journal of Marine Systems. 2016. Vol. 158. P. 93–105.

Lind S., Ingvaldsen R.B., Furevik T. Arctic layer salinity controlled by wintertime Atlantic water transport // Nature Climate Change. 2018. Vol. 8. P. 633–639.

Oziel L., Sirven J., Gascard J.C. The Barents Sea interior cycle: mechanisms and implications for primary production // Progress in Oceanography. 2016. Vol. 146. P. 1–22.

Pozdnyakov D.V., Pettersson L.H., Sorensen K. The phenomenon of *Emiliania huxleyi* in aspects of global climate and the ecology of the world ocean // Geography, Environment, Sustainability. 2021. Vol. 14, N 2. P. 50–62.

Silkin V., Pautova L., Giordano M. et al. Interannual variability of *Emiliania huxleyi* blooms in the Barents Sea: In situ data 2014–2018 // Marine Pollution Bulletin. 2020. Vol. 158: 111392. P. 1–9.

ПРОДУКЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОПУЛЯЦИЙ МАССОВЫХ ФОРМ ХИРОНОМИД В РАЗЛИЧНЫХ БИОТОПАХ ЭСТУАРИЯ РЕКИ НЕВЫ

Д. В. Незванова [1, 2]*, **В. П. Беляков** [1, 2]

[1] *РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия*
[2] *Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия*

* *e-mail: darya.kaik@mai.ru*

PRODUCTION CHARACTERISTICS OF POPULATIONS OF MASS CHIRONOMID FORMS IN DIFFERENT BIOTOPES OF NEVA ESTUARY

D. V. Nezvanova, V. P. Beliakov

Проанализировано участие массовых видов хирономид в формировании вторичной продукции зообентоса в различных донных биотопах эстуария р. Невы. Максимальные значения суточной продукции (91,1 кал/м^2 сутки) зафиксированы на станциях северного побережья на каменисто-песчаной литорали, причем вклад хирономид в продукцию зообентоса там максимальный. Станции южного побережья характеризуются невысокими значениями. В глубоководной зоне эстуария хирономиды значимы только на некоторых станциях, где отмечено монодоминирование *Chironomus plumosus* среди хирономид с высоким показателем продуцирования — 97,1 кал/м^2 сутки. На величины продукции хирономид влияют характеристики биотопа: грунт, наличие растительности, температурный и гидрологический режимы.

Личинки комаров-звонцов в большинстве пресных водоемов являются ключевым компонентом донных сообществ, играя заметную роль в аккумулировании и переносе веществ и энергии в водоеме.

Эстуарий р. Невы, на берегу которого расположен крупнейший мегаполис Балтийского моря, находится в условиях постоянно усиливающейся антропогенной нагрузки, что, несомненно, сказывается на всех биотических сообществах, в частности бентосных, где аккумулируются загрязняющие вещества.

Изучение продукционных характеристик хирономид позволяет оценить как современное состояние экосистемы, так и ее способности к самоочищению, что необходимо для прогнозирования изменений экосистемы под воздействием антропогенных факторов.

Цель исследования — оценить продукционные показатели массовых форм хирономид в разных биотопах эстуария р. Невы.

Задачи:

1. Сравнить видовой состав и количественные показатели массовых видов хирономид в прибрежной и открытой частях эстуария р. Невы.
2. Рассчитать продукционные характеристики массовых видов хирономид.
3. Определить влияние абиотических и биотических факторов на показатели продукции.

Материалом для работы послужили бентосные пробы, собранные на литорали северного и южного прибрежья эстуария р. Невы в мае и сентябре, а также данные по глубоководным станциям за июль 2025 г. При сборе и обработке проб использовались стандартные методы, применяемые в практике исследований ЗИН РАН. Продукция хирономид рассчитывалась физиологическим методом (Балушкина, 1987).

На северном побережье наблюдается смена донного биотопа — от песчаного с включениями камней в районе п. Ольгино до каменисто-песчаного в г. Зеленогорске; при этом на станции в районе парка Дубки камни покрывают почти всё дно. Южное побережье (в районе Старого Петергофа и Стрельны) характеризуется илистыми грунтами. На станциях открытой зоны грунты представлены заиленным песком и серым илом.

В результате исследования прибрежных зон было обнаружено 30 видов, относящихся к семейству Chironomidae. Массовое развитие хирономид было отмечено на северном

побережье, с явным преобладанием перифитонофагов *Cricotopus gr. bicinctus* (1775 экз./м^2), *Orthocladius gr. rubicundus* (1500 экз./м^2) и *Cladotanytarsus gr. mancus* (733 экз./м^2). Южное побережье характеризуется более скудными количественными показателями и видовым составом хирономид, доминирующими там являются хищные *Tanypus villipennis*, *Procladius nigriventris* и детритофаг *Tanytarus verralli* (33 экз./м^2). В центральной части эстуария р. Невы абсолютным доминантом среди хирономид является фитодетритофаг фильтратор+собиратель *Chironomus plumosus* (421 экз./м^2).

Наиболее высокие значения суточной продукции отмечены на станции Ольгино, где абсолютными лидерами являются *O. gr. rubicundus* (39,7 кал/м^2 сутки) и *Cr. gr. bicinctus* (38,0 кал/м^2 сутки), составляя более половины сообщества хирономид. *Cl. gr. mancus* и *T. verralli* представлены меньшими значениями — 12,4 и 1,0 кал/м^2 сутки, соответственно. На всех остальных станциях северного побережья вклад видов в продукцию не превышает 1 кал/м^2 сутки.

Для станций южного побережья значения суточной продукции невысокие: в Стрельне для *T. villipennis* и *P. nigriventris* составляют 0,02 и 0,22 кал/м^2 сутки и в Старом Петергофе для *Cl. gr. mancus* и *T. verralli* — 0,003 и 0,01 кал/м^2 сутки, соответственно.

В открытой части эстуария значения суточной продукция для массовых видов сильно варьируются, от 1,2 кал/м^2 сутки на мелководных станциях (гл. 3 м) до 97,1 кал/м^2 сутки на глубоководной станции (гл. 10 м). На последней отмечен только один вид — *Chironomus plumosus*, что, вероятно, связано с его устойчивостью к гипоксии, наблюдающейся в этом районе.

Таким образом, наибольшие величины суточной продукции при полидоминантности сообщества отмечены в прогреваемых зонах с хорошим кислородным режимом и наличием большого количество свежей органической пищи либо при монодоминантности толерантного к кислородному режиму вида (*Chironomus plumosus)* при накоплении детрита на глубоководных станциях.

Литература

Балушкина Е. В. Функциональное значение личинок хирономид в континентальных водоемах // Труды ЗИН. Т. 142. Л., 1987.

БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ГОРБУШИ (*ONCORHYNCHUS GORBUSCHA,* W.), ИНТРОДУЦИРОВАННОЙ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РОССИИ

Н. Н. Немова*, С. А. Мурзина, М. В. Кузнецова, Д. А. Ефремов, В. П. Воронин, С. Н. Хуртина, Д. И. Манойлова, Н. С. Шульгина

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

** e-mail: nnnemova@gmail.com*

BIOCHEMICAL METHODS FOR ASSESSING THE STATE OF PINK SALMON (*ONCORHYNCHUS GORBUSCHA*, W.) INTRODUCED IN NORTHWEST RUSSIA

N. N. Nemova, S. A. Murzina, M. V. Kuznetsova, D. A. Efremov, V. P. Voronin, S. N. Khurtina, D. I. Manoylova, N. S. Shulgina

This study focused on the revealing the role of lipids and their fatty acid components, as well as the characteristics of their metabolism, in pink salmon smolts of even and odd lineages from several rivers and tributaries in the White and Barents Sea basins. Lipid profiling was based on the identification, analysis, and statistical processing of 70 key lipid metabolism parameters, as well as the relative expression levels of key genes involved in the biosynthesis of long-chain PUFAs (desaturases and elongases). The results obtained allow to identify and separate pink salmon smolts from even and odd lines, as well as track the timing of pink salmon smoltification in rivers. The research findings might be useful for forecasting pink salmon yields and assessing the timing of smoltification in different rivers.

Интродукция видов в новую среду обитания характеризуется существенными преобразованиями, сопровождающимися кардинальными перестройками клеточного метаболизма, что способствует формированию стратегии поведения и выживания. Несмотря на обширность исследований по биологии и экологии горбуши, вопросы, касающиеся биохимических стратегий адаптации этого вида, остаются малоизученными, особенно это относится к популяциям горбуши рек Баренцева и Белого моря. В ходе полевых экспедиций обследованы реки (16) Карельского берега Белого моря, южного берега Кольского полуострова (Мурманская область, Белое море), северного берега Кольского полуострова (Мурманская область, Баренцево море), собран необходимый материал (смолты четной и нечетной линий горбуши) на биохимический и молекулярно-генетический анализ.

Установлено, что четная линия горбуши отличается нестабильными заходами и низкой численностью рыб, при этом смолты горбуши из рек Белого моря имеют сопоставимые размеры со смолтами из баренцевоморских рек. Липидное профилирование основывалось на идентификации, анализе и статистической обработке 70 основных показателей липидного обмена: по классам нейтральных липидов, полярных липидов, содержанию жирных кислот (ЖК) общих липидов, ключевым индексам метаболизма и конвертации ЖК, а также активности генов биосинтеза ПНЖК (десатураз и элонгаз). Для оценки механизмов регуляции миогенеза, транскрипционных факторов регуляции миогенеза МРФ — *Myf5*, *MyoG*, *MyoD1a*, *MyoD1b* и миостатина (*Mstn1a*).

Показано, что все исследованные классы нейтральных липидов достоверно коррелируют с индивидуальными пробами горбуши разных рек при построении проекции на осях главных координат, за исключением минорных ЖК 6:0, 8:0, 11:0, iso15:0, cis14:1 (n-5), что свидетельствует о четких различиях условий обитания и адаптации ЖК-метаболизма к ним. Использование канонического анализа соответствий (CCA) позволило установить различия по содержанию индивидуальных классов липидов и содержанию ЖК в мышцах горбуши между особями из рек Кольского полуострова и молодью из р. Керети, расположенной у Карельского берега Белого моря. Для смолтов из рек Варзуга и Индёра более характерно накопление физиологически значимых кислот cis20:5 (n-3) и cis22:6 (n-3), а также cis22:1 (n-9)

и cis22:5 (n-3). Напротив, для горбуши из р. Керети характерно более высокое содержание n-6ПНЖК (cis18:2 (n-6), cis20:4 (n-6)), а также МНЖК (cis16:1 (n-7), cis20:1 (n-9)) и 14:0 жирных кислот по сравнению со смолтами горбуши из других рек. Полученные результаты указывают на различия не только в температурных условиях среды (от 9,7–11,5 °С в р. Керети до 2,1 °С в р. Воронья), но и складывающихся в них кормовых условиях, которые являются мощнейшим экзогенным фактором, влияющим на регуляцию метаболизма ЖК. Для смолтов из р. Керети характерно более высокое содержание сигнальных и лабильных молекул МАГ по сравнению со смолтами других обследованных рек. Для особей из р. Керети также установлены более высокие средние показатели веса. Были установлены достоверные различия между особями из разных рек вылова по содержанию структурных липидов — фосфолипидному профилю мышечной ткани.

Установлено, что достоверными отличиями смолтов горбуши нечетной и четной линий является повышенное содержание общих липидов за счет доминирования нейтральных, энергетических ТАГ, а также повышения содержания ПНЖК за счет n-3ПНЖК, в частности 20:5 (n-3) и 22:6 (n-3). Впервые показаны различия индексов конвертации и на основе полученных данных проанализирована активность того или иного фермента липогенеза у смолтов нечетной и четной линии в пользу синтеза (n-3) ПНЖК у молоди нечетной линии: C18:1n9c/C18:0 (SCD1-C18:0), C18:3n3/C18:2n6c; C20:4n6/C18:2n6c (FADS2, ELOVL, n-6 путь), C20:5n3/C18:3n3 (FADS2, ELOVL, n-3 путь); C16:0/C18:2n6c (индекс липогенности), что может свидетельствовать о высокой адаптивной пластичности смолтов горбуши нечетной линии и формировании физиологически готовой молоди к жизни в морских условиях по сравнению с «запаздывающей» молодью четной линии, чем в том числе могут объясняться и различия «урожайности» этого вида рыбы.

Результаты позволили идентифицировать и разделить смолтов горбуши четной и нечетной линии, а также отслеживать сроки смолтификации горбуши в разных реках. В условиях различных рек у смолтов горбуши, по-видимому, реализуются механизмы адаптации (внутривидового биоразнообразия и устойчивости вида) с участием различных липидов и их сочетаний. Например, у смолтов горбуши из сравнительно холодноводной р. Воронья (бассейн Баренцева моря) в адаптации к пониженной температуре участвуют фосфолипиды и сигнальные молекулы липидной природы, а подготовка молоди к смолтификации (преадаптация к миграции) включает накопление триацилглицеринов (запасных липидов). Доминирование молекул фосфатидилхолина можно рассматривать как биохимический индикатор таких экологических условий обитания, как температура и обеспеченность кормовой базой. Температурный режим и трофические условия являются основными факторами, определяющими липидный статус: смолты из холодноводной р. Воронья показали максимальное содержание докозагексаеновой кислоты (ДГК — 31 %), что подтверждает ее критическую роль в адаптации клеточных мембран к пониженным температурам. Факторный анализ выделил три группировки ЖК, различающих исследованных смолтов: 1) связанные с особенностями липогенеза (F1: 16:0, 18:0, 20:0, ЭПК, ДГК), 2) связанные с подготовкой к обитанию в морской среде (F2: cis18:1 (n-9), cis20:4 (n-6)) и 3) связанные с доступностью и потреблением эссенциальных ЖК (F3: cis18:2 (n-6), cis18:3 (n-3)).

Молекулярно-генетический анализ экспрессии генов белков, характеризующих мышечный рост горбуши, свидетельствует о различиях в уровнях экспрессии генов МРФ, *MyHC*, *mlc2* и *Mstn1a* между группами рыб, выловленных в разных реках, отражает реализацию механизмов регуляции миогенеза в зависимости от условий обитания, в частности температуры воды и кормовых факторов. Повышение уровней экспрессии генов МРФ отражает усиление гиперплазии и гипертрофии мышечных волокон у горбуши, усиление процессов синтеза и накопления белка и темпов прироста мышечной массы в реках Индёра, Кереть (наиболее высокие значения), Умба и Варзуга, в отличие от рыб в р. Воронья (бассейн Баренцева моря).

Результаты исследований вносят вклад в расширение знаний о механизмах эколого-биохимических адаптаций водных организмов и могут иметь значение при составлении прогноза «урожайности» горбуши, оценки сроков ее смолтификации в разных реках.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 24-14-00074.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА ТАКСОЦЕНОВ РАКООБРАЗНЫХ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ ЧУКОТСКОГО АО

А. А. Новичкова [1]*, М. А. Трухан [1, 2], Е. С. Чертопруд [2, 3], П. Г. Гарибян [3], Е. И. Барабанщиков [4]

[1] Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия
[2] Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
[3] Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия
[4] Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Владивосток, Россия

** e-mail: anna.hydro@gmail.com*

ENVIRONMENTAL AND REGIONAL DRIVERS OF CRUSTACEAN ASSEMBLAGES IN SMALL WATER BODIES OF CHUKOTKA AO

A. A. Novichkova, M. A. Trukhan, E. S. Chertoprud, P. G. Garibian, E. I. Barabanshchikov

Проанализированы состав и структура таксоценов ракообразных 20 малых водоемов Чукотского АО вдоль регионального и экологического градиентов условий среды. Всего выявлен 31 вид, в том числе четыре таксона, впервые указанных для Чукотского АО (*Daphnia pulicaria* s.l., *Cyclops* cf. *abyssorum, Diacyclops languidoides, Thermocyclops oithonoides*). Пространственный и высотный градиенты коррелировали друг с другом, при этом высота сильнее определяла вариации структуры таксоценов. Показано, что ключевыми предикторами изменчивости таксоценов являются высота и гидрологический тип водоема, а также, в меньшей степени, температура и концентрация кислорода. β-разнообразие было высоким и преимущественно формировалось компонентой turnover (смена видов), особенно в горных водоемах. Выявлено, что основные различия между районами связаны с изменением состава видов с высокой встречаемостью, а редкие виды определяют локальную мозаичность таксоценов.

Ракообразные водоемов Чукотского АО, в частности представители зоопланктона и мейобентоса, до сих пор изучены фрагментарно. Целью данного исследования являлся анализ структуры и состава таксоценов ракообразных некоторых малых водоемов Чукотки на градиенте факторов среды.

Пробы зоопланктона и мейобентоса отбирали в августе—сентябре 2024 г. в двух районах — Чукотское нагорье и северная прибрежная равнина. Всего было обследовано 20 водоемов, для каждого проведено общее описание — оценены площадь, глубина, тип, грунт, высота н.у.м. (3–730 м). Также были измерены базовые гидрохимические параметры воды и температура. Структуру таксоценов и видовое богатство ракообразных характеризовали по относительной численности и по бинарным данным присутствия/отсутствия видов. В анализе использовали индексы Брея-Кёртиса и Жаккара, коэффициент ранговой корреляции Спирмена, тесты ANOSIM и SIMPER, процедуру DistLM. Кроме того, применено разложение β-разнообразия (β) на компоненты turnover (смена видов) и nestedness (вложенность). Статистический анализ выполнен в пакете программ PRIMER7 и среде программирования RStudio.

Всего был идентифицирован 31 вид ракообразных, в том числе 2 Anostraca, 6 Cladocera и 23 Copepoda. Из них четыре вида: *Daphnia pulicaria* s.l., *Cyclops* cf. *abyssorum*, *Diacyclops languidoides* и *Thermocyclops oithonoides* впервые отмечены для Чукотского АО. Для изученных станций пространственный (район сбора) и высотный градиенты были близки, но не полностью совпадали (r = 0,75), что отражает собственный диапазон высот внутри каждого района. В таком контексте именно предиктор высоты позволил более детально описать вариацию структурных и видовых особенностей.

На основании данных *по относительному обилию* структура таксоценов существенно изменялась вдоль высотного градиента, а также в разных типах водоемов. Для всех групп

ракообразных высота обеспечивает наибольшую дифференциацию (R = 0,409, p = 0,001). Для Copepoda влияние высоты было особенно выражено (R = 0,667, p = 0,001) и дополнялось более слабым эффектом температуры (R = 0,343, p = 0,001). Для Cladocera этот тренд был менее выражен.

Для всех групп ракообразных тип водоема как интегральная характеристика, отражающая гидрологические и гидрохимические особенности водоема, значимо влиял на структуру таксоценов (R = 0,228, p = 0,017), тогда как другие факторы, включая тип донного грунта, были статистически незначимы. Анализ *бинарных данных* выявил усиление роли высоты и типа водоема в формировании видового состава и повышение вклада температурного фактора главным образом за счет Copepoda (R = 0,389, p = 0,001). Многофакторный анализ показал, что комбинация факторов температуры, концентрации кислорода, площади и глубины водоема, а также высоты н.у.м. суммарно объясняет около 34% вариации для всех ракообразных, 28% для Cladocera и 49% для Copepoda, что отражает их высокую чувствительность к комплексному действию как крупномасштабного градиента высот, так и локальных условий.

Дополнительный анализ *по бинаризованным по медиане факторным переменным* показал, что наиболее устойчивые эффекты изменчивости у Cladocera связаны с концентрацией кислорода и глубиной водоема (значимы как по структуре таксоценов, так и по видовому составу), а у Copepoda — с высотой н.у.м. (структура) и также концентрацией кислорода слабый эффект на границе статистической значимости (видовой состав). Таким образом, концентрация кислорода и глубина важнее для Cladocera, тогда как для Copepoda ведущими остаются высота и температура. Высотный градиент отражается не только на изменении структуры, но и на смене видовых комплексов, особенно для веслоногих. *Анализ SIMPER* для ракообразных водоемов разных высотных зон выявил «горный» (*Polyartemia forcipata, Branchinecta* cf. *paludosa, Daphnia pulicaria, Acanthocyclops capillatus, Diacyclops bicuspidatus*) и «низинный» (*Cyclops* cf. *abyssorum, Acanthocyclops venustus, Diacyclops languidoides, Daphnia pulex, Eurycercus pompholygodes*) комплексы видов.

Разложение β-разнообразия на две компоненты показало, что его значение высоко (β = 0,68) и в основном формируется за счет turnover (0,61), тогда как nestedness невелика (0,07). Для Cladocera β было несколько ниже (0,57) и сопровождалось более высоким вкладом nestedness (0,13), тогда как для Copepoda β было наибольшим (0,72) и обусловленным преимущественно компонентой turnover (0,67). Горные водоемы обладали более высокими значениями β (в основном за счет turnover), что было особенно выражено для Copepoda. Разделение видов на часто встречающиеся и редкие показало, что эти фракции видового разнообразия по-разному участвуют в формировании пространственных паттернов ракообразных. Частые виды обеспечивают умеренно высокое β (0,57), тогда как наличие большого числа редких видов связано с экстремально высоким значением разнообразия (0,91). При этом основной макромасштабный контраст между районами задается именно частыми видами (R = 0,54, p = 0,002), тогда как редкие виды вносят умеренный вклад (R = 0,22, p = 0,001). Это указывает на то, что биогеографическая дифференциация по пространственно-высотному градиенту определяется прежде всего перестройкой основного ядра «обычных» для региона видов, тогда как редкие таксоны повышают локальную мозаичность фауны.

Таким образом, таксоцены ракообразных малых водоемов Чукотского АО формируются под действием нескольких взаимосвязанных уровней факторов: крупномасштабного пространственного и высотного градиентов, типологии водоемов и локальных условий среды (температура, концентрация кислорода, размер, глубина). Copepoda являются наиболее чувствительной группой, ярко отражающей вариации всех масштабов, тогда как Cladocera демонстрируют умеренную, хотя и отчетливую реакцию на них. Преобладание компоненты turnover над nestedness в структуре β-разнообразия, выраженное влияние высоты и типа водоема на структуру таксоценов указывают на высокую структурированность зоопланктонных комплексов региона.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-24-00881, https://rscf.ru/project/25-24-00881.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ (ООПТ) ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ (АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ, НЕНЕЦКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ, РЕСПУБЛИКА КОМИ)

А. П. Новоселов

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия

e-mail: alexander.novoselov@rambler.ru

RESEARCH ON FRESHWATER ECOSYSTEMS IN SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS (SPNAS) IN THE EASTERN PART OF THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA (ARKHANGELSK REGION, NENETS AUTONOMOUS OKRUG, KOMI REPUBLIC)

A. P. Novoselov

Сформулированы основные направления комплексного мониторинга, позволяющего получать материалы, имеющие значение не только для заповедной территории, но и для суждения об их динамике в целом как во времени, так и в пространстве. Представлены направления и результаты исследований академических и ведомственных научных организаций на водных экосистемах ООПТ как федерального, так и регионального значения восточной части Европейского Севера России: ООПТ федерального значения — государственные природные заповедники «Пинежский», «Ненецкий», «Печоро-Илычский», национальные парки «Кенозерский», «Русское Поморье», «Югыд-Ва»; регионального значения — Лачский, Соянский, Двинской и Беломорский, биологические заказники, памятник природы термальный источник Пымва-Шор.

В России создание сети особо охраняемых природных территорий является традиционной и достаточно эффективной формой природоохранной деятельности. Экологическая доктрина Российской Федерации (распоряжение Правительства РФ № 1225-р от 31.08.2002 г.) рассматривает развитие особо охраняемых территорий (ООПТ) различного статуса в числе основных направлений государственной политики в области экологии. Практика рыбохозяйственных исследований показывает, что они могут успешно проводиться и на ООПТ, на которых традиционно сложились определенные методические принципы исследований. Это непрерывность, круглогодичность, стационарность и преемственность наблюдений (Нухимовская и др., 1997). На подобных территориях в достаточно полной мере можно совмещать интересы как академической, так и прикладной науки. Проведение систематических комплексных наблюдений позволяет дать оценку биологического разнообразия ихтиофауны и прогнозировать возможные экологические изменения (Новоселов, Студенов, 2010, 2015). В то же время регулирование рыболовства дает возможность рационального использования имеющихся биологических ресурсов местным населением в рамках определяемых квот вылова на водоемах тех ООПТ, статус которых позволяет это делать. При этом полученные материалы могут быть использованы не только применительно к заповедным территориям, но и в целом для регионов, на которых они располагаются (Новоселов, Дворянкин, 2019).

В водных экосистемах ведется комплексный мониторинг среды обитания гидробионтов, бактерио- фито- и зоопланктона, а также бентоса, дрифта, рыб и других промысловых объектов. Конкретные этапы мониторинга предполагают выполнение исследований по следующим основным направлениям. Прежде всего оцениваются абиотические условия среды

обитания гидробионтов (качество вод) и исследуется аккумуляция загрязняющих веществ в донных отложениях рек и озер (возможность вторичного загрязнения). Далее проводится оценка состояния сообществ водных беспозвоночных (фито- и зоопланктон, зообентос) и, как конечное звено, изучение экологии, структуры и состояния рыбного населения. На уровне организма рассматривается накопление токсикантов в органах и тканях рыб, занимающих различные экологические ниши (планктофаги, бентофаги, хищники). На популяционном уровне анализируются видовой состав и таксономическая структура рыбной части сообществ, а также экология обитания, биология, естественное воспроизводство, питание и трофические (конкурентные) отношения, а также численность и биомасса конкретных видов. Мониторинг водных экосистем на ООПТ предполагает анализ изменений, происходящих как в пространственном, так и временном аспектах. В этой связи исследования на водоемах должны проводиться с необходимой периодичностью (ежегодно, раз в три или пять лет).

На территории восточной части Европейского Севера России исследования на ООПТ того или иного уровня проводятся практически ежегодно. В *Архангельской области* работы ведутся на территориях ООПТ как федерального значения — в Пинежском государственном заповеднике, Кенозерском национальном парке, НП «Русское Поморье», так и регионального уровня — Лачском, Соянском, Двинском и Беломорском биологических заказниках. Мониторинговые работы на территории *Ненецкого автономного округа* осуществляются с 50-х гг. прошлого столетия, то есть они начались задолго до образования особо охраняемых территорий. В настоящее время исследования охватывают территории ООПТ федерального значения — Государственного природного заповедника «Ненецкий» и Государственного зоологического заказника «Ненецкий». Комплексные исследования проведены на территории памятника природы — термального источника Пымва-Шор. В *Республике Коми* исследования ведутся на уральских семужье-нерестовых притоках Печорского бассейна. Административно они замыкаются на ООПТ федерального значения — Печоро-Илычский биосферный заповедник и Национальный парк «Югыд-Ва».

Исследования проводятся как академическими (ФИЦКИА УрО РАН и Коми НЦ УрО РАН), так и ведомственными (ВНИРО) организациями. Многолетнее сотрудничество этих организаций с руководством ООПТ региона показало, что только объединение творческих усилий гарантирует надежность выполнения масштабных научных задач и программ. Они имеют общую направленность, а именно изучение природных ресурсов и их использование, сохранение биологического разнообразия и редких видов, мониторинг водных биоресурсов, окружающей среды и решение многих других проблем, обеспечивающих в итоге гармоничное существование человека в окружающей его среде.

Литература

Новоселов А. П., Дворянкин Г. А. Экологическая характеристика водных экосистем особо охраняемых природных территорий федерального значения Архангельской области // Труды Архангельского центра Русского географического общества: сб. науч. ст. Архангельск: Архангельский центр Русского географического общества, 2019. 2019. Вып. 7. С. 305–315.

Новоселов А. П., Студенов И. И. К общей характеристике ключевых водных экосистем особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Европейского Северо-Востока России // Природные опасности: связь науки и практики. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2015. С. 326–335.

Новоселов А. П., Студенов И. И. Основные направления мониторинга водных экосистем на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) // В сб.: «Современное состояние и перспективы развития сети особо охраняемых территорий Европейского Севера и Урала». Сыктывкар, 2010. С. 55–58.

Нухимовская Ю. Д., Филонов К. П., Шадрина Г. Д. Мониторинг биологического разнообразия в заповедниках и его задачи // Мониторинг биоразнообразия. М., 1997. С. 335–339.

Распоряжение Правительства РФ № 1225-р от 31.08.2002 г.

АНАЛИЗ ТРЕХМЕРНОЙ ДИНАМИКИ ЛОФОТЕНСКОГО ВИХРЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАГРАНЖЕВА МЕТОДА ОКОНТУРИВАНИЯ ВИХРЕЙ LEBDA

Е. В. Новоселова [1, 2, 3]*, М. В. Будянский [2, 3], М. Ю. Улейский [3], Т. В. Белоненко [2], А. А. Дидов [2, 3], А. А. Удалов [3], П. А. Файман [2, 3]

[1] *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия*

[2] *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия*

[3] *Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия*

* *e-mail: novoselovaa.elena@gmail.com*

ANALYSIS OF THE THREE-DIMENSIONAL DYNAMICS OF THE LOFOTEN VORTEX USING THE LAGRANGIAN EDDY BOUNDARY ALGORITHM LEBDA

E. V. Novoselova, M. V. Budyansky, M. Yu. Uleysky, T. V. Belonenko, A. A. Didov, A. A. Udalov, P. A. Fayman

Представлены результаты анализа трехмерной динамики Лофотенского вихря по данным моделирования в ROMS с применением алгоритма определения динамических границ мезомасштабных вихрей LEBDA. Проанализирована эволюция пассивных маркеров внутри вихря: оценены время и направление выноса за контур вихря, длины траекторий, накопленных по вертикали и горизонтали, величина смещения относительно начального положения и размах по вертикали, количество оборотов, совершенных маркерами внутри контура вихря, и др.

В данной работе применяется алгоритм определения динамических границ мезомасштабных вихрей LEBDA (Lagrangian Eddy Boundary Delineation Algorithm) (Novoselova et al., 2025, 2026). В отличие от традиционных методов, базирующихся на анализе геострофических скоростей в фиксированный момент времени, LEBDA использует лагранжеву концепцию и учитывает временную эволюцию вихря. Основная идея заключается в построении границы вихря не только на основании мгновенного распределения скоростей, но и с учетом их изменения в течение определенного временного интервала до и после рассматриваемой даты. Это позволяет учесть временную согласованность границ вихря, что особенно важно для корректного описания его динамики.

Известно, что форма и границы вихрей подвержены значительным вариациям. Если определять границу вихря в каждый отдельный день, например методом автоматической идентификации, можно заметить резкие изменения контура от суток к суткам, что затрудняет анализ долгоживущих структур. В LEBDA данная проблема решается за счет использования ретроспективного подхода, при котором контур вихря определяется на основе анализа траекторий пассивных маркеров вблизи вихря и их эволюции в течение определенного временного периода.

Практическая реализация метода предполагает анализ изменения структуры вихря в течение месяца — 15 дней до и 15 дней после рассматриваемой даты. Такой временной интервал выбран с учетом мезомасштабной изменчивости течений, имеющей характерную синоптическую временную шкалу. Этот подход позволяет сгладить «прыгающие» значения границ, обеспечивая более реалистичное и согласованное описание динамики вихря. Таким образом, предложенный метод не только позволяет избежать артефактов, связанных с высокой суточной изменчивостью границ, но и обеспечивает более целостное представление об эволюции вихря в течение характерного временного периода его существования.

В настоящем исследовании показаны способы применения LEBDA для анализа трехмерной вихревой динамики на примере Лофотенского вихря, расположенного в Норвежском море. Оконтуривание вихря производилось на основе результатов моделирования в ROMS с разрешением 1,5 км (Novoselova et al., 2024). Расчеты трехмерных траекторий пассивных маркеров проводились в вычислительном пакете Ariane (https://ariane-code.cnrs.fr/), который позволяет проводить расчеты траекторий как вперед, так и назад во времени. Поле с координатами 69,58–70,25 с. ш. 2,3–5,4 в. д. в начальный момент времени равномерно засеивалось маркерами в соотношении 100 × 100 через каждые 10 м от поверхности до 1000 м (итого около 1 млн маркеров).

Было обнаружено, что Лофотенский вихрь может существовать в различных режимах удержания вод, переходя от стабильного состояния со слабым водообменом (март — сентябрь 2008 г.) к ослабленному удержанию частиц в ядре (сентябрь 2008 г. — март 2009 г.). Была продемонстрирована сложная эволюция пассивных маркеров внутри вихря, включая их перемещение к его периферии, что опровергает гипотезу о «шайбообразном» ядре Лофотенского вихря.

Установлены механизмы адвекции пассивных маркеров за пределы вихря. Подробно прослежены этапы эволюции пятен пассивных маркеров, покидающих вихрь: после нескольких оборотов вокруг его центра в виде компактных образований они растягиваются, пересекают вихревой контур, выделяемый LEBDA, и перемещаются по многообразиям ближайших гиперболических точек, при этом совершая менее двух оборотов вокруг центра вихря. Было отмечено, что адвекция маркеров из фонового потока в контур вихря также происходит вдоль многообразий гиперболических точек.

Выявлено, что пассивные маркеры со схожими начальными условиями (расположенные близко друг к другу) внутри вихря могут иметь разное время выноса и совершать разное количество оборотов и, наоборот, удаленные друг от друга в начальный момент времени могут собираться в группы и покидать вихрь одновременно. Эпизодическая динамика выброса маркеров подтверждается анализом функции и фрактала выноса: группы маркеров покидают вихрь порциями, образуя U-образные фрагменты и ступенчатые структуры.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-03-2026-218, проект FSEG-2026-0020) (анализ данных), гранта СПбГУ № 129659573 (моделирование слежения за частицами, анализ данных, подготовка рисунков) и гранта РНФ № 25-17-00021 (концептуализация, анализ данных, написание текста, обзор литературы). Лагранжев анализ проводился на высокопроизводительном вычислительном кластере Тихоокеанского океанологического института (государственное задание № 124022100072-5).

Литература

Novoselova E. V., Budyansky M. V., Uleysky M. Yu. et al. Lagrangian Eddy Boundary Delineation Algorithm — LEBDA: A Case Study of the Lofoten Vortex // Physics of Fluids. 2025. Vol. 37, N 7: 076657.

Novoselova E. V., Budyansky M. V., Uleysky M. Yu. et al. Lagrangian modeling of marker transfer at the Lofoten vortex periphery using R-contours and altimetry data // Physics of Fluids. 2026. Vol. 38, N 1: 016613.

Novoselova E. V., Fayman P. A., Didov A. A. et al. Modeling the Ventilation of the Vortex Periphery for Anticyclonic Quasi-Permanent Lofoten Vortex // Pure and Applied Geophysics. 2024. Vol. 181. P. 3409–3429.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПАРАЗИТАХ РОДА GYRODACTYLUS У САДКОВОЙ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ *ONCORHYNCHUS MYKISS* (WALBAUM, 1792) В КАРЕЛИИ

А. Н. Паршуков*, Е. П. Иешко

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

** e-mail: aleksey.nik.parshukov@gmail.com*

NEW DATA ON PARASITES OF THE GENUS GYRODACTYLUS IN RAINBOW TROUT *ONCORHYNCHUS MYKISS* (WALBAUM, 1792) REARED IN CAGES IN KARELIA

A. N. Parshukov, E. P. Ieshko

Приводятся сведения по фауне и сезонным особенностям численности гельминтов рода *Gyrodactylus* у садковой радужной форели *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) из некоторых рыбоводных хозяйств Карелии. Установлено, что состав моногеней представлен видами *Gyrodactylus teuchis*, *Gyrodactylus salaris* (RBT), «Осетинским» изолятом *G. salaris*, и гибридом *Gyrodactylus pomeraniae* × *Gyrodactylus lavareti*.

Развитие пресноводной аквакультуры радужной форели *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) создает риски интродукции чужеродных паразитов и перехода их с разводимой рыбы на аборигенные виды лососевых. Одной из актуальных паразитологических проблем форелеводства на севере европейской части России является заражение выращиваемой рыбы паразитами рода *Gyrodactylus* spp. (Евсеева и др., 2009; Ieshko et al., 2016; Hansen et al., 2022). Поэтому изучение фауны гельминтов садковой радужной форели в водоемах Карелии как стратегически важного в России аквакультурного региона востребовано и имеет важное практическое значение.

Цель исследований: получить данные о видовом разнообразии и заражении гельминтами рода Gyrodactylus у садковой радужной форели на примере некоторых аквафермКарелии. Отлов рыбы осуществлен в период с 2015 по 2025 г. в хозяйствах, расположенных в акватории Онежского, Ладожского озер, а также небольших озерах бассейна Онежского озера и Белого моря. Видовая принадлежность собранных особей паразита проводилась на основании морфологического и молекулярно-генетического (последовательности митохондриальной COI и ядерной ITS ДНК) анализа.

Установлено, что данные сезонной встречаемости и особенностей таксономической структуры сообществ гельминтов носят изменчивый характер и связаны со смешанным типом инвазии, а не моноинвазией. Полученные морфологические и молекулярно-генетические данные подтвердили принадлежность моногеней рода *Gyrodactylus* на садковой радужной форели из различных акваторий бассейна Онежского, Ладожского озер и Белого моря к двум основным видам/изолятам — *Gyrodactylus salaris* RBT и *Gyrodactylus teuchis*.

Литература

Евсеева Н. В., Барская Ю. Ю., Лебедева Д. И. Первый случай гиродактилеза радужной форели в аквакультуре Карелии // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 2009. Вып. 338. С. 71–76.

Hansen H., Ieshko E., Rusch J. C., Samokhvalov I., Melnik V., Mugue N., Sokolov S., Parshukov A. *Gyrodactylus salaris* Malmberg, 1957 (Monogenea, Gyrodactylidae) spreads further — a consequence of rainbow trout farming in Northern Russia // Aquatic Invasions. 2022. Vol. 17. P. 224–237.

Ieshko E., Barskaya Y., Parshukov A. et al. Occurrence and morphogenetic characteristics of *Gyrodactylus* (Monogenea: Gyrodactylidae) from a rainbow trout farm (Lake Ladoga, Russia) // Acta Parasitol. 2016. Vol. 61. P. 151–157.

СОДЕРЖАНИЕ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

М. П. Погожева [1, 2, 3]*, Е. М. Грант [3, 4], В. А. Спирина [3], И. А. Жданов [2], И. В. Морозов [5]

[1] *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия*
[2] *Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия*
[3] *Государственный океанографический институт им. Н. Н. Зубова, Москва, Россия*
[4] *Московский городской педагогический университет, Москва, Россия*
[5] *Яхтенное агентство «Нерпа», Москва, Россия*

* *e-mail: pogojeva_maria@mail.ru*

CONTENT OF MICROPLASTIC PARTICLES IN THE SURFACE LAYER OF LAKE LADOGA WATERS

M. P. Pogozheva, E. M. Grant, V. A. Spirina, I. A. Zhdanov, I. V. Morozov

Представлены результаты исследования содержания частиц микропластика в поверхностном слое вод Ладожского озера. Суммарно было обнаружено 16 частиц микропластика, плотность которых варьировала от 0,0011 частиц/м^3 до 0,0117 частиц/м^3. Установлено, что общий уровень загрязнения поверхностных вод Ладожского озера микропластиком является низким и носит локальный антропогенный характер. Основными источниками поступления служат бытовые сточные воды и разрушение микропластикового мусора на берегах.

Ладожское озеро — озеро на северо-западе европейской части России, располагающееся на территории Ленинградской области и Республики Карелия. Его площадь составляет 17 870 км² без учета островов. В Ладожское озеро впадают около 35 рек (Ладожское озеро…, 2015), оно играет важную хозяйственную и экономическую роль для прилегающих территорий.

Исследование уровня загрязненности микропластиком озер Евразии — одна из приоритетных проблем лимнологии (Зобков и др., 2021). Микропластик является серьезным загрязнителем, проникающим в озерные системы через речной сток. Частицы микропластика могут попадать в озеро через стоки промышленных предприятий, свалки бытовых отходов, а также в результате активного рыбохозяйственного и рекреационного освоения акваторий. Вопрос загрязнения микропластиком Ладожского озера активно изучается с 2018 г. (Иванова, Тихонова, 2022).

В 2025 г. отбор проб на содержание микропластика (< 5мм) в поверхностном слое воды Ладожского озера проводился в период с 23 по 28 июня в рамках экспедиции на НИС «Нерпа». Пробы отбирались при помощи нейстонной сети с размером входного отверстия (рамы) 63 × 82 см и длиной 3,5 м. Траления сети проводились при помощи крепления на трос за судном на скорости 2–3 узла фиксированные промежутки времени. Объем вычислялся путем умножения пройденного пути на площадь затопленной части сети. Сбор материала проводился в течение всего маршрута, когда позволяли погодные условия. Материал отбирался в районах от острова Путсаари к острову Валаам и от Валаама к г. Лахденпохья. Работы проводились на НИС «Нерпа» под парусами, что гарантировало экологически чистый подход к исследованиям. В начале и по окончании траления фиксировались GPS координаты, метеоданные.

После окончания траления сеть обмывали снаружи водой; стакан с пробой снимали и собранный материал смывали с соблюдением требований к внешнему загрязнению в банки. До разбора пробы хранили в холодильнике в чистой лаборатории.

В лаборатории образцы идентифицировались вручную методом визуального анализа (Zhdanov et al., 2022) — из пробы извлекались крупные видимые частицы потенциального пластика. Образцы промывались фильтрованной дистиллированной водой во избежание внешнего загрязнения микропластиковыми частицами и волокнами, после чего проводили контрольную проверку наличия частиц на сите. Эта методика позволяет обнаружить пластиковые частицы размером до 5 мм. Все потенциальные частицы пластика, обнаруженные в образце, были пронумерованы и сфотографированы на миллиметровой бумаге для измерения исходных размеров.

После этого идентификация каждой частицы проводилась методом Фурье-преобразованной инфракрасной спектроскопии (FT-IR). ИК-спектры регистрировались с помощью Фурье-спектрометра пропускания инфракрасного излучения Vertex 70 и алмазной призмы GladiATR для подавления полного внутреннего отражения. Условия записи спектров: диапазон 4000 — 400 $см^{-1}$, разрешение 4 $см^{-1}$, 128 сканирований. В качестве фонового сигнала использовался атмосферный воздух. Каждый спектр анализировался вручную.

В пробах воды, отобранных на поверхности Ладожского озера, суммарно было найдено 16 частиц микропластика. Средняя плотность содержания частиц микропластика — 0,0027 частиц/$м^3$. Среди типов полимеров преобладают полипропилен (43,75 %) и полиэтилен (18,75 %), также встречаются полиэстер, нейлон и другие виды полимеров. Их распространение может быть связано с поступлением сточных вод в озеро, речным стоком и разрушением объектов мезо- и макро-мусора на берегах.

Преобладают частицы в виде пленок или фрагментов. Пленки могут являться остатками бытового мусора, например разного вида упаковок, которые попадают в озеро с бытовыми стоками и с загрязненных берегов. Фрагменты из твердого пластика могут также являться остатками бытового мусора. Все проанализированные частицы — вторичный микропластик. Плотность частиц — от 0,0011 частиц/$м^3$ до 0,0117 частиц/$м^3$. Максимальное содержание отмечено в пробе 1.2 — 0,0117 частиц/$м^3$. Загрязнение имеет локальный антропогенный характер и может быть связано с поступлением сточных вод, деградацией объектов бытового мусора на берегах и речным стоком. Для более полной оценки масштаба загрязнения рекомендуется проводить мониторинговые исследования с охватом разных сезонов и районов Ладожского озера, включая донные отложения и биоту.

Литература

Ладожское озеро и достопримечательности его побережья. Атлас / ред. В. А. Румянцев. СПб.: Нестор-История, 2015. 200 с.

Зобков М. Б., Чубаренко И. П., Есюкова Е. Е., Белкина Н. А., Ковалевский В. В., Зобкова М. В., Ефремова Т. А., Галахина Н. Е. Озера как аккумуляторы микропластика на его пути с суши в Мировой океан. Обзор исследований // Известия РГО. 2021. Т. 153, № 4. С. 1–19.

Иванова Е. В., Тихонова Д. А. Оценка содержания частиц микропластика в Ладожском озере // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2022. № 6. С. 58–67.

Zhdanov I., Lokhov A., Belesov A. V. et al. Assessment of seasonal variability of input of microplastics from the Northern Dvina River to the Arctic Ocean // Marine pollution bulletin. 2022. Vol. 175. P. 1–7.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА И ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ МАКРОЗООБЕНТОСА ПРИКАМЧАТСКИХ ВОД ПОД ВЛИЯНИЕМ ГЛУБИНЫ И ТИПА ГРУНТА (ЭКСПЕДИЦИЯ 2025 Г.)

В. Р. Погосян [1, 2]*, О. М. Исаева [2], Д. М. Доброхотова [3], О. А. Рутенко [3]

[1] *Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия*
[2] *Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский, Россия*
[3] *Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия*

* *e-mail: po.va.ru@yandex.ru*

SPATIAL STRUCTURE AND TAXONOMIC DIVERSITY OF MACROZOOBENTHOS IN THE WATERS OFF KAMCHATKA UNDER THE INFLUENCE OF DEPTH AND SEDIMENT TYPE (2025 EXPEDITION)

V. R. Pogosyan, O. M. Isaeva, D. M. Dobrokhotova, O. A. Rutenko

На основе более 400 проб бокс-корера, собранных в летнюю экспедицию 2025 г. в прикамчатских водах, проанализирована структура макрозообентоса в зависимости от глубины и типа грунта. Полихеты (Polychaeta) встречены на 95 % станций, амфиподы (Amphipoda) — на 85 %. Максимальное разнообразие отмечено на шельфе Охотского моря (иглокожие — 89 %, моллюски — 84 %), минимальное — в Авачинской губе (антропогенная нагрузка). Илистые грунты заняты роющими формами, песчано-илистые — наиболее богаты, на твердых субстратах доминирует эпифауна. Глубина и тип грунта — ключевые факторы зональности донных сообществ.

Прикамчатские воды — высокопродуктивный район, донные сообщества служат индикатором среды и кормовой базой промысловых видов (Федоров, 2000; Шунтов, 2001). Цель исследования — анализ пространственного распределения, таксономического разнообразия и структуры макрозообентоса в зависимости от глубины и типа грунта по материалам экспедиции 2025 г.

Пробы бокс-корером (0,1 м², > 400 захватов) в июле — августе 2025 г. в четырех районах: Авачинская губа (18 ст., 20–25 м), шельф Охотского моря (38 ст., 25–600 м), шельф Тихого океана (25 ст., 30–570 м), глубоководье (> 1000 м, 12 ст.). Таксоны до высших групп, анализ встречаемости.

Выявлено > 10 групп. Полихеты (Polychaeta) — 95 % станций, амфиподы (Amphipoda) — 85 %, моллюски (Mollusca) и иглокожие (Echinodermata) широко представлены. Пространственная зональность (табл.).

На шельфе Охотского моря — максимальное разнообразие (офиуры, Echinocardium, мальтаниды, Macoma). В Авачинской губе сообщества обеднены (доминанты — Capitellidae и Gammarus), что указывает на антропогенную нагрузку (Облучинская и др., 2021). На шельфе Тихого океана высока доля ракообразных и прикрепленных форм (актинии, губки). В глубоководье — единичные полихеты и амфиподы.

Илистые грунты (Авачинская губа, глубоководье, частично охотоморский шельф): доминируют роющие полихеты (Capitellidae, Maldanidae) и голотурии. Видовое богатство низкое, но численность высокая. Трофическая группа преимущественно детритофаги-грунтоеды. **Песчаные и илисто-песчаные грунты** (шельфы обоих морей, особенно Охотского): максимальное таксономическое разнообразие. Характерны полихеты (Spionidae, Nephtyidae), амфиподы, офиуры, двустворчатые моллюски (Macoma). Представлены все трофические группы: фильтраторы, детритофаги, хищные полихеты. **Твердые субстраты** (ракуша, галька, камни) (шельф Тихого океана, локально): эпифауна — брюхоногие моллюски (Gastropoda), мидии (Mytilidae), морские желуди (Balanidae), актинии (Actiniaria), губки (Porifera),

мшанки (Bryozoa). Преобладают фильтраторы и хищники. Сообщества прикрепленных форм резко отличаются от таковых на мягких грунтах.

Встречаемость основных групп макробентоса по районам, %

Район	Полихеты	Амфиподы	Моллюски	Иглокожие
Авачинская губа	100	94	78	33
Шельф Охотского моря	100	92	84	89
Шельф Тихого океана	100	88	80	72
Глубоководье	100	75	33	42

Глубина и тип грунта — главные факторы, определяющие структуру донных биоценозов. Наибольшее таксономическое богатство — на шельфе Охотского моря (50–300 м, песчано-илистые грунты). Авачинская губа испытывает антропогенную трансформацию. Полученные данные — основа для мониторинга донных экосистем Камчатки.

Экспедиция и сбор материала выполнены в рамках Всероссийской научно-образовательной программы «Плавучий университет» по теме «Подготовка молодого кадрового резерва в области морских наук по научно-образовательной программе «Плавучий университет» на основе комплексных исследований экосистемы дальневосточных морей России» (проекты № 075-03-2025-662/8 и № 075-03-2025-421/5).

Лабораторная обработка материала и анализ данных проведены при поддержке Минобрнауки России в рамках направления «Экология и биоразнообразие Камчатки» межведомственной программы исследований Камчатского полуострова и сопредельных акваторий 2024–2026 гг., проект № FZNS-2024-0037 «Комплексный экологический мониторинг прибрежных морских и наземных экосистем Камчатки».

Литература

Облучинская Е. Д. и др. Оценка экологического состояния донных сообществ Авачинской губы // Океанология. 2021. Т. 61, № 6. С. 945–956.

Федоров В. В. Структура сообществ донных рыб шельфа западной Камчатки // Изв. ТИНРО. 2000. Т. 127. С. 155–193.

Шунтов В. П. Биология дальневосточных морей России. Т. 1. Владивосток: ТИНРО-центр, 2001. 580 с.

РЫБНОЕ СООБЩЕСТВО ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ КИЖСКИХ ШХЕР: ПО ДАННЫМ ТРЕХЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА

В. Р. Погосян [1, 2]*, В. Н. Коваленко [1, 3], Ю. В. Ригонен [3], А. И. Сидорова [1]

[1] *Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия*
[2] *Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский, Россия*
[3] *Карельский филиал ФГБНУ «ВНИРО», Петрозаводск, Россия*

** e-mail: po.va.ru@yandex.ru*

FISH COMMUNITY OF THE LITTORAL ZONE OF THE KIZHI SKERRIES: DATA FROM A THREE-YEAR MONITORING

V. R. Pogosyan, V. N. Kovalenko, Yu. V. Rigonen, A. I. Sidorova

Представлены результаты трехлетнего мониторинга (2023–2025 гг.) рыбного сообщества литоральной зоны Кижских шхер Онежского озера. Проанализировано 1068 экземпляров 7 видов. Установлено, что доминантом является окунь (67 % улова). Популяции щуки, плотвы и налима находятся в хорошем состоянии, о чем свидетельствуют высокие ростовые показатели и упитанность. Выявлены тревожные тенденции: замедление роста леща и сига по сравнению с историческими данными, а также низкая доля хищных видов.

Кижские шхеры — буферная зона объекта всемирного наследия «Кижский погост». Многолетняя антропогенная нагрузка требует мониторинга состояния ихтиофауны. Цель — оценка размерно-возрастной структуры, роста и упитанности массовых видов рыб.

Сбор происходил в 2023–2025 гг. (весна, лето, осень) на 7–19 станциях (в разные годы) жаберными сетями с ячеей различного размера (от 22 до 70 мм). Обработано 1068 экз. 7 видов: окунь (*Perca fluviatilis* L.) — 716, щука (*Esox lucius* L.) — 53, судак (*Sander lucioperca* L.) — 12, лещ (*Abramis brama* L.) — 86, сиг (*Coregonus lavaretus* L.) — 106, плотва (*Rutilus rutilus* L.) — 77, налим (*Lota lota* L.) — 18. Упитанность по Фультону. Возраст определяли по чешуе и костным структурам (Чугунова, 1959; Правдин, 1966).

Окунь — доминантный вид (67 % улова), возраст 5+…14+ лет. Средняя длина 24,1 см, масса 307 г, упитанность 1,96. Преобладают самки (78,8 %). Рост нелинейный, что типично для водоемов Карелии. Популяция стабильна.

Щука — возраст 2+…11+ лет, доминируют 4+ и 5+ (69,8 %). Длина: 4+ — 43,7 см, 5+ — 48,1 см, отмечен трофейный экземпляр 11+ (96 см, 6,93 кг). Упитанность 0,78. Рост на уровне верхних региональных значений означает благоприятные условия.

Судак — единичен (1,2 % улова), 12 экз. 4+…10+ лет. Средняя масса 1158 г, длина 42,8 см. В младших возрастах отставание в росте (Стерлигова и др., 2012), старшие соответствуют норме. Низкая встречаемость, вероятно, из-за нерегулируемого лова.

Лещ — 86 экз., возраст 4+…12+ лет. Заметное замедление роста по сравнению с историческими данными 1980-х гг.: у 8+ лет современные особи на 3 см короче и на 200 г легче (Сергеева, 1991).

Сиг — 106 экз., возраст 2+…8+ лет, доминируют 5+ (42,5 %). Длина 30,1 см, масса 399 г, упитанность 1,46. Отставание в росте от сига-лудоги Онежского озера (Рыжков, Дзюбук, 2014) на 20–30 % в группах 4+…6+ лет.

Плотва — возраст 6+…12+ лет, доминируют 8+ и 9+ (57 %). Длина 19,9 см, масса 152 г, упитанность 2,03. Рост соответствует среднемноголетним показателям для Онежского озера.

Налим — отловлен в преднерестовый период (ноябрь), 18 экз. возрастом 3+…7+ лет. Длина 44,1 см, масса 731 г, упитанность 0,86. Рост соответствует общеозерным показателям

и выше, чем в водохранилищах Карелии (Харламов, Коваленко, 2019). Шхеры — важный нерестовый район.

Полученные данные свидетельствуют о неоднородном состоянии ихтиоценоза. Хорошие ростовые показатели щуки, окуня и налима указывают на благоприятные условия нагула в шхерной зоне. Напротив, замедление роста леща и сига может быть связано с усилением внутривидовой конкуренции, а также с долговременными изменениями кормовой базы под влиянием антропогенных факторов и климатических изменений. Низкая доля судака в уловах (1,2 %) и единичные поимки крупной щуки косвенно подтверждают повышенную промысловую нагрузку на хищников.

Ихтиофауна Кижских шхер относительно стабильна, но выявлены тревожные тенденции: замедление роста леща и сига, низкая доля хищных видов. Необходимы усиление мониторинга и научно обоснованное регулирование рыболовства.

Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» в рамках государственного задания ИВПС КарНЦ РАН № FMEN-2026-0011.

Литература

Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.

Сергеева Т. И. Лещ Онежского озера // Биологические ресурсы водоемов Балтийского моря: тез. докл. XXIII науч. конф. по изучению водоемов Прибалтики. Петрозаводск, 1991. С. 103–104.

Стерлигова О. П., Рюкшиев А. А., Ильмаст Н. В. Сравнительная биологическая характеристика судака *Sander lucioperca* (L.) озер Онежского и Выгозера // Биология внутренних вод. 2012. № 2. С. 55–60.

Рыжков Л. П., Дзюбук И. М. Биология сига-лудоги юго-западной части Онежского озера // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2014. № 8 (145). С. 16–20.

Харламов А. М., Коваленко В. Н. Рыбохозяйственная характеристика налима — *Lota lota* (L.) Онежского озера на современном этапе // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: материалы II междунар. конф. Казань, 2019. Ч. 2. С. 346–351.

Чугунова Н. И. Руководство по изучению возраста и роста рыб: метод. пособие по ихтиологии. М.: АН СССР, 1959. 165 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ОСНОВНЫХ ИОНОВ В ВОДЕ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ОЗЕРА БАЙКАЛ

В. И. Полетаева [1]*, Г. Б. Хомматлиев [1], Е. А. Цветкова [1, 2], М. В. Пастухов [1]

[1] ФГБУН Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия
[2] ФГБУН Институт динамики систем и теории управления имени В. М. Матросова СО РАН, Иркутск, Россия

** e-mail: alieva@igc.irk.ru*

SPATIAL DISTRIBUTION PATTERNS OF MAJOR ION CONCENTRATIONS IN THE WATERS OF SOUTHERN LAKE BAIKAL

V. I. Poletaeva, G. B. Hommatlyyev, E. A. Tsvetkova, M. V. Pastukhov

В период техногенеза изучение гидрохимических характеристик, которые являются первыми индикаторами антропогенных преобразований экосистемы оз. Байкал, актуально и имеет важное научно-прикладное значение. В исследовании рассмотрены пространственное распределение HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+ и величины минерализации в воде наиболее антропогенно нагруженной южной части озера. Показано, что концентрации ионов, сопоставимые с результатами предыдущих исследований, в воде пелагиали озера характеризуются низкой вариабельностью. Концентрации анионов и катионов в водах литоральной зоны находятся в большем диапазоне изменчивости. Анализ пространственного распределения концентраций основных ионов позволил выделить в литоральной зоне озера районы с характерными особенностями химического состава.

Байкал — крупное пресноводное озеро, воды которого составляют одну пятую мировых запасов пресных вод и считаются наиболее чистыми водами мира. Вместе с этим существует ряд экологических проблем, влияющих на его экосистему и предопределяющих необходимость проведения мониторинговых исследований для выявления потенциальных преобразований его гидрохимического состава. В рамках исследования проведен анализ пространственного распределения концентраций HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+ и минерализации (TDS) в водах южного Байкала — наиболее антропогенно нагруженной части озера.

Сеть станций наблюдения включала литоральную зону (глубина 2 м и 15 м) от п. Харауз до п. Бугульдейка и глубоководный станции пелагиали южной части оз. Байкал. Химический анализ образцов воды осуществлен в центре коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН. Измерение концентрации SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+ и K^+ проведено методом капиллярного электрофореза с использованием прибора «Капель-105М» (Люмэкс, Россия), HCO_3^- — титриметрическим методом. Минерализацию воды определяли как сумму концентраций ионов.

Воды пелагиали южной части оз. Байкал маломинерализованные, гидрокарбонатные кальциевые. TDS в образцах вод близка между собой: от 96,7 мг/л до 98,5 мг/л. Концентрации основных ионов в воде глубоководных станций характеризуются очень низкой вариабельностью: коэффициент вариации для HCO_3^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+ составляет 1–2 %, для SO_4^{2-} — 5 %, для Cl^- — 8 %. Полученные результаты хорошо согласуются с выводами долговременных исследований гидрохимического состава озера (Вотинцев, 1961; Домышева и др., 2019), свидетельствующих о постоянстве и однородности в сезонном и межгодовом аспектах основного ионного состава водной массы его пелагиали.

Концентрации основных ионов и TDS в водах литоральной зоны находятся в большем диапазоне изменчивости (рис.). В воде литоральной зоны с глубиной 2 м CV для концентраций HCO_3^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+ составляет от 12 до 23 %, с глубиной 15 м CV для HCO_3^-, Cl^-, Ca^{2+}, Na^+, K^+ — от 10 до 15 %. Большим изменениям подвержены концентрации Cl^-

на участке с глубиной 2 м (CV = 51 %), а также SO_4^{2-} (CV = 43 %) и Mg^{2+} (CV = 36 %) на участке с глубиной 15 м. Зафиксированы концентрации ионов, выходящие за пределы 25–75 % межквартильного интервала (см рис.).

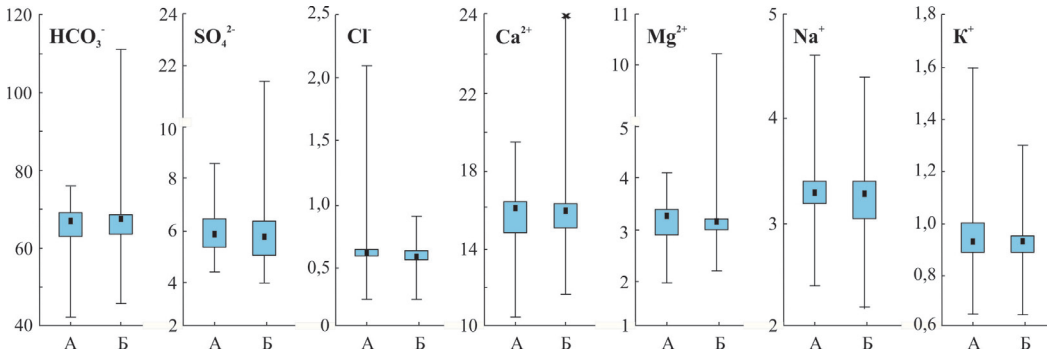


Диаграмма размаха для концентраций основных ионов в воде латеральной зоны южной части оз. Байкал. Ящик — 25–75 %, усы — минимум-максимум, точка в ящике — медиана. Станции наблюдений: А — участок с глубиной 2 м; Б — участок с глубиной 15 м

Сравнение гидрохимического состава пелагиали и литоральной зоны позволило выделить районы с характерными особенностями в распределении концентраций анионов и катионов в водах станций наблюдения, расположенных в непосредственной близости друг от друга. Первый район находится на южном участке наблюдений (от п. Хараус до п. Танхой). В первую очередь здесь выделяются воды вблизи п. Хараус, в которых определены повышенные концентрации всех основных ионов. От п. Посольское до п. Танхой в воде определены большие, по сравнению с глубоководными станциями, концентрации SO_4^{2-} и, напротив, меньшие концентрации HCO_3^-, Ca^{2+}, Mg^{2+} и Na^+. В воде второго района, приуроченного к юго-западному и западному участку наблюдений (от п. Солзан до п. Култук), повышены концентрации SO_4^{2-}. В пределах этих двух районов концентрации Cl изменчивы: минимальные концентрации определены вблизи поселков Выдрино и Танхой, максимальные — в водах вблизи г. Слюдянка и п. Култук. В третий район входят станции наблюдения от м. Толстый до п. Бугульдейка, в воде которых концентрации SO_4^{2-} ниже, чем на глубоководных станциях. Выделенная тенденция нарушается только возле п. Большое Голоустное, где концентрации SO_4^{2-}, а также HCO_3^-, Ca^{2+} и Mg^{2+} превышают таковые в пелагиали озера.

Выделенные особенности гидрохимического состава литоральной зоны озера отражают в большей степени влияние бокового притока, имеющего значительные пространственные различия (как природного, так и антропогенного происхождения) в концентрации основных ионов и TDS.

Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2024-533 (проект «Фундаментальные исследования Байкальской природной территории на основе системы взаимосвязанных базовых методов, моделей, нейронных сетей и цифровой платформы экологического мониторинга окружающей среды»).

Литература

Вотинцев К. К. Гидрохимия озера Байкал. М.: АН СССР, 1961. 311 с.

Домышева В. М., Сороковикова Л. М., Синюкович В. Н. и др. Ионный состав воды озера Байкал, его притоков и истока реки Ангара в современный период // Метеорология и гидрология. 2019. № 10. С. 77–86.

СВЯЗЬ ЧИСЛЕННОСТИ СТРЕКОЗ С ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ В БАССЕЙНЕ ОЗЕРА ЧАНЫ

О. Н. Попова

Институт систематики и экологии животных Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия

e-mail: popova-2012@yandex.ru

THE RELATIONSHIP OF ODONATE ABUNDANCE WITH NATURAL AND CLIMATIC FACTORS IN THE LAKE CHANY BASIN

O. N. Popova

Изучена многолетняя популяционная динамика нескольких видов стрекоз в условиях нестабильной обводненности и изменения климата на юге Западной Сибири. В последние 20 лет появилась тенденция к снижению численности стрекоз несмотря на повышение увлажненности региона, что скорее всего связано с последствиями потепления климата — погодными катаклизмами в летний период и ростом температуры воды в водоемах, ведущими к ухудшению их гидрологии и заморным явлениям.

Среди основных факторов, воздействующих на численность локальной популяции стрекоз, можно выделить гидрологические свойства водоема, погодные условия и климат (Hassall, Thompson, 2008). Численность стрекоз представляет собой интегральный, информационно емкий популяционный показатель, особенно в его временно́й динамике.

Цель исследования — оценить зависимость численности восьми видов стрекоз от обводненности и погодно-климатических особенностей в бассейне оз. Чаны, с акцентом на виде *Enallagma cyathigerum*.

Исследование проводилось на юге Западной Сибири, в Барабинской лесостепи (Барабе), на участке, примыкающем к юго-восточному берегу оз. Чаны (далее Причановье). Анализировались многолетние ряды данных (1980–2022 гг.) по видовому составу, численности и биотопическому распределению стрекоз в Причановье. Методы количественных учетов имаго: отлов — мечение — повторный отлов, ленточный трансект.

Из природных факторов взяли обводненность территории, которую обычно оценивают по уровню оз. Чаны — природного индикатора повышенной и пониженной водности региона (Обзор…, 2015). Для Барабы характерна нестабильность обводненности, которая прежде всего связана с особенностями климата региона — цикличным чередованием влажных и сухих периодов, что находит отражение в цикличности общей увлажненности. Из климатических факторов взяли температуру. За начало потепления климата принято считать 1993 г., начиная с которого стали регулярными положительные аномалии температуры в Северном полушарии (WMO…, 2023). Соответственно, в рамках исследованных 43 лет выделили временные интервалы с разными климатическими режимами: 1980–1992 гг. — до глобального потепления климата и 1993–2022 гг. — в потепление климата.

За весь 43-летний период связь между обводненностью региона и численностью стрекоз Причановья была разной, но в целом слабой: слабо отрицательной (*Enallagma cyathigerum, Lestes dryas*), слабо положительной (*L. virens, Coenagrion armatum, Libellula quadrimaculata* и *Sympetrum flaveolum*) или почти отсутствовала (*L. sponsa, Erythromma najas*). До потепления климата эта связь была положительной, в том числе значимо положительной у *L. quadrimaculata*, *S. flaveolum*, *E. najas*, а также видов рода *Lestes*; в период потепления связь стала отрицательной, в том числе значимо отрицательной у *L. dryas, L. sponsa* и *E. najas* (табл.).

Для вида *E. cyathigerum* связь между численностью имаго и обводненностью региона во всех исследованных маловодных периодах была положительной и значимой ($r = 0{,}54–0{,}81$) на фоне низкой численности, во всех многоводных периодах эта зависимость была слабой ($r = 0{,}18–0{,}34$) на фоне высокой численности вида. Это указывает на зависимость плотно-

сти личиночных популяций вида от уровня водности водоемов, особенно в маловодье с его частыми зимними и летними заморами. После маловодных периодов 1980–1983 гг. и 1989–1992 гг. численность *E. cyathigerum* неплохо восстанавливалась в следующие за ними многоводные периоды (2,4 и 1,6 имаго/м^2, соответственно), а после маловодья 2005–2013 гг. численность так и не восстановилась в последующем многоводье 2014–2019 гг. (0,5 имаго/м^2) и сейчас довольно низкая. Снижение численности в последние годы прослеживается и у других видов стрекоз Причановья несмотря на повышение увлажненности региона.

Корреляция (r, p < 0,05) численности разных видов стрекоз и уровня воды оз. Чаны за весь период исследования и в разные климатические режимы

Период	Годы	*Enallagma cyathigerum*	*Erythromma najas*	*Coenagrion armatum*	*Libellula quadrimaculata*	*Sympetrum flaveolum*	*Lestes dryas*	*Lestes sponsa*	*Lestes virens*
		Обитают в нетростниковых гидроценозах		Обитают в тростниковых и нетростниковых гидроценозах			Обитают в тростниках и временных водоемах		
Весь период	1980–2022	–0,3	0,07	0,26	0,43	0,33	–0,14	–0,01	0,21
До потепления	1980–1992	0,25	0,56	0,33	0,79	0,54	0,45	0,48	0,59
В потепление	1993–2022	–0,26	–0,46	–0,26	0,06	–0,03	–0,73	–0,38	–0,15

В период потепления для популяций стрекоз наиболее критичным стал именно летний сезон: увеличились и участились периоды жары, резких похолоданий, пожаров, засух, избытка осадков, наводнений и ураганов. Например, долгий период жаркой погоды в июле 2005, 2006, 2010, 2012, 2022 и 2023 гг. привел к заморам и последующему существенному снижению численности стрекоз.

До потепления климата численность исследованных видов стрекоз на Причановском участке Барабинской лесостепи имела в целом прямую зависимость от обводненности региона: как правило, много воды — много стрекоз, мало воды — мало стрекоз. В период потепления эта связь нарушилась и, несмотря на повышение увлажненности региона, появилась тенденция к снижению численности, что мы связываем с последствиями потепления климата — погодными катаклизмами в летний период и ростом температуры воды в водоемах, ведущим к ухудшению их гидрологии и заморным явлениям.

Исследование поддержано Программой ФНИ Государственной академии наук на 2026–2030 гг., проект № FWGS-2026-0008.

Литература

Обзор экологического состояния озера Чаны (Западная Сибирь) / отв. ред.: О.Ф. Васильев, Я. Вейн. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2015. 255 с.

Hassall C., Thompson D.J. The effects of environmental warming on Odonata: a review // Int. Journ. Odonatology. 2008. Vol. 11, N 2. P. 131–153.

WMO annual report highlights continuous advance of climate change. Geneva, 21 April 2023. Press Release. N 21042023.

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ИВИНСКОГО РАЗЛИВА ВЕРХНЕ-СВИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

М. С. Потахин [1]*, Н. А. Белкина [1], М. С. Богданова [1], Н. В. Выборова [1], Е. В. Гатальская [1], Р. Э. Здоровенов [1], Н. А. Ефременко [1], И. Ю. Кравченко [1], И. В. Морозова [1], Н. А. Мясникова [1], А. В. Орлов [1, 2]

[1] *Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия*

[2] *Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия*

* *e-mail: mpotakhin@mail.ru*

STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF BOTTOM SEDIMENTS OF IVINSKY RAZLIV OF THE VERKHNE-SVIRSKOE RESERVOIR

M. S. Potakhin, N. A. Belkina, M. S. Bogdanova, N. V. Vyborova, E. V. Gatalskaya, R. E. Zdorovenov, N. A. Efremenko, I. Yu. Kravchenko, I. V. Morozova, N. A. Myasnikova, A. V. Orlov

Проведены исследования Ивинского разлива Верхне-Свирского водохранилища, включающие съемку глубин и геоморфологическое картирование берегов, отбор проб воды и поверхностных донных отложений. В ходе исследований уточнен современный подводный рельеф водоема и выявлены особенности донных отложений. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что Ивинский разлив всё еще находится в стадии процесса формирования своего ложа.

Создание водохранилищ существенно меняет естественный режим водоемов, приводит к затоплению территорий и переформированию котловин. Изменения рельефа дна и берегов влияют на гидрологические, гидрохимические, гидробиологические и седиментационные характеристики водных объектов. Комплексные исследования донных отложений позволяют проследить особенности антропогенной трансформации водохранилищ за весь период их существования (Потахин и др., 2018).

Ивинский разлив является искусственным водоемом, возникшим в середине XX века в результате сооружения на р. Свири плотины Верхне-Свирской ГЭС. Он является средним участком речной части образовавшегося Верхне-Свирского водохранилища и используется для недельного и суточного регулирования мощности ГЭС (Милютина и др., 2019). Площадь водоема достигает 120 км^2, средняя глубина 2,8 м, максимальная 16,0 м. Разлив возник на месте Ивино-Свирской низменности — ледниково-озерной равнины, в прошлом обширного залива Онежского приледникового озера, существовавшего здесь около 13,3 тыс. л. н. (Субетто и др., 2019).

В течение нескольких летних полевых сезонов были проведены геоморфологические обследования береговой зоны Ивинского разлива, съемка глубин, CTD-зондирование, отбор проб воды и поверхностных донных отложений (Потахин и др., 2024). Анализ проб воды и донных отложений проводился в лабораторных условиях в ИВПС КарНЦ РАН. Результаты проведенных исследований представлены ниже.

Котловина Ивинского разлива выражена слабо; берега водоема низкие, заболоченные, со сплавинами, в восточной части развиты песчаные побережья, в южной части каменистые. По характеру рельефа ложе водоема можно разделить на три района. Южный район представляет собой затопленную долину р. Свири и место впадения в нее р. Ивины; русло реки хорошо выражено в рельефе, характерные глубины — 8–12 м для руслового участка, 4–5 м для остальной акватории. Центральный район занимает затопленную долину р. Ивины до места впадения в нее р. Муромли на западе и затопленную ледниково-озерную равнину

на востоке; русло реки выражено, глубины до 6–8 м, на фоне характерных глубин 3–4 м на западе и 1–2 м на востоке. Северный район образовался на месте затопленных долин рек Ивины и Муромли, а также обширного Муромского болота между ними; русла рек также выражены (глубины до 5–6 м) на фоне преобладающих глубин 2–3 м.

Гидрохимические наблюдения проводились на трех станциях в южном, центральном и северном районах водоема. В пробах воды были определены pH, Alk, главные ионы (K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-}, Cl^-), биогенные элементы ($P_{мин}$, $P_{общ}$, NH_4^+, NO_3^-, $N_{орг}$, $N_{общ}$, Si), растворенные газы (O_2, CO_2), органическое вещество (цветность, ПО, ХПК, $БПК_5$). Анализ полученных данных показал различие химического состава воды в зависимости от района отбора проб.

Опробование донных отложений проводилось на 30 станциях. Отбор проб выполнялся дночерпателем, на двух станциях — стратометром Limnos. Донные отложения, отобранные для изучения химического состава, были представлены песчаными осадками (4 пробы), илистыми осадками (13 проб) и оторфованными осадками (4 пробы). По физическим показателям иловые и оторфованные донные осадки близки, а песчаные отличаются от них более высокими значениями плотности, удельной массы и низкими значениями пористости и влажности. Оторфованные осадки характеризуются самыми высокими концентрациями азота (1 %) и высокими значениями потребления кислорода. Самые высокие концентрации фосфора (0,1 %), железа (2 %) и марганца (0,1 %) зафиксированы в иловых отложениях. Изучение вертикального распределения химических показателей в колонках донных отложений центрального и южного районов выявило их идентичность.

Таким образом, были определены особенности поверхностных донных отложений Ивинского разлива, а также уточнены особенности его подводного рельефа. Установлено, что на химический состав воды южного района оказывает влияние р. Свири, центрального и северного районов — частный водосборной бассейн рек Ивины, Муромли и др. Изучение грунтов водоема показало, что, несмотря на более чем полувековой период эксплуатации водохранилища, до сих пор визуально идентифицируются донные отложения с признаками наземных ландшафтов. Контрастно выделяются участки дна, бывшие ранее под лесом и лугом или болотным массивом. В подводном рельефе хорошо выражены русловые участки затопленных рек и ручьев.

Таким образом, наши наблюдения показывают, что стадия формирования ложа водоема после создания водохранилища всё еще не завершена. Гетерогенность геосистемы Ивинского разлива проявляется как в химическом составе воды, так и в пространственном распределении донных отложений.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВПС КарНЦ РАН.

Литература

Милютина И. Ю., Сапожникова А. А., Павловский А. Е. Роль аккумулирующей емкости Ивинского разлива в режиме работы Верхне-Свирского водохранилища // Водохранилища Российской Федерации: современные экологические проблемы, состояние, управление: сборник материалов Всерос. науч.-практ. конф. Новочеркасск, 2019. С. 182–189.

Потахин М. С., Белкина Н. А., Гатальская Е. В. и др. Исследования воды и донных отложений Ивинского разлива Верхне-Свирского водохранилища // География: развитие науки и образования: материалы междунар. науч.-практ. конф. LXXVII Герценовские чтения. Т. I. СПб., 2024. С. 160–163.

Потахин М. С., Белкина Н. А., Слуковский З. И. и др. Изменение донных отложений Выгозера в результате многофакторного антропогенного воздействия // Общество. Среда. Развитие. 2018. № 3 (48). С. 107–117.

Субетто Д. А., Потахин М. С., Зобков М. Б. и др. Развитие Онежского озера в послеледниковье по результатам ГИС-моделирования // Геоморфология. 2019. № 3. С. 83–90.

КОНЦЕНТРАЦИИ ОБЩЕГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ ОЗЕР ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ НА ТРАНСЕКТЕ ОТ ЮГА МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ ДО КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

А. В. Пронина [1]*, Н. А. Белкина [1], В. В. Сысоев [2]

[1] *Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия*
[2] *Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия*

* *e-mail: anasatsiya.2802@mail.ru*

CONCENTRATIONS OF TOTAL ORGANIC CARBON IN THE SURFACE SEDIMENTS OF LAKES OF THE EAST EUROPEAN PLAIN ON THE TRANSECT FROM SOUTH OF THE MURMANSK REGION TO THE KALUGA REGION

A. V. Pronina, N. A. Belkina, V. V. Sysoev

Представлены результаты анализа данных, собранных в ходе полевых работ на озерах, расположенных на меридиональной трансекте на Восточно-Европейской равнине. Проведено определение концентраций общего, органического и неорганического углерода в осадках озер. Полученные данные были сопоставлены с морфометрическими характеристиками озер и климатическими показателями территорий исследуемых объектов. При расчете коэффициента корреляции между концентрациями общего органического углерода в осадках и этими показателями выявлены слабые линейные связи (положительная и отрицательная) между переменными, что подтверждает предположение о более значимом влиянии иных факторов на накопление углерода в озерных осадках.

Летом 2025 г. были отобраны пробы поверхностных донных отложений для изучения пространственных изменений концентраций общего органического углерода для 14 озер, расположенных на меридиональной трансекте на территории Восточно-Европейской равнины от 67° с. ш. до 54° с. ш.

Отбор проб поверхностных донных отложений производился дночерпателем Экмана-Берджи в трех лимнологических зонах — профундали, литорали и с промежуточной глубины. В самой глубокой точке отбирались пробы для определения концентраций общего (TC — total carbon) органического (TOC — total organic carbon) и неорганического углерода (IC — inorganic carbon). TOC определялся методом высокотемпературного окисления на анализаторе Shimadzu TOC–L (ПНД Ф 14.1:2:3:4.279-14) через разницу полученных значений TOC = TC–IC. Температуры июля, января и средние для территорий рассчитывались с применением ClimateData (ClimateData, 2025) на основании данных ближайших к озеру населенных пунктов (табл. 1).

Концентрации углерода в поверхностных осадках исследованных озер изменяются в широком диапазоне (от 3 до 53 %). Уже на начальном этапе обработки полученных данных очевидно, что изначально предполагаемое увеличение концентрации углерода при движении с севера на юг осложняется местными факторами. Выделяют следующие аспекты, которые могут влиять на накопление углерода в осадках: 1) природная зона, современные климатические условия, гидрологический и термический режим, устойчивые ветра; 2) характер водосбора озера (площадь, геоморфологические особенности, тип почвы и растительность); 3) тип котловины озера (размер, форма, тип берегов); 4) особенности структуры биологических сообществ озерных экосистем; 5) характер и интенсивность антропогенной нагрузки на водоем и водосбор (Белкина, 2024).

Таблица 1. **Концентрации углерода в поверхностных отложениях озер, морфометрические и климатические показатели**

Название озера	Координаты точки отбора	Площадь зеркала, км^2	Максимальная глубина, м	t ср. год., °С	t июля, °С	t янв., °С	Глубина в точке отбора, м	ТС, %	IC, %	TOC, %
Без названия	67.53577 32.30908	0,01	1,2	–1,1	14,7	–11,6	0,6	3,733	0	3,73
Щучье	66.91325 32.26797	0,9	2,5	2,0	14,9	–8,5	1,9	17,8	0,007	17,79
Первое Ногтево	65.75133 33.03640	4	2	2,1	16,2	–10,0	1,7	10,14	0,002	10,14
Курккоярви	64.53020 30.69393	0,8	5	2,3	16,3	–10,1	2,8	11,86	0,003	11,86
Медвежье	63.73218 34.04792	0,1	–	3,0	17,6	-9,5	1,2	22,5	0,002	22,5
Шайдомозеро	62.72052 34.21852	10,2	13,4	3,6	17,9	–9,2	3,1	13,42	0,007	13,41
Чуксолампи	62.41560 33.86575	0,85	2	3,6	17,9	–9,1	2,8	28,78	0	28,78
Линдоярви	61.06048 32.97975	0,6	5	4,7	18,8	–8,0	3,5	22,28	0,018	22,26
Пищанское	59.78677 33.49455	0,12	7	4,9	18,8	–7,8	5,8	53,08	0	53,08
Пелено	58.55534 33.90840	3,8	7	5,2	18,8	–7,6	4,8	12,55	0	12,55
Валдайское	57.98645 33.27181	21,6	60	5,2	18,6	–7,3	21,8	9,737	0,015	9,72
Ящино	57.68250 34.63250	6,9	4,2	5,3	18,9	–7,5	3,5	28,58	0	28,58
Глубокое	55.75246 36.50650	0,59	32	6,1	20,2	–7,6	20,2	7,228	1,507	5,72
Огублянка	54.99725 36.72041	21	7	5,9	19,7	–7,5	3,4	13,83	0,008	13,82

Полученные данные концентраций общего органического углерода были сопоставлены с морфометрическими (площадь зеркала озера, максимальная глубина) и климатическими (средние температуры июля, января и годовая) показателями, рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона (табл. 2).

Таблица 2. **Коэффициенты корреляции Пирсона**

Площадь и TOC	Глубина и TOC	t ср. год и TOC	t июля и TOC	t января и TOC
–0,2	–0,3	0,1	0,2	0,3

Полученные результаты свидетельствуют о наличии лишь слабых, незначительных линейных связей между рассматриваемыми переменными, что также является важным результатом, так как, вероятно, на накопление углерода в осадках озер исследуемой территории в большей степени влияют иные факторы, например, гидрохимические и гидрофизические характеристики воды или степень антропогенной нагрузки на водоем, нежели морфометрические и климатические показатели.

Литература

Белкина Н. А. Поверхностные донные отложения карельских озер, особенности формирования и химический состав // Limnology and Freshwater Biology. 2024. № 3. С. 111–129.

ПНД Ф 14.1:2:3:4.279-14. Количественный химический анализ вод. Методика определения органического углерода и общего азота в питьевых, природных и сточных водах методом высокотемпературного окисления с использованием анализаторов углерода и азота. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования, 2014. 19 с.

ClimateData [Электронный ресурс] URL: https://ru.climate-data.org/

ЗООПЛАНКТОН И МАКРОЗООБЕНТОС ГОРНЫХ ОЗЕР КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕСИИ (СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ): СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ И РЕГУЛИРУЮЩИЕ ЕЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ

А. Н. Рак [1]*, Е. П. Борисова [1], Р. Р. Борисов [2], Е. С. Чертопруд [1, 3]

[1] Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия
[2] Центральный институт ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия
[3] Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

** e-mail: rakannabio@ya.ru*

ZOOPLANKTON AND MACROZOOBENTHOS OF MOUNTAIN LAKES OF KARACHAY-CHERKESSIA (NORTH CAUCASUS): ASSEMBLAGES STRUCTURE AND REGULATING ENVIRONMENTAL FACTORS

A. N. Rak, E. P. Borisova, R. R. Borisov, E. S. Chertoprud

В августе — сентябре 2024 г. в горных озерах Карачаево-Черкесии (2300–2900 м н. у.м.) исследованы планктонные микроракообразные (Cladocera, Copepoda) и макрозообентос. Идентифицированы 9 видов микроракообразных, 1 вид жаброногa (Anostraca) и 34 вида зообентоса, из которых 12 впервые отмечены для региона выше 2200 м. Среди бентоса преобладают амфибиотические насекомые (26 видов) и олигохеты. Методом dbRDA установлено, что для зоопланктона ведущим фактором является экспозиция долины, а для макрозообентоса — тип грунта и высота озера. Результаты расширяют фаунистические данные и выявляют разнонаправленные механизмы организации сообществ в экстремальных условиях высокогорья.

Большой Кавказ представляет собой крупнейшую горную систему Евразии. В горных районах формирование сообществ гидробионтов протекает в специфических условиях, характеризующихся значительными колебаниями температурного режима, пониженной минерализацией водных масс и дефицитом кормовых ресурсов. Однако планктонная и донная фауна горных озер достаточно разнообразна. В связи с этим актуальным является вопрос о выявлении экологических факторов, детерминирующих структурную организацию сообществ водных организмов в данных экстремальных условиях среды обитания.

Цель исследования — инвентаризовать видовое богатство и описать структуру прибрежных сообществ планктонных микроракообразных (Cladocera, Copepoda) и макрозообентоса горных озер хребта Абишира-Ахуба и Имеретинского участка ГПБЗ «Кавказский» (Карачаево-Черкесия). Предпринята попытка выявить факторы среды, оказывающие влияние на распределение гидробионтов.

Отбор проб зоопланктона и макрозообентоса выполнен в августе — сентябре 2024 г. Озера, в которых проводился отбор, располагались на высоте от 2300 до 2900 м н. у.м. Проанализированы 24 количественные пробы зоопланктона и 37 количественных проб макрозообентоса. Для каждого водоема определяли GPS-координаты, высоту н. у.м., тип грунта, температуру и базовые гидрохимические параметры воды. На основании полученных данных было оценено сходство проб с использованием индекса Брея-Кертиса. Параллельно был проведен сравнительный анализ видовой и количественной структуры проб для выделения ключевых факторов среды, определяющих распределение организмов, с помощью анализа избыточности dbRDA. Вся статистическая обработка данных выполнена в среде программирования R.

В изученных водоемах идентифицировано 9 видов микроракообразных: 4 вида Cladocera и 5 видов Copepoda, относившихся к трем отрядам: Harpacticoida (1), Calanoida (1) и Cyclopoida (3). Кроме того, в пробах был найден один вид жаброногов (Anostraca). В планктоне по численности среди Copepoda доминировал *Arctodiaptomus acutilobatus*, а среди

Cladocera — *Chydorus sphaericus*. Макрозообентос был представлен 34 видами. Более половины из них составляли амфибиотические насекомые (26 видов): Diptera (13), Coleoptera (7), Trichoptera (4), Plecoptera (1) и Ephemeroptera (1). Второй по разнообразию группой являлся подкласс Oligochaeta (6 видов). В типах Mollusca и Platyhelminthes отмечено только по 1 виду. Из идентифицированных таксонов 12 были впервые отмечены для горных озер Карачаево-Черкесии, расположенных выше 2200 м н.у.м. В макрозообентосе по численности доминировали хирономиды *Pseudodiamesa* gr. *branickii* и *Tanytarsus pillidicornis*, ручейники трибы Chaetopterigini, олигохеты семейства Enchytraeidae.

Для сообществ зоопланктона основным фактором среды, определяющим состав и количественные характеристики сообществ, являлась экспозиция долины по сторонам света, объясняющая 17,7% изменчивости распределения организмов. Значимость этого фактора для сообществ макрозообентоса также присутствовала, но находилась на границе статистической достоверности. Наиболее важными для донной фауны были факторы типа грунта и высоты расположения озера. Экспозиция долины определяет ее микроклимат и, как следствие, температурный режим озер, от которого зависит развитие короткоживущих организмов зоопланктона. Донная макрофауна в большей степени обусловлена типом грунта, формирующим среду ее обитания, и также микроклиматом, меняющимся вместе с высотой н.у.м.

Таким образом, структура планктонных и донных сообществ горных озер регулируется частично разными и независимыми абиотическими факторами среды. Данный факт необходимо учитывать при выполнении комплексного экологического мониторинга и оценки уязвимости водных экосистем Кавказа.

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам ФГБУ «Кавказский государственный природный биосферный заповедник имени Х.Г. Шапошникова»», а также лично Н.Б. Ескину за организацию полевых работ.

Исследование поддержано грантом РНФ № 23-14-00128-П.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МАКРО- И МИКРОСИСТЕМАТИКЕ РЫБ

Ю. С. Решетников

Институт проблем экологии и эволюции имени А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

e-mail: ysreshetnikov@gmail.com

THE CURRENT CONCEPTS OF FISH MACRO- AND MICROSYSTEMATICS

Yu. S. Reshetnikov

Систематикой интересуются многие ученые, однако отсутствие единых понятий, что такое вид, род или семейство, привело к созданию множества систем. Рассматриваются разные подходы к систематике рыб, различаются систематики-дробители и систематики-объединители. Особенно много путаницы вносят генетики, биохимики и молекулярные биологи со своим подходом к понятиям вид, род, семейство и вообще к таксономии. На примере сиговых и лососевых рыб показаны все сложности этой проблемы.

Систематикой интересуются многие ученые, чаще всего это специалисты по региональным фаунам. Им необходимо знать современную макросистематику своей группы и валидность в ней некоторых сомнительных видов и родов. Однако по этим вопросам есть разные точки зрения, причем часто диаметрально противоположные.

Первые научные сводки с описанием рыб появились у Аристотеля (IV век до н. э.). Настоящая систематика начинается с Петра Артеди и Карла Линнея, опубликовавшего сведения о рыбах в многотомном издании Systema Naturale. Ботаник по специальности, Линней впервые описал 2600 видов рыб. Бинарная система Линнея многократно перерабатывалась, но послужила серьезным толчком для развития научной мысли. Согласно решению Международной комиссии по зоологической номенклатуре, законными считаются виды рыб, описанные Линнеем в труде 1758 г. (Linnaeus, 1758).

По современным оценкам, общее число видов растений, животных и микроорганизмов на Земле составляет от 5 до 30 млн видов, из которых описаны и имеют научные названия только 2 млн видов. Наши знания о биологическом разнообразии неполные, и истинное число видов много больше известного (Скарлато и др., 1994). Многие группы описаны всего на две трети, более 80–90 % всех видов вирусов, грибов и бактерий не имеют научного описания. Между тем потеря видов идет быстрыми темпами. Полагают, что за последние 50 лет в мире уже бесследно исчезли 20 видов рыб.

В результате работ по международной программе «Сохранение биоразнообразия животных» были составлены списки видов по основным позвоночным животным России. Все современные описания новых видов должны соответствовать международному кодексу зоологической номенклатуры (Международный кодекс зоологической номенклатуры, 2000). Неоднократно менялись представления о том, сколько современных видов круглоротых и рыб имеется в мире и сколько из них живет в водах России. Согласно последним данным разных авторов, общее число видов рыб в мире колеблется от 26 до 36 тысяч, что связано с разными представлениями о виде. Можно ориентироваться на цифру 27 900 видов (Нельсон, 2009) или 35 500 видов круглоротых и рыб (Eshmeyer, 2020; Решетников, Котляр, 2022). Экспертная оценка числа видов Хордовых животных в мире и в России на 2020 г. представлена в табл.

В настоящее время круглоротые и рыбы, составляющие половину всех Хордовых (около 10 % встречаются в водах России), подразделяются на 5 классов 70 отрядов, 550 семейств, 4950 родов и примерно 35 500 видов (Решетников, Котляр, 2022). На сегодня нуждаются в делении отряды Скорпенообразных (30 семейств, около 280 родов и 1500 видов)

и Окунеобразных (160 семейств, 1540 родов и свыше 10 000 видов), но пока не выработаны единые критерии для разделения на самостоятельные отряды, систематики призывают воздержаться от этого дробления (Нельсон, 2009; Эшмейер, 2020).

Экспертная оценка числа видов Хордовых животных в мире и в России

Таксон	Число видов в мире	Число видов в России	Доля от мировой фауны, %
Тип CHORDATA — Хордовые Подтип — *Головохордовые* Класс — Ланцетники	30	0	0,0
Подтип Craniata — *Черепные* Класс Myxini — Миксины Класс Petromyzontes — Миноги	80 50	1 9	1,2 18,0
Класс Chondrichthyes — Хрящевые Класс Actinopterygii — Лучеперые Класс Sarcopterygii — Кистеперые Вся группа *PISCES — РЫБЫ:*	1 177 34 355 8 35 540	151 3 379 0 3 530	12,8 9,8 0,0 9,9
Подтип — *Четвероногие* Класс Amphibia — Амфибии Класс Reptilia — Рептилии Класс Aves — Птицы Класс Mammalia — Млекопитающие	5 550 16 400 9 050 4 650	37 170 803 360	0,6 1,0 8,9 7,7
ИТОГО: все Хордовые	71 350	4 910	6,8

Среди систематиков имеются систематики-дробители и систематики-объединители: первые разделяют сложные виды на самостоятельные видовые единицы, вторые считают, что для некоторых видов всё внутривидовое разнообразие форм можно отнести к одному полиморфному или сложно-комплексному виду (Савваитова, 1989; Решетников, 2025). Полиморфизм и эврифагия — характерные черты ихтиофауны водоемов Европы и Азии. Сложность структуры северных экосистем Европы и Азии достигается не за счет разнообразия видов, а за счет разнообразия внутривидовых форм, которые энергетически эквивалентны самостоятельным видам. Сейчас в систематике рыб наблюдается очередной период дробления в связи с работами молекулярных генетиков и бохимиков (Мина, Решетников, Дгебуадзе, 2006; Kottelat, Freyhof, 2007).

При выделении новых видов (например у сигов) следует понимать, что этот процесс будет идти бесконечно, а бесконечное число видов сделает бесполезным признание такой системы. С нашей точки зрения, можно привлекать данные генетиков, но окончательный вывод о таксономическом статусе должен делать биолог-систематик.

Литература

Берг Л. С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. М; Л.: АН СССР, 1948–1949. Т. 1–3. С. 1–1315.

Международный кодекс зоологической номенклатуры. 2000. Изд. 4-е. Перевод с англ и франц. СПб.: ЗИН РАН. 221 с.

Мина М. В., Решетников Ю. С., Дгебуадзе Ю. Ю. 2006. Таксономические новшества и проблемы пользователей // Вопросы ихтиологии. Т. 46, № 4. С. 553–557.

Нельсон Д. С. Рыбы мировой фауны. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 880 с.

Решетников Ю. С. Современные представления о макросистематике рыб // Успехи современной биологии. 2025. Т. 72, № 2. С. 236–246.

Решетников Ю. С., Котляр А. Н. Словарь названий рыб на шести языках. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2022. 838 с.

Савваитова К. А. Арктические гольцы. М.: ВО Агропромиздат, 1989. 223 с.

Скарлато О. А., Старобогатов Я. И. и др. Биоразнообразие и возможности его анализа с применением компьютерных банков данных. // Биоразнообразие. Степень таксономической изученности. М.: Наука, 1994. С. 20–41.

Eshmeyer W. N. 2020 https://research.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp

Kottelat M., Freyhof J. Handbook of European Freshwater fishes. Delemont. Switzerland, 2007. 646 p.

Linnaeus C. Systema naturae per regna truanaturae, secubdum ckasses, ordines, genera, species, cum characteribus, differemtiis, synonimis, locis. Tomus 1. Editio decima, reformata. Imp. Direct. Holmiac [Stockholm]: Laurentii Salvii. 1758. 824 p.

ЭВТРОФИРОВАНИЕ И ТРОФИЧЕСКАЯ ТИПОЛОГИЯ ВОДОЕМОВ: НОВЫЙ ВЗГЛЯД

А. Л. Рижинашвили

Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова Российской академии наук, Москва, Россия

e-mail: railway-ecology@yandex.ru

EUTROPHICATION AND TROPHIC TYPOLOGY: NEW VIEW

Alexandra L. Rizhinashvili

Впервые на исторической основе осуществлена попытка конкретизации понятия «трофический статус». Показано, что понятие «трофии», «трофности» или «трофичности» с самого момента своего появления характеризовалось большой неопределенностью и противоречивостью. В результате до сих пор нет однозначного представления о том, какими критериями необходимо руководствоваться при оценке трофического статуса водоема и каковы должны быть граничные значения концентрации хлорофилла *a*. Впервые обосновывается диапазон величин концентрации хлорофилла *a* в 6–8 мкг/л как граница мезотрофии и эвтрофии. Сформулировано предположение, что смена трофического статуса связана со сменой лимитирования разными биогенными элементами. При этом играет роль накопление автохтонных растворенных органических соединений. Сделан вывод о необходимости учета не концентрации азота и фосфора, а их хотя бы условного потребления продуцентами. Обсуждается положение на шкале трофии дистрофного типа водоемов.

Цель настоящей работы — критическое переосмысление имеющихся представлений о трофическом типе / трофическом статусе как дискретном состоянии или типе экосистемы водоемов, а также о самом понятии трофии. Естественно, на современном этапе развития гидробиологии никто не будет оспаривать то, что уровень трофии определяется уровнем первичной продукции. Однако в расчет индексов трофического состояния (например, широко известного индекса Карлсона) включается концентрация общего фосфора; и, таким образом, предполагается, что трофический статус может быть напрямую оценен по содержанию биогенного элемента. Специально проведенный на озерах Польши анализ показателей уровня трофии убедительно показал, что, например, данные по общему фосфору при расчете трофического индекса завышают трофический статус (Karpowicz et al., 2025). Иными словами, известная неопределенность продолжает сохраняться. Складывается впечатление, что трофия понимается скорее интуитивно, нежели имеет как понятие четкие границы. В первую очередь, она ассоциируется со степенью накопления органических соединений в ходе естественной эволюции водоема (Kornijow, 2024). С другой стороны, операциональное стремление определять ее через конкретные показатели приводит к толкованию трофии с химической точки зрения как содержание биогенных элементов, хотя на неверность такого подхода уже указывалось (Бульон, 1999).

Как показывает исторический анализ проблемы, дистрофных водоемов, если понимать под этим крайнюю олиготрофию, не существует, а есть темноводные (полигумозные) водоемы со специфическим гидрохимическим режимом, разного уровня трофности. Отсюда нет и необходимости пользоваться термином «миксотрофный» как намекающим на смешанный (по происхождению) характер органических соединений (автохтонные и аллохтонные), присутствующих в водоеме. К сожалению, этимологически неудачный термин «дистрофный водоем» (dystrophic) прочно закрепился в литературе, всё еще широко используется и может вызывать путаницу. Стоит либо вовсе отказаться от его использования, либо, по традиции употребляя его, подразумевать под ним исключительно полигумозные водоемы любого уровня трофности.

Имеющиеся собственные и литературные данные позволяют предположить, что граничной, биологически обоснованной концентрацией, отделяющей мезотрофные озера от эвтрофных, является величина, меньшая, чем принятая по шкалам Г.Г. Винберга и В.В. Бульона (10 мкг/л). Скорее всего, нижний предел эвтрофии следует отодвинуть до 6–8 мкг/л, что приближается к пределу, установленному в шкале СЭВ (8 мкг/л), а также некоторым другим шкалам (Rast, Lee, 1978; Милиус, Кываск, 1979; цит. по: Даценко, 2007).

Для водоемов умеренной зоны можно предложить следующую схему смены трофического статуса. Отметим, что данная схема вполне применима лишь для малых мелководных водоемов. На этапе олиготрофии лимитирующими факторами выступают сразу и недостаточное количество биогенных элементов, и температура. На этапе мезотрофии в воде наблюдаются избыток минеральных форм азота и относительный дефицит фосфора. Наступление эвтрофии, вероятно, связано с «переключением» лимитирования с фосфора на азот. Скорее всего, это происходит на фоне повышенного содержания растворенных органических соединений, особенно углеводов.

На взгляд автора настоящего исследования, понятие «трофность» имеет четкий экологический смысл, напрямую связанный с количественным развитием первичных продуцентов, преимущественно фитопланктона, его питания. Без фитопланктона трофность попросту не существует. А жизнедеятельность фитопланктона, количество создаваемого ими первичного органического вещества, в свою очередь, является основой для питания других организмов. Следовательно, гидробиолога должно интересовать не общее содержание всех биогенных элементов, а только та его часть, которая вовлекается в продукционный оборот со стороны фитопланктона. Осознание этой истины сразу же переводит трофность в разряд биологических характеристик. Тогда показателями трофности однозначно становятся переменные, характеризующие первичное продукционное звено, — первичная продукция фитопланктона и содержание основного фотосинтетического пигмента, хлорофилла *a*. При таком биологическом подходе исключаются возможные различия в оценке трофического статуса для одного и того же водоема, когда берутся за основу показатели, характеризующие либо химический состав воды, либо количественное развитие разных групп биоты.

Литература

Бульон В.В. О дистрофном типе озер и классификации водоемов // Водные ресурсы. 1999. Т. 26, № 3. С. 271–274.

Даценко Ю.С. Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты. М.: ГЕОС, 2007. 252 с.

Karpowicz M., Kuczynska-Kippen N., Slugocki L. et al. Trophic status index discrepancies as a tool for improving lake management: insights from 160 Polish lakes // Science of the Total Environment. 2025. Vol. 981: 179581.

Kornijow R. Eutrophication and derivative concepts. Origins, compatibility and unresolved issues // Ecohydrology & Hydrobiology. 2024. Vol. 24. P. 289–298.

ВИДЕОАНАЛИТИКА ИНДУСТРИАЛЬНОЙ АКВАКУЛЬТУРЫ: НАБОРЫ ДАННЫХ, НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ И РОБОТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ

А. Л. Ронжин*, В. Н. Ле, Д. С. Дудакова, А. И. Савельев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН), Санкт-Петербург, Россия

** e-mail: ronzhin@iias.spb.su*

VIDEO ANALYTICS FOR INDUSTRIAL AQUACULTURE: DATASETS, NEURAL NETWORK MODELS, AND ROBOTIC MONITORING AND CONTROL SYSTEMS

A. L. Ronzhin, V. N. Le, D. S. Dudakova, A. I. Savelyev

Актуальность перехода к цифровой трансформации аквакультуры обусловлена сокращением природных запасов рыб, экологическими и кадровыми проблемами. Интеллектуальные системы на базе цифровых двойников, технического зрения и робототехники позволяют прогнозировать рост рыб, оптимизировать кормление и обслуживать сети. Целью исследования является повышение продуктивности и снижение экологической нагрузки. В докладе обсуждаются созданный аннотированный набор данных изображений рыб и разработанные нейросетевые модели обнаружения и трекинга особей, а также предобработки подводных снимков. Полученные результаты обеспечивают автоматизацию видеомониторинга гидробионтов в индустриальных комплексах аквакультуры.

Очевидные проблемы сокращения естественных рыбных запасов, ухудшения экологического состояния акваторий в местах интенсивного рыбоводства, сокращения квалифицированного кадрового потенциала и увеличения среднего возраста работников актуализируют переход от традиционного производства аквакультуры к ее цифровой трансформации с применением передовых технологий искусственного интеллекта, больших данных, Интернета вещей, сенсорных сетей, технического зрения и робототехники (Tamut et al., 2025).

Интеллектуальные системы аквакультуры на основе цифровых двойников не только отслеживают текущие параметры процесса выращивания рыбы, но и прогнозируют дальнейшее состояние, в том числе управляемый рост рыбы, минимизируя затраты за счет поддержания требуемых значений температуры, растворенного кислорода, объема подаваемого корма (Bekarev, Ivashko E., Ivashko V., 2023).

Технологии технического зрения обработки подводных изображений позволяют операторам непрерывно наблюдать и анализировать состояние рыбы, обеспечивая при этом качество и безопасность конечной продукции, предоставляя собранные данные клиентам и органам, сертифицирующим пищевые продукты. Таким образом, цифровые интеллектуальные системы управления помогают операторам производства аквакультуры оптимизировать подачу корма, контролировать рост рыбы, повышать ее выживаемость, одновременно оптимизируя коэффициент конверсии корма (Ражев, Недоступ, 2023).

Длительное садковое производство со временем приводит к донным отложениям, содержащим подвижные формы загрязнителей, в том числе тяжелые металлы, а их последующая мобилизация в поровые воды и водную толщу негативно воздействует на живые организмы (Дудакова, Дудаков, 2025; Зарипова и др., 2025; Guzeva, Lapenkov, 2025). Также требуются обслуживание сетей, их контроль целостности и очистка от нарастающих водорослей. Для решения этих задач, особенно для глубоководных сетей, актуально применение роботов, производящих мониторинг всей поверхности сетей, и монотонные длительные операции по их очистке под водой (Ле, Ронжин, 2024).

Цель данного исследования — повышение продуктивности аквахозяйства и снижение экологической нагрузки на пресные водоемы при интенсивной рыбоводческой деятельности за счет разработки интеллектуальных производственных решений по обработке больших данных изображений и видеозаписей рыб, параметров среды и поведенческих характеристик гидробионтов с применением технологий машинного обучения и искусственного интеллекта, обеспечивающих роботизированное обслуживание индустриальной аквакультуры (Ле, 2025).

В 2026 г. создана первая версия аннотированного экспертами набора данных изображений рыб, отличающаяся репрезентативными данными по физиологическому состоянию и поведению отдельных особей и групп рыб в садках и установках замкнутого водоснабжения, дополненная синтезированными данными с несколькими видами аугментации: поворот, зеркальное отражение, изменение яркости, контрастности, масштабирование, и обеспечивающая обучение нейронных моделей для решения задачи автоматизированного определения заболеваний рыб, управления интенсивностью кормления. Разработаны алгоритмы и нейросетевые модели предварительной обработки изображений подводной съемки, обученные на основе свободно доступных наборов данных, отличающиеся комплексированием методов масштабирования и нормализации изображений, обеспечивающие высокую точность обработки в сложных условиях с низкой освещенностью и мутностью водной среды. Разработаны алгоритмы и нейронные модели обнаружения рыб, слежения за движением группы рыб, обученные на основе свободно доступных наборов данных, отличающиеся маркировкой объектов в каждом кадре и фильтрацией перекрывающихся или дублирующихся областей обнаружения рыб, обеспечивающие непрерывное отслеживание каждой особи на последовательности кадров в видеозаписи с помощью уникальных идентификаторов.

Практическая значимость данного исследования и текущих научных результатов состоит в повышении степени автоматизации технологического процесса индустриальной аквакультуры за счет разработки и внедрения моделей, алгоритмов и программных средств видеомониторинга гидробионтов в рыбоводных индустриальных комплексах на основе анализа специфики и ограничений водной среды, применимых сенсорных устройств, характера задачи, объема водных емкостей, числа содержащихся гидробионтов и других факторов, влияющих на точность, скорость и стоимость получения результатов видеоаналитики.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 26-19-00326, https://rscf.ru/en/project/26-19-00326/.

Литература

Грибова В. В., Шалфеева Е. А., Филаретов В. Ф. и др. Метод интеллектуального планирования миссий автономных подводных аппаратов // Информатика и автоматизация. 2025. № 5 (24). С. 1257–1283.

Дудакова Д. С., Дудаков М. О. Комплекс из погружного люксметра-логгера и стенда для подводной видеосъемки как инструмент учета миграций зоопланктона в связи с суточной динамикой освещенности разных слоев воды Ладожского озера. LXXVIII Герценовские чтения. География: развитие науки и образования: материалы междунар. науч.-практ. конф. 2025. С. 76–82.

Зарипова К. М., Дудакова Д. С., Лапенков А. Е., Гузева А. В. Донная фауна Ладожского озера в местах выращивания радужной форели. Труды XIII междунар. науч.-практ. конф. «Морские исследования и образование (MARESEDU-2024)». 2025. С. 557–561.

Ле В. Н. Алгоритм автоматического подсчета рыб на изображении и слежения за их движением на основе нейронной модели YOLOv9t. // Известия Юго-Западного гос. ун-та. 2025. Т. 29, № . 4. С. 187–203.

Ле В. Н., Ронжин А. Л. Обзор интеллектуальных систем управления и робототехнических задач в производстве аквакультуры // Морские интеллектуальные технологии. 2024. № 1–1 (63). С. 171–180.

Ражев А. О., Недоступ А. А. Компьютерная имитация поведения рыб в замкнутой системе водоснабжения // Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 4. Ч. 1. С. 277–284.

Bekarev A., Ivashko E., Ivashko V. Aquaculture digitalization: Polling karelian fish farmers. Agriculture Digitalization and Organic Production. Springer. Smart Innovation, Systems and Technologies 2023. Vol. 362. P. 363–372.

Guzeva A. V., Lapenkov A. E. Accumulations of Cr, Cu, Zn and Pb in sediments under cage trout farms of Lake Ladoga // Limnology and Freshwater Biology. 2025. N 4. P. 583–599.

Le V. N., Tran V. T., Ronzhin A. L. Fish image classification based on MobileNetV2 with transfer learning technique for robotic application in aquaculture. International Conference on Interactive Collaborative Robotics. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. P. 201–212.

Tamut H., Ghosh R., Gosh K., Siddique M. A.S. Enhancing Disease Detection in the Aquaculture Sector Using Convolutional Neural Networks Analysis // Aquaculture Journal. 2025. 5 (1), 6.

СОДЕРЖАНИЕ СТРОНЦИЯ И БАРИЯ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ВОДОЕМОВ САКСКОГО ОЗЕРА (РЕСПУБЛИКА КРЫМ)

И. И. Руднева [1]*, Е. А. Котельянец [1], В. Г. Шайда [2], О. В. Шайда [1]

[1] *Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт» РАН, Севастополь, Россия*
[2] *ООО «Экосервис А», Москва, Россия*

* *e-mail: svg-41@mail.ru*

THE CONTENT OF STRONTIUM AND BARIUM IN BOTTOM SEDIMENTS IN THE RESERVOIRS OF LAKE SAKI (REPUBLIC OF CRIMEA)

I. I. Rudneva, E. A. Kotelyanets, V. G. Shaida, O. V. Shaida

Сакское озеро — одно из наиболее крупных приморских озер, расположенных на юго-западном побережье Крыма. В настоящее время озеро разделено на семь бассейнов, два из которых используются для бальнеологических целей, а остальные выполняют защитные функции. Исследование гидроминерального состава и геоэкологических процессов, происходящих в этих водоемах, представляет большой интерес как для понимания экологических проблем региона, так и для их сохранения и рационального использования их ресурсов. Проведен сравнительный анализ содержания бария и стронция в донных грунтах этих водоемов, показаны различия, обусловленные особенностями минерализации и гидрологического режима, что может способствовать пониманию процессов формирования лечебных грязей.

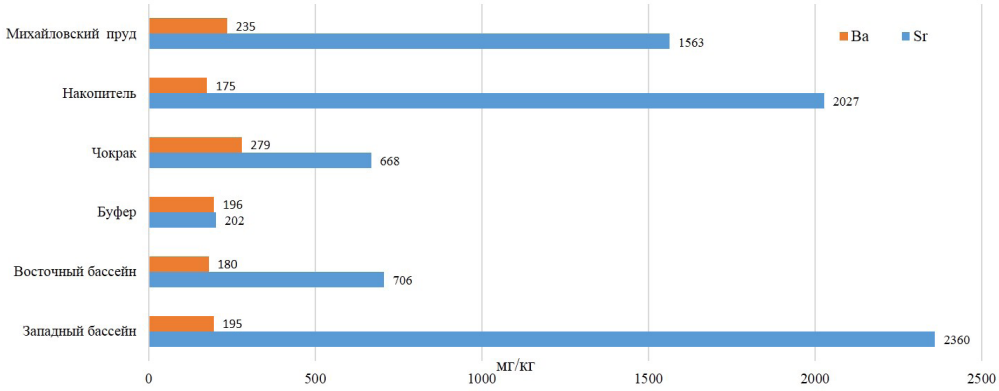
Крымские соленые озера, расположенные на юго-западном побережье полуострова, имеют морское происхождение и отделяются от моря песчаными пересыпями. Их гидроминеральные ресурсы использовались в галургическом производстве, в медицине, химической промышленности, они популярны как туристические и образовательные объекты. Многие из них находятся в зоне интенсивной хозяйственной деятельности, строительства и рекреации, что приводит к загрязнению экосистем, изменению физико-химических свойств, нарушению гидрологического режима и условий существования биоты (Гидроминеральные…, 2024).

Сакское озеро является одним из наиболее крупных приморских озер, расположенных на юго-западном побережье Крыма. В течение последних 200 лет Сакское озеро было изменено в результате антропогенной деятельности и в настоящее время разделено дамбами на семь водоемов, из которых два бассейна лечебные (Восточный и Западный), а пять (Михайловское водохранилище (пресный пруд), Буферный бассейн, озеро Чокрак и технологические бассейны бывшего Сакского химического завода Испаритель (Накопитель) и примыкающий к нему Ковш) выполняют защитную функцию, предохраняя их от паводковых и сточных вод. Водоемы имеют разную соленость и разный уровень антропогенного воздействия. Цель настоящей работы — анализ особенностей содержания стронция и бария в донных осадках бассейнов Сакского озера.

Образцы поверхностного грунта отбирали в прибрежной части в апреле 2025 г. Пробы высушивали до постоянного веса и валовое содержание Sr и Ba в них определяли с помощью метода рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на аналитическом комплексе «Спектроскан Макс-GVM» (фирма «Спектрон», Россия).

Установлено значительное превышение содержания стронция по сравнению с содержанием бария в грунтах всех исследованных водоемов (рис.). Максимальное содержание Sr было обнаружено в Западном бассейне (2360 мг/кг), минимальное — в Буферном водоеме (202 мг/кг). Содержание бария варьировало в меньшей степени, максимальные значения были отмечены в грунтах озера Чокрак (279 мг/кг), минимальные — в Накопителе (175 мг/кг).

Между содержанием стронция и бария в исследуемых водоемах не установлено взаимосвязи, так же, как и между содержанием элементов и минерализацией воды.



Содержание стронция и бария в водоемах Сакского озера

Различия в содержании стронция и бария в грунтах бассейнов Сакского озера могут быть следствием особенностей процессов миграции элементов в водах с разной соленостью, которые зависят от их физико-химических свойств. В геохимических процессах стронций является аналогом и спутником кальция, мигрирует в виде ионов и способен к комплексообразованию с сульфат- и хлорид-ионами, которые в большом количестве находятся в соленых озерах. Минералы стронция хорошо растворимы, элемент быстро окисляется в присутствии кислорода воздуха и энергично взаимодействует с водой. Его поступление в воду связано с протекающими в озерах биогенными процессами и приносом поверхностных вод.

Максимальные концентрации стронция были определены в хлоридно-натриевых-кальциевых водоемах с высоким показателем минерализации, что согласуется с нашими данными. Осаждение элемента происходит в водных объектах аридных климатических зон, к которым относятся исследуемые озера. Наибольшая концентрация стронция является следствием выщелачивания элемента из первоначальных обогащенных им пород подземными водами. При этом происходит насыщение карбонатами, минеральный состав которых определяется климатическими условиями (Плюснин и др., 2020). Исследование элементного состава и, в частности, содержания стронция и бария, может дать важную информацию о физико-химических процессах, происходящих в гиперсоленых водоемах, формировании гидроминеральных ресурсов, а также влиянии природных и антропогенных факторов на состояние этих водных объектов и их биоту.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2024-0016 «Исследование пространственно-временной изменчивости океанологических процессов в береговой, прибрежной и шельфовой зонах Черного моря под воздействием природных и антропогенных факторов на основе контактных измерений и математического моделирования».

Литература

Гидроминеральные лечебные и рекреационные ресурсы Крыма: монография / коллектив авторов / ред. В. С. Тарасенко, отв. ред. В. И. Васенко. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2024. 380 с.

Плюснин А. М., Хажеева З. И., Санжанова С. С. и др. Сульфатные минеральные озера Западного Забайкалья: условия образования, химический состав воды и донных отложений // Геология и геофизика. 2020. Т. 61 (8). С. 1055–1073.

РОЛЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА И СЕТЕВОЙ СВЯЗНОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВА ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ПЕРИФИТОНА В ПЕРЕСЫХАЮЩИХ РЕКАХ

А. Г. Русанов [1]*, Ж. Траберт [2], К. Т. Киш [2], Е. Ач [2]

[1] *Институт озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия*
[2] *Факультет водных наук, Национальный университет государственной службы, Будапешт, Венгрия*

* *e-mail: rusanov.a@spcras.ru*

ROLE OF HYDROLOGICAL REGIME AND NETWORK CONNECTIVITY IN SHAPING COMMUNITY STRUCTURE OF PERIPHYTIC DIATOMS IN INTERMITTENT RIVERS

A. G. Rusanov, Z. Trábert, K. T. Kiss, É. Ács

The role of hydrological regime and river network connectivity (as a proxy of dispersal) in shaping taxonomic and functional structure of periphytic diatoms in an intermittent stream system located in southwestern Hungary was evaluated. It was shown that the diatom community is characterized by an increased functional redundancy, which ensures the stability of the functional organization of the community under stressful conditions of flow intermittence.

Drying periods are the primary factor determining changes in the biodiversity of aquatic communities in intermittent river ecosystems. Flow intermittence directly alters community composition towards desiccation-resistant taxa. In addition, intermittent flow also dramatically impacts river connectivity, hindering the dispersal of aquatic organisms within river networks and influencing spatial patterns in species composition. However, the impact of desiccation on spatial biodiversity patterns regulated by the dendritic structure of river networks remains poorly understood. In this study, we evaluated the role of variable hydrological regime and dispersal-related processes in shaping taxonomic and functional structure of periphytic diatoms in an intermittent stream system located in southwestern Hungary.

A total of 27 diatom samples were collected in May, July, and September 2021 in the Völgységi stream system, belonging to the southern part of the Hungarian Danube River sub-basin. This water system consists of several small watercourses, including both perennial and intermittent branches. We assigned 194 identified diatom taxa to 8 functional traits with 36 trait categories, including cell size; guilds (Passy, 2007; Rimet, Bouchez, 2012); spreading capacity (Rimet, Bouchez 2012); and preferences for moisture, oxygen saturation, nitrogen uptake, saprobity, and trophic state (Mertens et al., 2025). To quantify network connectivity of each sampling site within the studied stream system, a synthetic network was build and then closeness centrality (CC) was calculated (Rayfield et al., 2011). CC values range between 0 and 1, with values approaching 1 indicating high network accessibility and a central location. Total taxonomic and functional beta-diversities (β_{total}, variation in community composition and traits) with its replacement (β_{repl}) and richness difference (β_{rich}) components were calculated following Podani and Schmera (2011), and Baselga (2012), respectively. It was shown that β_{repl} was driven by both environmental filtering and dispersal-related processes, whereas β_{rich} was mainly controlled by dispersal (Rusanov et al., 2026). The relationships of β_{total}, β_{repl} and β_{rich} with hydrological regime (permanent flow vs. intermittent flow) and network connectivity (i. e., CC) were assessed using linear mixed models (LMM).

We found no response of diatom species richness to hydrological regime and network connectivity. Beta-diversity decomposition revealed contrasting patterns between taxonomic and functional facets (Table). Taxonomic β_{total} was high and predominantly driven by β_{repl}, whereas functional β_{total} was moderate and characterized by significantly increased contribution of β_{rich}.

Comparison of taxonomic and functional beta-diversity and its components

Type	β_{total}	β_{repl}	β_{rich}
Taxonomic	0,781	0,639	0,142
Functional	0,557	0,366	0,191
p (Wilcoxon test)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

LMM revealed that taxonomic β_{repl} was related to both hydrological regime and network connectivity, while taxonomic β_{rich} was unrelated to either variable. In contrast, both functional β_{repl} and β_{rich} were determined only by network connectivity. Moreover, the relationship with CC was positive for taxonomic β_{repl} and negative for functional β_{rich}, indicating that higher network connectivity was associated with divergence in taxonomic structure but convergence in functional traits. These results, and especially the significant influence of hydrological regime on the taxonomic structure, as well as its absence on the functional composition, indicates a high levels of functional redundancy. This means that local diatom assemblages are compositionally distinct but functionally similar, suggesting that flow intermittence, as an environmental filter, selects for a specific set of functional traits despite variation in species composition.

Overall, our results demonstrate that in the studied stream system, the diatom community is characterized by an increased functional redundancy, which ensures the stability of the community's functional organization under stressful conditions of intermittent flow. Thus, functional redundancy can be considered as an early indicator of environmental stress before significant losses in species richness and ecosystem functions.

Данное исследование проводилось в рамках государственного задания Института озероведения РАН, СПб ФИЦ РАН (проект № FFZF-2024-0001).

References

Baselga A. The relationship between species replacement, dissimilarity derived from nestedness, and nestedness // Global Ecol. Biogeogr. 2012. Vol. 21. P. 1223–1232.

Mertens A., van der Wal J., Verweij G. et al. A revised list of diatom ecological indicator values in the Netherlands // Ecol. Indic. 2025. Vol. 172. 113219.

Passy S. I. Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters // Aquat. Bot. 2007. Vol. 86. P. 171–178.

Podani J., Schmera D. A new conceptual and methodological framework for exploring and explaining pattern in presence–absence data // Oikos. 2011. Vol. 120. P. 1625–1638.

Rayfield B., Fortin M. J., Fall A. Connectivity for conservation: a framework to classify network measures // Ecology. 2011. Vol. 92 (4). P. 847–858.

Rimet F., Bouchez A. Life-forms, cell-sizes and ecological guilds of diatoms in European rivers // Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst. 2012. Vol. 406. 01.

Rusanov A. G., Trábert Z., Várbíró G. et al. Seasonal changes in hydrologic conditions affect the balance between deterministic and stochastic processes in structuring lotic diatom metacommunity // Hydrobiologia. 2026. Vol. 853. P. 2439–2462.

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ РЕКРЕАЦИОННЫХ НАГРУЗОК НА ТУРИСТСКИЕ ТРОПЫ В ПРЕДЕЛАХ ООПТ (НА ПРИМЕРЕ ПРИРОДНОГО ЗАКАЗНИКА «КАСКАД ВОДОПАДОВ НА РЕКЕ ШИНОК»)

И. Д. Рыбкина*, Е. Ю. Седова

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

** e-mail: irina.rybkina@mail.ru*

FEATURES OF ASSESSING RECREATIONAL LOADS ON TOURIST TRAILS WITHIN THE BOUNDARIES OF PROTECTED NATURAL AREAS (AS A CASE OF STUDY THE «CASCADE OF WATERFALLS ON THE SHINOK RIVER» NATURE RESERVE)

I. D. Rybkina, E. Yu. Sedova

Обсуждаются вопросы оценок рекреационных нагрузок на особо охраняемых природных территориях, имеющих водные объекты и активно используемые туристские тропы. В Алтайском крае, его предгорно-горной части поток туристов возрастает год от года, что требует регулирования и контроля со стороны органов власти и природоохранных структур. Современное законодательство представляет возможности оценки рекреационных нагрузок как одного из видов такого контроля. Однако расчеты нагрузок достаточно сложны и трудоемки, а также не всегда понятны сотрудникам ООПТ. Цель настоящего исследования — обобщить имеющийся методический материал по расчетам рекреационных воздействий, апробировать различные подходы на примере отдельных ООПТ, дать рекомендации по использованию законодательно закрепленных методик.

Алтайский край — один из быстро развивающихся регионов России в сфере внутреннего туризма и рекреации. По данным управления Алтайского края по развитию туризма и курортной деятельности, число туристов в регион увеличивается год от года: за 9 месяцев 2023 года составило 1,8 млн чел., в 2024 г. прогнозировался турпоток в 2,4 млн человек. За январь — июнь 2025 г. в гостиницах и санаториях зарегистрировалось более 457,7 тыс. человек, что на 6% больше, чем за аналогичный период прошлого года. В этой связи вопросы организации и регулирования экологического туризма приобретают особую значимость. При этом основной проблемой, требующей скорейшего разрешения, является несоответствие поставленных природоохранных целей на ООПТ и задач развития туризма и рекреации.

Одним из инструментов такого урегулирования и контроля за потоком рекреантов выступает оценка антропогенных нагрузок на ООПТ. Вступившие в силу постановления Правительства РФ от 21 декабря 2023 года № 2230 и от 31 октября 2023 года № 809 регламентируют основные виды услуг и порядок расчета предельно допустимой рекреационной емкости особо охраняемых природных территорий регионального и местного значения при осуществлении туризма. Однако методические подходы, заявленные в постановлениях, достаточно трудно осуществимы и сложны при оценке конкретных видов воздействия.

В научной литературе встречается множество методических подходов и собственно предложенных разными авторами методов оценки антропогенных и рекреационных нагрузок (Бузмаков и др., 2011; Лужкова, 2011; Исаченко и др., 2020; Непомнящий и др., 2021; Архипова, 2024; Чижова и др., 2024; Николаева и др., 2025). Такое бурное обсуждение данной тематики в научном сообществе привело к созданию законодательно установленных документов, которые по существу являются методическим руководством к оценке рекреационных нагрузок. Но даже в этих документах не следует ожидать полный перечень подлежащих оценке видов воздействий и ограничений на использование ООПТ в целях туризма.

Каждая методика в зависимости от цели имеет свой индивидуальный аспект оценки воздействий. Одни из них направлены в большей степени на природно-ресурсную часть ООПТ и оценку последствий от туристско-рекреационной деятельности, другие — акцентируют внимание на методических особенностях использования ГИС и картографирования, третьи — имеют целью обустройство и развитие троп, а также оценку ограничений их использования с позиций безопасности для туристов и рекреантов. В постановлениях делается акцент на управленческой составляющей, которая предпочтительна для чиновников и администраторов.

Апробация отдельных методик на примере туристских троп Алтайского края, в частности на территории заказника «Каскад водопадов на реке Шинок», позволила рассчитать показатели базовой, потенциальной и предельно допустимой рекреационной емкости. Базовая рекреационная емкость составила 185 чел./сутки для маршрута, что соответствует возможному числу посетителей при сохранении комфортных условий пребывания. С учетом природно-экологических ограничений потенциальная рекреационная емкость существенно снижается и составляет всего 12 чел./сутки. При этом если продолжить расчет, предельно допустимая рекреационная емкость (ПРДЕ), рассчитанная с учетом коэффициентов управленческой емкости, составит лишь 8,4 чел./сутки (1546 чел./сезон).

Низкие значения ПДРЕ обусловлены природно-экологическими ограничениями и недостаточной организационно-инфраструктурной обеспеченностью территории. Для повышения устойчивости рекреационного использования необходимы формирование системы управления, мониторинг состояния троп и регулирование туристских потоков. В целом расчеты показывают, что при существующем уровне обустройства пропускная способность маршрутов останется низкой. Чтобы повысить ПДРЕ и сохранить природные комплексы при увеличении допустимого уровня посещений, необходимо проводить благоустройство маршрута и мест отдыха, направленное на снижение антропогенного воздействия.

Исследование выполнено в рамках гранта РНФ № 25-27-20032 и «Оценка потенциала и возможностей реализации эколого-приемлемых принципов развития воднозависимых рекреационных практик на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) Алтайского края».

Литература

Архипова И. В. Сеть экотроп — каркасный элемент стратегии развития экологического туризма в Алтайском крае // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2024. № 2 (73). С. 5–24.

Бузмаков С. А., Овеснов С. А., Шепель А. И., Зайцев А. А. Методические указания «Экологическая оценка состояния особо охраняемых природных территорий регионального значения» // Географический вестник. 2011. № 2. С. 49–59.

Исаченко Т. Е., Исаченко Г. А., Озерова С. Д. Оценка рекреационной нарушенности и регулирование нагрузок на особо охраняемых природных территориях Санкт-Петербурга // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. Науки о Земле. 2020. Т. 65, № 1. С. 16–32.

Лужкова Н. М. Классификация туристских троп в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории // География и природные ресурсы. 2011. № 3. С. 64–72.

Непомнящий В. В., Завадская А. В., Чижова В. П. Методические рекомендации по определению рекреационной емкости особо охраняемых природных территорий. Новосибирск: Наука, 2021. 96 с.

Николаева О. П., Савенко К. С., Любимов Р. В., Ситникова В. А. Расчет предельно допустимой рекреационной емкости территории природного парка «Белуха» // Известия Русского географического общества. 2025. Т. 157, № 3. С. 340–358.

Постановление Правительства РФ 21.12.2023 г. № 2230 «Об утверждении Типовых правил организации и осуществления туризма, в том числе обеспечения безопасности туризма на особо охраняемых природных территориях регионального и местного значения». Официальный интернет-портал правовой информации. URL: http://pravo.gov.ru

Постановление Правительства РФ от 31.10.2023 г. № 1809 «Об утверждении Типовых правил расчета предельно допустимой рекреационной емкости особо охраняемых природных территорий регионального и местного значения при осуществлении туризма». Официальный интернет-портал правовой информации. URL: http://pravo.gov.ru

Чижова В. П., Иванов А. Н., Канаев К. С. Мониторинг состояния туристских маршрутов природного парка «Оленьи ручьи» // Антропогенная трансформация природной среды. 2024. Т. 10, № 2. С. 13–19.

ДИНАМИКА СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА И МАКРОЗООБЕНТОСА ОЗЕРА КАМЕННОГО: РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА

Е. С. Савосин*, Я. А. Кучко

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

** e-mail: szhenya@list.ru*

DYNAMICS OF ZOOPLANKTON AND MACROZOOBENTHOS COMMUNITIES IN LAKE KAMENNOE: RESULTS OF LONG-TERM MONITORING

E. S. Savosin, Y. A. Kuchko

Представлены результаты исследований зоопланктона и зообентоса оз. Каменного (Костомукшский государственный заповедник), которые проводились в периоды 2010–2012 гг. и 2024–2025 гг. в рамках биологического мониторинга водных объектов Республики Карелия. Показано, что сообщество зоопланктона и зообентоса оз. Каменного представлено обычными для карельских водоемов видами-космополитами. Сравнение полученных результатов с архивными данными показывает значительное сходство в качественном составе и количественных показателях зоопланктона и зообентоса на протяжении последних 50–60 лет. По уровню количественного развития зоопланктона оз. Каменное можно характеризовать как β-олиготрофный водоем, по показателям макрозообентоса — как α-олиготрофный. Экосистема водоема сохраняет естественное состояние, что свидетельствует об эффективности природоохранного режима.

Озеро Каменное исследовалось Отделом водных проблем Карельского филиала АН СССР в рамках комплексных гидробиологических исследований с целью оценки природных ресурсов района в их естественном состоянии в 1972–1973 гг. и в 1973–1997 гг. В дальнейшем озеро изучали сотрудники Института биологии КарНЦ РАН (2009–2010, 2010–2012, 2024–2025 гг.), которые продолжают данную работу и в настоящее время.

Пробы зоопланктона и зообентоса отбирались и обрабатывались по стандартным методикам гидробиологического анализа.

Основные характеристики планктофауны и бентофауны за многолетний период приводятся в табл. 1 и табл. 2.

Выполненные исследования показали, что экосистема оз. Каменного практически не затронута хозяйственной деятельностью. Сравнительный анализ гидробиологических данных на протяжении последних 50 лет демонстрирует значительное сходство в качественном составе и количественных показателях зоопланктоценоза. Отмеченные различия в показателях численности и биомассы не выходят за рамки естественных межгодовых колебаний.

Таблица 1. **Многолетние показатели зоопланктона оз. Каменного**

Показатель	Годы			
	1973	1992–1993	2010–2012	2024–2025
Общее число видов $S_{общ.}$	51	75	56	48
Численность, тыс. экз./м^3 (min-max)	14,8–16,0	3,6–6,4	12,7–24,6	18,8–22,2
Биомасса, г/м^3 (min-max)	0,279–0,360	0,160–0,279	0,413–0,759	0,252–0,512
Доминирующий комплекс	*Holopedium* *Bosmina* spp. *Daphnia* spp.	*Holopedium* *Asplanchna* *Kellicottia*	*B. longirostris* *B. coregoni* *D. cristata* *M. leuckarti*	*Bosmina* spp. *D. longispina* *M. leuckarti* *Th. oithon-s*

Таблица 2. **Многолетние показатели макрозообентоса оз. Каменного**

Показатель	Годы			
Годы	1973	2003	2010–2012	2024–2025
Биомасса, г/м^2	2,0	1–3,5	0,81	1,93
Численность, экз./м^2	1850	900–3300	164	1920
Доминирующие группы	*Chironomidae Oligochaeta*	*Oligochaeta Chironomidae*	*Chironomidae Oligochaeta*	*Chironomidae Oligochaeta*
Количество таксономических групп	–	83	5	29

Таким образом, экосистема оз. Каменного сохраняет естественное состояние и близка к ненарушенным природным экосистемам, что свидетельствует об эффективности природоохранного режима.

Сходная картина прослеживается и в отношении показателей бентофауны. Донные биоценозы исследованного водоема обладают структурно-количественными показателями, характерными для северных олиготрофных ненарушенных экосистем. По результатам многолетних исследований (более 50 лет), для водоема установлен характерный таксономический состав, структурные параметры и количественные характеристики бентоценозов, определяемые гидрологическими характеристиками и режимом использования оз. Каменного.

Литература

Биологические ресурсы водоемов бассейна реки Каменной. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1986.183 с.

Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П., Кучко Я. А., Павловский С. А. Состояние биоты озера Каменное (Северная Карелия) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 1 (4). С. 972–977.

Куликова Т. П., Кухарев В. И., Рябинкин А. В., Чекрыжева Т. А. Гидробиологическая характеристика водных экосистем особо охраняемых природных территорий Республики Карелия // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2009. № 2. С. 56–70.

Куликова Т. П. Зоопланктон водных объектов бассейна Белого моря. Карельский науч. центр Российской акад. наук, Ин-т водных проблем Севера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 324 с.

Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.

Рябинкин А. В., Полякова Т. Н., Павловский С. А. Макрозообентос водоемов охраняемых природных территорий // Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. С. 201–207.

Соколова В. А., Гордеева Л. И., Клюкина Е. А., Родькин В. И. Гидробиологическая характеристика озер Каменного и Лувозера // Биологические ресурсы района Костомукши, пути освоения и охраны. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1977. С. 161–174.

ВЫЯВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ОЗЕРА В ЕСТЕСТВЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА ПО ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИМ И ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Т. В. Сапелко*, Н. В. Игнатьева

Институт озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

** e-mail: tsapelko@mail.ru*

IDENTIFICATION OF THE INFLUENCE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON LAKES IN THE NATURAL LANDSCAPES OF THE KARELIAN ISTHMUS USING POLLEN AND GEOCHEMICAL DATA

T. V. Sapelko, N. V. Ignatyeva

В результате исследования субрецентных палиноспектров и содержания форм фосфора в поверхностном слое донных отложений выявлены особенности влияния природных и антропогенных факторов на озерные экосистемы в различных естественных ландшафтах Карельского перешейка. Установлена доминирующая роль природных факторов (геохимии ландшафта и морфометрии озерной котловины) в формировании фосфорного запаса и соотношении форм фосфора на различных участках дна исследованных озер. Несмотря на предварительное заключение о незначительном влиянии антропогенных факторов на развитие биоты и качество воды изученных озер, отмечено безусловное их влияние на изменение состава биоты. Особенно это касается растительного покрова. Отмечено изменение характера растительности в связи с деятельностью человека на водосборах озер (вырубками, пожарами, земледелием, лесопосадками, рекреационной деятельностью).

Изменения природной среды неизбежно отражаются на качественных и количественных характеристиках донных отложений озер, вертикальная динамика которых в колонке осадка несет информацию о природных и антропогенных процессах, происходивших в озере и на его водосборе в тот или иной период времени. Изучение верхнего неконсолидированного слоя донных отложений с помощью палинологического метода позволяет получить данные о современном экологическом состоянии озер и развитии ландшафтов на озерных водосборах. Кроме того, изучение субрецентных палиноспектров имеет важное значение при палеолимнологических реконструкциях, поскольку позволяет выявить наличие современного антропогенного воздействия на озерные экосистемы и оценить его степень. Субрецентные спектры используются и для количественных реконструкций палеоклимата.

В последнее время появляется всё больше публикаций о влиянии антропогенных факторов (Fan et al., 2024), искажающем результаты количественных климатических реконструкций, выполненных на основе палинологического анализа. Деятельность человека, в первую очередь вырубка лесов и сельское хозяйство, оказала значительное влияние на динамику естественной растительности, особенно в среднем и позднем голоцене (Ding et al., 2017), при этом не во всех случаях происходит возобновление естественной растительности. В связи с этим изучение поверхностных проб донных отложений озер является актуальной палеоэкологической задачей.

Предыдущие попытки разделения влияния природных и антропогенных факторов (Сапелко, 2018) были основаны в основном на геохимических методах, при этом палинологический анализ использовался, как правило, для определения возрастных границ изучаемых колонок донных отложений озер и качественной оценки климата. Данное исследование следует рассматривать как попытку использования нового подхода к оценке природного и антропогенного

воздействия на палеорастительность, в ходе которого изучались не только определенные виды растений, связанные с наличием антропогенных факторов, но и растительные сообщества, формирующиеся в результате хозяйственной деятельности человека. Кроме того, в пробах поверхностных донных отложений исследовалось содержание и соотношение форм главнейшего биогенного элемента — фосфора, определяющего уровень первичного продуцирования большинства водоемов (общего — TP, органического и неорганического фосфора).

В качестве объектов исследования были выбраны шесть озер, расположенных в ландшафтах лесной среднетаежной зоны Карельского перешейка. Согласно классификации А.Г. Исаченко (1983), меромиктическое оз. Узкое принадлежит сельговрому ландшафту Северо-Западного Приладожья, оз. Медведевское — Верхне-Охтинскому ландшафту моренных заболоченных равнин, озера Высокинское и Макаровское — Приморскому ландшафту озерно-ледниковых песчаных равнин, озера Затишье и Малая Ладога — камовым и камово-озерно-ледниковым ландшафтам Лемболовской возвышенности. При этом степень антропогенного воздействия на озера существенно различается. Водосборные бассейны озер Узкого, Медведевского и Высокинского, в основном окруженных хвойным лесом, можно отнести к менее нарушенным ландшафтам, хотя в последние годы, помимо рекреации и любительского рыболовства, здесь также начаты вырубки и строительство. Водосборы озер Макаровского, Затишье и Малая Ладога давно и активно осваиваются. Пробы отбирались в трех точках на различных участках акваторий каждого из озер.

Полученные результаты позволили выявить особенности влияния природных и антропогенных факторов на озерные экосистемы в различных природных ландшафтах. Установлена доминирующая роль природных факторов, в первую очередь геохимии ландшафта и морфометрии озерной котловины, в формировании фосфорного запаса и соотношении форм фосфора на различных участках дна исследованных озер. Содержание TP варьирует в основном в интервале 0,62–2,64 мг/г в.с.н. Исключением является проба, отобранная в зоне расположения монимолимниона меромиктического оз. Узкого, то есть в застойной анаэробной зоне, где выявлено самое высокое содержание фосфора как для оз. Узкого, так и для всех исследованных озер — 7,05 мг/г. Наименьшая доля органического фосфора (16–40% TP) относится к озерам озерно-ледниковых песчаных равнин и сельгового ландшафта, наибольшая (61–75% TP) — к ландшафту моренных заболоченных равнин.

В ходе палинологического анализа, помимо пыльцы и спор, определялись непыльцевые палиноморфы, являющиеся дополнительным источником информации. Результаты анализа субрецентных проб сопоставлялись с имеющимися данными по колонкам донных отложений. Сделано предварительное заключение о незначительном влиянии антропогенных факторов на развитие биоты и качество воды изученных озер. Однако выявлено влияние на изменение состава биоты, особенно это касается растительного покрова. Отмечено изменение характера растительности в связи с хозяйственной деятельностью человека на водосборах озер (вырубками, земледелием, лесопосадками, рекреационной деятельностью, пожарами). Так, для некоторых озер установлено соответствие субрецентных палиноспектров окружающей растительности, но не природной зоне средней тайги, где расположены все изученные озера.

Исследования выполнены по теме государственного задания ИНОЗ РАН — СПб ФИЦ РАН № FFZF-2024-0002.

Литература

Исаченко А.Г. Ландшафты // Природа Ленинградской области и ее охрана. Л.: Лениздат, 1983. С. 164–175.

Сапелко Т.В. Индикация изменений природной среды и уровня антропогенной нагрузки на озерные ландшафты по донным отложениям озер: новый методический подход // Новые методы и результаты исследований ландшафта в Европе, Центральной Азии и Сибири. Монография. В 5 томах / под ред. В.Г. Сычева, Л. Мюллера. М., 2018. Т. 2. С. 420–424.

Ding W., Xu Q., Tarasov P.E. Examining bias in pollen-based quantitative climate reconstructions induced by human impact on vegetation in China, Clim. Past. 2017. Vol. 13. P. 1285–1300.

Fan B., Lu H., Li Y. et al. A novel approach for quantitatively distinguishing between anthropogenic and natural effects on paleovegetation // PNAS Nexus. 2024. Vol. 3, N 4: pgae135.

СУБПРИЛИВНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СТРУКТУРЫ ВОД В ГУБЕ ЧУПА БЕЛОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ПОДЛЕДНЫХ КОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Е. И. Свергун [1, 2]*, А. В. Зимин [1, 3], А. А. Коник [1, 4], А. В. Толстиков [5], Р. Э. Здоровеннов [5]

[1] *Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия*
[2] *Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия*
[3] *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*
[4] *Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия*
[5] *Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия*

* *e-mail: egor-svergun@yandex.ru*

SUB-TIDAL VARIABILITY OF WATER STRUCTURE IN THE CHUPA ESTUARY OF THE WHITE SEA ACCORDING TO UNDER-ICE IN SITU MEASUREMENTS

E. I. Svergun, A. V. Zimin, A. A. Konik, A. V. Tolstikov, R. E. Zdorovennov

Рассматриваются результаты многосуточных подледных измерений на автономной буйковой станции из четырех CTD-зондов в губе Чупа Белого моря на Беломорской биологической станции «Картеш». Результаты измерений продемонстрировали колебания температуры, солености и плотности с периодом около 12 час., на фоне которых отмечаются короткопериодные колебания с периодом от 20 до 40 мин. и амплитудой до 2 м. Сопоставление с данными приливной модели Ark2KM_TM показало, что такие колебания возникают при смене направления приливных течений.

Субприливная изменчивость структуры вод Белого моря, в частности под влиянием короткопериодных внутренних волн (КВВ), довольно активно изучалась в летне-осенний период по данным контактных измерений и спутниковых наблюдений (Zimin et al., 2016; Kozlov et al., 2022; Зимин и др., 2024). В зимне-весенний период особенности стратификации и наличие ледяного покрова делают невозможной регистрацию проявлений КВВ на поверхности спутниковыми методами и затрудняют контактные измерения. Актуальность изучения субприливных процессов в зимне-весенний период связана с подледным развитием фитопланктона и возможным влиянием КВВ на его перераспределение. Представляет интерес изучение особенностей субприливной изменчивости вод в устьевых районах Белого моря, где под влиянием прилива происходит взаимодействие морских и речных вод и, как следствие, значительная трансформация их гидрологической структуры (Ионов и др., 2017). Кроме того, действием прилива обусловлена динамика питательных веществ в устьевых районах (Dale, Prego, 2003). В данной работе будут рассмотрены особенности субприливной изменчивости структуры вод по результатам многосуточных подледных контактных измерений, выполненных в марте 2023 г. в губе Чупа Белого моря на Беломорской биологической станции «Картеш».

Измерения выполнялись с 22 по 25 марта 2023 г. в точке с глубиной места около 30 м. Со льда устанавливалась автоматическая буйковая станция (АБС) в составе CTD-зондов CastAway (США), которые располагались на горизонтах 1 и 14 м, CTD48M (Германия) на горизонте 21 м и CTD90M (Германия) на горизонте 28 м. Дискретность измерений зондами CastAway составляла 0,25 с, зондами CTD48M и CTD90M — 5 мин. Результаты измерений впоследствии приводились к единой дискретности в 5 мин. и объединялись для построения записей колебаний изолиний температуры, солености и плотности без интерполяции

по времени. Для сопоставления результатов измерений с ходом вектора приливных течений использовалась региональная приливная модель Ark2KM_TM (https://www.esr.org/research/polar-tide-models/list-of-polar-tide-models/arc2kmtm/).

В результате CTD-зондирования перед постановкой АБС установлено, что распределение температуры близко к гомотермии со средним значением –0,3 °С. Распределение солености и плотности близко к устойчивой линейной стратификации. На горизонте 1 м соленость составляет 26,4 ЕПС, а плотность — 1022,1 кг/м^3. На горизонте 28 м достигает 27,1 ЕПС, а плотность — 1021,9 кг/м^3. Градиент солености составляет 0,03 ЕПС/м, а плотности — 0,03 кг/м^4. Средняя частота Вяйсяля-Брента равна 5 циклов/час.

Анализ записей изотерм продемонстрировал изменчивость вертикальной структуры вод от гомотермии до устойчивой стратификации с периодом около 12 час. Записи изолиний солености и плотности также демонстрируют длиннопериодную изменчивость с периодом около 12 час. При этом соленость верхнего слоя меняется от 25,6 до 26,4 ЕПС, а плотность — от 1020,6 до 1021,4 кг/м^3. На фоне этой изменчивости происходят регулярные (каждые 12 час.) короткопериодные колебания изолиний с амплитудой до 2 м и периодом от 20 до 40 мин.

Было выполнено сопоставление записей колебаний изолиний с ходом вектора приливных течений по модели Ark2KM_TM в ближайшей точке в Кандалакшском заливе. Установлено, что длиннопериодные колебания изолиний солености и плотности хорошо соответствуют ходу вектора приливных течений гармоники M2. Короткопериодные колебания возникают, когда происходит смена направления приливных течений, а периоды гомотермии наблюдаются, когда приливное течение близко к максимальному (до 10 см/с) и направлено от берега.

Таким образом, под влиянием прилива происходят существенные изменения вертикальной структуры вод, сопровождаемые короткопериодными колебаниями. Такие изменения могут быть обусловлены переносом под действием прилива трансформированных речных вод, например р. Керети, устье которой расположено относительно близко к точке выполнения измерений.

Дальнейшие исследования предусматривают спектральный и вейвлет-анализ полученных временных рядов, а также анализ биогеохимических эффектов, включая влияние на распределение планктона и перенос взвесей.

Обработка результатов измерений выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН FMWE-2024-0028.

Литература

Зимин А. В., Атаджанова О. А., Свергун Е. И., Коник А. А. Изменчивость гидрофизических полей под влиянием прилива в области стокового фронта в Онежском заливе Белого моря по данным наблюдений, выполненных в июне 2023 года // Арктика и инновации. 2024. Т. 2, № 4. С. 17–29.

Ионов В. В., Май Р. И., Рубченя А. В., Смагин Р. Е. Гидродинамика полуизолированных приливных акваторий Кандалакшского залива Белого моря // Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 23–24 ноября 2027 г.). СПб.: РГГМУ, 2017. С. 242–245.

Dale A. W., Prego R. Tidal and seasonal nutrient dynamics and budget of the Chupa Estuary, White Sea (Russia) // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2003. Vol. 56, N 2. P. 377–389.

Zimin A. V., Kozlov I. E., Atadzhanova O. A., Chapron B. Monitoring short-period internal waves in the White Sea // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2016. Vol. 52, N 9. P. 951–960.

Kozlov I. E., Atadzhanova O. A., Zimin A. V. Internal solitary waves in the White Sea: Hot-spots, structure, and kinematics from multi-sensor observations // Remote Sensing, 2022. Vol. 14, N 19: 4948.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ВОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК СТЕПНОЙ ЗОНЫ (НА ПРИМЕРЕ РЕК УРАЛ И ТОБОЛ)

Ж. Т. Сивохип

Институт степи УрО РАН, Оренбург, Россия

e-mail: sivohip@mail.ru

SPATIAL DIFFERENTIATION OF THE WATER RESOURCE POTENTIAL OF TRANSBOUNDARY RIVERS IN THE STEPPE ZONE (USING THE URAL AND TOBOL RIVERS AS AN EXAMPLE)

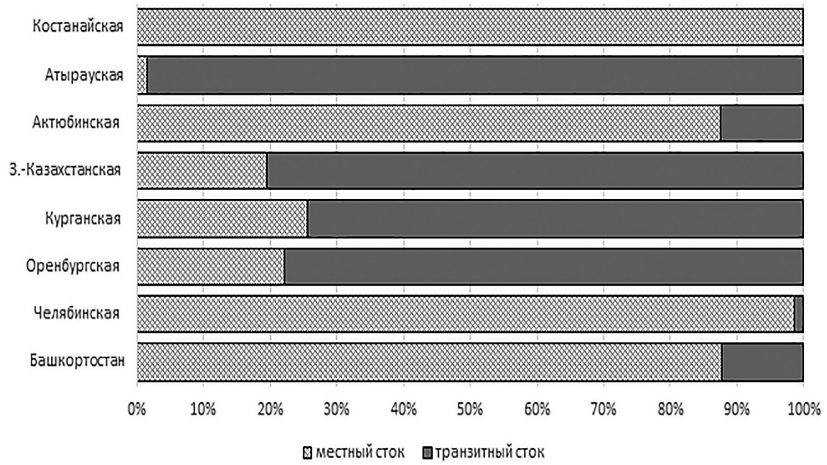
Zh. T. Sivokhip

Представлены результаты комплексной оценки водно-ресурсного потенциала трансграничных бассейнов рек Урал и Тобол (в пределах степной зоны) и его пространственной специфики. Актуальность проведения данного исследования определяется расположением большей части исследуемой территории в пределах засушливых и вододефицитных регионов Российской Федерации и Республики Казахстан. Дана характеристика современного состояния водных ресурсов трансграничных бассейнов рек Урал и Тобол с учетом транзитного и местного стока. Сделаны выводы о необходимости разработки комплексных мероприятий, направленных на оптимизацию структуры водопотребления в регионах трансграничных бассейнов степной зоны.

Оперативное решение проблем гарантированной доступности населения и экономики к качественным водным ресурсам актуально для многих регионов мира. К территориям, характеризующимся значительной пространственной дифференциацией водно-ресурсного потенциала, относятся трансграничные бассейны рек Урал и Тобол (в пределах степной зоны), ресурсы речного стока которых имеют важное водохозяйственное значение для регионов Российской Федерации и Республики Казахстан. Основная доля ресурсов речного стока в бассейне р. Урал формируется в пределах российского участка (73 % в Оренбургской области). Объем среднегодового стока в границах Российской Федерации составляется 10,5 км^3/год, изменяясь в годы характерной водности 25, 50, 75 и 95 % обеспеченностей — 13,8; 9,2; 6,2; 3,8 км^3, соответственно (Прохорова, Косолапов, 2011). Водосборная территория р. Урал в пределах Республики Казахстан включает Актюбинскую, Западно-Казахстанскую и Атыраускую области. Суммарный объем речного стока в створе Кушум (Западно-Казахстанская область) по состоянию на 2023 год составляет 8,7 км^3/год. Ниже п. Кушум формируется «зона потерь» стока, в пределах которой объем годового стока может сокращаться до 20 %. По данным (Шикломанов, 1979), в многоводные годы (P = 5 %) величина потерь может увеличиваться до 1,8–2,0, а в маловодные (P = 95 %) сокращаться до 0,2–0,3 км^3/год.

Верховья трансграничного бассейна р. Тобол расположены в пределах степной зоны Костанайской области Республики Казахстан — в створе г. Костанай среднемноголетние объемы стока (1933–2023 гг.) составляют 0,35 км^3. Важно отметить, что сток верхнего течения бассейна р. Тобол в пределах степной зоны формируется в том числе и на территории Российской Федерации — исток р. Тобол находится в Оренбургской области (входной створ в Республику Казахстан — п. Аккарга) и притоки Аят (с. Варваринка), Уй с притоком Тогузак (с. Тогузак), Желкуар (п. Чайковский) берут начало в Челябинской области. Среднемноголетние значения транзитного стока с территории Российской Федерации изменяются от 0,07 км^3 в 2022 г. до 0,43 км^3 в 2004 г.

Пространственно-временная изменчивость ресурсов речного стока степной зоны в первую очередь усугубляет водно-экологическую ситуацию в регионах с низкой долей ресурсов местного стока (рис.).



Соотношение местного и транзитного стока в регионах
трансграничных бассейнов рек Урал и Тобол (в пределах степной зоны)

Согласно данным рис., высокой долей местного стока (более 50%) характеризуются Республика Башкортостан, Челябинская и Костанайская области. Регионы, расположенные в среднем и нижнем течении исследуемых бассейнов, отличаются значительной зависимостью от притока воды из соседних регионов. Минимальная доля местного стока наблюдается в Курганской (5–20%) и Атырауской (не более 1%) области.

Таким образом, водно-ресурсный потенциал регионов степной зоны в пределах трансграничных бассейнов рек Урал и Тобол характеризуется значительной пространственной дифференциацией (Сивохип, Павлейчик, 2022). В настоящее время формирование речного стока степной зоны происходит на фоне кардинальных изменений глобальной климатической системы и интенсивной перестройки водно-хозяйственного комплекса. Для отдельных участков исследуемых бассейнов проблемы гарантированного водообеспечения могут усугубляться значительной зависимостью от поступления речного стока с территории сопредельных регионов и государств. Соответственно, в регионах трансграничных бассейнов рек Урал и Тобол назрела необходимость разработки комплексных программ использования ресурсов речного стока, основу которых должен составлять бассейновый подход. Применение бассейнового подхода обеспечит проведение комплексной оценки актуального состояния водно-ресурсного потенциала с учетом современных изменений условий формирования стока и региональных особенностей водохозяйственного комплекса в пределах Российской Федерации и Республики Казахстан.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственной темы ИС УрО РАН № 126013016160-7 «Геоэкологические основы и технологические аспекты оптимизации природопользования в степных регионах России и сопредельных территорий».

Литература

Прохорова Н. Б., Косолапов А. Е. Современный водохозяйственный баланс реки Урал на территории Российской Федерации // Водное хозяйство. 2011. № 2. С. 4–20.

Сивохип Ж. Т., Павлейчик В. М. Современное состояние и использование водных ресурсов трансграничных рек степной зоны // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. № 2. С. 95–110.

Шикломанов И. А. Антропогенные изменения водности рек. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 301 с.

МАКРОЗООБЕНТОС ОЗЕРА ВЫГОЗЕРО (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

А. И. Сидорова

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

e-mail: bolt-nastya@yandex.ru

MACROZOOBENTHOS OF LAKE VYGOZERO (REPUBLIC OF KARELIA)

A. I. Sidorova

Характеристика глубоководного макрозообентоса оз. Выгозеро основана на анализе 180 количественных проб с 1974 по 2022 гг. на мониторинговых точках в различных районах водоема. Впервые за 50 лет исследования донных сообществ в пробах обнаружен единственный экземпляр амфиподы *Monoporeia affinis,* которые в 1970-е гг. были обычны для озера, но в небольших количествах. Возможно, обнаружение реликтовой амфиподы в Выгозере является следствием деэвтрофирования водоема. Уровень количественного развития глубоководного макрозообентоса снижается. Впервые в 2025 г. на литорали озера обнаружена чужеродная амфипода *Gmelinoides fasciatus.*

Озеро Выгозеро (водохранилище) расположено на арктической территории, севере европейской части России, и является компонентом Беломорско-Балтийского водного пути.

Характеристика глубоководных донных ценозов основана на анализе количественных проб макрозообентоса, отобранных на мониторинговых точках Выгозерского водохранилища. Были обнаружены животные следующих систематических групп: личинки двукрылых насекомых семейства Chironomidae, малощетинковые черви Oligochaeta и двустворчатые моллюски Bivalvia.

Анализ собранного материала не выявил каких-либо заметных изменений ни в составе, ни в соотношении трех основных групп животных, слагающих сообщество. За 50 лет исследования донных сообществ обнаружен единственный экземпляр амфиподы *Monoporeia affinis* (Lindström 1855), которые в 1970-е гг., по литературным сведениям, были обычны для водоема, но в небольших количествах. Возможно, обнаружение реликтовой амфиподы является следствием деэвтрофирования водоема. В целом уровень количественного развития макрозообентоса снижается за период исследования с 1974 г. по настоящее время.

Было проведено исследование литоральной зоны оз. Выгозеро в июне 2025 г. Показано, что впервые идентифицирован чужеродный вид *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing 1899) (Crustacea: Amphipoda) в районе, близко расположенном к судоходным путям. Довольно быстрое расселение байкальского вида на литорали других водоемов дает основание предполагать, что в ближайшие годы эти амфиподы могут колонизировать всю прибрежную зону водоема.

Исследование выполнено при финансовой поддержке тем государственного задания FMEN-2026-0008 и FMEN-2021-0007 КарНЦ РАН.

ОПЫТ СОТРУДНИЧЕСТВА ИВПС КАРНЦ РАН И ООПТ НА ПРИМЕРЕ ЗИМНИХ ЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ ШКОЛ 2025, 2026 ГГ.

А. И. Сидорова

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

e-mail: bolt-nastya@yandex.ru

EXPERIENCE OF COOPERATION BETWEEN THE NORTHERN WATER PROBLEMS INSTITUTE OF THE KARELIAN RESEARCH CENTRE OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES AND PROTECTED AREAS ON THE EXAMPLE OF THE WINTER LIMNOLOGICAL SCHOOLS OF 2025 AND 2026

A. I. Sidorova

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН организовал и провел две Зимние лимнологические школы-практики в 2025 и 2026 гг. Мероприятия стали возможными при поддержке ФГБУ Объединенная дирекция Государственного природного заповедника «Костомукшский» и национального парка «Калевальский», Государственного автономного учреждения дополнительного профессионального образования Республики Карелия «Карельский институт развития образования» и Карельского отделения Русского географического общества.

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (ИВПС КарНЦ РАН) совместно с ФГБУ Объединенная дирекция Государственного природного заповедника «Костомукшский» и национального парка «Калевальский», а также с Государственным автономным учреждением дополнительного профессионального образования Республики Карелия «Карельский институт развития образования» (КИРО) организовал и провел два научно-образовательных мероприятия «Зимняя лимнологическая школа-практика» в 2025 и 2026 гг.

Зимняя лимнологическая школа-практика — это традиционное мероприятие ИВПС КарНЦ РАН, которое стартовало в 2006 г. при тесном сотрудничестве с Университетом Хельсинки и проходило на базе биологической станции Ламми (Финляндия).

В 2025 г. участниками школы-практики стали: 14 учителей из различных районов Республики Карелия, 10 студентов из ПетрГУ (Петрозаводск) и РГГМУ (Санкт-Петербург), 1 аспирант. В 2026 г. принимали участие учителя из различных районов Республики Карелия, студенты г. Москвы, магистранты г. Санкт-Петербурга, школьники, преподаватели, в том числе с МГИМО МИД г. Москвы, а также сотрудники ООПТ.

Основная цель научно-образовательного мероприятия — создание/повышение навыков проведения полевых исследований по разным дисциплинам изучения водных объектов.

Участниками были освоены различные методики отбора гидрохимических и гидробиологических проб в глубоководной и прибрежной части на озерах Контоккиярви, Каменное и р. Контокки, проведения гидрофизических измерений, разбора проб в лабораторных условиях, анализа данных и представления полученных результатов.

В 2025 г. Зимняя лимнологическая школа-практика собрала на своих площадках более 30 участников. В 2026 г. на занятиях научных сотрудников ИВПС КарНЦ РАН побывало около 100 человек, от младших школьников до активных пенсионеров, включая непосредственных участников школы и сотрудников заповедника «Костомукшский».

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА МУНОЗЕРО

Ю. Л. Сластина

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

e-mail: jls@inbox.ru

THE CURRENT STATE OF PHYTOPLANKTON MUNOZERO

Yu. L. Slastina

Исследования фитопланктона были выполнены в оз. Мунозеро, входящем в состав заповедника «Кивач», нетипичном для Карелии по экологическим условиям водоеме, в период 2018–2024 гг. Проведен анализ таксономического состава, экологии и пространственной динамики фитопланктона. Рассмотрена сезонная динамика биомассы и численности водорослей южного и северо-западного плесов, испытывающих разную антропогенную нагрузку. Качество воды в северо-западном и южном плесах по величине индекса сапробности соответствует III классу вод, но значения биомассы характеризуют оба участка водоема как олиготрофные. Индекс Шеннона, количественные и структурные характеристики фитопланктона различаются в северо-западном и южном плесах, сезонная динамика нехарактерна для фитопланктона олиготрофного карельского озера.

Озеро Мунозеро отличается высокой минерализацией (до 100 мг/л), низкой цветностью и содержанием биогенов и органических соединений. Северная и северо-восточная части водоема входят в охранную зону заповедника «Кивач».

Сезонный отбор проб в вегетационный период 2018–2024 гг., охвативший несколько горизонтов водной толщи, позволил значительно пополнить существовавший ранее список видов фитопланктона от 29 до 183 таксонов водорослей рангом ниже рода, относящихся к 8 отделам (Комулайнен, 2006; Чекрыжева, 2007; Филатов, 2013). Соотношение таксонов в северо-западном и южном плесах отличается незначительно, за исключением представителей отдела зеленых водорослей, таксономическое разнообразие которых на 10 % выше в южном плесе, подверженном антропогенному воздействию. Снизилась доля от общего состава флоры крупноклеточных микропланктонных диатомовых, в 2 раза разнообразнее стала флора мелкоклеточных, преимущественно нанопланктонных зеленых в сравнении с данными начала XXI в. Многократно увеличилось разнообразие синезеленых, что также свидетельствует о процессах эвтрофирования в водоеме. Также в 2,5–3 раза увеличилось разнообразие динофитовых, являющихся пищей для веслоногих ракообразных, которые, в свою очередь, являются основным и излюбленным кормом личинок, молоди и взрослых особей многих видов планктоноядных рыб (Сластина, 2021).

Фитопланктон южной части оз. Мунозеро находится под антропогенным влиянием, что отражается в вариабельности структурного комплекса, сезонной динамике количественных характеристик. В северо-западной части озера по численности доминируют диатомовые (до 50 %) и синезеленые (до 27 %) водоросли, по биомассе динофитовые (25 %) и диатомовые (30 %). Основной вклад в численность южного плеса вносят синезеленые (до 40 %) и диатомовые водоросли (30 %), в биомассу — диатомовые (35 %) и криптофитовые (20 %).

В весенний доминирующий комплекс как в южном, так и в северном плесах входили диатомовые *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim., *Aulacoseira subarctica* (Mull.) Haw., *Aulacoseira islandica,* (Mull.) Sim., *Asterionella formosa* Hass., *Cyclotella comta* Kutz., *Synedra acus* Kutz., в северо-западном плесе доминантами по биомассе являлись динофитовые водоросли *Peridinium cinctum*, *Glenodinium quadridens* (Stein).Schil., а в южном плесе золотистые доминировали за счет представителей рода *Synura*.

Летом в северо-западном плесе доминирующий комплекс представлен синезелеными рода *Anabaena*, диатомовыми *Asterionella formosa*, *Cyclotella comta*, *Fragilaria crotonensis* Kit., динофитовой *Ceratium hirundinella* (Müll.) Dujar., видами рода *Peridinium*, золотистыми *Dinobryon divergens* Imh.. В южном плесе летом как по численности, так и по биомассе доминируют синезеленые, в основном *Dolicospermum spiroides* (Kleb.) Wack., а также те же виды диатомовых, что и перечисленные выше в северо-западном плесе.

Осенью в северо-западном плесе диатомовые доминируют за счет развития *Asterionella formosa* и видов рода *Cyclotella*, также доминируют динофитовые *Ceratium hirundinella* и виды рода *Peridinium*, синезеленые *Aphanocapsa delicatissima* West. В южном плесе осенью по биомассе доминируют виды рода *Cryptomonas*, золотистые родов *Synura* и *Dynobryon*, синезеленые *Aphanocapsa incerta* (Lemm.) Cronb., диатомовые за счет развития *Fragilaria crotonensis* и видов рода *Cyclotella*.

Индекс Шеннона характеризует сообщество фитопланктона северо-западного плеса как более разнообразное в сравнении с сообществом южного плеса. Показатели сапробности индикаторных видов характеризуют водоем в целом как умеренно загрязненный и незначительно увеличились в сравнении с предыдущим периодом изучения водоема. Значения численности и биомассы фитопланктона в 2018–2024 гг. выросли в среднем в 2,5 раза в сравнении с предыдущими исследованиями 2007 г. Полученные результаты свидетельствуют о возросшей антропогенной нагрузке на водоем, но не выходят за рамки естественных межгодовых колебаний развития фитопланктона и не являются критичными.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных проблем Севера Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН» «Функционирование экосистемы Онежского озера и озерно-речных систем его водосборной территории в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия», FMEN-2026-0011.

Литература

Комулайнен С. Ф., Чекрыжева Т. А., Вислянская И. Г. Альгофлора озер и рек Карелии. Таксономический состав и экология. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 78 с.

Сластина Ю. Л. Фитопланктон как компонент кормовой базы Мунозера (бассейн Онежского озера) // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия Рыбное хозяйство. 2021. № 2. С. 66–75.

Филатов Н. Н., Кухарев В. И. Озера Карелии: справочник. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.

Чекрыжева Т. А., Комулайнен С. Ф. Альгофлора озер и рек Республики Карелия (Россия) // Альгология. 2007. Т. 10, № 3. С. 319–334.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА И ФИТОПЕРИФИТОНА ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ БАССЕЙНА ОЗЕРА ВЫГОЗЕРО

Ю. Л. Сластина [1]*, С. Ф. Комулайнен [2]

[1] Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

[2] Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

** e-mail: jls@inbox.ru*

THE CURRENT STATE OF PHYTOPLANKTON AND PHYTOPERIPHYTON IN RESERVOIRS AND INFLOWS OF THE VYGOZERO BASIN

Yu. L. Slastina, S. F. Komulaynen

Исследования сообществ фитопланктона и фитоперифитона были выполнены в р. Нижний Выг, в водохранилище и шести притоках бассейна Выгозерского водохранилища в 2008–2025 гг., включали анализ таксономического состава, экологии и пространственной динамики гидробионтов. Обсуждаются основные принципы изменения структуры и функционирования фитоперифитона и фитопланктона в реках и водохранилище. Показано, что особенности ландшафта оказывают влияние на пространственную структуру сообществ гидробионтов в пределах конкретного водотока и водоема. В большинстве исследованных нами рек «классический» континуум нарушен наличием проточных озер и усилением антропогенной нагрузки.

Гидробиологические исследования на территории Карелии имеют давнюю историю, однако для многих водоемов и водотоков инвентаризация гидробионтов и оценка роли их сообществ в формировании трофической структуры водных экосистем всё еще актуальны. Выгозерское водохранилище создано в 1933 г. при строительстве Беломорско-Балтийского канала путем подпора р. Нижний Выг и оз. Выгозеро. В него впадает более 50 рек, сток из водохранилища происходит по шлюзованной реке Нижний Выг в Белое море (Ресурсы…, 1970). Материалом для настоящей работы послужили результаты исследований авторов, проведенных в 2008–2025 гг. на шести притоках Выгозерского водохранилища и р. Нижний Выг.

В фитоперифитоне исследованных рек определено 126 таксонов водорослей рангом ниже рода, относящихся к 9 отделам. В основном это единичные формы с низкими показателями численности. Более 50% видов зарегистрированы только на одной и 15% — на двух станциях. Зачастую это бентосные и планктонные виды. Кроме того, ограниченное распространение имеют многие арктоальпийские виды. Структуру фитоперифитона в реках определяют 11 видов (*Gonystomum semen* (Ehr.) Dies.; *Microcystis aeruginosa* Kütz., *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Sim., *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz, *T. flocculosa* (Roth.) Kütz, *Eunotia pectinalis* Kütz., *Cocconeis placentula* Ehr., *Achnanthes minutissima* Kütz., *Frustulia saxonica* Rabenh., *Zygnema* sp. и *Vaucheria* sp.), образуя более 10% его суммарной численности и биомассы.

Эколого-географические спектры доминирующего комплекса отличаются от выявленных для альгофлоры видов в целом. В его составе более разнообразны евперифитонные формы, а также при сохранении структуры географического спектра отмечается увеличение доли галофобных и ацидофильных форм (Комулайнен, 2006; Komulaynen, 2008). Численность водорослей в перифитоне была невысока, за исключением порогов, расположенных в населенных пунктах, где при оптимальной освещенности доминировали зеленые нитчатые водоросли. Размах колебаний численности в конце биологического лета достигал нескольких порядков — от $0{,}2 \times 103$ до 210×104 кл/см^2, биомасса изменялась от 0,01 до 35,4 мг/см^2 субстрата. Определение по индикаторным видам качества воды рек показало, что значения

индекса Сладечека изменяются от 0,5 до 1,0, а Трофического Диатомового Индекса (TDI) — от 1,4 до 2,2, что соответствует II–III классу и объясняется доминированием в перифитоне β-, β-O и O-сапробных видов.

В летний период 2017 г. в фитопланктоне Выгозерского водохранилища было выявлено 90, а в июле 2022 г.— 82 вида и внутривидовых таксона из 8 систематических отделов. Руководящий комплекс представлен диатомовыми *Aulacoseira islandica*, *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim., *Asterionella formosa* Hass. и *Tabellaria fenestrata*. В отдельных районах к доминантам присоединялись золотистые (*Dinobryon divergens* Imh.) и зеленые (*Monoraphidium contortum* (Thur.) Kom.-Legr., *Crucigenia tetrapedia* (Kirch.) West, *Coenococcus planctonicus* Kors. По биомассе их вклад был наибольшим в южной, по численности — в центре и северной части водоема. В центральном и северном районе в массе цианобактерии *Dolichospermum spiroides* (Kleb.) Wack., *Gloeocapsa limnetica* (Lemm.) Holler.

Общая численность фитопланктона Выгозеро в вегетационный период 2022 г. варьировала от 870 до 2940 тыс. кл/л, общая биомасса — от 0,6 до 1,9 мг/л. Высокая численность при незначительно увеличившейся биомассе объясняется развитием мелкоклеточных цианобактерий как летом 2017, так и в 2022 г. В начале 1970-х гг. и в 2007–2011 гг. по численности и по биомассе в водохранилище доминировал диатомовый комплекс (на 90–96 %), однако в августе 2017 г. и в июле 2022 г. заметную долю от общей численности составили цианобактерии, золотистые и зеленые водоросли (до 30 % в совокупности от общей численности), став содоминантами в сообществе (Вислянская, 2007).

Таксономический состав и количественные характеристики сообществ водных организмов в исследованных водоемах в целом типичны для водоемов Карелии, различия определяются их морфометрией, наличием проточных озер, степенью заболоченности водосборов и гидрологическим режимом конкретных участков.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных проблем Севера Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН» «Комплексные исследования устьевых областей и прибрежных вод Белого моря в условиях меняющегося климата и антропогенного воздействия», FMEN-2026-0008.

Литература

Вислянская И.Г. Фитопланктон // Состояние водных объектов Республики Карелия. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 147–151.

Комулайнен С.Ф., Чекрыжева Т.А., Вислянская И.Г. Альгофлора озер и рек Карелии. Таксономический состав и экология. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 78 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 2. Карелия и Северо-Запад. Л., 1972. 525 с.

Komulaynen S. Diatoms of periphyton assemblages of small rivers in north-western Russia // Stud. Trent. Sci. Nat. 2009. Vol. 84. P. 153–160.

ПЕРВЫЕ ПРЯМЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОЗЕРАХ НА СЕВЕРЕ КАРЕЛИИ

З. И. Слуковский [1, 2], **П. Н. Адамская** [2, 3]

[1] *Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия*
[2] *Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, Россия*
[3] *Филиал ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет», Апатиты, Россия*

e-mail: slukovsky87@gmail.com

THE FIRST DIRECT GEOLOGICAL EVIDENCE OF RARE EARTH ELEMENT GEOCHEMICAL ANOMALIES IN LAKES IN NORTHERN KARELIA

Z. I. Slukovskii, P. N. Adamskaia

Продолжена работа по анализу природных геохимических аномалий РЗЭ в донных отложениях озер, расположенных в северной части Карелии (Лоухский район). Впервые изучены породы безымянной сопки — возвышенности 197.3, где в породах (гранитоидах) установлены концентрации РЗЭ т 256 до 501 мг/кг, что в 1,4–2,7 раза выше среднего содержания РЗЭ в земной коре. Это дает основания полагать, что горные породы водосбора имеют прямое отношение к геохимическим аномалиям РЗЭ в современных осадках озер, расположенных вблизи возвышенности 197,3. На генетическую связь пород и отложений также указывают повышенные содержания Mo в гранитоидах и отложениях оз. Перманто. Ранее уже отмечались схожие закономерности на примере других объектов на севере России.

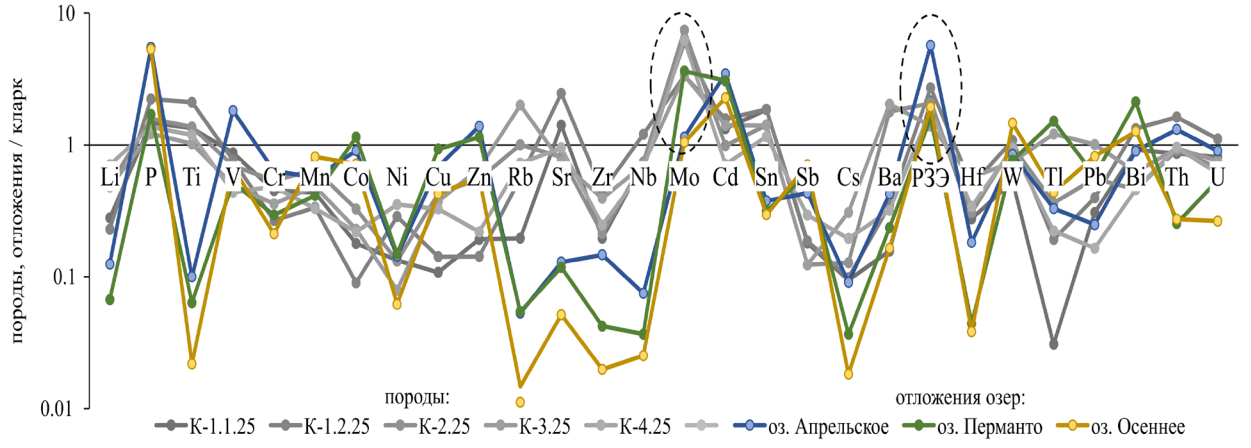
Исследования двух малых озер, Апрельское и Перманто, на севере Карелии (Лоухский район) выявили уникальные природные аномалии редкоземельных элементов (РЗЭ) в современных отложениях указанных водоемов (Slukovskii et al., 2025). Анализ колонок отложений показал, что валовое содержание РЗЭ в отложениях оз. Апрельского варьирует от 788 до 1916 мг/кг, а в отложениях оз. Перманто — от 197 до 356 мг/кг. В обоих случаях установлены разные по степени превышения над кларком земной коры, который составляет для РЗЭ 184,3 мг/кг.

Анализ геологической литературы показал, что озера Апрельское и Перманто находятся в зоне распространения архейской тоналит-трондьемит-гранодиоритовой ассоциации, породы которой могут быть обогащены различными элементами, включая Cr, Ni, Rb, РЗЭ и др. (Чекулаев и др., 2022). Кроме этого, к северо-востоку от озер отмечаются выходы щелочно-габбровых расслоенных интрузивов с карбонатитами, и с этими породами связаны месторождения и рудопроявления Ce, Zr, Nb, Ta, La, Ce, Y, Zr, Hf и Be (Щипцов, Иващенко, 2018). Однако прямых свидетельств о влиянии пород и отложений водосборной площади на появление аномалий РЗЭ в отложениях изучаемых озер не было.

В 2025 г. был проведен рекогносцировочный маршрут по исследованию возвышенности 197,3, распложенной в 600 м к югу от оз. Перманто и в 1,4 км к востоку от оз. Апрельского. Площадь возвышенности составляет всего 0,6 км^2. С геологической точки зрения, возвышенность представляет собой цокольное поднятие, денудационный останец, сложенный кристаллическими породами мигматит-плагиогранитового комплекса возраста верхнего карелия, частично перекрытыми тонким слоем песков, суглинков и супесей. В ходе полевых работ было произведено опробование коренных выходов, в результате чего сформирована коллекция из пяти образцов — К1.1, К1.2, К2, К3, К4. Классификация пород выполнена с использованием диаграммы QAPF (Streckeisen, 1974), рекомендованной Международным союзом геологических наук (IUGS) с учетом последующих уточнений.

Полученные петрохимические данные позволяют предположить, что изученная ассоциация пород отражает направленную эволюцию гранитоидного расплава (Шарков, 2006). Наиболее базитовым представителем серии является тоналит (обр. К1.1), характеризующий ранние этапы магматической дифференциации и выступающий в ассоциации с кварцевым диоритом (обр. К1.2). Переход к более кислым разностям маркируется монцогранитом (обр. К1, К4), формирование которого соответствует этапу существенного обогащения кремнеземом и щелочными элементами.

Анализ содержания микроэлементов в изученных образцах пород выявил повышенные над кларком концентрации P, Ti, Rb, Sr, Nb, Mo, Cd, Sn, Ba, РЗЭ, Tl, Th и U (рис.). Содержание РЗЭ в породах варьирует от 256 до 501 мг/кг, что в 1,4–2,7 раза выше кларка. Наибольшие концентрации РЗЭ установлены в образце К1.2 (кварцевый диорит). Сравнение геохимических особенностей пород и отложений озер вблизи возвышенности 197,3 показали, что валовые концентрации РЗЭ в породах наиболее близки к уровню содержания РЗЭ в отложениях оз. Перманто и оз. Осеннего (новый водоем). Во втором концентрация РЗЭ составляет 358 мг/кг. При этом концентрации РЗЭ в современных отложениях оз. Апрельского сильно отличаются от остальных изученных образцов отложений и горных пород. Вероятно, рядом существует еще один геологический источник поступления РЗЭ, ближе к расположению оз. Апрельского.



Нормированные на кларк концентрации микроэлементов в отложениях озер и горных пород возвышенности 197,3. Данные представлены в логарифическом виде

Следует обратить внимание еще и на повышенные концентрации Mo в породах возвышенности 197,3, что свойственно для кислых изверженных пород, в частности гранитоидов. При этом в озерах геохимическая аномалия по Mo фиксируется только в оз. Перманто, которое наиболее близко расположено к массиву. Следует учитывать и этот геохимический факт при планировании будущих полевых работ данного района.

Исследования выполнены в рамках темы государственного задания Института геологии КарНЦ РАН FMEN-2023-0008.

Литература

Чекулаев В. П., Арестова Н. А., Егорова Ю. С. Архейская тоналит-трондьемит-гранодиоритовая ассоциация Карельской провинции: геология, геохимия, этапы и условия образования // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2022. 30 (4). С. 3–21.

Шарков Е. В. Формирование магматических серий. М.: Наука, 2006. 488 с

Щипцов В. В., Иващенко В. И. Минерально-сырьевой потенциал арктических районов Республики Карелия // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2018. № 2. С. 3–33.

Slukovskii Z., Dauvalter V., Shelekhova T. Anomalies of rare earth elements and heavy metals/metalloids in modern sediments of small lakes in the north of Karelia (Arctic): geology and technogenesis influence // Environmental Earth Sciences. 2025. Vol. 84: 68.

Streckeisen A. L. Classification and Nomenclature of Plutonic Rocks Recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks // Geologische Rundschau. 1974. Vol. 63. P. 773–786.

МЕТОДОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕР МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ (АРКТИКА)

З. И. Слуковский*, В. А. Даувальтер, П. Н. Адамская, Д. Б. Денисов

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, Россия

** e-mail: slukovsky87@gmail.com*

METHODOLOGY AND RESULTS OF ASSESSING BACKGROUND CONCENTRATIONS OF TRACE ELEMENTS IN LAKE SEDIMENTS OF THE MURMANSK REGION (ARCTIC)

Z. I. Slukovskii, V. A. Dauvalter, P. N. Adamskaia, D. B. Denisov

Проведены масштабные исследования по оценке регионального геохимического фона микроэлементов в современных отложениях озер Мурманской области. В результате работы были изучены данные, полученные в ходе полевых работ в 2018–2024 гг., а также архивные данные, что позволило создать базу из 417 образцов из 53 озер арктического региона. Отбор данных для расчета фона производился на основе палеолимнологического принципа, позволяющего отсечь слои отложений, которые загрязнены в результате антропогенной деятельности. Полученные фоновые концентрации элементов далее были использованы для расчета формул геохимических ассоциаций в отложениях исследованных озер, а также для сопоставления итоговых расчетов с геологией Мурманской области, а именно с картой основных металлогенических зон региона.

Анализ фоновых концентраций химических элементов, в том числе тех, которые относятся к разряду загрязнителей окружающей среды, — важная задача в ходе геоэкологических исследований. При изучении формаций, способных аккумулировать вещества и элементы, поступающие в них извне, фон является важным репером для оценки уровня нагрузки (например, антропогенной), на природные объекты. К числу таких формаций относятся донные отложения (ДО) водных объектов, включая озера.

Исследования фоновых концентраций элементов имеют и другую практическую значимость: современные отложения можно использовать в поисковых геологических исследованиях с целью локализации ареалов рассеяния тех или иных металлов и выявления месторождений. Учитывая то, что Мурманская область — регион России, имеющий большой ресурсный потенциал, второй практический аспект исследования геохимии ДО озер имеет для этого арктического субъекта РФ крайне большое значение.

В основу работы легли исследования, проводившиеся на озерах Мурманской области в 2018–2024 гг. в рамках различных проектов силами сотрудников Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН. Отбор современных ДО озер проводился в летнее и зимнее время при помощи пробоотборников гравитационного типа (системы Скогхейма и системы Limnos). Отбор геохимических данных для расчета фоновых концентраций редких элементов производился исходя из палеолимнологического принципа. Он заключается в том, чтобы учитывать вертикальное распределение маркерных элементов (Pb, V, Ni, Cu, Sb, Cd, Hg) техногенного влияния на озера в изученных колонках ДО. В первую очередь это связано с эффектом дальнего переноса загрязнителей, отмечаемого в Северном полушарии Земли из-за начала активного развития промышленности в Европе и Северной Америке в XIX веке.

Также в работе были использованы архивные пробы ДО озер Мурманской области из коллекции Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, предоставленные для работы В. А. Даувальтером, одним из автором публикации. Отбор образцов в данном случае проходил по описанному выше палеолимнологическому принципу, учитывая

задокументированную степень антропогенной нагрузки на эти озера. Преимущественно фоновые слои отложений озер из архива были с глубин от 14 до 25 см, а фоновые слои ДО озер из данных 2018–2024 гг. — с глубин от 6 до 55 см, хотя большинство образцов, отобранных для расчета фона, были с глубин слоев отложений 21–25 см (20%) и 26–30 см (19%).

Все исследованные в работе образцы ДО прошли одну и ту же процедуру подготовки к анализу, включающую просушку при температуре ~105 °C и истирание до порошкообразного состояния. Анализ химических элементов в ДО проводился с помощью масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой XSeries-2 в аналитическом центра Института геологии Карельского научного центра РАН. Подробная методика с указанием принципов работы ICP-MS и погрешностями измерения описана в более ранней работе одного из авторов (Шелехова и др., 2020).

В результате сложения всех данных (всего 417 проб ДО 53 озер) были рассчитаны основные статистические параметры. В качестве основного вычисляемого параметра, который и служит итоговым фоном для всех озер по каждому элементу, была выбрана медиана (x_{Me}), которая в отличие от среднеарифметического более устойчива к экстремально высоким значениям в выборках.

Результаты расчета фона ДО озер Мурманской области показали, что общая (по медиане) природная распространенность изученных микроэлементов в осадках близка к аналогичному показателю для верхней части земной коры (кларк) в целом. Набольшее распространение в обоих случаях имеют Ti, P, Ba, Mn, Zn, Sr и V, наименьшее — Tm, W, Cd, Lu, Tl, Sb и Bi. Сравнение полученных данных с кларком выявило, что медианные концентрации элементов в ДО озер Мурманской области в основном находятся ниже уровня этих же элементов в верхней части земной коры. Небольшое обогащение отмечается лишь для Mo, Cd, U, Zn, суммы редкоземельных элементов (РЗЭ) и Cu. Также установлена общность трендов накопления микроэлементов в ДО озер Мурманской области с отложениями озер Республики Карелия, имеющей схожую геологию.

В северной части Мурманской области были выявлены озера с повышенным (выше-кларковым) содержанием в ДО U и Mo. Аномалии обоих элементов связаны с породами Лицевского геологического района (Каулина и др., 2021). Также на севере Мурманской области (на полуострове Средний) были обнаружены повышенные по сравнению с кларком концентрации Pb, Zn и Cd в осадках оз. Питьевого. Рабочими гипотезами происхождения этих аномалий являются влияние Zn-Pb-рудопроявлений вблизи водоема (1) и/или влияние фосфатсодержащих пород на водосборе, учитывая, что эти образования могут концентрировать с себе Cd и ряд других микроэлементов.

Далее, используя уже данные по рассчитанному фону, были получены геохимические формулы основных ассоциаций микроэлементов в ДО озер Мурманской области. Например, в осадках озер, расположенных в зоне влияния пород апатит-нефелиновой металлогенической зоны (Хибины, Ловозерские тундры), формулы отражают повышенное содержание в ДО Nb, W, Zr, Hf, Mo и редкоземельных металлов. Анализ геологической литературы показывает, что в породах этих районов ранее были установлены аномальные (до уровня месторождений и рудопроявлений) концентрации указанных элементов. Все геохимические данные по геохимии фоновых слоев ДО озер были вынесены на карту металлогенических зон, чтобы наилучшим образом оценивать влияние тех или иных пород на формирование современного облика изучаемых отложений.

Исследования выполнены в рамках проекта РНФ № 24-17-20006.

Литература

Каулина Т. В., Афанасьева Е. Н., Ильченко В. Л. и др. Лицевский урановорудный район. М.: ГЕОС, 2021. 136 с.

Шелехова Т. С., Слуковский З. И., Лаврова Н. Б. Методы исследования донных отложений озер Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020. 111 с.

МНОГОЛЕТНЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИТОПЛАНКТОНА КОНДОПОЖСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА В УСЛОВИЯХ МНОГОФАКТОРНОГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В. С. Смирнова

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

e-mail: smirnovaLera24@yandex.ru

LONG-TERM CHANGES IN THE STRUCTURE AND QUANTITATIVE INDICATORS OF PHYTOPLANKTON IN THE KONDOPOGA BAY OF LAKE ONEGO UNDER CONDITIONS OF MULTIFACTORIAL ANTHROPOGENIC IMPACT

V. S. Smirnova

Получены данные по количественному развитию, структуре и доминирующему комплексу летнего фитопланктона Кондопожской губы Онежского озера с 2018 по 2024 гг. Отмечено значимое увеличение показателей развития некоторых групп микроводорослей в центральной (глубоководной) части Кондопожской губы из-за функционирования форелевых ферм. Фитоценоз вершинной части залива в целом остается без изменений. Количественное развитие фитопланктона Кондопожской губы Онежского озера остается на уровне мезотрофии.

Одним из главных источников загрязнения Кондопожской губы Онежского озера является Кондопожский целлюлозно-бумажный комбинат, расположившийся на побережье вершинной части залива. В результате загрязнения воды сточными водами ЦБК были выявлены поэтапные изменения в количественном развитии фитопланктона на протяжении всего вегетационного периода (Чекрыжева, 2008), однако наиболее яркие структурные преобразования были отмечены в летний период вегетации. В настоящее время в прибрежье центральной части Кондопожской губы формируется зона загрязнения, где активно функционируют садковые форелевые хозяйства (СФХ). Цель настоящего исследования — изучить современное состояние летнего альгоценоза Кондопожской губы Онежского озера и его возможные изменения в результате многофакторного антропогенного воздействия.

Пробы воды для анализа фитопланктона были отобраны в июле — августе с 2018 по 2024 гг. с поверхностного горизонта (0,5 м) в вершинной, центральной части, во внешней части залива (выход из залива), а также в районе расположения СФХ. Обработка проб осуществлялась в соответствии с общепринятыми методами (Руководство…, 1992).

В составе летнего фитопланктона за 2018–2024 гг. в исследуемых районах Кондопожской губы Онежского озера было идентифицировано 202 таксона, принадлежащих к 8 систематическим отделам: Bacillariophyta — 70; Chlorophyta — 54; Cyanobacteria — 27; Chrysophyta — 30; Euglenophyta — 5; Cryptophyta — 9; Dinophyta — 6; Xantophyta — 1.

Главными доминантами на всех изученных участках Кондопожской губы Онежского озера, как и ранее, являлись виды диатомовых водорослей — *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Sim., *Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Haworth emend Genkal, *Asterionella formosa* Hass., *Fragilaria crotonensis* Kitt., *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz.

В период исследования (2018–2024 гг.) в фитоценозе Кондопожской губы Онежского озера по численности преобладали Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria и Chrysophyta. Из-за крупных размеров клеток по биомассе в основном доминировали диатомовые водоросли (до 95 %). Однако в центральной части залива мелкоклеточные Chlorophyta и Cyanobacteria по биомассе могли достигать до 21 и 14 % соответственно,

а в районе расположения форелевых ферм — до 23 % (Chlorophyta) и 27 % (Cyanobacteria). В наименьшем количестве по акватории всего залива присутствовали Dinophyta, Cryptophyta, Euglenophyta, Xantophyta.

Несмотря на значительное сокращение фосфорной нагрузки от сточных вод ЦБК с 1990-х гг. по настоящее время значимых изменений в сообществе фитопланктона по сравнению с ранними наблюдениями (1991–2008 гг.) в вершинной части Кондопожской губы Онежского озера не было отмечено ($p < 0,05$; $n = 18$). Однако в прибрежье центральной части Кондопожской губы, в районе расположения СФХ, была обнаружена зона эвтрофирования. Формирование этой зоны связано с деятельностью форелевых хозяйств. Подтверждением служат обнаруженные в районе расположения СФХ высокие концентрации общего фосфора (Zobkov et al., 2022). Количественный уровень развития фитопланктона в этом районе достигал пределов мезо-эвтрофных вод (N_{max} = 7404 тыс. кл./л; B_{max} = 7,138 мг/л).

В результате анализа возможных многолетних изменений (с 1993 по 2024 гг.) в центральной части залива было обнаружено статистически значимое увеличение N_{tot} фитопланктона ($p < 0,05$; $n = 17$) за счет увеличения мелкоклеточных потенциально опасных видов Cyanobacteria и более продуктивных видов Chlorophyta, что может свидетельствовать о поступлении биогенных элементов с отходами форелевых ферм. Количественное развитие микроводорослей Кондопожской губы Онежского озера в целом остается на уровне мезотрофии (Китаев, 2007), за исключением внешней части залива, где количественное развитие фитопланктона в основном находится в пределах олиготрофии.

Таким образом, по показателям развития микроводорослей воды Кондопожской губы в целом можно охарактеризовать как мезотрофные. Из-за функционирования СФХ было отмечено значимое увеличение общей численности фитопланктона в центральном (глубоководном) районе залива за счет увеличения численности цианобактерий и зеленых водорослей. Фитоценоз вершинной части Кондопожской губы Онежского озера в целом остается без изменений.

Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» в рамках государственного задания ИВПС КарНЦ РАН № FMEN-2026-0011 «Функционирование экосистемы Онежского озера и озерно-речных систем его водосборной территории в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия».

Литература

Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / ред. В. А. Абакумов. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 318 с.

Чекрыжева Т. А. Изменения в структуре летнего фитопланктона Кондопожской губы Онежского озера в процессе антропогенного эвтрофирования // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2008. № 12. С. 156–163.

Zobkov M., Zobkova M., Galakhina N. et al. Data on the chemical composition of Lake Onego water in 2019–2021 // Data in Brief. 2022. Vol. 42: 108079.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗНООБРАЗИЯ НЕПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ РЫБ И НАБЛЮДАЕМЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ЕГО ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

Е. В. Смирнова*, О. В. Карамушко

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

** e-mail: smirnova@mmbi.info*

QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF THE DIVERSITY OF NON-COMMERCIAL FISH SPECIES AND THE OBSERVED TRENDS OF ITS POSSIBLE CHANGES IN THE SOUTHWESTERN PART OF THE KARA SEA

E. V. Smirnova, O. V. Karamushko

Представлены данные по относительной биомассе непромысловых рыб в юго-западной части Карского моря в 2015–2019 гг., которые варьировали в значительных пределах. Рассчитанные средневзвешенные значения индекса Шеннона указывают на последовательное снижение разнообразия от 1,25 до 1,16 бит. Предполагается, что снижение индекса разнообразия и изменения в размерной структуре арктического шлемоносного бычка могут быть связаны с существенным ростом численности краба-стригуна.

В отличие от достаточно многочисленных фаунистических исследований ихтиофауны Карского моря, проводившихся в течение достаточно длительного периода (Кобелев, Новоселов, 2000; Боркин, 2008; Кузнецов и др., 2008; Семушин, Новоселов, 2009; Долгов, 2021; Карамушко, Карамушко, 2023), количественная оценка разнообразия рыб встречается единично (Смирнова, Карамушко, 2023).

Как показали недавние исследования, видовой состав ихтиофауны северной части Карского моря за последние 90 лет практически не изменился (Макаревич и др., 2025), но в юго-западной части моря в 2012 г. появился инвазивный вид краба (Краб-стригун опилио…, 2016), который из-за высокой численности (Руднева и др., 2022) может оказать существенное влияние на условия существования и структуру популяций донных рыб, подавляющее большинство которых являются немигрирующими видами. А как известно, появление вселенцев приводит к снижению показателей биоразнообразия. Поэтому целью данной работы является анализ динамики количественных показателей биоразнообразия Шеннона, плотности распределения непромысловых видов и возможного влияния краба-стригуна на размерную структуру наиболее массового вида — арктического шлемоносного бычка.

Материал собран в экспедициях ММБИ РАН в юго-западной части Карского моря в 2015–2019 гг. Лов осуществлялся донным тралом с мелкоячейной вставкой, что способствовало уловам рыб всех размеров. Видовой состав и масса каждого вида использованы для расчета индекса разнообразия Шеннона с логарифмом с основанием 2. Достоверность различий индекса Шеннона между годами определена с помощью непараметрического дисперсионного анализа медиан Крускала-Уоллиса, поскольку данные не соответствуют закону нормального распределения (тест Шапиро-Уилка).

Анализ первичных данных показал, что в Карском море в период исследований с 2012 по 2019 гг. обнаружено 26 непромысловых видов рыб, относящихся к 6 семействам, что составляет 24,8 % от общего количества видов в Карском море (Долгов и др., 2018). Относительная биомасса уловов непромысловых видов рыб варьировала в достаточно широких пределах, но ее средневзвешенное значение за исследуемые годы не имело тенденции к уменьшению. Так, для 2015 г. этот показатель составил 2,24±0,22 кг/км^2, для 2016 г. — 2,21±0,43 кг/км^2, а для 2019 г. — 3,32±0,54 кг/км^2.

Установлено, что несмотря на незначительное уменьшение средневзвешенных значений индекса Шеннона, рассчитанных для исследуемых лет (от 1,25±0,04 бит в 2015 г. до 1,16± 0,03 бит в 2019 г.), данные показатели статистически достоверно отличаются. Незначительное, но последовательное снижение разнообразия, а также наблюдаемые изменения в размерной структуре наиболее массового представителя ихтиофауны — арктического шлемоносного бычка — позволяют предположить, что краб стригун может оказывать негативное влияние прежде всего на воспроизводство рыб, поскольку у большинства видов икра донная.

Уже было показано (Руднева и др., 2022), что из-за краба-стригуна в Карском море произошло снижение общей численности, биомассы и обилия доминантных видов мегабентоса. Кроме того, в желудках краба-стригуна встречались остатки рыб, доля которых могла составлять до трети пищевого комка (Краб-стригун опилио…, 2016). К тому же показатели минимальной, максимальной и средней длины арктического шлемоносного бычка, рассчитанные для каждого исследуемого года, постоянно увеличивались (от 96,6±2,8 мм в 2015 г. до 143,5±3,3 мм в 2019 г.) и достоверно различались, что, по-видимому, связано с ежегодным уменьшением доли молоди (неполовозрелых рыб длиной до 80 мм). Данное предположение подтверждается и размерной структурой арктического шлемоносного бычка, которая в 2015 г. была представлена достаточно высокой долей молоди — 41,4 %, в 2016 г. — 20,0 %, а в 2019 г. рыб менее 80 мм вообще не было обнаружено в уловах донного трала.

Таким образом, по последовательному и статистически достоверному снижению индекса разнообразия Шеннона и изменению размерной структуры наиболее массового вида непромысловых донных рыб можно предположить, что главной причиной таких перемен является расселение и быстрое увеличение количества краба-стригуна в Карском море.

Литература

Боркин И. В., Васильев А. В., Четыркина О. Ю. Ихтиофауна // Экосистема Карского моря. Мурманск: ПИНРО, 2008. Гл. 6. С. 169–171.

Долгов А. В., Новоселов А. П., Прохорова Т. А. и др. Атлас-определитель рыб Карского моря. Мурманск: ПИНРО, 2018. 271 с.

Долгов А. В. Современное состояние биоразнообразия ихтиофауны Баренцева и Карского морей // Труды X междунар. науч.-практ. конф. «Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)». Тверь, 2021. Том II (III). Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2021. С. 175–177.

Карамушко О. В., Карамушко Л. И. Ихтиопланктон юго-западной части Карского моря // Вопросы ихтиологии. 2023. Т. 63, № 4. С. 377–385.

Кобелев Е. А. Новоселов А. П. Состав ихтиофауны и структура популяций промысловых рыб Байдарацкой губы Карского моря // Биологические ресурсы прибрежья Российской Арктики: материалы симп. М.: ВНИРО, 2000. С. 57–63.

Краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio* в Баренцевом и Карском морях: монография / К. М. Соколов, В. А. Павлов, Н. А. Стрелкова [и др.]. Мурманск: ПИНРО, 2016. 242 с.

Кузнецов В. В., Ефремкин И. М., Аржанова Н. В. и др. Современное состояние экосистемы Обской губы и ее рыбохозяйственное значение // Вопросы промысловой океанологии. 2008. № 2. С. 129–153.

Макаревич П. Р., Карамушко О. В., Смирнова Е. В., Расхожева Е. В. Исследования современного состояния рыбного сообщества восточной части Баренцева и западной части Карского морей летом 2024 г. // Океанология. 2025. Т. 65, № 3. С. 522–524.

Руднева Е. В., Удалов А. А., Залота А. К., Чикина М. В. Изменения донных сообществ центральной части Карского моря в результате вселения краба-стригуна *Chionoecetes opilio* // Морские исследования и образование (MARESEDU). 2022. С. 320–324.

Семушин А. В., Новосёлов А. П. Видовой состав ихтиофауны Байдарацкой губы Карского моря // Вопросы ихтиологии. 2009. Т. 49, № 3. С. 304–317.

Смирнова Е. В., Карамушко О. В. Разнообразие рыб на разных глубинах юго-западной части Карского моря // Современное состояние водных биоресурсов и аквакультуры: сб. тр. VII междунар. конф. 8–9 ноября 2023 г., Новосибирск, Российская Федерация. НГАУ: Агро-Сибирь, 2023. С. 20–30.

ВНУТРЕННИЙ ПРИЛИВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В РЕГИОНЕ НЕРЕСТА ВОСТОЧНОКАМЧАТСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ МИНТАЯ

Е. В. Софьина*, Д. А. Романенков

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

** e-mail: sofjina_k@mail.ru*

INTERNAL TIDE BASED ON THE RESULTS OF NUMERICAL MODELING IN THE SPAWNING REGION OF THE EAST KAMCHATKA POLLOCK POPULATION

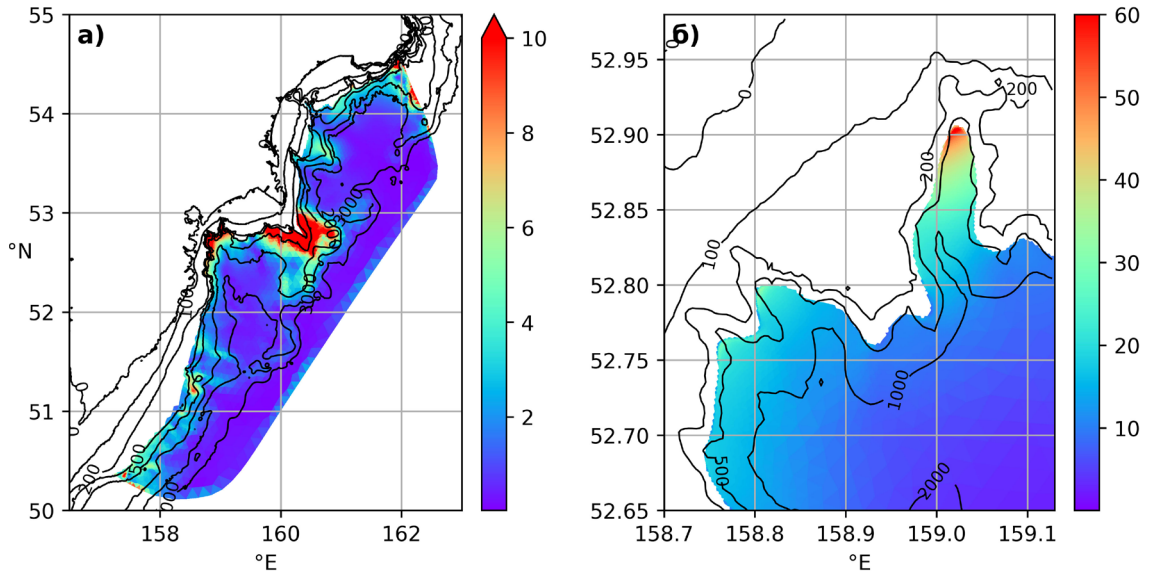
E. V. Sofina, D. A. Romanenkov

Разовые гидрологические измерения в глубоководных каньонах Авачинского залива Тихого океана зарегистрировали суточные колебания изопикн с размахом около 100 м. Этот район служит местом воспроизводства восточнокамчатской популяции минтая, который является самым массовым объектом отечественного промысла в дальневосточном регионе. Целью исследования было установить с помощью численного моделирования природу этих экстремальных колебаний, чтобы впоследствии оценить их потенциальное влияние на выживаемость ранних стадий развития рыб. Численные эксперименты показали возможность генерации внутреннего прилива с близкими по величине колебаниями вертикальной стратификации. Эти колебания являются перманентным фактором изменчивости условий развития икры и личинок.

Воспроизведение внутреннего прилива в тихоокеанских водах юго-восточного побережья Камчатки было выполнено с помощью гидростатической конечно-объемной модели FESOM–C. Реализация модели для сложного подводного рельефа с крутым материковым склоном, изрезанным глубоководными каньонами с крутизной в отдельных районах, превышающей 30º, потребовала создания неструктурированной сетки с пространственным разрешением, варьирующимся от 100 м в районах максимальных градиентов глубин до 14 км в открытом океане. По вертикали использовалась сигма-координата с равномерным разбиением толщи моря на 100 слоев. Данная конфигурация обеспечила значения критерия гидростатической согласованности на материковом склоне и в районах глубоководных каньонов, при которых можно ожидать физически обоснованное и гладкое численное решение.

Моделирование моноприлива суточной гармоники K1, для которой наблюдаются максимальные приливные течения в регионе исследования, в условиях весенней стратификации (слой скачка плотности наблюдается на глубине ~ 400 м) показали максимальные колебания изопикн в области глубоководных каньонов Авачинского залива (рис.). В «центральном» и «северном» каньонах, где располагается эпицентр нереста минтая (Варкентин, Саушкина, 2022), размах колебаний составляет 40 и 60 м, в то же время в глубоководных каньонах Кроноцкого залива размах колебаний не превышает 15 м.

Численные эксперименты по моделированию внутренней приливной динамики под действием суммарного прилива (12 гармоник) в апреле 2024 г. показали вертикальные смещения изопикнических поверхностей, совпадающие по фазе и близкие по амплитуде ~ 50 м в глубоководных каньонах Авачинского залива с данными CTD-профилирования, полученными в рамках специального натурного эксперимента (Коник и др., 2024). Это дает основание полагать, что наблюдаемые в районах глубоководного нереста восточнокамчатской популяции минтая 100-метровые колебания изопикнических поверхностей вызваны формированием внутреннего прилива в «северном» каньоне Авачинского залива.



Высота внутренних приливных волн, соответствующих воздействию моноприлива гармоники К1 на глубине слоя скачка плотности (400 м), а) вся область моделирования, б) глубоководные каньоны Авачинского залива. Черные кривые — изобаты

Нерест восточно-камчатской популяции приходится на март — июнь с пиком в последней и первой декадах марта и апреля, соответственно. Интенсивность нереста неравномерная, более 50% приходится на глубоководный нерест в небольших каньонах Авачинского и Кроноцкого заливов, при этом наибольший вклад обеспечивает «северный» каньон Авачинского залива. Приливное происхождение экстремальных колебаний вертикальной гидрологической структуры указывает на их присутствие независимо от сезона и погодных условий. В период нереста в каньоне это должно оказывать прямое физическое воздействие на икру: резкие перепады давления и пребывание в слое скачка создают неблагоприятные условия, способные повысить эмбриональную смертность. Одновременно внутренний прилив может вносить вклад в скорость всплытия икры, тем самым определяя время ее попадания в поверхностные слои, богатые планктоном. Стоит отметить, что эпицентр нереста приходится на глубоководные каньоны Авачинского залива, где по результатам моделирования наблюдается максимальный внутренний прилив в отличие от каньонов Кроноцкого залива, где нерест значительно меньше и внутренний прилив слабее в 10 раз.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН (тема № FMWE-2024-0028).

Литература

Варкентин А. И., Саушкина Д. Я. О некоторых вопросах воспроизводства минтая в тихоокеанских водах, прилегающих к Камчатке и Северным Курильским островам в 2013–2022 гг. // Труды ВНИРО. 2022. Т. 189. С. 105–119.

Коник А. А., Зимин А. В., Атаджанова О. А., Свергун Е. И., Романенков Д. А., Софьина Е. В. и др. Внутрисуточная изменчивость вертикальной структуры вод и распределения икры минтая в глубоководных каньонах Авачинского залива: натурный эксперимент в период нереста // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2024. Т. 17, № 4. С. 77–89.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ, ВИДОВОЙ И ТРОФИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МАКРОБЕНТОСА ЭСТУАРНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЛАГУННОГО ТИПА (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ)

А. П. Столяров

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

email: macrobenthos@mail.ru

FEATURES OF THE SPATIAL, SPECIES AND TROPHIC STRUCTURE OF MACROBENTHOS IN ESTUARINE ECOSYSTEMS OF THE LAGOON TYPE (KANDALAKSHA BAY, WHITE SEA)

A. P. Stolyarov

Изучены особенности видового разнообразия, пространственной и трофической структуры макробентосных сублиторальных и литоральных сообществ в пяти прибрежных эстуарных экосистемах лагунного типа в Кандалакшском заливе Белого моря. В исследованных лагунных экосистемах был обнаружен 51 вид зообентосных животных и 11 видов морских трав и водорослей. По мере увеличения отгороженности лагунных экосистем от основного морского бассейна и, соответственно, уменьшения их связи с морем и увеличения заиленности грунта и опресненности наблюдается уменьшение общих показателей структуры сообщества макробентоса (видового разнообразия, общей биомассы, в меньшей степени плотности популяций) и постепенное увеличение видов с детритным типом питания. Проведенный статистический анализ свидетельствует о различиях в видовой структуре литоральных и сублиторальных сообществ макробентоса, а также об отличиях макробентосных сообществ лагунных экосистем с различным водообменом с внешней акваторией.

Прибрежные эстуарные экосистемы лагунного типа представляют собой неглубокие солоноватые или морские водоемы, отделенные от моря порогами, островами, наносными косами, баром и соединенные с ним (постоянно или временно) одним или несколькими узкими проливами (De Wit, 2011; Лабай, 2015). Прибрежные лагуны, как и эстуарии, находятся на границе между сушей и морем и отличаются гидрологическим и солевым режимом водоема, условиями рельефообразования и осадконакопления, характером грунта, соленостью, pH и Eh среды, а также развитием своеобразных сообществ живых организмов (Хлебович, 2015; Комплексные исследования Бабьего моря…, 2016; Столяров, 2019, 2024; Giampaoletti et al., 2023).

Цель настоящей работы — изучение особенностей видового разнообразия, пространственного распределения и трофической структуры макробентоса в пяти лагунных экосистемах Белого моря, которые находятся на разной стадии формирования и характеризуются различной степенью изолированности от моря.

Исследование литорального и сублиторального макробентоса было проведено летом 2018–2022 гг. в пяти лагунных экосистемах Белого моря недалеко от ББС МГУ. Пробы брались последовательно от кутовых, более опресненных и заиленных местообитаний, в сторону мористых, менее опресненных и заиленных районов. Наиболее заиленными были осадки Никольской и Ермолинской губ и лагуны на Зеленом мысу, чаще со значительным содержанием детрита (много полуразложившихся морских трав и водорослей — зостера и фукусы) и запахом сероводорода. Наименее — лагуны, расположенные в кутовой области Кислой губы (в самом куту возле Ершовского озера и на выходе из нее), осадки которых были представлены в основном песчанистыми илами и илистыми песками. Соленость придонной воды во всех лагунах в период взятия проб была относительно высокой (22–25 ‰), за исключением Никольской губы, где соленость воды по мере приближения к куту лагуны снижалась до 21–22 ‰. В самом куту Никольской губы соленость воды падала до 1–3 ‰.

В исследованных лагунных экосистемах был обнаружен 51 вид зообентосных животных и 11 видов морских трав и водорослей. Наибольшего видового разнообразия достигали

полихеты (17 видов), моллюски (10 видов брюхоногих и 5 видов двустворчатых) и ракообразные (6 видов). Значительную роль в сообществе макробентоса играли солоноватоводные олигохеты (2 вида) и личинки насекомых (5 видов). В сублиторали наибольшим разнообразием, общей плотностью и биомассой видовых популяций характеризуется лагуна, расположенная на выходе из кутовой области Кислой губы, где было больше встречено морских, менее — эвригалинных видов — *Pectinaria koreni, Phyllodoce citrina, Sabellides octocirrata, Cryptonatica affinis, Caprella linearis, Molgula griffithsii*. А самыми низкими показателями характеризуется лагуна Никольской губы, там преобладали солоноватоводные и морские эвригалинные виды (*Macoma balthica, Mytilus edulis, Littorina littorea, Hydrobia ulvae, Tubificoides benedii, Chironomus salinarius*). Промежуточное положение занимали лагуна Ермолинской губы, лагуна, расположенная в самом куту губы Кислой, и лагуна на Зеленом мысу (расположены по мере уменьшения общих показателей структуры сообщества).

В литоральной полосе общие показатели структуры сообщества макробентоса (общая плотность, биомасса и в меньшей степени видовое разнообразие), в отличие от сублиторали, увеличивались от менее зарегулированных и открытых экосистем (лагуна, расположенная на выходе из кутовой области Кислой губы) к более зарегулированным и закрытым системам (лагуна кута губы Кислой рядом с Ершовским озером, лагуна Ермолинской губы). Значительная отгороженность и, соответственно, зарегулирование губы Никольской приводит к существенному уменьшению видового разнообразия и снижению общей плотности и биомассы сообщества макробентоса. То есть общие показатели структуры сообщества макробентоса в литоральной полосе увеличиваются от открытых лагун к более закрытым до определенного предела; значительная отгороженность лагуны приводит к сильному ее заилению или опреснению, что способствует снижению видового разнообразия, общей плотности и особенно биомассы сообщества.

Проведенный статистический анализ свидетельствует о различиях в видовой структуре литоральных и сублиторальных сообществ макробентоса, а также об отличиях макробентосных сообществ лагунных экосистем с различным водообменом с внешней акваторией. Соответственно, в сублиторали наблюдается постепенное уменьшение морских менее эвригалинных видов (полихет *Sabellides octocirrata, Pholoe minuta, Phyllodoce citrina*, морских звезд *Asterias rubens*, асцидий *Molgula gtiffithsii*) от открытых, менее отгороженных от моря лагун (лагуна, расположенная на выходе из кутовой области губы Кислой) к более зарегулированным и закрытым лагунам (лагуны Ермолинской и Никольской губ, Зеленого мыса) с доминированием солоноватоводных и морских эвригалинных комплексов видов (моллюсков *Hydrobia ulvae, Macoma balthica, Mya arenaria, Mytilus edulis*, полихет *Arenicola marina*, олигохет *Tubificoides benedeni, Paranais litoralis* и др.). В приливно-отливной полосе в более открытых и, соответственно, морских экосистемах (лагуна Кислой губы, расположенная на выходе из кутовой области) наблюдалось заселение нижней и средней литорали морскими менее эвригалинными видами, и, наоборот, в менее морских и более отгороженных от моря лагунах — заселение нижних и средних горизонтов литорали и сублиторали более эвритопными и солоноватоводными видами макробентоса (лагуна, расположенная в самом куту губы Кислой рядом с Ершовским озером, и особенно лагуны Ермолинской и Николькой губ).

Литература

Комплексные исследования Бабьего моря, полуизолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота — изменения на фоне трансгрессии берегов // Труды Беломорской биостанции МГУ / под общ. ред. В. О. Мокиевского, А. И. Исаченко, П. Ю. Дгебуадзе, А. Б. Цетлина. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2016. Т. 12. 243 с.

Лабай В. С. Видовой состав макрозообентоса лагун о. Сахалин // Известия ТИНРО. 2015. Т. 183. С. 125–144.

Столяров А. П. Видовое разнообразие и структурные особенности макробентоса в прибрежных лагунных экосистемах (Кандалакшский залив, Белое море) // Зоологический журнал. 2024. Т. 103, № 7. С. 3–12.

Столяров А. П. Видовое разнообразие и трофическая структура литоральных сообществ макробентоса эстуария реки Черной (Кандалакшский залив, Белое море) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отд. Биол. 2019. Т. 124, вып. 4. С. 19–28.

Хлебович В. В. Прикладные аспекты концепции критической солености // Успехи современной биологии. 2015. Т. 135, № 3. С. 272–278.

De Wit, R. Biodiversity of Coastal Lagoon Ecosystems and Their Vulnerability to Global Change. In Ecosystems Biodiversity. Grillo O., Venore G. (Ed.). Chapter 2. Published by In Tech. Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia. 2011. P. 29–40.

Giampaoletti J., Sbrana A., Magni P., Gravina M. F. Macrobenthos of the Tortolì Lagoon: A peculiar case of high benthic biodiversity among Mediterranean lagoons // Diversity. 2023. Vol. 15, iss. 6: 783.

МОНИТОРИНГ ГИДРОЛОГО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЕСТРОРЕЦКОГО БОЛОТА

В. Н. Суворов*, П. С. Горенко

ГКУ «Дирекция особо охраняемых природных территорий Санкт-Петербурга», Санкт-Петербург, Россия

** e-mail: vitekk343434@gmail.com*

MONITORING OF THE HYDROLOGICAL AND ECOLOGICAL STATE OF THE SESTRORETSKOYE BOG

V. N. Suvorov, P. S. Gorenko

Представлены результаты комплексной оценки воздействия деятельности промышленных предприятий на гидролого-экологическое состояние Сестрорецкого болота — ключевой элемент природного комплекса Государственного природного заказника регионального значения «Сестрорецкое болото».

Сестрорецкое болото — ключевой элемент природного комплекса Государственного природного заказника регионального значения «Сестрорецкое болото». Территория включает обширное верховое болото с низинными и переходными окраинами, древние песчаные дюны и морские террасы, покрытые сосновыми и смешанными лесами.

На этой территории представлены все основные болотные растительные сообщества восточно-прибалтийского региона. Акватория и прибрежная зона водохранилища Сестрорецкий Разлив, приустьевые участки рек Сестры и Чёрной.

В условиях возрастающей антропогенной нагрузки комплексная оценка состояния экосистемы заказника становится критически важной для сохранения ее уникальных природных комплексов.

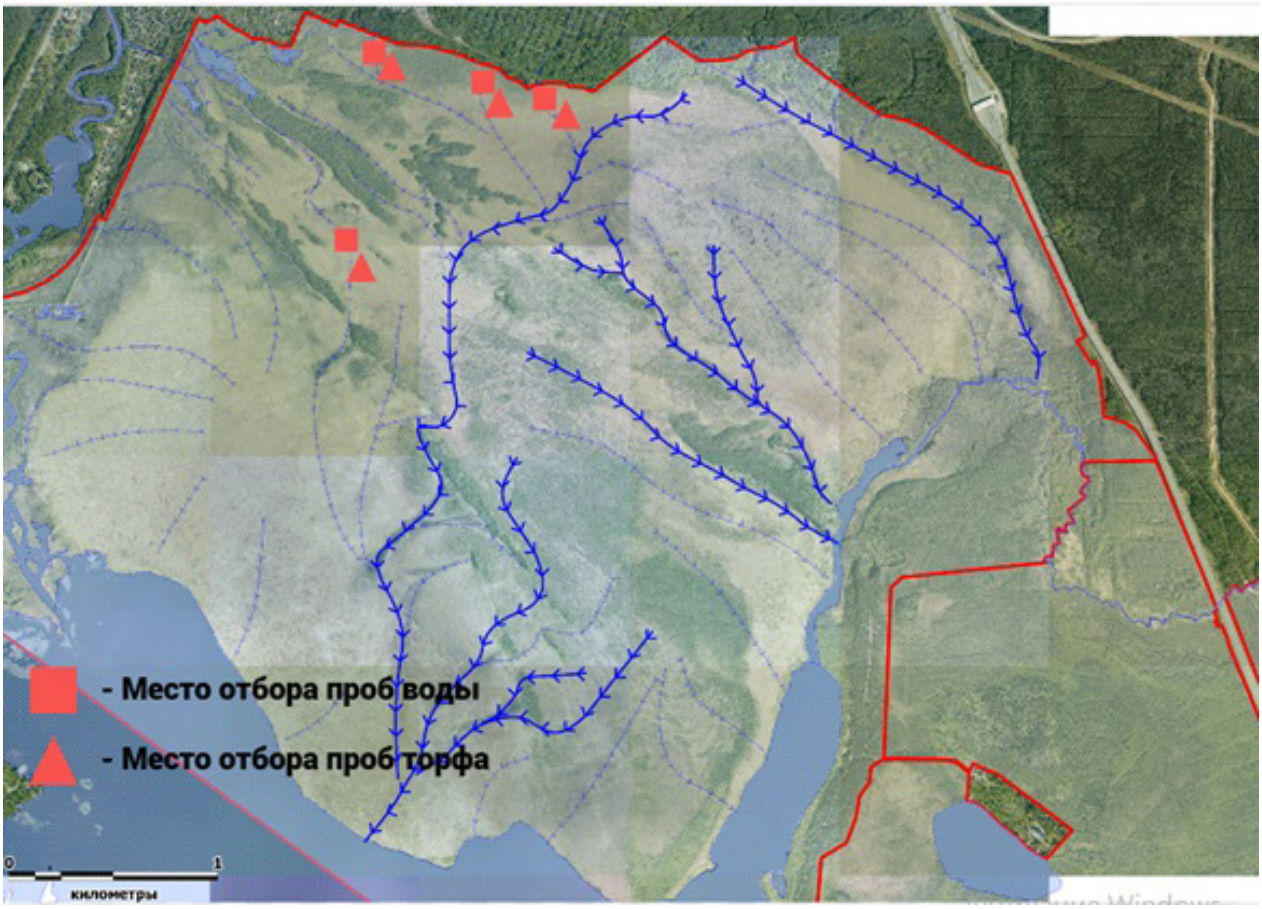
Основной вопрос, поднимаемый в данном исследовании: какое воздействие оказывает деятельность промышленных предприятий на гидролого-экологическое состояние Сестрорецкого болота?

Цель работы — комплексная оценка воздействий деятельности промышленных предприятий на гидролого-экологическое состояние Сестрорецкого болота.

В рамках достижения поставленной цели в 2026 г. на территории Сестрорецкого болота был проведен цикл первичных исследований (рис.). Методологическая основа мониторинга сформирована решением ряда взаимосвязанных задач, направленных на комплексную оценку состояния болота (ГОСТ 17644-83; РД 52.04.186-89; Наставления…, 1990; РД 52.24.643-2002):

1. Отбор проб болотных вод — для оценки химического состава и выявления потенциальных загрязнителей.
2. Отбор проб торфа — с целью анализа его физико-химических свойств.
3. Наблюдение за гидрологическим режимом болота — для фиксации колебаний уровня воды и анализа сезонной динамики.

Проведенные исследования подтвердили необходимость регулярного мониторинга гидролого-экологического состояния Сестрорецкого болота. Полученные данные позволят разработать меры по минимизации антропогенного воздействия для обеспечения сохранения уникальных природных комплексов заказника.



Карта-схема отбора проб воды и торфа на территории заказника «Сестрорецкое болото»

Литература

ГОСТ 17644-83. Торф. Методы отбора проб из залежи и обработки их для лабораторных испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1983.

Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 8: Гидрометеорологические наблюдения на болотах. Л.: Гидрометеоиздат, 1990.

РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязнения поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Ростов-на-Дону: ГУ «ГХИ», 2002.

РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1991.

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ АНСАМБЛЕВЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ДАТ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ

М. А. Сулейманов [1]*, А. А. Самохин [2], Е. В. Гайдукова [1]

[1] Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия
[2] ООО «Эко-Экспресс-Сервис», Санкт-Петербург, Россия

** e-mail: www.wasja.ru@bk.ru*

ANALYSIS OF THE STABILITY OF ENSEMBLE MACHINE LEARNING MODELS IN FORECASTING THE TIMING OF ICE PHENOMENA

M. A. Suleimanov, A. A. Samokhin, E. V. Gaidukova

Рассматривается устойчивость ансамблевых моделей машинного обучения при прогнозировании дат начала и окончания ледовых явлений на реках. Исследование выполнено на основе многолетних гидрометеорологических наблюдений по бассейну р. Лены. Проведен анализ точности модели в различных климатических условиях, включая холодные, теплые и средние по температурному режиму периоды. Показано, что качество прогнозирования существенно зависит от климатической неоднородности обучающей выборки, при этом ансамблевый подход обеспечивает более стабильные результаты по сравнению с отдельными моделями.

Прогнозирование дат ледовых явлений на реках является важной задачей инженерной гидрологии в условиях возрастающей климатической изменчивости. Традиционные физико-статистические методы часто оказываются недостаточно эффективными при наличии нелинейных зависимостей между гидрометеорологическими параметрами. В связи с этим всё более широкое применение находят методы машинного обучения.

В то же время остается недостаточно изученной устойчивость таких моделей при изменении климатических условий. Цель работы — анализ устойчивости ансамблевой модели машинного обучения при прогнозировании дат ледовых явлений.

Исследование выполнено на основе наблюдений по 6 метеорологическим станциям и 10 гидрологическим постам бассейна р. Лены за период 1978–1990 гг. В качестве входных переменных использовались среднесуточная температура воздуха, температура воды и уровни воды. Прогнозировались даты начала и окончания ледовых явлений.

Для анализа устойчивости данные были разделены на холодный, средний и теплый климатические периоды.

Для прогнозирования применялся ансамбль моделей, включающий случайный лес и логистическую регрессию. Итоговый прогноз формировался как взвешенная комбинация моделей:

$$\hat{y} = 0{,}7 * \hat{y}RF + 0{,}3 * \hat{y}LR.$$

Оценка устойчивости выполнялась по абсолютной ошибке прогноза (в сутках) и ее изменению в различных климатических режимах.

Анализ показал, что точность прогнозирования зависит от климатических условий. В холодные периоды модель демонстрирует более стабильные результаты, тогда как в теплые годы наблюдается рост ошибок, связанный с увеличением вариабельности гидрометеорологических процессов.

В большинстве случаев отклонение прогнозируемых дат не превышает 3–5 суток, однако в условиях аномальных температур максимальные ошибки достигают 20–22 суток (табл.).

Пример результатов прогнозирования дат начала ледовых явлений за теплый период для некоторых гидрологических постов

Река — пост	Начало ледовых явлений по теплому году (1987–1988 гг.)								
	1980			1989			1990		
	Прогн. знач.	Факт. знач.	Δ, сут.	Прогн. знач.	Факт. знач.	Δ, сут.	Прогн. знач.	Факт. знач.	Δ, сут.
Лена — Пеледуй	16.10.1980	16.10.1980	0	19.10.1989	15.10.1989	4	28.10.1990	25.10.1990	3
Лена — Ленск	15.10.1980	15.10.1980	0	11.10.1989	14.10.1989	–3	21.10.1990	24.10.1990	–3
Лена — Мача	15.10.1980	16.10.1980	–1	11.10.1989	15.10.1989	–4	22.10.1990	24.10.1990	–2
Лена — Олекминск	15.10.1980	17.10.1980	–2	11.10.1989	15.10.1989	–4	21.10.1990	24.10.1990	–3
Лена — Джарджан	04.10.1980	26.09.1980	8	08.10.1989	26.09.1989	12	17.10.1990	25.09.1990	22

Сравнение по климатическим режимам показало, что ансамблевая модель характеризуется более высокой устойчивостью по сравнению с отдельными алгоритмами, что особенно проявляется при неоднородной обучающей выборке.

Показано, что устойчивость прогнозирования дат ледовых явлений существенно зависит от климатических условий. Ансамблевый подход обеспечивает более стабильные результаты по сравнению с отдельными моделями, однако наибольшие ошибки возникают в аномальные годы.

Литература

Гидрологический ежегодник 1955 г. Т. 8. Бассейны морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. Вып. 0–7. Л.: Гидрометеоиздат, 1960. 336 с.

Рашка С., Мирджалили В. Python и машинное обучение. СПб.: Диалектика, 2020. 849 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 17. Лено-Индигирский район. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 651 с.

Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. СПб.: РГГМУ, 2007. 279 с.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ В ГИДРОБИОЛОГИИ

М. Т. Сярки

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

e-mail: msyarki@yandes.ru

INFORMATIZATION IN HYDROBIOLOGY

M. T. Syarki

Представлен опыт более чем 50 лет работы с информацией в гидробиологии: создание баз данных для первичной информации, таксономических и пространственных структур и программ продукционного интегрирования; подготовка и использование данных предыдущих лет исследования в системах ГИС; применение имитационных, аналитических, статистических, расчетно-балансовых и других видов моделей для анализа разномасштабных процессов в экосистеме. Особое внимание обращено на сезонные процессы в планктоне пелагиали крупного озера. Формализованы среднемноголетние траектории сезонной динамики, фенологические фазы годового цикла, оценки межгодовой изменчивости и степени экстремальных отклонений.

Текущий XXI век — век цифровизации, интенсивного развития информационных технологий и быстрых изменений инструментов анализа, особенно в науке. Гидробиология имеет дело с живыми системами большой сложности и в то же время испытывает определенные трудности с получением эмпирических данных. Современные информационные технологии позволяют преодолеть это противоречие за счет организации и накопления информации, методов анализа и расчетов, оценок пространственно-временных распределений и колебаний, а также различного вида моделирования. В последние годы активно развиваются методы искусственного интеллекта и актуальной становится подготовка корректных базовых массивов для его обучения.

За 50 лет сотрудники нашей лаборатории гидробиологии прошли долгий путь по работе с гидробиологической информацией от бумажных карточек и графиков на «миллиметровке» до современных баз данных, визуализации и моделирования.

Работы по цифровизации начались в начале 1990-х гг., когда появилось первое ЭВМ «Искра-1256» с накопителями на магнитных аудиокассетах и оперативной памятью в 64 Кб! Для этого ЭВМ были созданы программы на русском бейсике и произведены структурные и продукционные расчеты по зоопланктону Онежского озера. Затем были созданы БД для мониторинга водных объектов Карелии по качеству вод. В это же время еще в оперативной системе DOS начали создаваться структуры баз данных для хранения первички по гидробиологическим показателям зоопланктона и макрозообентоса. Главным принципом работы было сохранение данных с наибольшей детализацией.

В настоящее время большие БД по Онежскому озеру объединяют первичную информацию о пробах, таксономическом составе, доминантном комплексе, популяционных характеристиках составляющих видов, размерном составе и некоторых других показателях с 60-х гг. прошлого века по настоящее время (Сярки, Куликова, 2012; Сярки, Теканова, Чекрыжева, 2015). В 2000-х гг. потребовалось интегрировать наши данные в системы ГИС. Автором совместно с Тамарой Николаевной Поляковой была проделана большая работа по оцифровке локаций станций предыдущих лет исследования (с 1960-х по 1999 г.). Создание информационной базы позволило создать основу для пространственно-временной привязки данных экосистем озер Карелии. ГИС системы применялись при создании разделов по гидробиологии в Атласе Онежского озера (Онежское озеро…, 2010).

Накопление данных позволило изменить подходы к изучению функционирования экосистемы и перейти от описания состояний к анализу разномасштабных процессов. Особое

внимание было направлено на изучение сезонной динамики планктона и ее особенностей в условиях различных температурных режимов и трофической базы (Сярки, 2013, 2024; Сярки, Коновалов, 2025). Были формализованы среднемноголетние траектории сезонной динамики показателей планктона, что позволило оценить межгодовую изменчивость и экстремально отклоняющиеся данные. На основе многомерного статистического анализа были описаны фенофазы для зоопланктона, определены их сроки и продолжительности (Сярки, 2013). Также были описаны сезонные изменения вертикального распределения зоопланктона в условиях разных глубин и температурной стратификации (Сярки, Коновалов, 2025), что актуально для оценки реакции на изменение климата. С помощью среднемноголетних траекторий сезонной динамики численности были изучены особенности биологии видов копепод, обитающих в различных районах Онежского озера (Фомина, Сярки, 2022).

Развитие вычислительной техники позволило использовать для изучения динамики экосистем различные типы моделирования. Так, в нашей лаборатории применялись имитационные, аналитические, статистические, расчетно-балансовые и другие виды моделей (Сярки, 2013; Фомина, Сярки, 2016, 2022; Калинкина, Коросов, Сярки, 2017; Сярки, Сидорова, Сластина, 2024). Например, аналитическая модель позволила оценить суточные P/B-коэффициенты рачкового и коловраточного планктона и их сезонную динамику (Фомина, Сярки, 2016). Для определения трофического состояния водоемов и их трендов широко применялась масс-балансовая модель В. В. Бульона (Сярки, Сидорова, Сластина, 2024).

Информатизация в гидробиологии заключается в правильной организации и хранении первичных данных, в использовании различных инструментов анализа, моделирования и визуализации, а также в обращении к ИИ. В конечном итоге всё это нужно для лучшего понимания механизмов функционирования водных экосистем, разномасштабных процессов и реакций системы на меняющиеся условия среды и уровень антропогенной нагрузки.

Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» в рамках государственного задания ИВПС КарНЦ РАН № FMEN-2026-0011 «Функционирование экосистемы Онежского озера и озерно-речных систем его водосборной территории в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия».

Литература

Калинкина Н. М., Коросов А. В., Сярки М. Т. К созданию экспертной системы Онежского озера: оптимизация мониторинга состояния экосистемы по показателям зоопланктона // Принципы экологии. 2017. № 1. С. 117–132.

Онежское озеро. Атлас / отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 151 с.

Сярки М. Т. Как долго длится лето для зоопланктона Онежского озера? // Принципы экологии. 2013. № 4. С. 70–75.

Сярки М. Т. Подходы и методы исследования сезонной динамики зоопланктона крупного озера // Принципы экологии. 2024. № 4. С. 48–58.

Сярки М. Т., Коновалов Д. С. Сезонная динамика вертикального распределения зоопланктона Кондопожского залива Онежского озера // Лимнология и океанология. 2025. С. 82–96.

Сярки М. Т., Куликова Т. П. «Зоопланктон Онежского озера». Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2012621150. Дата регистрации в Реестре 9 ноября 2012 г.

Сярки М. Т., Сидорова А. И., Сластина Ю. Л. Оценка рыбопродуктивности малых озер Карелии с использованием балансовой модели // Рыбохозяйственная наука. История, современность, перспективы: материалы междунар. науч.-практ. конф., посв. 110-летию создания «ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга». М., 2024. С. 551–553.

Сярки М. Т., Теканова Е. В., Чекрыжева Т. А. «Планктон пелагиали Онежского озера». Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2015620274. Дата регистрации в Реестре баз данных 13 февраля 2015 г.

Фомина Ю. Ю., Сярки М. Т. Жизненный цикл рачка *Limnocalanus macrurus* Sars 1863 (Copepoda, Calaniformes, Centropagidae) в Онежском озере // Зоологический журнал. 2022. Т. 101, № 1. С. 3–13.

Фомина Ю. Ю., Сярки М. Т. Определение динамических характеристик зоопланктона Онежского озера // Принципы экологии. 2016. № 4. С. 26–33.

КОМПОНЕНТЫ ПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД

Н. Г. Тарасова [1]*, С. В. Быкова [2], О. В. Мухортова [1]*

[1] Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина, Борок, Россия
[2] Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти, Россия

** e-mail: tnatag@mail.ru*

THE STRUCTURE OF THE PLANKTONIC COMMUNITY OF THE SARATOV RESERVOIR IN THE SUMMER-AUTUMN PERIOD

N. G. Tarasova, S. V. Bykova, O. V. Mukhortova

В летне-осенний период 2023 г. в составе планктона Саратовского водохранилища было зарегистрировано 212 таксонов водорослей, 69 видов коловраток и ракообразных и около 70 видов инфузорий. Низкая численность и биомасса сообществ организмов, по сравнению с другими водохранилищами Волги, объясняются транзитным характером водоема. Максимальные показатели численности и биомассы фитопланктона летом отмечали в нижнем бьефе Жигулевской ГЭС, осенью по направлению к верхнему бьефу Саратовской ГЭС численность фитопланктона увеличивалась. Основную роль в формировании общих показателей количественного развития водорослей играли цианобактерии. В распределении инфузорий и метазоопланктона картина иная — максимумы численности и биомассы регистрировали в центральной части, где хорошо развита сеть зарастающих мелководий.

Саратовское водохранилище является седьмой ступенью в каскаде волжских водохранилищ. Это транзитное водохранилище руслового типа с высоким коэффициентом водообмена (19). Гидрологический режим его крайне неустойчив (пульсационный) и во многом определяется характером водохозяйственного использования Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ (Эдельштейн, 1998). В водохранилище впадают шесть основных притоков: р. Сызранка (по правому берегу), реки Сок, Самара, Чапаевка, Чагра, М. Иргиз (по левому берегу) (Саратовское водохранилище…, 1973). На протяжении всего периода существования водохранилища, начиная с момента его заполнения, разные компоненты планктона (фито-, зоо-, протозооланктон) исследовались довольно неодинаково. Фитопланктон и зоопланктон как ключевые компоненты планктона часто входили в систему мониторинговых исследований, в то время как целенаправленное изучение инфузорий проводилось редко. Целью нашей работы было установить характер пространственного распределения каждого из компонентов планктонного сообщества (фито-, протозоо- и метазоопланктона) вдоль продольной оси Саратовского водохранилища в его русловой части и особенности их развития на современном этапе.

Максимальные показатели температуры воды, значения pH и минимальные — прозрачности, содержания кислорода и насыщение им водной толщи — регистрировали в августе, в период активного и достаточно продолжительного развития цианобактерий. Дефицита кислорода, обычно приводящего к «заморным» явлениям, не наблюдалось во время всего периода исследования. Показатели электропроводности и соленость воды к осени увеличивались. По продольной оси водохранилища по направлению к плотине Саратовской ГЭС отмечали снижение скорости течения воды и увеличение температуры, pH, содержание кислорода и насыщение им водной толщи.

В ходе исследования в летне-осенний период 2023 г. в составе планктонного сообщества русловой части Саратовского водохранилища было зарегистрировано 212 таксонов водорослей рангом ниже рода, 69 видов метазоопланктона и около 70 видов инфузорий.

Фитопланктон. Таксономическая структура альгофлоры весь период исследования была сходной: максимальное видовое богатство было отмечено в отделе зеленые, далее

следовали диатомовые водоросли, и с незначительным отрывом — цианобактерии. В июле и августе, во время активного развития цианобактерий, максимальные показатели численности и биомассы фитопланктона регистрировали в верхнем и нижнем бьефе Жигулевской ГЭС. В центральной части водохранилища они были значительно ниже. В осенний период численность и биомасса фитопланктона были высоки только на станции, расположенной в непосредственной близости от Жигулевской ГЭС, затем они резко снижались и возрастали только к нижнему бьефу.

Инфузории. Значительная часть видового богатства инфузорий (88 % всех видов) зарегистрирована в центральной части водохранилища, где после его создания, из-за затопления волжской поймы и устьевых участков притоков, сформировалось много зарастающих мелководий. Количественное развитие инфузорий в Саратовском водохранилище ниже, чем в других волжских водохранилищах, что во многом обусловлено его транзитным характером и, соответственно, большими скоростями течения: диапазон варьирования численности составил 20–976 тыс. экз./м^3, биомассы — 0,12–49,68 мг/м^3. Оба приплотинных участка (нижний бьеф Жигулевской ГЭС и верхний бьеф Балаковской ГЭС) характеризовались пониженными характеристиками сообщества инфузорий. В трофической структуре основу численности в целом по водохранилищу формировали альгофаги и неселективные всеядные виды (82 %), а основу биомассы — альгофаги и хищники (82 %) с преобладанием последних в центральной части водохранилища, что свидетельствует о разнообразном, сложно структурированном сообществе.

Зоопланктон. Сходство по станциям видового состава зоопланктона велико (75 %). Показатели численности (6–22 тыс. экз./м^3) и биомассы (0,31–0,52 г/м^3) низки, по сравнению с другими волжскими водохранилищами (Лазарева и др., 2024), что обусловлено транзитным характером водохранилища. Доминировали науплии и копеподиты веслоногих ракообразных и коловратки. Оба приплотинных участка (нижний бьеф Жигулевской ГЭС и верхний бьеф Балаковской ГЭС) характеризовались низкими количественными показателями зоопланктона.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИБВВ РАН № 124032500016-4, № 124032100076-2и ИЭВБ РАН — филиал СамНЦ РАН № 1024032600218-3-1.6.20 (FMRW-2025-0046).

Литература

Эдельштейн К. К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.

Саратовское водохранилище: Гидрохимический режим, кормовая база и состояние запасов. Саратов: Приволжское кн. изд-во, 1973. Т. 12. 172 с.

Лазарева В. И., Жданова С. М., Сабитова Р. З., Соколова Е. А. Зоопланктон водохранилищ р. Волги: Структура, обилие и динамика // Биология внутренних вод. 2024. Т. 17, № 1. С. 151–166.

ОПЫТ СОТРУДНИЧЕСТВА ЗАПОВЕДНИКА «КОСТОМУКШСКИЙ» В ПРОВЕДЕНИИ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДОЕМОВ С ИНСТИТУТАМИ КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

С. В. Тархов*, Е. В. Кузнецова

ФГБУ «Объединенная дирекция государственного природного заповедника „Костомукшский“ и национального парка „Калевальский“», Костомукша, Россия

** e-mail: starkhov@mail.ru*

EXPERIENCE OF COOPERATION BETWEEN THE KOSTOMUKSHSKY NATURE RESERVE AND THE INSTITUTES OF THE KARELIAN SCIENTIFIC CENTER OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES IN CONDUCTING COMPREHENSIVE STUDIES OF WATER BODIES

S. V. Tarhov, E. V. Kuznetsova

Научные исследования, которые проводились с начала 1960-х гг., послужили основой для создания заповедника «Костомукшский», и на протяжении 40 лет на территории продолжаются комплексные исследования, связанные с изучением, мониторингом и сохранением этой уникальной северной территории.

Изученность водных объектов территории будущего заповедника до середины 20 века была крайне слабая. Первые сведения о поверхностных водах бассейна основной озерно-речной системы района — р. Каменной — получены Западно-Карельской комплексной экспедицией Карельского филиала АН СССР в 1949–1950 гг., выполнившей исследования озер Каменного, Лувозеро, Кимасозеро и Нюк (крайне ограниченное количество показателей и только за летний период) (Лазоревская, Попенко, 1959).

В 1970–1976, 1979–1980 гг. Отделом водных проблем в составе комплексной Костомукшской экспедиции КФ АН СССР (научный руководитель Г. С. Бискэ, начальник экспедиции И. М. Нестеренко) проводилось изучение подземных и поверхностных вод бассейна р. Каменной. Наиболее детально изучалось оз. Каменное, являющееся источником водоснабжения растущего промузла и города. Исходя из материалов исследования было рекомендовано создание комплексного Каменнозерского заказника (1977 г.). Позже полученные и дополненные сведения послужили обоснованием для создания государственного заповедника «Костомукшский» с включением в его состав оз. Каменного. В 1985 г. вышла монография (Фрейндлинг, Харкевич, 1985), в которой были обобщены материалы исследований озерно-речных систем района, собранные в 1971–1980 гг., в том числе по подземным водам, гидрологии и химии донных отложений водных объектов (Природные воды…, 1985). Получены комплексные фоновые характеристики водных объектов для последующего экологического мониторинга в целях разработки мероприятий по охране вод.

Таких масштабных работ больше не проводилось, но исследования по отдельным направлениям осуществляются до настоящего времени в рамках других научных тем: в 1993 г. была организована Международная программа интегрированного мониторинга экосистем «Камалахти» (партнерская — в соответствии с «Руководством по интегрированному мониторингу» Финляндии). Результатом работы стало получение детальных долговременных данных по всем компонентам природных экосистем (геологические особенности, почвы, древостои, напочвенный покров, природные воды, атмосферные осадки, энтомофауна и пр.). В 2007 г. проводились исследование химического состава атмосферных осадков Карелии с отбором проб снега в районе г. Костомукши и заповедника (Лозовик, Потапова, 2007), оценка современного состояния озер Контоккиярви, Каменного, Люття, Сяркиярви (2024–2026 гг.) (Ильмаст и др., 2024).

Многолетнее изучение флоры и растительности послужило основой для создания кадастра растительного мира заповедника, создана коллекция мхов (М. А. Бойчук) и гербарий травянистых растений (2010 г.)

Описание ихтиофауны водоемов Костомукшского района было представлено В. Я. Первозванским в монографии «Рыбы водоемов района Костомукшского железорудного месторождения» (1986 г.). В ней проанализированы данные работ комплексной экспедиции, проводившейся в начале 1980-х гг. Особое внимание отводилось организации рыбного промысла (а в перспективе — и для искусственного рыборазведения) как места отдыха трудящихся. Одной из задач было снабжение населения г. Костомукши местными продуктами, в том числе рыбой. В последующие годы сотрудники Института биологии Карельского научного центра проводили исследования по мониторингу рыбного населения, а в 2015 г. в ходе полевых работ были осуществлены бонитировка и паспортизация участков главного русла р. Каменной от истока из оз. Каменного до впадения в оз. Лувозеро для получения данных по нерестовому фонду атлантического лосося, других совместно обитающих видов, а также пресноводной жемчужницы р. Каменной (Веселов, Ефремов, Ручьев, 2015).

Комплексное изучение представителей животного мира заповедника было связано и с местами обитания в прибрежной и околоводной территории: прослежены динамика расселения и численность популяции канадского бобра (Федоров, 2018), состояние группировок дикого лесного северного оленя как эндемика фауны Северной Европы, ключевые местообитания, в том числе сезонные участки обитания, места отела и гона, пути миграций. Одной из особенностей экологии лесного северного оленя в Карелии является использование в качестве местообитаний островов и прибрежной зоны. Острова оз. Каменного служат местами отела для важенок.

В публикации сотрудника Института леса КарНЦ РАН С. В. Сазонова (1997), созданной на основе исследований 1987–1996 гг., выполненных при поддержке ГНТП «Биологические ресурсы», были получены данные по составу фауны и населения птиц, обитающих и гнездящихся в водно-болотных угодьях заповедника. Позднее в 2000 г. этим же исследователем были проведены дополнительные орнитологические наблюдения, в том числе с описанием фауны птиц водоемов и болот, тогда было отмечено проникновение на территорию заповедника синантропных птиц, которые избирали места поселения в пойменных и болотных стациях. В 2015 г. сотрудники Института биологии КарНЦ РАН исследовали участки заповедника, представляющие собой отдельные ландшафтно-биотопические комплексы, в том числе прилегающие к пойме р. Каменной, а также акваторию, участки островов и полуостровов оз. Каменного (Симонов, Матанцева, 2015).

Все исследования, проводившиеся на территории заповедника, напрямую или опосредованно связаны с его водными объектами и их природными комплексами. В результате многолетнего изучения территории учеными КарНЦ и сотрудниками объединенной дирекции собраны печатные работы по территории, ежегодно формируются летописи природы и научные отчеты, которые содержат важные данные для научной и эколого-просветительской работы.

Литература

Веселов А. Е., Ефремов Д. А., Ручьев М. А. Отчет по теме: «Исследование воспроизводства пресноводной формы атлантического лосося и других совместно обитающих реофильных видов рыб в бассейне озера Каменного и реке Каменной». Петрозаводск, 2015.

Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П., Кучко Я. А. и др. Отчет по договору № 209/24/ИБ на выполнение научно-исследовательских работ по теме: «Изучение биологического разнообразия водных экосистем Государственного природного заповедника „Костомукшский“ и рекомендации по его сохранению». Петрозаводск, 2004.

Лазаревская Н. М., Попенко Л. К. Озера бассейна р. Каменной — Каменное, Лувозеро и Нюк // Труды Карельского филиала АН СССР. Петрозаводск, 1959. Вып. 18. С. 66–114.

Лозовик П. А., Потапова И. Ю. Отчет по теме: «Исследование химического состава атмосферных осадков Карелии». Петрозаводск, 2007.

Первозванский В. Я. «Рыбы водоемов района Костомукшского железорудного месторождения» (экология, воспроизводство, использование). Петрозаводск: Карелия, 1986. 216 с.

Природные воды района Костомукшского железорудного месторождения (Северная Карелия) / под ред. В. А. Фрейндлинга, Н. С. Харкевича. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1985.

Сазонов С. В. Орнитофауна заповедников и национальных парков северной тайги Восточной Фенноскандии и ее зоогеографический анализ. Петрозаводск: КарН РАН, 1997.

Симонов С. А., Матанцева М. В. Отчет по теме: «Мониторинг орнитофауны Государственного заповедника „Костомукшский“». Петрозаводск, 2015.

Федоров Ф. В. Отчет по теме: «Определение современной численности бобров в заповеднике „Костомукшский“ и национальном парке „Калевальский“ и оценка их роли в биоценозе». Петрозаводск, 2015.

СОВРЕМЕННОЕ ТРОФИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ТОКСИГЕННЫЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ В ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ

Е. В. Теканова[1]*, С. И. Сиделев[2], Н. М. Калинкина[1], Е. Н. Чернова[3], А. Н. Шаров[4], В. С. Смирнова[1]

[1] *Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия*
[2] *Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова, Ярославль, Россия*
[3] *Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург, Россия*
[4] *Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия*

** e-mail: etekanova@mail.ru*

CURRENT TROPHIC STATE AND TOXIGENIC CYANOBACTERIA IN LAKE ONEGO

E. V. Tekanova, S. I. Sidelev, N. M. Kalinkina, E. N. Chernova, S. S. Barinova, A. N. Sharov, V. S. Smirnova

Анализ многолетних данных по концентрации хлорофилла *a* в воде показал, что Онежское озеро на основной акватории сохраняет свое природное олиготрофное состояние. Мелководный район Кижских шхер и эвтрофируемая Кондопожская губа — α-мезотрофные участки. В пятнах цветения в олиготрофном и эвтрофируемом участках водоема обнаружены потенциально опасные численности токсигенных штаммов *Dolichospermum flos-aquae*, *D. circinale, Microcystis aeruginosa* и низкий уровень продукции микроцистинов.

Изменения пресноводных экосистем, вызванные антропогенным воздействием и/или потеплением климата, в конечном итоге приводят к ухудшению качества воды, изменению биопродуктивности и снижению биоресурсного потенциала озер. Эти процессы затронули не только малые, но и крупнейшие водоемы мира. Онежское озеро — одно из великих озер мира (средняя глубина 30 м, максимальная — 120 м, объем воды 295 км^3), является важнейшим водным объектом северо-западной части России, содержащим стратегический запас чистой пресной воды и являющимся водоемом высшей рыбохозяйственной категории. В современных условиях особо важными становятся мониторинг состояния и оценка тенденций изменения природноолиготрофной экосистемы озера в целях сохранения ее уникальности, предотвращения усиления эвтрофирования и рационального использования водных и биоресурсов.

Трофическое состояние — интегральная характеристика водной экосистемы, которая свидетельствует о естественном или антропогенно индуцированном этапе ее развития (старения). Оценка современного трофического состояния экосистемы Онежского озера в летний период 2016–2022 гг. по концентрации хлорофилла *a* в воде показала, что водоем, за исключением Кондопожской губы и района Кижских шхер, сохраняет природное олиготрофное состояние. Слабо мезотрофный уровень трофии в Кондопожской губе и Кижских шхерах также сохраняется на протяжении 30 лет. В Кижских островах на фоне низких концентраций общего фосфора повышенный уровень трофии связан с мелководностью и слабой динамикой водных масс, что обеспечивает хороший прогрев воды. В глубоководной Кондопожской губе повышенный трофический уровень — следствие многолетнего поступления фосфора со сточными водами Кондопожского ЦБК и в результате садкового выращивания радужной форели. Вблизи форелевых садков уровень трофии уже достигает верхнего предела мезотрофии.

В условиях антропогенной нагрузки последствия потепления климата, как правило, ускоряют трансформацию водных экосистем (Niinemets et al., 2017). Тем не менее, реакции больших экосистем на климатические изменения изучены значительно меньше, чем малых (Jenny et al., 2020). Известно, что в Онежском озере произошло увеличение безледоставного

периода, продолжительности биологического лета, средней температуры поверхности воды, стока аллохтонных веществ и цветности воды, смещение планктонных фенофаз (Диагноз и прогноз…, 2020; Kalinkina et al., 2020; Калинкина и др., 2021). Еще одной реакцией экосистемы стало цианобактериальное цветение воды в июле 2021 г. в Кондопожской губе и открытом плесе озера в условиях аномально высокой для водоема температуры поверхности воды (19–20 ºС). В эвтрофируемом заливе цветение воды было вполне ожидаемым, а в двух глубоководных олиготрофных участках отрытого плеса такое событие было зафиксировано впервые за 50-летнюю историю наблюдений.

Микроскопирование образцов воды показало, что основу сообщества в пятнах "цветения" в олиготрофном районе составляли виды *Dolichospermum lemmermannii, D. circinale, D. spiroides*, в эвтрофированном участке — *D. flos-aquae* и *Microcystis aeruginosa*. ПЦР-анализ показал, что у цианобактерий *p. Dolichospermum и Microcystis* есть ген *mcyA*, участвующий в биосинтезе наиболее известного гепатотоксина микроцистина. Численность цианобактерий в местах цветения в открытом плесе озера достигала потенциально опасных для жизни и здоровья людей и животных величин в соответствии с классификацией ВОЗ (Toxic Cyanobacteria…, 1999). Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии — масс-спектрометрии высокого разрешения обнаружены пять структурных вариантов внутриклеточных микроцистинов в низких концентрациях. Наиболее опасный MC–LR обнаружен только в эвтрофированном заливе в концентрации, меньшей безопасного порогового значения 1 мкг/л (Toxic Cyanobacteria…, 1999). Непропорционально низкие концентрации микроцистинов по сравнению с высокой численностью цианобактерий могли быть следствием большой доли акинет (покоящихся клеток) в колониях *Dolichospermum* (30–60 %). Пока неясно, способны ли акинеты продуцировать микроцистины. Увеличение температуры воды и стока аллохтонных веществ могли инициировать усиление вегетации *Dolichospermum* в прибрежье Онежского озера. Обладая плавучестью, эти водоросли могут распространяться на большие расстояния, в том числе, устойчивыми циркуляционными течениями. Дефицит фосфора в открытом плесе озера мог быть триггером дифференциации акинет (Callieri et al., 2014).

Литература

Диагноз и прогноз термогидродинамики и экосистем великих озер России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020. 254 с.

Калинкина Н. М., Теканова Е. В., Ефремова Т. В. и др. Реакция экосистемы Онежского озера в весенне-летний период на аномально высокую температуру воздуха зимы 2019/2020 годов // Известия РАН. Сер. геогр. 2021. Т. 85, № 6. С. 888–899.

Kalinkina N., Tekanova E., Korosov A. et al. What is the extent of water brownification in Lake Onego, Russia? // J. of Great Lakes Res. 2020. Vol. 46, iss. 4. P. 850–861.

Callieri C., Bertoni R., Contesini M., Bertoni F. Lake level fluctuations boost toxic cyanobacterial "oligotrophic blooms" // PLoS One. 2014. N 9: e109526.

Toxic cyanobacteria in water: A Guide to their Public Health Consequences, Monitoring and Management / I. Chorus, J. Bartram (Eds). London: CRC Press, 1999. 858 p.

Niinemets Ü., Kahru A., Mander Ü. et al. Interacting environmental and chemical stresses under global change in temperate aquatic ecosystems: stress responses, adaptation, and scalin // Reg. Environ. Change. 2017. Vol. 17. P. 2061–2077.

Jenny J-Ph., Anneville O., Arnaud F. et al. Scientists' Warning to Humanity: Rapid degradation of the world's large lakes // J. of Great Lakes Res. 2020. Vol. 46, iss. 4. P. 686–702.

СООБЩЕСТВО *NEPHTYS HOMBERGII* В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ (АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ РЕГИОН)

А. С. Терентьев

Отдел «Керченский» Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО», Керчь, Россия

e-mail: iskander65@bk.ru

NEPHTYS HOMBERGII COMMUNITY IN THE KERCH STRAIT (AZOV-BLACK SEA REGION)

A. S. Terentev

Временное сообщество *Nephtys hombergii* образуется на месте разрушенных донных биоценозов и в скором времени замещается вновь образующимися биоценозами. Оно насчитывало 21 вид донных животных. Его численность в среднем равнялась 88±16 экз./м^2, биомасса — 3,42±0,99 г/м^2. Плотность видов колебалась от 1 до 8 вид/0,1м^2. На долю доминантного вида в среднем приходилось 33–15 % общей численности и 37–47 % общей биомассы сообщества. Наиболее высокого уровня развития оно достигало на заиленной ракуше. В трофической структуре преобладали хищники, в том числе падальщики. На их долю в среднем приходилось 43–58 % общей численности и 38–48 % биомассы этого сообщества.

Сообщество бродячей полихеты *Nephtys hombergii* в Керченском проливе временно образуется на месте разрушенных биоценозов, на участках с большим содержанием мертвого органического вещества. Существует короткое время и впоследствии замещается вновь образующимся биоценозом.

Его видовое богатство насчитывало 21 вид животных, или 14 % всех видов макрозообентоса Керченского пролива, обнаруженных в дночерпательных пробах (табл.). Идентификация видов проводилась по трехтомному определителю фауны Черного и Азовского морей (Определитель…, 1968, 1969, 1972), с таксономической поправкой по WoRMS (2026).

Видовой состав и средний уровень развития сообщества *N. hombergii* в Керченском проливе (1986–2016 гг.)

Вид	Численность, экз./м^2	Биомасса, г/м^2	Встречаемость,%
Немертины:			
Nemertea	9,40±2,30	0,002±0,001	1–11
Сумма	9,40±2,30	0,002±0,001	
Полихеты:			
Alitta succinea	1,76±0,43	0,004±0,001	1–11
Eunereis longissima	0,59±0,14	менее 0,001	1–11
Glycera tridactyla	0,59±0,14	менее 0,001	1–11
Melinna palmata	19,40±9,50	0,158±0,069	35–59
Nephtys hombergii	34,10±7,00	1,440±0,330	100
Spio filicornis	0,59±0,14	0,001±0,001	1–11
Сумма	57,00±11,00	1,600±0,370	
Форониды			
Phoronis psammophila	0,59±0,14	0,005±0,001	1–11
Сумма	0,59±0,14	0,005±0,001	
Ракообразные:			
Ampelisca diadema	1,80±1,30	0,007±0,005	4–19
Amphibalanus improvisus	8,80±5,30	0,480±0,460	13–33
Diogenes pugilator	2,35±0,57	0,750±0,180	1–11
Microdeutopus gryllotalpa	1,80±1,30	0,001±0,001	4–19

Окончание табл.

Вид	Численность, экз./м^2	Биомасса, г/м^2	Встречаемость,%
Phtisica marina	0,59±0,14	менее 0,001	1–11
Pleonexes gammaroides	0,59±0,14	менее 0,001	1–11
Sphaeroma serratum	0,59± 0,14	0,007±0,002	1–11
Сумма	16,50±5,90	1,250±0,860	
Брюхоногие моллюски:			
Hydrobia acuta	0,59±0,14	0,002±0,001	1–11
Retusa truncatula	0,59±0,14	0,031±0,007	1–11
Tritia neritea	1,76±0,43	0,290±0,070	1–11
Сумма	2,90±1,90	0,320±0,280	
Двустворчатые моллюски:			
Chamelea gallina	0,59±0,14	0,095±0,023	1–11
Pitar rudis	0,59±0,14	0,024±0,006	1–11
Сумма	1,18±0,28	0,119±0,029	
Асцидии:			
Molgula appendiculata	0,59±0,14	0,118±0,029	1–11
Сумма	0,59±0,14	0,118±0,029	
Общая сумма	88,00±16,00	3,420±0,990	

Плотность видов колебалась от 1 до 8 вид/0,1 м^2, а в среднем равнялась 2,88±0,52 вид/0,1 м^2. В видовом богатстве преобладали ракообразные и полихеты. На их долю, соответственно, приходилось 33 и 29% общего видового богатства сообщества.

Общая численность сообщества изменялась от 10 до 220 экз./м^2, биомасса — от 0,52 до 13,60 г/м^2. Как по численности, так и по биомассе доминировали полихеты. На их долю в среднем приходилось 67–80% общей численности и 42–52% биомассы сообщества. Ракообразные по биомассе не уступали полихетам. Но их встречаемость равнялась 29–53%. Среди них доминировал морской желудь *A. improvisus*. Его доля в общей биомассе ракообразных равнялась 27–50%.

Численность доминантного вида изменялась от 10 до 120 экз./м^2, биомасса — от 0,46 до 3,98 г/м^2. На его долю приходилось от 20% общей численности сообщества и от 31% его биомассы. Минимальная доля по биомассе бралась без учета таких крупных и подвижных организмов как рак-отшельник *D. pugilator* и брюхоногий моллюск *T. neritea*. На некоторых участках дна *N. hombergii* фактически образовывал моноценоз. В среднем его доля в общей численности сообщества равнялась 33–45%, а в биомассе — 37–47%.

Уровень развития сообщества достаточно сильно зависел от типа грунта. Наиболее сильно от типа грунта зависело значение индекса полидоминантности Симпсона (60–66%). Высокое влияние тип грунта оказывает на плотность вида (56–63%), а также общую численность (51–58%) и биомассу (43–52%) сообщества.

Наиболее высоким уровнем развития отличались его часть, лежащая на заиленной ракуше. В его составе было обнаружено 13 видов (62% общего видового богатства сообщества). Плотность видов равнялась 6,0±1,1 экз./0,1 м^2, численность — 143±35 экз./м^2, а биомасса — 4,5±1,8 г/м^2. Также здесь наблюдается наиболее высокая выровненность видового состава сообщества.

В трофической структуре преобладали хищные виды, в том числе падальщики. На их долю в среднем приходится 43–58% его численности и 38–48% биомассы и не опускался ниже 20% по численности и 6% по биомассе. На отдельных участках значительная доля в численности (50%) и биомассы (94%) приходилась на долю полифагов. Хотя в целом их встречаемость была 4–20%, а доля в общей численности и биомассе 2–9 и 17–27%.

Литература

Определитель фауны Черного и Азовского морей. 1968, 1969, 1972. Т. 1, 2, 3. 436 с., 353 с., 340 с.
WoRMS https://marinespecies.org/index.php (дата обращения: 23.03.2026).

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О СОСТОЯНИИ ФАУНЫ РЫБ В ЗОНЕ РАЗРАБОТКИ КОЛМОЗЕРСКОГО ЛИТИЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

П. М. Терентьев*, Е. М. Зубова, И. М. Королева

Институт проблем промышленной экологии Севера — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ИППЭС КНЦ РАН), Апатиты, Россия

** e-mail: p.terentjev@ksc.ru*

THE FIRST RESULTS ON THE STATE OF FISH FAUNA NEAR THE KOLMOZERSKY LITHIUM DEPOSIT DEVELOPMENT (MURMANSK REGION)

P. M. Terentjev, E. M. Zubova, I. M. Koroleva

Приведены первые сведения о состоянии фауны рыб водных объектов вблизи разработки Колмозерского месторождения редкоземельных элементов на территории Мурманской области. Исследования проводились на оз. Колмозеро и ряде рек бассейна р. Йоканьги. Оценен видовой состав фауны рыб, определены основные размерно-весовые, возрастные показатели, исследовано состояние рыб на организменном уровне. Разработаны рекомендации по охране животного мира и минимизации воздействий промышленного производства и организации экологического мониторинга на основе показателей фауны рыб. Оценена важность рассматриваемых водных объектов с точки зрения естественного потенциала, а полученные результаты являются отправной точкой современного уровня нагрузки в условиях нарастания промышленного влияния на экосистему р. Йоканьги в целом.

Значительная удаленность бассейна р. Йоканьги от промышленных центров региона сказалась на относительно малой его изученности с точки зрения гидробиологии и ихтиологии. Ихтиологические исследования реки связаны, главным образом, с изучением особенностей биологии, запасов и воспроизводства атлантического лосося. Основной вклад в данном направлении принадлежит исследователям Полярного филиала ФГБНУ ВНИРО (ПИНРО им. Книповича), Карельского НЦ и Уральского отделения РАН (Смирнов, 1935; Мартынов и др., 1988; Зубченко и др., 1990; Лососевые реки…, 1991; Долотов, 2006; Мартынов, 2007). Ихтиологические исследования на водных объектах в непосредственной близости от разрабатываемого месторождения ранее не проводились. В этой связи оценка современного состояния рыбной части сообществ представляется весьма актуальной. В задачи исследования входило выявление видового состава фауны рыб водных объектов, обследование речных участков, благоприятных для воспроизводства лососевых видов рыб, а также поиск мест возможного обитания европейской жемчужницы, относящейся к охраняемым видам, включенным в Красную книгу Мурманской области и Красную книгу РФ. В ходе работ были разработаны рекомендации по охране животного мира и минимизации воздействий промышленного производства и организации экологического мониторинга на основе показателей фауны рыб.

Известно, что в бассейне р. Йоканьги встречаются следующие виды рыб: атлантический лосось (*Salmo salar* L.), горбуша (*Oncorhynchus gorbuscha* W.), кумжа (*Salmo trutta* L.) и ее формы, голец арктический (*Salvelinus alpinus* L.), сиг (*Coregonus lavaretus* L.), щука (*Esox lucius* L.), налим (*Lotta lotta* L.), колюшки трех- (*Gasterosteus aculeatus* L.) и девятииглая (*Pungitius pungitius* L.), обыкновенный гольян (*Phoxinus phoxinus* L.). Считается, что верхней границей распространения атлантического лосося в пределах бассейна р. Йоканьги является р. Сухая и русловое оз. Юпычкесты. Кроме того, семга отмечается в восьми притоках первого порядка — реки Пулоньга, Лыльйок, Покруэй, Адийок, Тыдийок, Акиманаэйна, Пуйва и Сухая (Лососевые реки…, 1991; Мартынов, 2007).

В ходе исследований определен видовой состав водных объектов вблизи разрабатываемого месторождения, состоящий из шести видов (кумжа, сиг, щука, налим, гольян, девятииглая колюшка). Озеро Колмозеро является достаточно крупным водоемом, типичным для тундровой зоны Мурманской области бассейна Баренцева моря. Характерной особенностью водоемов указанной зоны является отсутствие таких видов, как европейский хариус и речной окунь. Вместе с тем, в водоеме, богатом песчаными отмелями, мелкогравийными участками, мелководными заводями с высшей водной растительностью, отмечаются благоприятные условия для воспроизводства и нагула сига, щуки и налима. Развитая озерно-речная сеть позволяет рыбам активно мигрировать в поисках более благоприятных условий для нагула и зимовки. Наиболее высокие размерно-весовые показатели характерны для рыб оз. Колмозеро. У исследованных рыб не выявлено внешних изменений и патологических трансформаций внутренних органов и тканей, свидетельствующих о негативном влиянии процессов антропогенного загрязнения вод.

В пределах обследованных участков водотоков наиболее благоприятными для воспроизводства лососевых видов (кумжа) является р. Юнка, в меньшей степени — реки Эльвань и Тичка, где кумжа отмечалась единично. Река Йоканьга и ее притоки вблизи разрабатываемого месторождения имеют важнейшее значение с точки зрения естественного воспроизводства кумжи, сига и щуки, являясь ключевыми артериями в ходе процессов сезонных миграций (нерестовых, нагульных). Разработка месторождения и последующее функционирование обогатительного производства, несомненно, способно оказывать негативное влияние на структуру сообществ гидробионтов и рыб. В особенности это касается представителей лососевых видов (атлантического лосося и кумжи), основные НВУ которых расположены в среднем и нижнем течении р. Йоканьги. Сиг, широко распространенный в пределах бассейна, включая его речные формы, также будет подвержен влиянию сточных вод производства. Анализ текущей ситуации (состояние сообщества, популяций и отдельных организмов рыб) является своеобразной отправной точкой современного уровня нагрузки в условиях нарастания промышленного влияния на экосистему р. Йоканьги в целом.

Литература

Долотов С. И. Эколого-биологические аспекты рационального управления запасом атлантического лосося *Salmo Salar* L. На примере р. Йоканьги, бассейн Баренцева моря: дис. … канд. биол. наук: 03.00.32. Биологические ресурсы. М., 2006. 134 с.

Зубченко А. В., Кузьмин О. Г., Неклюдов М. Н. Характеристика покатников атлантического лосося р. Йоканьги // Симпозиум по атлантическому лососю. Сыктывкар, 1990. С. 36.

Лососевые реки Кольского полуострова. Река Йоканьга / Зубченко А. В., Кузьмин О. Г., Неклюдов М. Н. и др. Мурманск: ПИНРО, 1991. 50 с.

Мартынов В. Г. Атлантический лосось на севере России. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 414 с.

Мартынов В. Г., Вшивцев А. С., Семочкин А. И. Структура нерестового стада и линейный рост семги р. Йоканьги // Третье Всесоюз. совещ. по лососевидным рыбам. Тольятти, 1988. С. 193–195.

Смирнов А. Г. Исследования биологии и промысла семги восточной части Терского берега и на Мурмане в 1932 и 1933 гг. // Известия ВНИОРХ. 1935. Вып. 20. С. 120–121.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОПАДАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ОРГАНИЗМЫ ЗООПЛАНКТОНА ПРИ ПИТАНИИ

Д. А. Тихонова[1]*, **В. В. Дмитриев**[2]

[1] *Институт озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия*
[2] *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

* *e-mail: tdasha94@mail.ru*

MODELLING MICROPLASTICS INTAKE BY ZOOPLANKTON DURING FEEDING

D. A. Tikhonova, V. V. Dmitriev

Предложены модели расчета вероятности попадания микропластика (МП) в организмы при питании зоопланктона. Сделаны выводы, что поступление МП в организм зоопланктона определяется не только содержанием МП в среде, но и уровнем фильтрационной активности зоопланктона, зависящим от температуры воды и суммарной пищи зоопланктеров.

Известно, что микропластик (МП) может поглощаться зоопланктоном при питании (Cole et al., 2013). В рамках моделирования процессов массообмена в водной экосистеме в качестве компонента системы был введен МП с разделением на лабильную и стойкую фракции. Предполагается, что зоопланктоном потребляется преимущественно лабильный микропластик (Тихонова, Дмитриев, 2025).

Лабильность и стойкость МП может определяться в первую очередь его химическим составом, а также размером. Важную роль при этом играет размер фильтрационной камеры зоопланктона и диапазон размеров частиц, доступных для захвата. У организмов с фильтрационным типом питания основная масса потребляемых частиц составляет 2–30 мкм, при максимальных размерах до 100–120 мкм (Крючкова, 1983). Более крупные частицы могут механически разрушаться в водной толще или при захвате и частично использоваться в питании зоопланктеров. При этом отбросы пищи могут быть твердыми (в детрит) и жидкими (в компоненты РОВ). В модели зоопланктон рассматривается как всеядный фильтратор, способный захватывать и перерабатывать фрагменты МП. В условиях отсутствия детальной информации о составе полимеров в воде в качестве лабильной фракции приняты частицы размером менее 1 мм. При этом учитывается, что концентрация МП может быть выше вследствие ограничений аналитических методов, что компенсируется введением поправочного коэффициента.

Для оценки вероятности попадания МП в рацион зоопланктона может быть использован подход, предложенный в работе (Richon et al., 2022), в которой вводится индекс экспозиции, отражающий долю МП в доступной пищевой базе с учетом трофических предпочтений. Данный показатель характеризует вероятность того, что частицы МП окажутся среди потенциально заглатываемых объектов и носит безразмерный характер. В настоящей работе данный подход был адаптирован с учетом структуры используемой модели питания зоопланктона (Сергеев и др., 2021). В качестве компонентов пищевой базы рассматриваются фитопланктон, бактерии и детрит, а также лабильный МП. Вклад каждого компонента в рацион определяется коэффициентами взаимодействия зоопланктона с компонентами пищи и долей фактически потребляемой пищи. На этой основе рассчитывается индекс экспозиции МП ($Exposure_{Plab}$), характеризующий относительную долю микропластика в составе доступной пищи:

$$Exposure_{P_{lab}} = \frac{P_{lab}}{\sum_{i \in R}(X_i \cdot o_i)} \cdot Grazing_{norm},$$

где R — множество компонентов пищи (фитопланктон, бактерии, детрит, мг сух. в.·л$^{-1}$), P_{lab} — содержание лабильного МП, мг сух. в.·л$^{-1}$, X_i — концентрация или биомасса компонента пищи i (фитопланктона, бактерий, лабильного и стойкого детрита), мг сух. в.·л$^{-1}$, o_i — отношение рациона к экологическому рациону (рацион + отбросы), $Grazing_{norm}$ — нормированная суммарная скорость выедания всех компонентов пищи зоопланктоном (G_Z) (Сергеев и др., 2021).

В отличие от подхода, учитывающего только состав пищевой базы, в работе дополнительно введена оценка интенсивности фактического поступления МП в организм зоопланктона ($Intake_{Plab}$). Этот показатель определяется как произведение индекса экспозиции ($Exposure_{Plab}$) на фильтрационную активность (FA) зоопланктона (Сергеев и др., 2021), что позволяет учитывать не только вероятность попадания МП в пищу, но и интенсивность фильтрации воды.

Сценарные расчеты показали, что при увеличении концентрации МП в воде значения $Exposure_{Plab}$ и $Intake_{Plab}$ возрастают (табл.), однако характер этого роста существенно различается в зависимости от температурных условий. В «теплом» сценарии наблюдается значительно более высокий уровень поступления МП, тогда как в «холодном» сценарии его значения остаются на несколько порядков ниже, вследствие снижения фильтрационной активности зоопланктона. При натурных концентрациях МП (порядка 10^{-5}–10^{-4} мгл$^{-1}$) значения $Intake_{Plab}$ крайне малы, тогда как при увеличении содержания МП до 0,2–2 мгл$^{-1}$ происходит их резкий рост.

Таким образом, полученные результаты показывают, что поступление МП в организм зоопланктона определяется не только его концентрацией в среде, но и уровнем фильтрационной активности, зависящим от температурных условий и суммарной пищи зоопланктона. Предложенный подход позволяет связать вероятность попадания МП в рацион с реальными потоками вещества через организм и может быть использован для анализа трофических последствий загрязнения водных экосистем МП.

Изменения $Exposure_{Plab}$ и $Intake_{Plab}$ в зависимости от содержания МП

МП, мгл$^{-1}$	$Exposure_{Plab}$	$Intake_{Plab}$, сут$^{-1}$
0	0	0
0,00002	0,00002/7,4 × 10^{-9}	5 × 10^{-6}/1,7 × 10^{-11}
0,02	0,02/0,00001	0,005/2,6 × 10^{-8}
0,2	0,2/0,0005	0,05/1,1 × 10^{-6}
2	2/0,04	0,5/0,0001

Примечание. Через дробь указаны значения для «теплого» (20 °C) / «холодного» (3 °C) сценария.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИНОЗ РАН — СПб ФИЦ РАН (тема FFZF-2024-0002 «Современные угрозы водным объектам и инновационные методы их сохранения, восстановления и рационального использования»).

Литература

Крючкова Н. М. Роль фильтраторов зоопланктона в трофодинамике пресных вод: автореф. дис. … д-ра биол. наук. Л., 1984. 38 с.

Сергеев Ю. Н., Кулеш В. П., Дмитриев В. В. Пространственно-неоднородная модель экосистемы эстуария р. Невы. Имитации последствий строительства Санкт-Петербургской дамбы. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2021. 310 с.

Тихонова Д. А., Дмитриев В. В. Моделирование влияния микропластика на обменные процессы и естественное отмирание зоопланктона в водоеме // Гидрометеорология и экология. 2025. № 80. С. 547–561.

Cole M., Lindeque P., Fileman E. et al. Microplastic ingestion by zooplankton // Environmental Science & Technology. 2013. Vol. 47 (12). P. 6646–6655.

Richon C., Gorgues T., Cole M. et al. Model exploration of microplastic effects on zooplankton grazing reveal potential impacts on the global carbon cycle // Environmental Research Letters. 2024. Vol. 19 (7): 074031.

ПИЩЕВАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ КРЮЧКОРОГОВ РОДОВ *ARTEDIELLUS* И *ARTEDIELLICHTHYS* (COTTIDAE) В ПРИКАМЧАТСКИХ ВОДАХ

А. М. Токранов

Камчатский филиал Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

e-mail: tok_50@mail.ru

FOOD SPECIALIZATION OF HOOKEAR SCULPINS OF GENUS *ARTEDIELLUS* AND *ARTEDIELLICHTHYS* (COTTIDAE) IN NEAR KAMCHATKA WATERS

M. Tokranov

Результаты анализа состава пищи охотского, тонкохвостого и чернопёрого крюкорогов (сем. Cottidae) позволяют сделать вывод, что все они являются типичными среднеразмерными бентофагами, основными кормовыми объектами которым служат бокоплавы, мелкие креветки и многощетинковые черви. С увеличением глубины обитания потребление бокоплавов возрастает, тогда как роль многощетинковых червей, наоборот, сокращается. Если у более мелководных охотского и тонкохвостого крючкорогов по мере их роста доля многощетинковых червей в составе пищи увеличивается, то у обитающего на материковом склоне чернопёрого крючкорога основными кормовыми объектами особям всех размеров служат бокоплавы.

Крючкороги родов *Artediellus* и *Artediellichthys* — довольно мелкие, но широко распространенные в северной части Тихого океана и арктических водах представители рогатковых рыб сем. Cottidae, которые встречаются от приливно-отливной зоны до глубины 815 м. В настоящее время в прикамчатских водах достоверно известно 8 видов крючкорогов этих родов (7 первого и 1 второго), 7 из которых относятся к категории обычных рыб (Федоров, 2000; Шейко, Федоров, 2000; Парин и др., 2014). Обобщение результатов обработки собственных материалов (Токранов, 1988, 2001, 2013, 2019) с привлечением литературных данных (Чучукало, 2006) дает возможность получить представление о пищевой специализации трех видов крючкорогов (охотского *Artediellus ochotensis*, тонкохвостого *A. camchaticus* и чернопёрого *Artediellichthys nigripinnis*) в прикамчатских водах.

Полученные данные свидетельствуют, что все три исследованных вида крючкорогов по типу питания являются типичными бентофагами (Токранов, 1988, 2001, 2013, 2019; Чучукало, 2006). Хотя их пищевые спектры довольно разнообразны, основными кормовыми объектами самому мелководному из них охотскому крючкорогу служат различные многощетинковые черви, бокоплавы и мелкие креветки сем. Crangonidae (табл.), суммарная доля которых составляет свыше 96 % по массе. Главными объектами питания обитающего преимущественно на шельфе, но в более широком батиметрическом диапазоне тонкохвостого крючкорога являются многощетинковые черви и бокоплавы (около 90 % по массе), а самого глубоководного из них — чернопёрого крючкорого, который постоянно держится исключительно в верхней части материкового склона, — только бокоплавы, доля которых в пище достигает почти 85 % по массе (см. табл.). Причем если у последнего из них представители этой группы ракообразных служат основными пищевыми объектами как молоди, так и взрослых особей (Токранов, 2001), то у охотского и тонкохвостого крючкорогов, по мере их роста и увеличения размеров, потребление многощетинковых червей возрастает, тогда как значение в пище бокоплавов и креветок сокращается (Токранов, 1988, 2019).

Состав пищи, % по массе, разных видов крючкорогов родов *Artediellus* и *Artediellichthys* в прикамчатских водах

Компонент	Вид крючкорога		
	Охотский	Тонкохвостый	Чернопёрый
	ОМ	ВК	ВК, СК
Polychaeta	42,1	50,0	9,7
Cumacea	–	4,8	0,9
Mysidacea	–	1,9	–
Amphipoda	31,0	39,3	84,7
Decapoda	23,3	3,3	4,3
Прочие	3,6	0,7	0,4
Число исследованных рыб, экз.	62	621	100
Максимальная длина, см	14	16	16
Диапазон глубин обитания, м	4–150	35–520	200–815
Батиметрический оптимум, м	менее 50	80–130	300–700

Примечание. Район: СК — тихоокеанские воды северных Курильских островов; ВК — воды Восточной Камчатки; ОМ — северо-восточная часть Охотского моря.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод, что все три исследованных вида крючкорогов являются типичными среднеразмерными бентофагами, основными кормовыми объектами которым служат бокоплавы, мелкие креветки и многощетинковые черви. Однако с увеличением глубины обитания потребление бокоплавов возрастает, тогда как роль многощетинковых червей, наоборот, сокращается. Причем если у более мелководных охотского и тонкохвостого крючкорогов по мере их роста доля многощетинковых червей в составе пищи увеличивается, то у обитающего на материковом склоне чернопёрого крючкорога основными кормовыми объектами особям всех размеров служат бокоплавы.

Литература

Парин Н. В., Евсеенко С. А., Васильева Е. Д. Рыбы морей России: аннотированный каталог. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2014. 733 с.

Токранов А. М. Некоторые вопросы биологии камчатского крючкорога *Artediellus camchaticus* восточного побережья Камчатки // Вопросы ихтиологии. 1988. Т. 28, вып. 3. С. 415–420.

Токранов А. М. Некоторые черты биологии черноперого крючкорога *Artediellichthys nigripinnis* (Cottidae) в тихоокеанских водах северных Курильских островов и юго-восточной Камчатки // Вопросы ихтиологии. 2001. Т. 41, № 5. С. 615–619.

Токранов А. М. Некоторые черты биологии охотского усатого крючкорога *Artediellus ochotensis* (Cottidae) в прикамчатских водах Охотского моря // Чтения памяти академика К. В. Симакова: материалы Всерос. науч. конф. (Магадан, 26–28 ноября 2013 г.). Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2013. С. 173–175.

Токранов А. М. Трофические группировки рогатковых рыб (Cottidae) в прикамчатских водах // Принципы экологии. 2019. № 3. С. 101–110.

Федоров В. В. Видовой состав, распределение и глубины обитания видов рыбообразных и рыб северных Курильских островов // Промыслово-биологические исследования рыб в тихоокеанских водах Курильских островов и прилежащих районах Охотского и Берингова морей в 1992–1998 гг. М.: ВНИРО, 2000. С. 7–41.

Чучукало В. И. Питание и пищевые отношения нектона и нектобентоса в дальневосточных морях. Владивосток: ТИНРО-центр, 2006. 484 с.

Шейко Б. А., Федоров В. В. Класс Cephalaspidomorphi — Миноги. Класс Chondrichthyes — Хрящевые рыбы. Класс Holocephali — Цельноголовые. Класс Osteichthyes — Костные рыбы // Каталог позвоночных животных Камчатки и сопредельных морских акваторий. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2000. С. 7–69.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МОРСКИХ ВОЛН ТЕПЛА БЕРИНГОВА МОРЯ ЗА 1993–2022 ГГ.

В. С. Травкин[1, 2]*, **Т. В. Белоненко**[2]

[1] *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия*

[2] *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия*

* *e-mail: vtravkin99@gmail.com*

CHARACTERISTICS OF MARINE HEATWAVES OF THE BERING SEA FOR 1993–2022

V. S. Travkin, T. V. Belonenko

Представлены результаты анализа основных характеристик (количества, продолжительности жизни, интенсивности, кумулятивной величины) морских волн тепла (МВТ) в Беринговом море за 1993–2022 гг. при помощи данных реанализов GLORYS12V1, ERA5, данных спутника CryoSat-2, а также наблюдений с прибрежных метеостанций. Установлено, что характеристики МВТ существенно различаются по пространству и имеют значимые долгопериодные положительные линейные тренды: их количество возрастает на одно событие в декаду, средняя интенсивность на 0,17 °C в декаду, а средняя продолжительность на 4,1 сут. в декаду. Анализ атмосферных и океанических параметров свидетельствует о значимом сокращении концентрации морского льда, при этом для скорости ветра значимых изменений не обнаружено.

Морские волны тепла (МВТ) представляют собой дискретные события в той или иной части Мирового океана, при которых температура воды на протяжении пяти и более суток превышает 90 % перцентиль температуры воды (за 30-летний промежуток) для данного календарного периода (Hobday et al., 2016). В последнее время МВТ были обнаружены во многих частях Мирового океана, при этом они могут быть причиной социально-экономических потерь, поскольку негативно влияют на состояние морской экосистемы (вплоть до гибели морских организмов) (Garrabou et al., 2009). Такие явления могут существовать на протяжении нескольких месяцев и даже лет, занимая сотни тысяч км^2. Образование МВТ может быть связано как с океанологическими (адвекция теплых вод течениями, конвекция тепла из нижележащих слоев), так и с атмосферными процессами (влияние баротропных волн Россби, уменьшение ветрового воздействия, интенсивный радиационный прогрев). При этом обнаружено наличие связи между интенсивностью МВТ и крупномасштабными климатическими процессами, например, Эль-Ниньо.

Климатические изменения последних десятилетий привели к существенному увеличению как числа МВТ, так и их интенсивности, причем наибольший рост обнаружен в высоких широтах и Арктическом бассейне. Районом исследования является Берингово море, играющее важную роль в добыче рыбы, при этом подверженное существенным изменениям ледового режима, а также увеличению температуры воды на поверхности. Таким образом, целью данной работы является обнаружение МВТ в Беринговом море и анализ их основных характеристик, а именно: количества, продолжительности жизни, интенсивности, кумулятивной величины, пространственного распространения, а также сезонной и межгодовой изменчивости. Для достижения данной цели были выполнены следующие задачи: (1) количественная оценка пространственного распределения параметров МВТ при помощи реанализа GLORYS12V1; (2) анализ сезонной и межгодовой изменчивости параметров МВТ; (3) изучение связи между параметрами МВТ и глубиной верхнего квазиоднородного слоя, а также концентрацией морского льда; (4) Классификация обнаруженных МВТ

по интенсивности, а также анализ эволюции одного из наиболее интенсивных событий. Кроме того, были рассмотрены механизмы долгопериодной изменчивости МВТ, в том числе изучено влияние на них ветрового воздействия.

Полученные результаты свидетельствуют о статистически значимом увеличении всех параметров МВТ, а именно: количества (+1 событие за декаду), средней интенсивности (+0,17 °С за декаду), средней и суммарной продолжительности (+4,1 сут. и +24 сут. за декаду, соответственно). В глубоководных частях Берингова моря зафиксировано наибольшее количество МВТ (более 70 случаев за 30 лет), при этом они относительно слабы (интенсивность менее 1,5 °С), тогда как на шельфе МВТ более интенсивны (2,7 °С в среднем) и продолжительны (до 60 сут.). Обнаружена отрицательная значимая корреляция между интенсивностью МВТ и глубиной перемешанного слоя (–0,61), демонстрирующая ключевую роль стратификации — в районах с небольшим перемешанным слоем даже малое поступление тепла приводит к формированию сильных аномалий температур воды, тогда как в районах с развитым верхним перемешанным слоем обнаружены волны малой интенсивности, но с большей продолжительностью.

Максимальная интенсивность МВТ обнаружена в июле (около 2,15 ºС), а наибольшая продолжительность в октябре-марте. Теплосодержание МВТ максимально в зимне-весенний период. Наиболее интенсивная МВТ в Беринговом море наблюдалась в 2017–2018 гг. и в отдельные периоды занимала 90% акватории. Ее эволюция сопровождалась рекордным сокращением площади морского льда, а также аномалиями температуры воды на поверхности до 3 °С, по сравнению со среднеклиматическими значениями.

Авторы выражают благодарность за финансовую поддержку исследования Санкт-Петербургскому государственному университету (грант № 129659573). Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-03-2026-218, проект FSEG-2026-0020).

Литература

Garrabou J., Coma R., Bensoussan N. et al. Mass mortality in Northwestern Mediterranean rocky benthic communities: effects of the 2003 heat wave // Glob. Chang. Biol. 2009. Vol. 15. P. 1090–1103.

Hobday A. J., Alexander L. V., Perkins S. E. et al. A hierarchical approach to defining marine heatwaves // Prog. Oceanogr. 2016. Vol. 141. P. 227–238.

ИЗМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ В 1993–2025 ГОДЫ

Е. С. Троицкая*, И. Н. Тюрнев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

** e-mail: elena.troitskaya@lin.irk.ru*

CHANGES IN THE INTENSITY OF VERTICAL MIXING PROCESSES IN LAKE BAIKAL IN 1993–2025 YEARS

E. S. Troitskaya, I. N. Turnev

Представлены результаты анализа турбулентного перемешивания в период прогрева оз. Байкал и характеристик интрузий поверхностных вод вследствие вынужденной конвекции в последние десятилетия. Выявлены значимые отрицательные тренды величин коэффициента турбулентной температуропроводности K_z в глубинной и придонной зонах Среднего и Северного Байкала и в глубинной зоне Южного Байкала. Показана пространственная неоднородность формирования интрузий, частота формирования которых снижается с юга на север озера. Результаты объясняют снижение температур в глубинной и придонной областях отдельных котловин Байкала в последние десятилетия.

В последние годы все чаще появляются работы, посвященные изучению влияния изменений климата не только на температуру поверхности водоемов, но и их водной толщи, в том числе теплосодержания в озерах (Weinberg, Vetter, 2014; Filatov et al., 2019; Vanderkelen et al., 2020; Troitskaya et al., 2022). Известно, что вертикальный обмен в озерах является одним из основных физических факторов, определяющих стратификацию вод, их температурный и газовый режим, влияет на интенсивность круговорота вещества и биологические процессы.

Целью нашей работы является анализ изменений интенсивности турбулентного обмена (коэффициенты турбулентной температуропроводности K_z) в теплый период и характеристик интрузий («дефицит тепла» $\Delta Q_{(-)}$, мощность h и объем W обновленного слоя, концентрация растворенного кислорода O_2) за счет вынужденной глубинной конвекции в последние десятилетия.

Для расчета K_z методом «потока тепла» и характеристик интрузий использованы данные о вертикальном распределении температуры воды, полученные в 1993–2025 гг. на центральных станциях стандартных разрезов в отдельных котловинах Байкала. Величины O_2 были измерены или рассчитаны по уравнениям связи для 1993–2025 гг.

Анализ межгодовой изменчивости характеристик интрузий показал, что после схода льда интрузии чаще всего формируются в Южном Байкале (72 %), чуть реже в Среднем Байкале (66 %) и в половине из исследуемых лет в Северном Байкале (50 %). Объем и мощность обновленного слоя сопоставимы по величинам в южной и средней котловинах и меньше в северной котловине.

Показано, что интрузии за счет глубинной конвекции развиваются не только над западным более крутым подводным склоном, но и в некоторых районах у восточного берега Южного и Северного Байкала, где уклоны подводного склона сопоставимы с таковыми у западного берега.

Анализ величин K_z показал, что интенсивность вертикального обмена близка по своим значениям в верхнем 100-метровом слое во всех частях Байкала (табл.). Глубже (100–300 м) величины K_z в Северном Байкале ниже, чем в других частях озера. В глубинной и придонной зонах Северного Байкала величины K_z в полтора-два раза меньше, чем в Южном и Среднем Байкале (см. табл.).

Статистические характеристики величины K_z, см^2/с, для разных слоев отдельных котловин Байкала

Слой воды, м	Среднее	Максимальное	Минимальное	СКО
Южный Байкал				
0–100	3,05	9,20	0,34	2,30
100–300	13,22	48,10	0,99	10,43
300–1100	31,46	109,61	3,01	26,98
1100–дно	33,93	142,86	2,80	36,72
Средний Байкал				
0–100	3,47	8,31	0,18	2,19
100–300	11,60	45,18	1,79	11,15
300–1200	28,56	137,70	2,27	29,26
1200–дно	28,69	183,03	0,29	40,25
Северный Байкал				
0–100	3,78	13,71	0,13	3,65
100–300	9,98	33,27	0,34	8,48
300–600	16,51	58,34	0,38	15,14
600–дно	17,13	66,98	0,90	15,58

При анализе многолетних изменений характеристик интрузий выявлены значимые ($p < 0,03$) тренды $\Delta Q_{(-)}$ ((–0,28 МДж/м^2) /год) и O_2 ((0,96 O_2г/м^2) /год) в Южном Байкале. Для Среднего Байкала обнаружен значимый тренд h (2,4 м/год) и W (8,7 м^3/год). Для Северного Байкала никаких значимых трендов не выявлено.

Также выявлены значимые ($p < 0,01$) отрицательные тренды величин K_z в глубинной и придонной зонах Среднего (соответственно, –0,61 и –0,91 (см^2/с) /год) и Северного (соответственно, –0,39 и –0,32 (см^2/с) /год) Байкала и в глубинной зоне Южного Байкала (–0,61 (см^2/с) /год).

Таким образом, изменения характеристик интенсивности вертикального турбулентного обмена и интрузий за счет глубинной вынужденной конвекции в последние десятилетия приводят к меньшему поступлению тепла в глубинный и придонный слои воды.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории гидрологии и гидрофизики ЛИН СО РАН за организацию и проведение экспедиционных работ, а также за полезные замечания и обсуждение результатов исследования.

Работа выполнена в рамках государственной темы 1023032700323-4-1.5.12.

Литература

Filatov N., Baklagin V., Efremova T. et al. Climate change impacts on the watersheds of Lakes Onego and Ladoga from remote sensing and in situ data // Inland Waters. 2019. Vol. 9, N 2. P. 130–141.

Troitskaya E. S., Budnev N., Shimaraev M. N. Changes in the heat content of water column in the slope area of the Southern basin of Lake Baikal in the 21st century // Water. 2022. Vol. 14, N 3: 348.

Vanderkelen I., van Lipzig N. P. M., Lawrence D. M. et al. Global heat uptake by inland waters // Geophysical Research Letters. 2020. Vol. 47: e2020GL087867.

Weinberg S., Vetter M. Lake heat content and stability variation due to climate change: coupled regional climate model (REMO)-lake model (DYRESM) analysis // Journal of Limnology. 2014. Vol. 73, N 1. P. 93–105.

СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ ПЛАНКТОННЫХ МИКРОРАКООБРАЗНЫХ (CLADOCERA, COPEPODA) НА ГРАДИЕНТЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)

М. А. Трухан[1, 3]*, **А. А. Новичкова**[1], **Е. С. Чертопруд**[2, 3]

[1] *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия*
[2] *Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия*
[3] *Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия*

* *e-mail: masha.truhan@gmail.com*

PLANKTONIC MICROCRUSTACEAN (CLADOCERA, COPEPODA) ASSEMBLAGE STRUCTURE ALONG AN ANTHROPOGENIC IMPACT GRADIENT (KRASNOYARSK TERRITORY)

M. A. Trukhan, A. A. Novichkova, E. S. Chertoprud

В июле 2025 г. были исследованы сообщества планктонных микроракообразных 20 малых водоемов, расположенных на трансекте от окрестностей г. Норильска до заповедного плато Путорана. Обнаружено 47 видов, два из которых стали новыми для региона, один — потенциально новый для науки. Видовое богатство, разнообразие и отношение видов Cladocera к Copepoda увеличивались по мере удаления от города. Структура таксоценов четырех групп водоемов, находящихся на разном расстоянии от города (1, 8, 18 и 80 км), статистически значимо различалась. Характеристики сообществ указывали на ухудшение их состояния по мере приближения к городу, тогда как наиболее удаленный фоновый участок плато Путорана характеризовался естественно низким разнообразием, свойственным олиготрофным водоемам.

Город Норильск как крупный промышленный центр исторически оказывает значительное воздействие на окружающую среду. Однако характер этого влияния на экосистемы малых водоемов, которые являются типичным элементом ландшафта окрестностей Норильска и играют ключевую роль в поддержании локального биоразнообразия, остается недостаточно изученными. Цель данной работы — оценка изменения структуры таксоценов планктонных микроракообразных в водоемах, расположенных на разном расстоянии от города.

Пробы зоопланктона отбирали в июле 2025 г. в четырех районах: (1) на восточной окраине Норильска (1 км от города); (2) на окраине района Оганер (8 км); (3) на правом берегу р. Норильской (18 км); (4) у истока р. Рыбной на плато Путорана в охранной зоне ГПЗ «Путоранский» (80 км). Район (4) был выбран контрольной группой. В каждом из районов пробы отбирали в пяти близко расположенных водоемах, в сумме было отобрано 20 количественных проб. Сбор зоопланктона производили сетью Апштейна (диаметр 18 см, ячея 50 мкм), в каждом водоеме сеть забрасывали девять раз, по три раза в трех точках, затем весь зоопланктон объединяли в одну пробу. Материал фиксировали 96%-м этанолом. Для каждого водоема проводили общее гидрологическое описание и измеряли базовые гидрохимические параметры. Статистический анализ выполняли в программах PAST и PRIMER7. Для сравнения видовых комплексов в качестве меры сходства применяли индекс Кульчинского. Для оценки влияния факторов окружающей среды на сообщества ракообразных использовали линейную модель на основе расстояний (DistLM).

Всего было идентифицировано 24 вида Cladocera и 23 — Copepoda. Из них один вид Cladocera *(Latonura rectirostris)* и один вид Copepoda *(Acanthocyclops americanus)* оказались новыми для плато Путорана и его окрестностей. Кроме того, был обнаружен один потенциально новый для науки вид копепод *Eucyclops* sp. (группа видов *E. macruroides*), который уже отмечали ранее на плато Путорана и в Якутии. Среднее число видов микроракообразных

увеличивалось по мере удаления от города (табл.). Средняя численность не показала зависимости от района, хотя разброс значений был намного меньше в контрольной группе (см. табл.). Отношение числа видов Cladocera и Copepoda (Cla/Cop), обнаруженных в каждой зоне, увеличивалось по мере удаления от города, особенно резкий скачок наблюдался между (2) и (3) районами, а в контрольной точке отношение несколько снижалось (см. табл.). Видовое разнообразие по индексу Симпсона увеличивалось к зоне (3), но при этом было парадоксально низким в зоне (4), хотя и имело наименьшую ошибку (см. табл.). Такой результат указывает на более выраженную структуру доминирования в природных сообществах и, вероятно, низкое видовое разнообразие фонового участка является естественным для олиготрофных озер окрестностей Норильска.

Характеристики сообществ микроракообразных при разной степени антропогенной нагрузки: (1) — сильная; (2) — средняя; (3) — слабая; (4) — контроль

Район	(1)	(2)	(3)	(4)
Среднее число видов на пробу	7,6±1,7	10,2±4,8	9,4±0,9	11,8±2,9
Средняя численность на пробу, экз./м^3	50 961±46 039	74 355±55 467	32 045±40 262	55 536±19 241
Индекс разнообразия Симпсона (1-D)	0,503±0,186	0,518±0,206	0,624±0,126	0,363±0,120
Cla/Cop	0,44	0,60	1,88	1,21

Четыре исследованные группы водоемов статистически значимо отличались по составу видовых комплексов микроракообразных ($p << 0,05$; $R = 0,467$). В водоемах группы (1) наиболее часто встречались *Simocephalus vetulus, Acanthocyclops americanus*; группы (2) – *S. vetulus, Scapholeberis mucronata, Paracyclops fimbriatus*; группы (3) – *Bosmina coregoni, Mesocyclops leuckarti*; группы (4) – *M. leuckarti, Acanthodiaptomus denticornis*. При этом два вида кладоцер: *Daphnia longispina* и *Chydorus* cf. *sphaericus* встречались практически во всех пробах. Интересно, что хищные Cladocera вида *Polyphemus pediculus* отмечали значительно чаще в водоемах, удаленных от города. Наиболее значимыми факторами, влияющими на различия между сообществами, оказались: расстояние от города, температура воды, площадь водоема, наличие рыбы и кислотность воды (pH), суммарно объясняя 59 % различий.

Таким образом, характеристики видового богатства, разнообразия и численности сообществ микроракообразных могут указывать на нарушение состояния природных сообществ по приближении к городу. При этом водоемы, расположенные в 18 км от Норильска (группа 3), можно считать относительно «благополучными». Тем не менее, структура сообществ фонового участка значительно отличается от всех трех групп озер, находящихся под антропогенным воздействием. Вероятно, наблюдаемые изменения сильно зависят от степени эвтрофикации водоемов, однако, данное утверждение требует дополнительной проверки.

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам ФГБУ «Объединенной дирекции заповедников Таймыра», а также М. Г. Бондарю за организацию полевых работ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-24-00881, https://rscf.ru/project/25-24-00881.

ОСОБЕННОСТИ ГАМЕТОГЕНЕЗА МИДИЙ *MYTILUS EDULIS* L. И *MYTILUS TROSSULUS* GOULD В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ)

Я. Г. Усипбекова*, О. В. Зеленников, А. В. Герасимова, Ю. Т. Марченко

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

** e-mail: usipbekovaana@gmail.com*

FEATURES OF GAMETOGENESIS OF MUSSELS *MYTILUS EDULIS* L. AND *MYTILUS TROSSULUS* GOULD IN SUMMER (KANDALAKSHA BAY, WHITE SEA)

Y. G. Ussipbekova, O. V. Zelennikov, A. V. Gerasimova, Y. T. Marchenko

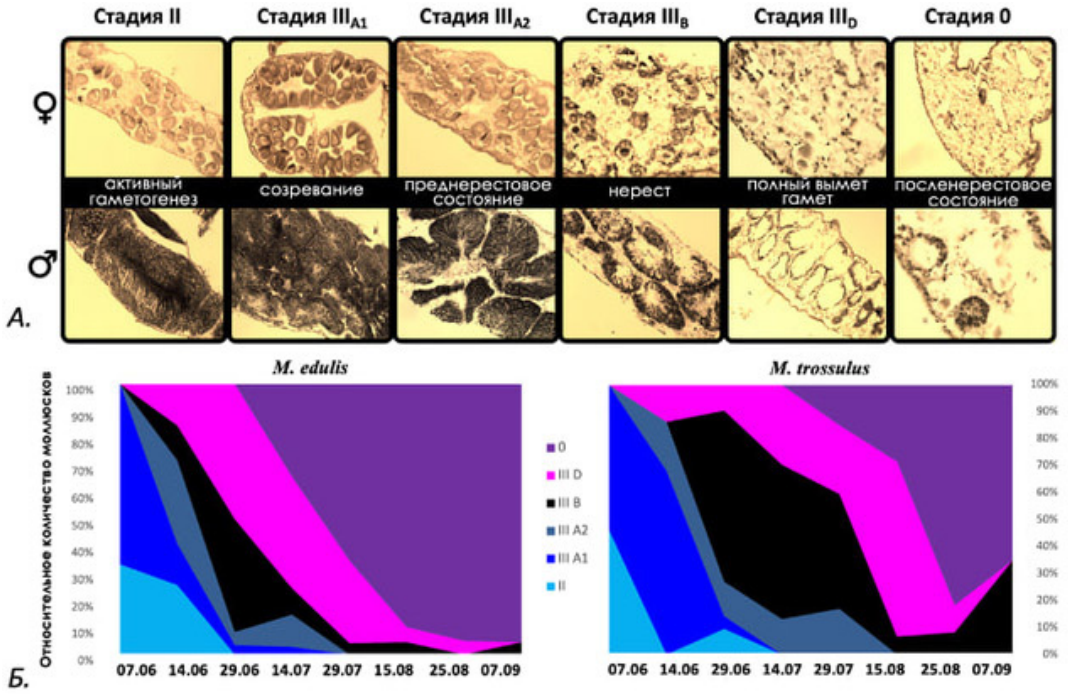
В Белом море обитают два вида мидий — *Mytilus edulis* L. (ME, аборигенный) и *M. trossulus* Gould (MT, инвазивный). На данный момент неочевидно, какие особенности MT способствуют его экспансии в данной акватории. Мы попытались найти ответ на этот вопрос, сравнив цикл гаметогенеза и размерные характеристики ооцитов у обоих видов при совместном обитании на протяжении летнего периода. Обнаружены отличия в продолжительности нереста: нерест ME проходил в сжатые сроки (1–2 недели в конце июня), а у MT оказался растянут во времени (с конца июня до начала августа). Итоги сравнения размерных характеристик ооцитов мидий отличались от литературных данных: ооциты у MT оказались крупнее, чем у ME.

Объекты исследования — мидии рода *Mytilus* — массовые обитатели прибрежий северных морей. В Белом море отмечено два представителя данного рода: аборигенный вид *M. edulis* (далее, ME) и вселившийся сравнительно недавно, предположительно в середине прошлого века (Väinölä, Strelkov, 2011), инвазивный вид *M. trossulus* (MT). В последние десятилетия обилие и распространение MT в Белом море постепенно растет. Однако неочевидно, что именно способствует успеху инвазии. Возможно, сравнительный анализ репродуктивных характеристик двух видов помог бы более однозначно ответить на этот вопрос. Цель работы — изучить особенности гаметогенеза половозрелых особей ME и MT на протяжении летнего периода.

Материал собран с июня по начало сентября 2023 г. с периодичностью 7–14 дней (8 съемок) в смешанном поселении мидий на нижней литорали острова Матренин (Керетский архипелаг). При сборе материала учитывались морфологические различия и экологические предпочтения обоих видов (Katolikova et al., 2016). Заведомо половозрелых мидий (с длиной раковины не менее 20 мм) собирали с грунта и с фукоидов, в лаборатории определяли морфотипы собранных моллюсков и фиксировали ткани. Для генетического анализа (генотипирование по диагностическому для ME и MT ядерному маркеру ITS) — ногу, а для стандартной гистологической обработки — кусочек гонады. Всего было обработано 256 моллюсков.

По гистологическим препаратам оценивали состояние гонад моллюсков (стадии гаметогенеза) по шкале, используемой Н. В. Максимовичем (1985). Для оценки размерных характеристик ооцитов с помощью программы ImageJ были измерены ооциты, у которых срез прошел через ядро. Измеряли средний и максимальный диаметры ооцитов, а также их площадь. Статистическая обработка материала включала в себя различные приемы дисперсионного анализа.

На протяжении периода исследования нами были обнаружены самки и самцы обоих видов (суммарно, 127 особей ME и 93 особи MT), находящиеся на стадиях зрелости от активного гаметогенеза до посленерестового состояния (рис., А).



А — фотографии срезов через гонады мидий. Приведены фотографии разных стадий зрелости гонад. Верхняя панель — самки, нижняя — самцы. Препараты окрашены железным гематоксилином по Гейденгайну;
Б — динамика состояния гонад у ME и MT в июне — начале сентября 2023 г. (самки и самцы объединены). По оси ординат — доля особей, находящихся на разных стадиях зрелости гонад, %;
по оси абсцисс — дата наблюдений; II — 0 — стадии зрелости гонад

В начале июня состояние гонад обоих видов соответствовало стадиям зрелости активный гаметогенез и созревание (рис., Б). Температура поверхностной воды была около 8 °C. Первые единичные нерестящиеся особи у обоих видов обнаружены в середине июня при температуре воды около 10 °C. В массе ME в таком состоянии отмечены в конце июня. С середины июля гонады лишь единичных особей ME соответствовали стадии частичного нереста, в основном мидии были на стадии полного вымета гамет и в посленерестовом состоянии. У MT с конца июня по начало августа большинство особей были в состоянии частичного нереста. С середины августа среди MT преобладали моллюски на стадии полного вымета гамет и в посленерестовом состоянии. Таким образом, продолжительность нерестового периода у рассматриваемых видов летом 2023 г. отличалась. Активный нерест у ME, по-видимому, продолжался не более двух недель (конец июня — начало июля), в то время как у MT носил более длительный характер — конец июня — начало августа — по меньшей мере, месяц.

В отношении размерных характеристик ооцитов получен неожиданный результат, отличный от данных, известных из литературы: по нашим материалам, ооциты у MT оказались крупнее, чем у ME. Однако с учетом крайне небольших различий (всего на 3,5 μm по среднему диаметру), очевидно, что нужны повторные наблюдения.

Отмеченное увеличение продолжительности нерестовой активности MT по сравнению с ME в крайне нестабильных климатических и гидрологических условиях в прибрежной зоне Белого моря вполне может способствовать успешности воспроизводства популяций инвазивного вида и, соответственно, его экспансии.

Литература

Максимович Н. В. Репродуктивный цикл *Mytilus edulis* L. в губе Чупа // Исследование мидий Белого моря: сб. науч. тр. Л., 1985. С. 22–34.

Katolikova M. et al. Genetic, Ecological and Morphological Distinctness of the Blue Mussels *Mytilus trossulus* Gould and *M. edulis* L. in the White Sea // PLoS One. 2016. Vol. 11, N 4: e0152963.

Väinölä R., Strelkov P. *Mytilus trossulus* in northern Europe // Marine biology. 2011. Vol. 158, N 4. P. 817–833.

ЗООПЛАНКТОН БУХТЫ БЛАГОПОЛУЧИЯ (СОЛОВЕЦКИЙ АРХИПЕЛАГ)

Н. В. Усов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Зоологический институт РАН», Санкт-Петербург, Россия

e-mail: nikolay.usov@zin.ru

ZOOPLANKTON OF BLAGOPOLUCHIYA INLET (SOLOVETSKY ARCHIPELAGO)

N. V. Usov

В августе 2024 г., в июне и августе 2025 г. в рамках гидробиологических исследований в бухте Благополучия острова Большой Соловецкий выполнен отбор проб мезозоопланктона и измерения гидрофизических параметров. Минимальные значения численности мезозоопланктона отмечены в кутовой мелководной части бухты, в непосредственной близости от места поступления сточных канализационных вод в бухту. Показано отрицательное влияние на планктонную фауну бухты Благополучия неочищенных стоков п. Соловецкий.

В настоящее время на берегах бухты Благополучия, помимо самого Соловецкого монастыря, расположен поселок с населением более тысячи человек, поток туристов в теплое время года достигает 50 тыс. человек (по материалам ТАСС). Это неизбежно сказывается на состоянии прилегающей акватории, поскольку поселок до сих пор не оборудован очистными сооружениями. Чтобы оценить степень воздействия стоков на пелагическую экосистему, было принято решение выполнить в бухте Благополучия комплексные экологические исследования, в том числе анализ состояния мезозоопланктона.

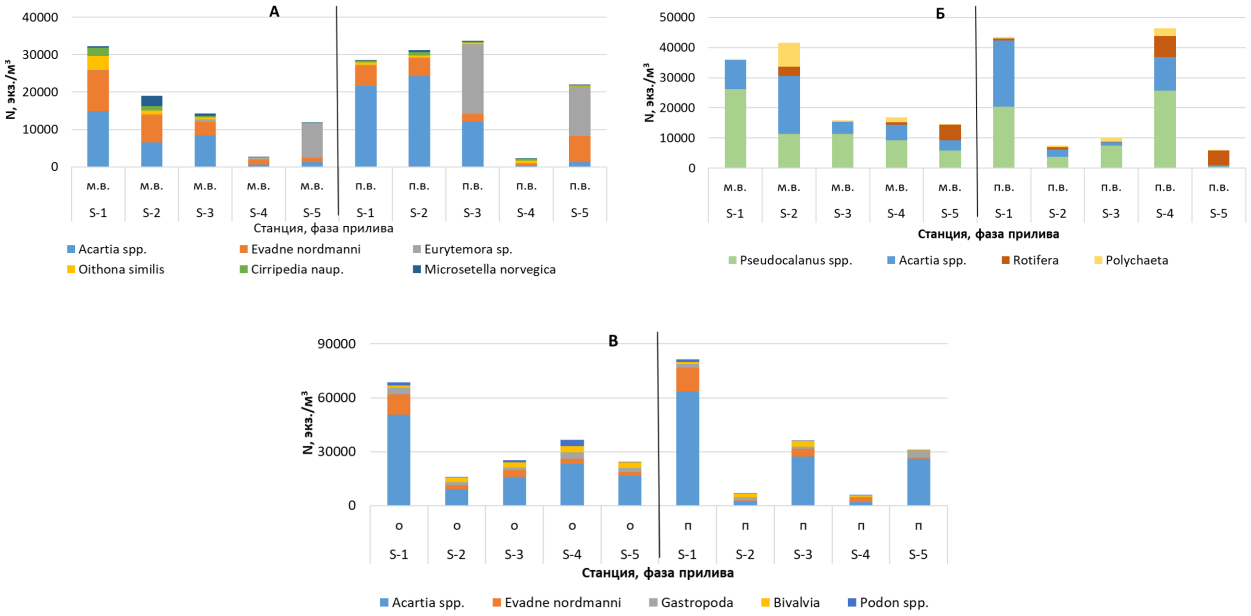
Отбор проб мезозоопланктона и измерения гидрофизических (температура воды, соленость) и гидрохимических (концентрация хлорофилла *a*, различных соединений фосфора и азота) параметров выполнен в рамках гидробиологических исследований в бухте Благополучия острова Большой Соловецкий 15–20 августа 2024 г., 15–18 июня и 13–16 августа 2025 г. Работы выполнялись на пяти станциях на разном удалении от кута бухты: станция S1 — самая мористая, ст. S5 расположена в самом куту бухты.

В мезозоопланктоне бухты Благополучия отмечено 24 таксона истинно планктонных организмов и личинок донных беспозвоночных. Наиболее массовыми были виды рода *Acartia, Eurytemora americana, Evadne nordmanni*, личинки Cirripedia и Gastropoda. Максимальная численность отмечена в августе 2025 г. на мористой станции S1 на отливе и приливе (72000 и 85000 экз./м^3, соответственно; рис.). Наименьшая численность зоопланктона отмечена в августе 2024 г. в кутовой части бухты на ст. S4, рядом с выходом сточных вод (около 3500 экз./м^3). В целом наблюдалась тенденция к снижению численности зоопланктона в направлении внутренней части бухты (станции S3-S5), которая нарушалась на полной воде в августе 2024 г. из-за массового развития на ст. S3 и S5 *Eurytemora americana*. Данная тенденция была нарушена также в июне 2025 г., когда на ст. S4 в массе присутствовали *Pseudocalanus* spp. и *Acartia* spp.

Самым массовым видом на всех станциях была *Acartia* spp. *(A. longiremis* и *A. bifilosa),* кроме ст. S3-S5 в августе 2024 г., где она уступала по численности *Eurytemora americana*. В августе 2025 г. *Acartia* spp. доминировала на всех станциях. В июне 2025 г. группу доминант возглавлял *Pseudocalanus* spp. Смена доминирующих видов, по всей видимости, отражает сезонные изменения в зоопланктоне.

Температура воды в бухте Благополучия увеличивается от открытого моря к куту, причем наиболее значительные изменения отмечены в июне 2025 г. Соленость снижается по на-

правлению к куту бухты, и наиболее резкий градиент наблюдался в июне 2025 г. Концентрация хлорофилла *a* демонстрировала тенденцию к увеличению в направлении кута бухты во все периоды работы там. Только в августе 2025 г. тенденция была выражена слабее, чем в другие периоды. Распределение биогенных элементов по акватории бухты было также неравномерным. Наибольшие пространственные изменения демонстрировали различные соединения фосфора — общее его содержание резко возрастало на ст. S4, превышая уровень остальных станций в разы, а то и на порядок величин. Так, на приливе в августе 2025 г. содержание общего фосфора на S4 достигало 1058 мкг/л, тогда как на других станциях не превышало 72 мкг/л, похожая ситуация (640 и 85 мкг/л, соответственно) наблюдалась в августе 2024 г. (Н. Е. Галахина, личн. сообщ.). В июне 2025 г. контрасты были не столь резкими и абсолютные величины несколько ниже, вероятно, из-за более низкой температуры воды.



Распределение мезозоопланктона в бухте Благополучия (остров Большой Соловецкий). Приведены величины суммарной численности и вклад наиболее массовых видов

В целом наблюдается снижение обилия мезозоопланктона в направлении внутренней части бухты Благополучия, которое наиболее выражено на ст. S4, распложенной в непосредственной близости к точке поступления сточных вод в бухту. Именно на этой станции зарегистрированы максимальные значения концентрации общего фосфора. Следовательно, угнетенное состояние зоопланктона на данной акватории напрямую связано с поступлением в нее неочищенных сточных вод.

ИЗМЕНЕНИЯ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РАЙОНАХ ВОСПРОИЗВОДСТВА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ САРДИНЫ

Е. И. Устинова

Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО», Владивосток, Россия

e-mail: elena.ustinova@tinro.vniro.ru

CHANGES AND VARIABILITY OF OCEANOGRAPHIC CONDITIONS IN THE SPAWNING AREAS OF THE JAPANESE SARDINE

E. I. Ustinova

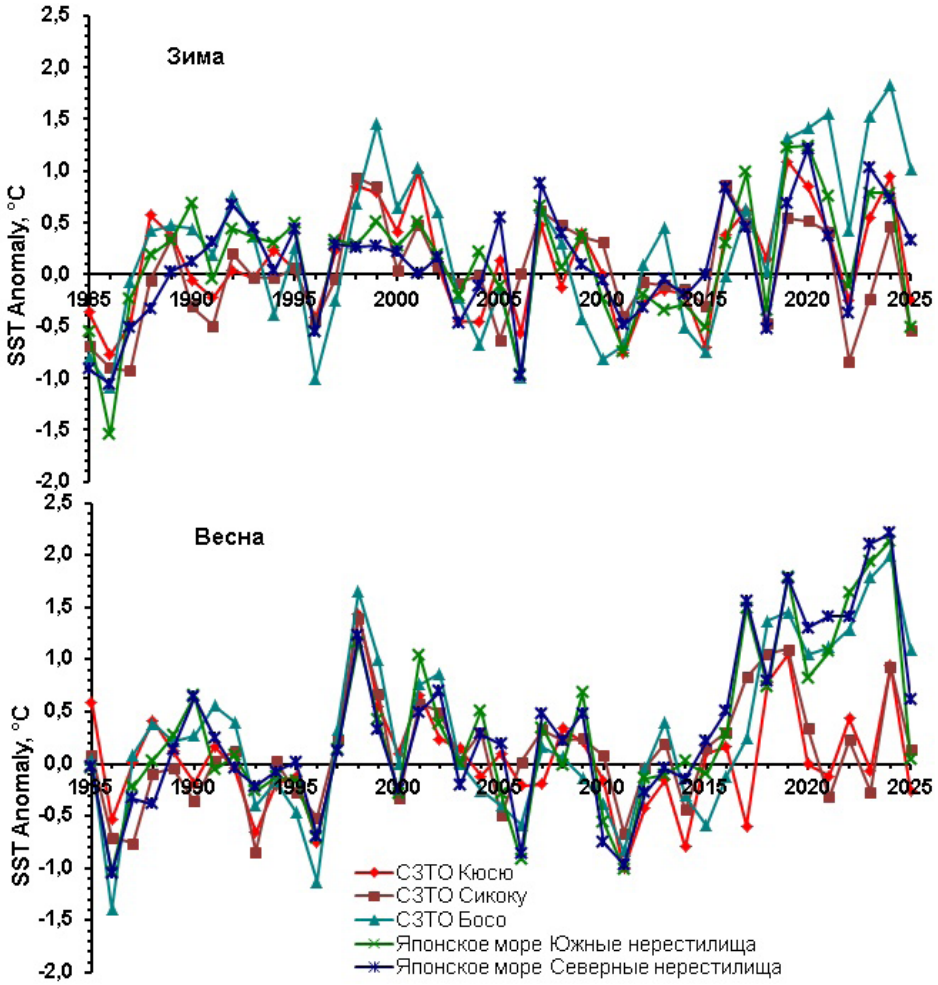
Анализируются изменения и изменчивость океанологических условий в районах воспроизводства дальневосточной сардины, распложенных у островов Кюсю, Сикоку и южной части Хонсю с тихоокеанской стороны и со стороны Японского моря в период массового нереста и выклева личинок (зима и весна). Выявлены особенности современного периода и основные риски возможного появления низкоурожайных поколений сардины.

Дальневосточная сардина *(Sardinops melanostictus)* — наиболее флуктуирующий вид из всех пелагических видов рыб, российский промысел которых ведется в настоящее время в северо-западной части Тихого океана (СЗТО). Предыдущая вспышка численности сардины закончилась в начале 1990-х гг. (Беляев, 2003; Шунтов, Иванов, 2021). В 2014 г. на обследованной судами ТИНРО акватории СЗТО были обнаружены массовые нагульные скопления дальневосточной сардины (Хоружий и др., 2015), что позволило рекомендовать этот вид к промышленному лову. Предполагается, что именно в зоне воспроизводства и зоне выноса молоди формируется численность поколений сардины (Беляев, 2003), что обусловливает актуальность данной темы.

Термические и динамические условия в зоне воспроизводства — с тихоокеанской и япономорской стороны острова Хонсю, Кюсю и мористее острова Сикоку — анализировались в период массового нереста и выклева личинок (зима и весна) по данным о температуре воды и о течениях, получаемым в рамках проекта NEAR-GOOS, участником которого является Россия. Условия предыдущей вспышки численности исследовались также по данным экспедиционных исследований ТИНРО в зоне воспроизводства. Аномалии океанографических параметров рассчитывались относительно базового 30-летнего периода 1991–2020 гг. При выделении экстремумов применялся критерий 1,5 σ.

Современная вспышка численности наблюдается в период более теплого режима вод в слое 0–200 м, чем предыдущая. Однако статистически значимые линейные тренды температуры поверхности океана (ТПО) за последние 40 лет не выявлены. Отрицательные аномалии ТПО в зоне воспроизводства преобладали с 2010 г., в 2017 г. температура выросла. Последний 10-летний период характеризуется ростом дисперсии в 1,2–2,8 раза по сравнению с предыдущим десятилетием. Наиболее значительный рост зимней температуры в современный период отмечается у полуострова Босо, весенней — там же и на нерестилищах в Японском море (рис.). В СЗТО это связано с аномально северным положением первой ветви течения Куросио (экстремальным в 2024 г.), а в Японском море — с интенсификацией Цусимского течения. Замещение малопродуктивными субтропическими водами Куросио прибрежных вод у полуострова Босо неблагоприятно для развития кормового планктона, что могло оказать негативное воздействие на пополнение. Этот район «отрыва» Куросио от Японских островов является ключевым для переноса личинок и мальков в восточном и северо-восточном направлении и для формирования протяженных антициклонических меандров (так называемых ветвей Куросио) и связанных с ними антициклонических вихрей Куросио, которые, в свою очередь, влияют на дальнейший транспорт молоди и формирование

благоприятных кормовых условий на границах вихрей. На первом этапе роста численности сардины в предыдущую вспышку отмечалось северное положение фронта Куросио восточнее полуострова Босо, по крайней мере, в период 1973–1980 гг., и северное положение антициклонических вихрей Куросио, связанных с первой ветвью Куросио (Булатов, Цыпышева, 2012). В современный период преобладает также северное положение фронта Куросио.



Аномалии температуры поверхности океана в основных районах воспроизводства сардины зимой (вверху) и весной (внизу)

Общий высокий температурный фон несет дополнительные риски, так как свидетельствует об ослаблении зимнего вертикального перемешивания и, соответственно, о меньшем поступлении биогенов в верхние слои.

Исследования проведены в рамках государственной работы «Проведение научного исследования». Уникальный номер реестровой записи 720000Ф.99.1.БН62АБ62000 (часть II раздел 18 государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00005-26-00).

Литература

Беляев В. А. Ихтиоцен эпипелагиали зоны течения Куросио и его динамика. Хабаровск: Хабаровское кн. изд-во, 2003. 382 с.

Булатов Н. В., Цыпышева И. Л. Межгодовая изменчивость процессов синоптического масштаба во фронтальной зоне Куросио по результатам спутникового мониторинга // Вопросы промысловой океанологии. 2012. Вып. 9, № 1. С. 120–133.

Шунтов В. П., Иванов О. А. «Неверная рыба» или неверные гипотезы: что происходит с нектоном прикурильских океанических вод? // Известия ТИНРО. 2021. Т. 201 (1). С. 3–23.

Хоружий А. А., Сомов А. А., Емелин П. О. и др. Появление высокоурожайных поколений японской скумбрии и дальневосточной сардины в прикурильских водах северо-западной части Тихого океана // Рыбное хозяйство. 2015. № 6. С. 74–77.

ИОННЫЙ СОСТАВ МАЛЫХ РЕК МОСКОВСКОГО МЕГАПОЛИСА (РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ 2024–2026 ГОДОВ)

А. Д. Фокин*, В. А. Ефимов, Л. Е. Ефимова

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

** e-mail: roxifixat@yandex.ru*

MAJOR ION COMPOSITION OF SMALL RIVERS OF THE MOSCOW METROPOLIS (RESEARCH RESULTS FROM 2024–2026)

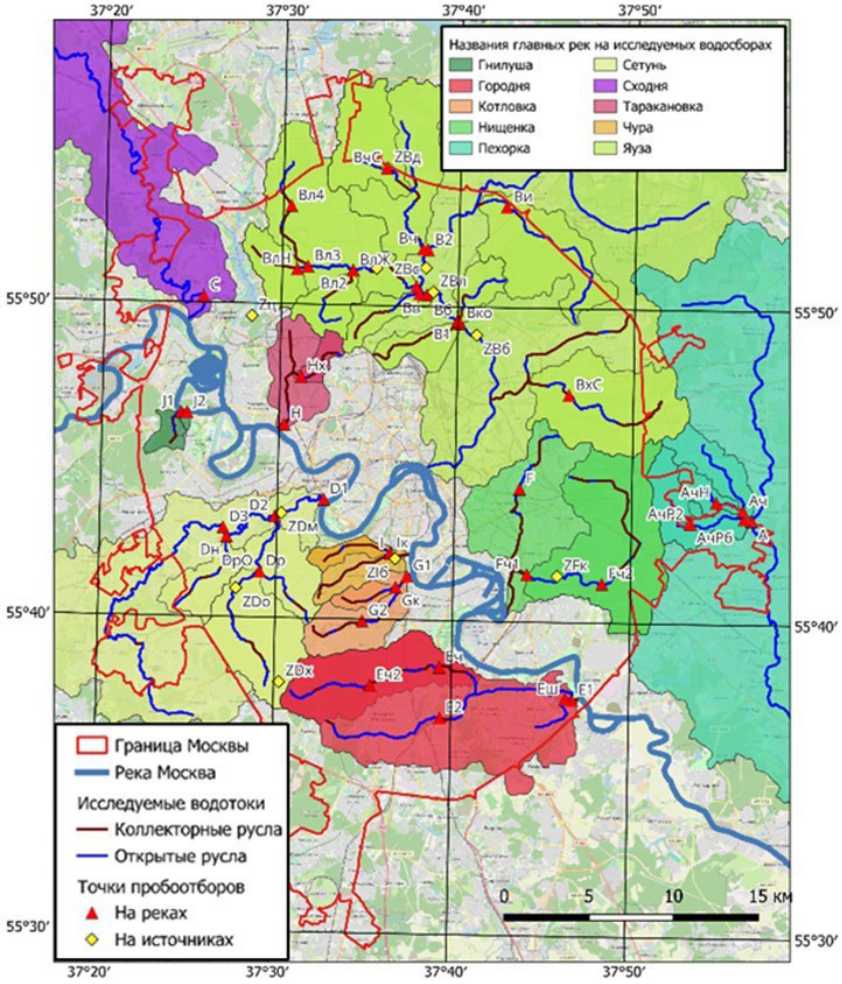
A. D. Fokin, V. A. Efimov, L. E. Efimova

Рассматриваются особенности химического состава малых рек г. Москвы в разные фазы водного режима. Исследование основано на материалах мониторинга 2024–2026 гг., выполненного на 42 гидрологических станциях, охватывающих 35 малых рек города. Анализировались pH, минерализация, температура, мутность и содержание главных ионов. Особое внимание уделено влиянию техногенной трансформации русел. Для оценки отклонений использовались сравнение с условно фоновыми концентрациями р. Серебрянки, а также кластерный анализ для классифицирования водотоков по группам. В результате выделено пять типов малых рек, различающихся степенью загрязнения и сезонной динамикой химического состава.

В крупных мегаполисах, таких, как Москва, исследования водных объектов представляют особый интерес, так как в условиях динамичного развития городов возрастает степень транспортной, коммунально-бытовой и рекреационной нагрузки на водные объекты. Информация о качестве вод малых рек г. Москвы ограничена в связи с малодоступностью данных с государственной сети наблюдений, в связи с чем требуются дополнительные исследования. В 2024–2026 гг. сотрудниками Лаборатории экологической гидрохимии кафедры гидрологии суши МГУ на 35 малых реках г. Москвы организована сеть из 42 станций мониторинга (рис.). Измерения охватывают периоды зимней межени (2025 и 2026 гг.), половодья (2025 и 2026 гг.), летней межени (2025 г.), а также осенних паводков (2024 и 2025 гг.). Солевой состав определялся методом капиллярного электрофореза на приборе «Капель 104 РТ» и объемным методом.

На основе цифровых моделей рельефа и спутниковых данных и топографических карт созданы ГИС-проект и современная карта-схема коллекторной сети, что позволило рассчитать долю трансформированных участков от общей длины рек (см. рис.). Выделены четыре класса нарушенности. I класс (сохранившиеся русла) — это водотоки, измененные менее чем на 10 %. II класс (русла умеренно трансформированные) — 10–50 % длины водотока находится в коллекторе. III класс (сильно трансформированные русла) — 50–90 % русла заключены в коллекторы. IV класс (поверхностные водотоки утрачены) — более чем 90 % русла находится в коллекторе. Из 35 рассматриваемых рек к I классу относятся 12, ко II классу — 12, к III классу — 9, а реки Копытовка и Чура имеют лишь небольшие (< 100 м) участки выхода на поверхность.

Содержание главных ионов зависит от фазы водного режима и степени техногенной трансформации бассейна. В летнюю межень, при отсутствии активного поверхностного смыва, воды многих рек характеризуются смешанным типом основного солевого состава. В этот период концентрация кальция находится в диапазоне 60–90 мг/л, магния — 20–30 мг/л, натрия — 35–75 мг/л, гидрокарбонатов — 190–260 мг/л, хлоридов — 85–170 мг/л. В зимнюю межень концентрации хлоридов и сульфатов существенно возрастают (на 15–20 %) за счет применения противогололедных реагентов и поступления загрязненных дренажных вод. Они достигают 60–430 мг/л и 160–850 мг/л, соответственно. Осенние паводки и весеннее половодье занимают промежуточное положение между летней меженью и зимними условиями. В этот период возрастает содержание как натрия, калия и хлоридов (1,5–3 раза), так и компонентов природного происхождения — кальция и гидрокарбонатов (3–5 раза).



Карта-схема станций пробоотбора и расположения коллекторных русел

Для каждой съемки рассчитывались коэффициенты превышения концентраций относительно условно фоновых значений р. Серебрянки. По ним были определены объекты с наибольшими отклонениями. Так, превышения концентраций хлоридов и натрия фиксировались на Лихоборке, Чуре и Кровянке (более чем в 20–30 раз). Для выявления групп водотоков со сходной структурой химического состава был выполнен кластерный анализ (метод Уорда, расстояния Пирсона).

На основе перечисленных методов было выделено пять типов малых рек г. Москвы. Первый тип — наиболее загрязненные коллекторные реки индустриальных и транспортных районов с устойчивым хлоридно-натриевым составом в течение года. К ним относятся Чура, Кровянка, отдельные участки Котловки. Второй тип — коллекторные реки жилых районов с хлоридно-натриевым или хлоридно-кальциевым составом. Это реки Тараканова, Ходынка, руч. Вильгельма Пика, отдельные участки р. Лихоборки. Третий тип — реки смешанного типа, частично протекающие в коллекторах. К ним можно отнести реки Нищенка, Лихоборка, Чурилиха. Четвертый тип — реки II класса техногенной трансформации, значительная часть русел которых проходит через парковые зоны жилых районов. Такими реками являются Котловка, Городня, Сходня, Чермянка, Будайка, Самотёка. В меженные периоды они чаще имеют хлоридно-кальциевый состав, а в периоды повышенной водности приближаются к гидрокарбонатно-кальциевому типу. Пятый тип — водотоки крупных парковых и лесопарковых территорий, например Ичка, Серебрянка, реки бассейна Пехорки. Для них характерен наиболее близкий к природному гидрокарбонатно-кальциевый состав с сохранением повышенной доли хлоридов в меженные периоды.

Таким образом, первые полтора года мониторинга позволили выявить группы рек со сходным химическим составом, определить концентрации загрязняющих веществ и процесс их изменения в течение года. Проведена оптимизация сети наблюдений, выявлены места, требующие более подробного и частого пробоотбора и установки самописцев для отслеживания потенциального загрязнения.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТАЛЫХ ВОД И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА (Г. УСОЛЬЕ-СИБИРСКОЕ)

Е. А. Цветкова*, В. И. Полетаева

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН», Иркутск, Россия

** e-mail: e.tsvetkova@igc.irk.ru*

INTERRELATIONSHIP BETWEEN THE CHEMICAL COMPOSITION OF MELTWATER AND SOIL COVER (USOLYE-SIBIRSKOE)

E. A. Tsvetkova, V. I. Poletaeva

Поверхностный слой почв промышленной и прилегающей территории г. Усолья-Сибирского аккумулирует загрязнители, способные мигрировать в период снеготаяния. Для оценки вклада водорастворимой фракции почв в основной ионный состав талых вод подготовлены водные вытяжки почв с последующим определением в них концентраций HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+ и K^+. Сопоставление аналитических данных показало сильные корреляции между водными вытяжками и талыми водами для Mg^{2+} ($r = 0,87$), SO_4^{2-} ($r = 0,86$) и Ca^{2+} ($r = 0,71$) при $p < 0,01$. Полученные результаты указывают на преобладающую роль выщелачивания поверхностных почв в формировании химического состава талого стока и имеют важное значение в изучении механизмов сезонной миграции загрязняющих веществ в регионах с резко континентальным климатом.

Главной аккумулирующей средой техногенных загрязнителей на промышленной территории г. Усолье-Сибирского (Восточная Сибирь, Иркутская область) является поверхностный почвенный слой. В условиях резко континентального климата накопленные в почве вещества могут интенсивно выщелачиваться в период снеготаяния, переходить в водный раствор и мигрировать с поверхностным стоком. Для оценки вклада подвижной (водорастворимой) фракции почв в формирование основного ионного состава стока проведен химический анализ водной вытяжки почв, которая моделирует процессы мобилизации элементов при контакте талой воды с подстилающей поверхностью.

Отбор проб проводился на промышленной и прилегающей территории (г. Усолье-Сибирское) с учетом сезонной динамики: почвы — в конце осеннего периода (октябрь), снеговые воды — в конце зимнего сезона (февраль), талые воды — в период интенсивного снеготаяния (апрель). Пробы почв и талых вод отобраны в идентичных точках. Водные вытяжки подготовлены из воздушно-сухих просеянных (1 мм) почв в соотношении почва: вода = 1: 5. Далее суспензию встряхивали три минуты и фильтровали (0,2 мкм). Измерение концентраций SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+ и K^+проведено методом капиллярного электрофореза с использованием прибора «Капель-105М» (Люмэкс, Россия), HCO_3^- — титриметрическим методом в центре коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН (Иркутск, Россия).

Первоначально поверхностный сток образован растворенной фазой снегового покрова, в которой концентрации основных ионов находятся в невысоких пределах (табл.). Состав талых вод отличается значительно большими концентрациями ионов и величиной минерализации. Ряд коэффициентов концентрации следующий: Na^+ (228) > Cl^- (149) > K^+ (67) > Mg^{2+} (36) > Ca^{2+} (27) > HCO_3^- (21) > SO_4^{2-} (8). Такие результаты указывает на то, что обогащение талых вод происходит при их контакте с поверхностным слоем почв.

Корреляционный анализ выявил статистически значимые сильные положительные связи Mg^{2+}, SO_4^{2-} и Ca^{2+} между водными вытяжками и талыми водами (см. табл.). Это свидетельствует о поступлении этих компонентов в талый сток, преимущественно, за счет выщелачивания водорастворимой фракции поверхностных почв. Накопление Ca^{2+} и Mg^{2+}, обусловленное

эоловым переносом от техногенных объектов (в особенности, шламонакопителя и карьера доломитового щебня), подтверждается согласованной пространственной принадлежностью высоких концентраций этих компонентов в талых водах и водных вытяжках. Источниками SO_4^{2-} являются как атмосферные выпадения промышленных выбросов и технологические стоки, так и окисление органической серы шлама. Высокая растворимость и слабая сорбция обеспечивают быструю мобилизацию SO_4^{2-} в почвенный раствор и его поступление в талые воды.

Несмотря на совместное поступление Cl^- и Na^+ в талые воды ($r = 0,97$, $p < 0,01$), корреляция между талыми водами и водными вытяжками умеренная для Cl^- и незначимая для Na^+ (см. табл.). Совместная миграция на этапе выщелачивания нарушается, главным образом, из-за высокой подвижности Cl^-, который легко вымывается, в то время как Na^+ частично задерживается в почве за счет реакций катионного обмена. Кроме того, независимо от их содержания в почвенном растворе, высокие концентрации Cl^- и Na^+ в талых водах связаны с подтоком высокоминерализованных рассолов, используемых в технологических процессах. Слабая корреляция для K^+ может быть связана с его низкой миграционной способностью, обусловленной активной сорбцией почвами, фиксацией на глинистых минералах и потреблением растительностью. Отсутствие корреляции для HCO_3^-, зависящих от pH, парциального давления CO_2 и наличия Ca^{2+} и Mg^{2+}, объясняется его участием в карбонатном равновесии (CO_2–H_2O – карбонаты). В талых водах HCO_3^- формируются, преимущественно, в процессе взаимодействия с почвенным поглощающим комплексом за счет растворения карбонатных минералов, на что указывают связи HCO_3^- с Ca^{2+} ($r = 0,76$, $p < 0,01$) и с Mg^{2+} ($r = 0,86$, $p < 0,01$).

Концентрации основных ионов и минерализации, мг/л

Компонент	Снег	Талая вода	Водная вытяжка	r (вытяжка-сток)
HCO_3^-	4,9 (3,0–21,0)[1]	104,8 (40,0–225,0)	73,6 (20,2–113,0)	–0,12
Cl^-	1,32 (0,57–2,20)	197,2 (4,8–809,0)	121,2 (0,5–1579,5)	0,53
SO_4^{2-}	6,7 (2,0–17,3)	51,2 (1,5–180,0)	194,7 (1,8–1176,0)	0,86*
K^+	0,15 (0,06–0,39)	10,0 (2,7–21,4)	8,5 (0,6–33,7)	0,41
Na^+	0,40 (0,13–0,88)	90,6 (0,1–459,0)	65,1 (0,3–804,5)	0,38
Ca^{2+}	2,18 (0,75–6,90)	59,1 (10,0–219,0)	110,4 (3,9–551,0)	0,71*
Mg^{2+}	0,38 (0,16–0,74)	13,7 (0,9–63,0)	11,7 (1,3–46,0)	0,87*
TDS	18,4 (7,6–51,0)	530,3 (88,2–1509,6)	600,8 (49,1–4011,6)	0,64**

Примечание. [1] среднее арифметическое (мин.–макс.); *$p < 0,01$; **$p < 0,05$.

Таким образом, сравнительная характеристика талых вод и водной вытяжки показала, что состав поверхностного стока, в первую очередь, контролируется выщелачиванием водорастворимой фракции верхнего слоя почв. Помимо этого, влияние на их химический состав оказывает поступление техногенных рассолов и атмосферное осаждение. Полученные данные имеют важное значение для изучения процессов миграции загрязняющих веществ в период снеготаяния в условиях резко континентального климата.

Исследование проводилось в рамках государственного задания (проект № 0284-2026-0007).

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА РЕЧНЫХ СИСТЕМ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «УДЭГЕЙСКАЯ ЛЕГЕНДА» (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)

Е. А. Цветкова[1]*, В. И. Полетаева[1], С. А. Колчин[2, 3]

[1] *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН», Иркутск, Россия*
[2] *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Национальный парк „Удэгейская легенда“», Рощино, Россия*
[3] *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт водных и экологических проблем ДВО РАН», Хабаровск, Россия*

** e-mail: e.tsvetkova@igc.irk.ru*

PRELIMINARY RESULTS OF MONITORING RIVER SYSTEMS IN THE UDEGEISKAYA LEGENDA NATIONAL PARK (PRIMORSKY REGION)

E. A. Tsvetkova, V. I. Poletaeva, S. A. Kolchin

Представлены первые результаты оценки гидрохимического состава водных объектов национального парка «Удэгейская легенда» и сопредельных территорий. Показано, что воды характеризуются низкой минерализацией, а в основном ионном составе преобладают HCO_3^-, Ca^{2+} и Mg^{2+}, что согласуется с региональными данными по бассейну Уссури. Выявлено, что концентрации Al, Mn, Fe, Cu и Zn в водотоках, дренирующих горнопромышленные участки, значительно выше региональных и нормативных показателей. Локальные превышения зафиксированы и в водотоках в пределах национального парка. Полученные данные могут рассматриваться как основа для дальнейшего мониторинга.

Мониторинг водных объектов ООПТ необходим для оценки устойчивости уникальных экосистем и выявления ранних признаков антропогенной нагрузки. Впервые проведена оценка гидрохимического состава речных систем в границах национального парка «Удэгейская легенда» (западный Сихотэ-Алинь) и на сопредельных территориях, подверженных влиянию горнодобывающей деятельности, с целью формирования научной основы для программы долгосрочного мониторинга.

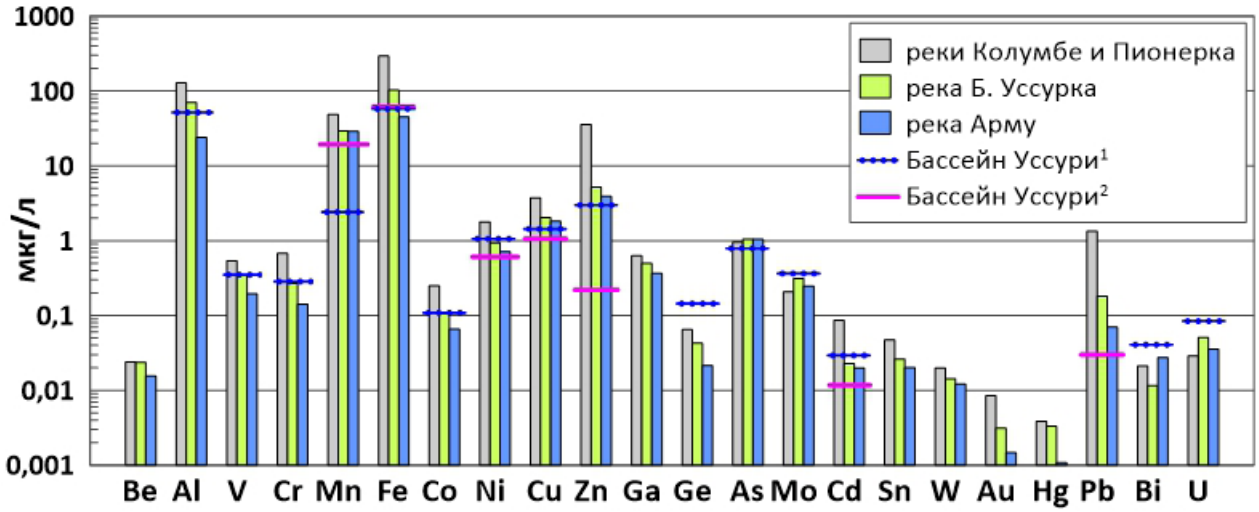
Опробование поверхностных вод выполнено в сентябре 2025 г. В границах ООПТ отобраны пробы из основных водотоков — р. Б. Уссурки (n = 8) и ее притока р. Арму (n = 4). Дополнительно, выше по течению р. Б. Уссурки и вне границ ООПТ опробованы р. Колумбе (n = 2) и ее приток р. Пионерка (n = 1), дренирующие участки разработки россыпных месторождений золота. Аналитические работы выполнены в ИГХ СО РАН и ЛИН СО РАН (Иркутск, Россия). Концентрации микроэлементов определены методом масс-спектрометрии (ISP MS), Hg — атомно-абсорбционной спектрометрии, основных ионов — комплексом стандартизированных гидрохимических методов. Физико-химические параметры (pH и Eh) измерены в полевых условиях портативным анализатором HANNA HI98121.

Воды исследуемых рек относятся к ультрапресному типу (TDS 34,3–49,8 мг/л), характеризуются нейтральной реакцией среды (pH 7,10–7,51) и окислительными условиями (Eh 162–218 мВ). По анионному составу все образцы гидрокарбонатные. Среди катионов доминируют Ca^{2+} и Mg^{2+}, с локальным увеличением доли Na^+ в водах рек Пионерки, Колумбе и отдельных участках р. Б. Уссурки. Низкие коэффициенты вариации (Cv = 8–33 %) свидетельствуют о пространственной однородности основных ионов. Полученные концентрации основных ионов сопоставимы с показателями для рек бассейна Уссури (Луценко и др., 2018; Шестеркин, Крутикова, 2018). За исключением Ca^{2+} и Cl^-, концентрации которых понижены в период исследования.

Концентрации микроэлементов в исследуемых реках существенно различаются между собой (рис.). Более высокие концентрации Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Cd и Pb определены в реках Колумбе и Пионерке, где их средние значения превышают показатели р. Б. Уссурки в 2–7 раз, а р. Арму — в 2–9 раз. Для Be, As, Mo, Sn, W, Au, Hg, Bi и U различия между концентрациями в воде всех изучаемых рек менее выражены.

Сравнение средних концентраций микроэлементов с литературными данными по рекам бассейна Уссури (см. рис.) показало повышения содержания Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd и Pb. Такая разница, особенно для Al, Mn, Fe и Zn, может быть обусловлена как природными геохимическими особенностями (активное выветривание, вынос элементов в паводковый период (Луценко и др., 2018)), так и техногенным влиянием горнодобывающей инфраструктуры в верховьях водосборов. Поскольку отбор проб проводился в период межени, отсутствие прямой связи с паводковой динамикой указывает на вероятное участие антропогенных источников в поступлении растворенных форм микроэлементов.

В период исследования обнаружены превышения ПДКрбх для Al, Mn, Fe, Cu и Zn, а также ПДКпв для Fe. Наибольшая кратность превышения отмечена в воде рек Колумбе и Пионерки: Al — до 3,6 ПДКрбх, Fe — до 4,8 ПДКрбх, Cu — до 8 ПДКрбх, Zn — до 9,5 ПДКрбх. В границах национального парка превышения носят очаговый характер: Mn — до 8,9 раза (р. Арму, устье р. Малой Пихтовки), Cu — до 3,5 раза (р. Б. Уссурка, устье р. Лесовозной).



Концентрации микроэлементов в речной воде:
1 — по: Чудаева, Чудаев, 2011; 2 — по: Шулькин и др., 2007

Полученные первичные данные могут служить основой для организации гидрохимического мониторинга водных объектов на территории ООПТ и в прилегающих районах. Для повышения репрезентативности и надежности выводов необходимы регулярные и пространственно расширенные наблюдения, которые позволят уточнить текущие результаты и четко дифференцировать природный геохимический фон от антропогенного воздействия, связанного с горнодобывающей деятельностью.

Работа выполнена в рамках договора НИР № 1/2025-НИР.

Литература

Луценко Т. Н., Шестеркин В. П., Шестеркина Н. М. Пространственно-временная динамика химического состава речных вод российской части бассейна реки Уссури // Водное хозяйство России. 2013. № 3. С. 65–80.

Чудаева В. А., Чудаев О. В. Особенности химического состава и взвесей рек Приморья // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30, № 2. С. 104–122.

Шестеркин В. П., Крутикова В. О. Солевой состав вод реки Уссури // Региональные проблемы. 2018. Т. 21, № 2. С. 69–75.

Шулькин В. М., Богданова Н. Н., Киселев В. И. Металлы в речных водах Приморского края // Геохимия. 2007. № 1. С. 79–88.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАТОРОВ ЛЬДА С ПОМОЩЬЮ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Цуй Юйсюань*, Н. Л. Фролова

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

** e-mail: uxuiks@gmail.com*

ASSESSMENT OF THE FEASIBILITY OF ICE JAMS PREDICTING USING MACHINE LEARNING

Cui Yuxuan, N. Frolova

Ледовые заторы в период весеннего вскрытия рек остаются одной из причин опасных подъемов уровней воды на севере России. Для оценки возможности использования моделей машинного обучения для прогнозов заторов льда на р. Сухоне у г. Великий Устюг использованы метеорологические, гидрологические данные и реанализ ERA5 за 1960–2023 гг. Оценка выполнена по схеме скользящего окна «20 лет обучения + 10 лет тестирования». Наилучшие значения F1-score показали AdaBoost и дерево решений. Выявленная временная неоднородность качества моделей может указывать на изменение условий и механизма формирования заторов в меняющемся климате.

Ледовые заторы в период весеннего вскрытия рек остаются одной из причин опасных подъемов уровней воды и наводнений на севере России. Особенно затороопасным является участок в бассейне Северной Двины в районе слияния рек Сухоны и Юга у г. Великого Устюга (Агафонова, Василенко, Фролова, 2016). На фоне климатических изменений традиционные эмпирические методы прогноза нуждаются в обновлении, а методы машинного обучения рассматриваются как перспективный инструмент анализа и прогноза ледовых явлений (Kalke, Loewen, 2018). Объектом исследования является формирование ледовых заторов на р. Сухоне в районе г. Великого Устюга. Целевая переменная задавалась в бинарном виде: значение «1» соответствовало формированию затора льда в рассматриваемый период, значение «0» — его отсутствию.

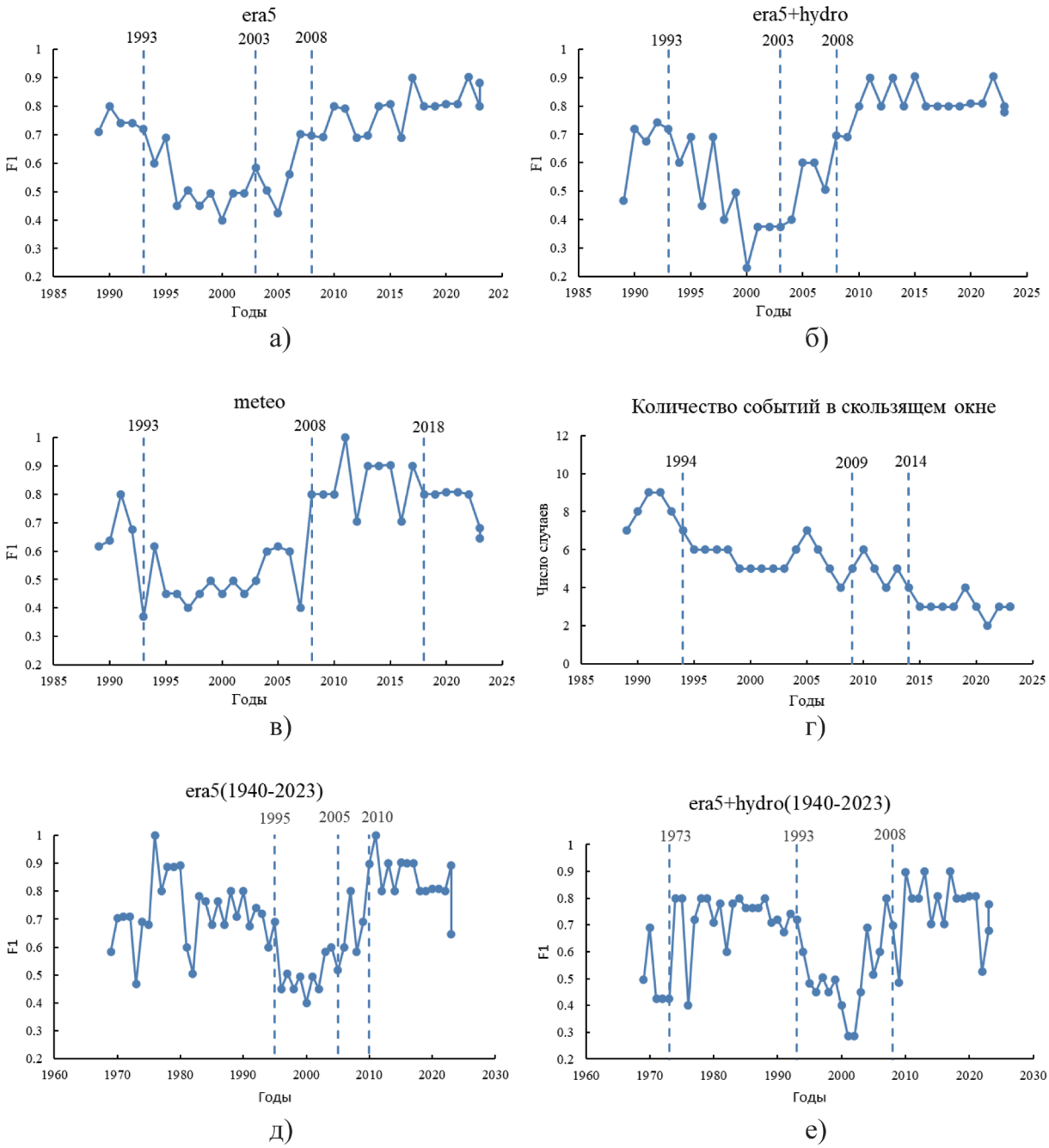
В работе использованы метеорологические наблюдения на шести станциях в бассейне р. Сухоны за 1960–2023 гг., данные реанализа ERA5 и гидрологическая информация по постам в бассейне. Для анализа были сформированы несколько наборов предикторов: метеорологические, гидрологические, ERA5, а также их комбинации. Это позволило сопоставить вклад различных источников информации в качество прогноза.

Для оценки способности моделей прогнозировать заторы льда применена схема скользящего окна: 20 лет использовались для обучения и последующие 10 лет — для тестирования, после чего окно сдвигалось на один год. Такой подход позволил не только сравнить модели между собой, но и проследить изменение качества прогноза во времени. Рассматривались шесть алгоритмов машинного обучения: AdaBoost, дерево решений, случайный лес, метод опорных векторов, k-ближайших соседей и наивный байесовский классификатор. Основной метрикой качества служила F1-мера.

Сравнение моделей показало, что наиболее устойчивые результаты демонстрируют SVM и дерево решений: их средние значения F1 составили около 0,71. При расширении временного ряда до 1940 г. качество всех моделей возрастает; для пяти из шести алгоритмов средние значения F1 превышают 0,70. Среди наборов признаков наиболее стабильные результаты обеспечили данные реанализа ERA5; качество модели с использованием данных метеостанций оказалось близким, а добавление гидрологических предикторов не дало систематического улучшения (рис.).

Важным результатом стала выраженная временная неоднородность качества моделей. Анализ динамики F1 показал, что прогностическая способность менялась во времени неравномерно. Минимум качества приходился на 1990-е гг. и начало XXI века, что может отражать переходный этап в механизме формирования заторов. После 2008 г. качество

моделей заметно повышается и становится более устойчивым. Это позволяет предположить, что в современных климатических условиях более поздние данные обладают большей прогностической ценностью для прогноза ледовых заторов.



Временная динамика показателя F1, полученного с помощью модели дерева решений, для различных наборов признаков, а также числа событий, за периоды 1960–2023 (а–г) и 1940–2023 (д–е) гг. с отмеченными точками изменения

Литература

Агафонова С., Василенко А., Фролова Н. Факторы образования ледовых заторов на реках бассейна Северной Двины в современных условиях // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2016. № 2. С. 82–90.

Kalke H., Loewen M. Support vector machine learning applied to digital images of river ice conditions // Cold Regions Science and Technology. 2018. Vol. 155. P. 225–236.

БЕНТОСНЫЕ СООБЩЕСТВА ПОЛУИЗОЛИРОВАННЫХ ВОДОЕМОВ БЕЛОГО МОРЯ

К. Н. Цуканова[1]*, М. В. Иванов[1], Н. В. Полякова[2]

[1] Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
[2] Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

** e-mail: tsukanovaksenia03@gmail.com*

BENTHIC COMMUNITIES OF SEMI-ISOLATED WATER BODIES OF THE WHITE SEA

K. N. Tsukanova, M. V. Ivanov, N. V. Polyakova

Прибрежные лагуны — полуизолированные водоемы, являющиеся переходными зонами между морскими и пресноводными экосистемами. В условиях Белого моря процессы гляциоизостатического поднятия суши способствуют активному отчленению водоемов, однако многолетние исследования донных сообществ лагун этого региона до сих пор не проводились. Цель нашей работы — сравнить межгодовую динамику макробентоса лагун, находящихся на разной степени изоляции от моря. Исследовательские работы по сбору материала проводились в 2024–2026 гг. Установлено, что усиление изоляции сопровождается сменой доминирующих трофических групп от сестонофагов к детритофагам и двукратным снижением видового разнообразия. Полученные данные формируют основу для экологического мониторинга и прогнозирования последствий антропогенной изоляции прибрежных акваторий.

Прибрежные лагуны представляют собой полуизолированные водоемы, выполняющие функцию транзитных зон на границе пресноводных и морских экосистем (Столяров, Мардашова, 2017). Их ключевой морфологической особенностью является наличие барьера (порога), отделяющего акваторию от моря при сохранении связи через один или несколько проливов. Данные водоемы характеризуются мелководностью и выраженными физико-химическими градиентами на ограниченной площади (Pérez-Ruzafa, 2019). В условиях Белого моря интенсивное гляциоизостатическое поднятие суши в сочетании с сильно изрезанной береговой линией и сложной морфологией дна создает предпосылки для активного отчленения морских заливов (Корсакова, 2022).

Значительная часть исследований в регионе сфокусирована на меромиктических озерах, одном из конечных этапов изоляции, характеризующимся устойчивой вертикальной стратификацией вод (Краснова, Мардашова, 2020). Лагуны же, будучи начальным этапом этого процесса, изучены в меньшей степени. Сохраняя относительно тесную связь с морем, они уже демонстрируют измененный гидрологический режим: наличие высокого порога изменяет приливно-отливную амплитуду по сравнению с открытой акваторией. Помимо естественных геоморфологических причин, образование лагун нередко инициируется антропогенной деятельностью: строительством дамб, транспортных путей, приливных электростанций, что зачастую ведет к негативной трансформации абиотических и биотических характеристик отчлененных акваторий (Бровко и др., 2020). Для Белого моря многолетние исследования лагунных водоемов до настоящего времени не проводились. Отсутствие протяженных временных рядов наблюдений не позволяет оценить устойчивость ранее выявленных структурных изменений донных сообществ и их обратимость под влиянием климатических и гидрологических флуктуаций. В связи с этим целью настоящего исследования является сравнительный анализ межгодовой динамики бентосных сообществ лагун, находящихся в градиенте изоляции от моря.

Исследование проведено на лагунах, расположенных в губах Чупа, Кив, Воронья, Кислая и проливе Великая Салма Кандалакшского залива Белого моря. На предварительном этапе для каждого водоема выполнена нивелирная съемка высоты порога над нулем глубин. На основании полученных данных водоемы выстроены в градиенте отчлененности от моря. Для дальнейшей работы отобраны семь лагун, равномерно распределенных вдоль данного градиента

и характеризующихся сопоставимыми морфометрическими параметрами. Выборка охватывает широкий диапазон степени изоляции: от водоема со свободным водообменом (коэффициент 100 %) до полностью отчлененной лагуны, поступление морской воды в которую осуществляется эпизодически, при сильных ветровых нагонах и в шторм (коэффициент водообмена < 1 %). Полевые работы проводились в период с 2024 по 2026 г. в летний сезон (июнь, август). Программа сбора материала на каждой станции включала количественный отбор проб макробентоса и грунта и измерение ряда физических характеристик воды.

Установлено, что для большинства исследованных лагун характерны гомотермический режим и полное вертикальное перемешивание водной толщи. Исключение составили два наиболее изолированных водоема. В обоих зафиксировано значительное распреснение поверхностного слоя по сравнению с придонным, что указывает на появление стратификации вод. Трехлетний мониторинг донных сообществ позволил выявить следующие закономерности: 1) В июне видовое богатство макробентосных организмов ниже по сравнению с августовскими показателями, что отражает естественную сезонную динамику сообществ; 2) По мере усиления изоляции водоема от моря наблюдается трансформация донных сообществ: происходит смена доминирующих трофических групп от сестонофагов, ассоциированных с крупными фракциями грунта, к детритофагам, тяготеющим к илистым осадкам. Видовое разнообразие, оцененное индексом Шеннона, сокращается вдвое от наименее к наиболее изолированным лагунам вследствие возрастания степени доминирования. Основной вклад в различие сообществ между лагунами вносят моллюски.

Реализация исследования позволила впервые для акватории Белого моря получить количественные данные, характеризующие межгодовую динамику структурной организации бентосных сообществ лагун в градиенте изоляции от моря. Полученные материалы формируют фундаментальную научную основу как для организации системы долговременного экологического мониторинга прибрежных акваторий, так и для разработки прогностических сценариев трансформации экосистем в условиях антропогенной изоляции морских заливов.

Исследование поддержано инициативным проектом СПбГУ «На пути от морского залива к пресному озеру — особенности биоты беломорских лагун».

Литература

Бровко П. Ф., Дзен Г. Н., Жуковина М. Г., Малюгин А. В. Лагунные берега Тихоокеанской России: факторы эволюции и природопользование// Тихоокеанская география. 2020. № 1. С. 40–47.

Корсакова О. П. Побережье Белого моря в пределах Фенноскандинавского кристаллического щита в неоплейстоцене и голоцене // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86, № 6. С. 883–897.

Краснова Е. Д., Мардашова М. В. Как морской залив превращается в озеро // Природа. 2020. № 1. С. 16–27.

Столяров А. П., Мардашова М. В. Особенности структуры и разнообразие сообществ макробентоса в прибрежных лагунных экосистемах (Кандалакшский залив, Белое море) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2017. Т. 122, № 3. С. 18–27.

Perez-Ruzafa A., Pérez-Ruzafa, I., Newton, A. and Marcos, C. Coastal Lagoons: Environmental Variability, Ecosystem Complexity, and Goods and Services Uniformity // Coasts and Estuaries. Amsterdam: Elsevier, 2019. P. 253–276.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РЕЧНЫХ ДОЛИН И РУСЕЛ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ И ИХ СВЯЗЬ С ПОСЛЕДНИМ ОЛЕДЕНЕНИЕМ

А. В. Чернов[1, 2]*, **Е. Р. Чалова**[1]

[1] *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия*
[2] *Институт географии РАН, Москва, Россия*

* *e-mail: alexey.chernov@inbox.ru*

FEATURES OF THE DISTRIBUTION OF RIVER VALLEYS AND CHANNELS IN NORTH-WEST RUSSIA AND THEIR CONNECTION WITH THE LAST GLACIATION

A. V. Chernov, E. R. Chalova

Рассматриваются особенности развития речных долин в областях накопления льда последнего ледникового покрова и в зоне его влияния на Северо-Западе России. На этих территориях еще не произошло окончательного формирования рисунка речной сети, морфологии речных русел и ландшафтов речных долин в целом. В областях накопления льда сформированы короткие беспойменные долины, но в зоне его движения и таяния образовались своеобразные озерно-русловые системы — чередование коротких русел, соединяющих ледниковые озера (в зоне движения ледника в Карелии) и беспойменные реки, служившие каналами стока ледниковых вод (в зонах абляции и в перигляциальных зонах).

Морфология речных долин в целом и динамика пойменно-русловых комплексов протекающих в них рек тесно связаны со всем набором долинообразующих факторов — литологических, гидроклиматических, палеогеографических. Эта связь наиболее наглядно прослеживается в регионах, где изменение этих факторов происходит на относительно небольших расстояниях в относительно небольшие отрезки времени. Участок, отвечающий таким условиям, представляет собой субмеридиональную транссекту, проходящую вдоль западных границ России: здесь в разные периоды позднечетвертичного времени сменялись условия накопления льда, условия его транзита при смещении ледового покрова на юг и условия таяния этого покрова, сопровождающегося перигляциальными и флювиогляциальными событиями.

Все эти условия и их закономерная смена в южном направлении отразились в формировании рельефа, отложений и геоморфологических ландшафтов гляциального, водноледникового и флювиального генезиса. Конкретно эти различия проявляются в рельефе Кольского полуострова — зоне стабильного накопления льда, Карелии — зоне транзита ледниковых толщ и обширного пространства у южной границы максимального распространения осташковского ледника и в его флювиогляциальной зоне.

На севере этой транссекты расположена **Кольская область** накопления и стабильного положения ледника всех позднечетвертичных стадий оледенения. В рельефе всей территории полуострова не прослеживается следов движения льда. Долины коротких рек, стекающих в бассейны Баренцева и Белого морей, закладывались по трещинам докембрийского фундамента полуострова. Поэтому деформации русел во всех этих долинах-трещинах отсутствуют. Нет и следов экзарации льда, который, по-видимому, здесь никуда не двигался. Отсутствие следов движения ледника отмечается и в Понойской низменности, где русловые деформации проявляются весьма активно.

Карелия является областью транзита ледниковых покровов, поэтому статичная морфология речных долин Кольского полуострова сменяется здесь динамичной морфологией долин со следами движения на юг ледниковых масс; только после стаивания ледника, уже в голоцене стали разрабатываться на их месте речные долины. Долины рек Карелии характеризуются невыработанностью продольных и поперечных профилей, постоянной сменой русловых участков, где активно происходит сток воды, и озерных участков, где течение вод практически отсутствует. В русловых перемычках между озерами невыработанность продольных профилей отражается в высокой порожистости, когда реки «шлифуют» древние

ригели и бараньи лбы, сохранившиеся на днищах бывших «троговых» понижений, по которым двигался лед. Такие речные системы области активной в прошлом динамики ледникового покрова получили название озерно-русловых систем — водотоков с крайне невыработанными руслами-протоками между озерами — беспойменными, порожисто-водопадными, со скальными и валунными берегами и дном (Чернов и др., 2022).

Реки третьего из описываемых регионов — **реки районов деградации ледникового покрова,** формирования аккумулятивного ледникового рельефа и флювиогляциальных равнин. Иными словами — реки внешнего ледникового контура, относящиеся к бассейнам южного берега Финского залива, Ладожского и Онежского озер, озер Ильмень, Псковского, Чудского. Их морфология, русловая динамика и эволюция кардинально отличаются от рек областей статичного накопления льда и озерно-русловых систем. Если основным фактором функционирования рек в областях льдонакопления и таяния был в том или ином виде лед — ледовый покров и потоки талых ледниковых вод, а остальные факторы долинообразования находились в тени, то в районах внешнего контура позднечетвертичных оледенений фактор ледника отходит на второй план, а на первый выходят литология долинообразующих пород, орографический и неотектонический план территории и палеогеографическая история развития речных бассейнов.

В голоценовой истории развития рек внешнего контура осташковского оледенения можно особо подчеркнуть историю и современную эволюцию рек, тесно связанных с крупными приледниковыми озерами, игравшими ведущую роль в постледниковой дегляциации всего балтийского бассейна. Это реки Волхов, Свирь и Нева. Постледниковая эволюция Онежского, Ладожского озер и оз. Ильмень оказала огромное влияние на эволюцию соединяющих эти озера рек, тем самым отделив их историю от традиционной истории развития остальных рек Северо-Западного региона России.

Волхов и Свирь унаследовали генеральное направление ложбин стока талых ледниковых вод, соединявших постледниковые бассейны нынешних озер Онежского, Ладожского и Ильмень, однако воспользовались они этим направлением по-разному. Русло **Волхова** находится в широкой субмеридиональной ложбине, занятой также другими реками меньших размеров. Сток воды в Волхове в настоящее время направлен из оз. Ильмень в Ладожское озеро. Верхние 20 км от истока река течет двумя относительно прямолинейными рукавами — Волховом и Малым Волховцом, образуя своеобразную антидельту. Но реки, расположенные рядом с Волховым, в той же ложбине параллельно Волхову, имеют обратное направление течения (от Онежского озера к оз. Ильмень). При впадении в Ладогу русло Волхова остается врезанным в озерные ладожские глины, не образуя дельты. Обращает на себя внимание как бы перевернутое направление форм долины реки — от широких разливов в районе истока из оз. Ильмень с образованием там антидельты до порожистого участка врезанного однорукавного русла при приближении к устью — Онежскому озеру.

Свирь течет в направлении Ладожского озера и далее к Финскому заливу, то есть в изначальном направлении стока талых вод по межозерной депрессии. **Нева** по морфологии своей долины, а также по ряду других гидроморфологических характеристик четко разделяется на два плеча: от истечения из Ладожского озера (г. Шлиссельбург) до Ивановских порогов и от Ивановских порогов до устья. Оба этих плеча изначально развивались совершенно самостоятельно, с Невой связаны не были и объединились в одну реку только около 3000 л. н. Подобное своеобразие Невы обусловлено позднеголоценовой историей ее развития (Субетто, 2007).

Рассматривая три вытекающие из озер реки, резко отличающиеся по своим морфологическим и гидрологическим характеристикам от соседних рек этого же региона, с позиции единой системы эволюции речной сети в областях недавнего оледенения, где происходит перестройка озерных систем в озерно-русловые и далее — в русловые, можно представить себе систему рек Северо-Запада России как формирующуюся на наших глазах систему каналов стока ледниковых вод на заключительном этапе ее формирования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-00074.

Литература

Субетто Д. А. История формирования Ладожского озера и его соединение с Балтийским морем // Общество. Среда. Развитие. 2007. № 1 (2). С. 11–120.

Чернов А. В., Субетто Д. А., Потахин М. С. и др. Особенности формирования озерно-русловых систем Северо-Запада России // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2022. Т. 4, вып. 4. С. 346–358.

ИНВАЗИОННЫЕ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ИНВАЗИОННЫЕ ВИДЫ РАСТЕНИЙ В ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА

О. А. Чернягина

Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

e-mail: kamchatika@mail.ru

INVASIVE AND POTENTIALLY INVASIVE PLANT SPECIES IN FRESHWATER ECOSYSTEMS OF THE KAMCHATKA PENINSULA

O.A. Chernyagina

Показано, что *Aegagropila linnaea* Kutz. и *Mentha* × *piperita* L. в пресноводных экосистемах полуострова Камчатка активно внедряются в естественные экосистемы и могут быть отнесены к видам, проявляющим инвазионную активность в определенных условиях (в нашем случае — хорошо прогреваемое озеро и ручей с подтоком термальных вод). Целесообразно изменить статус *Aegagropila linnaea* и исключить этот вид из Красной книги Камчатского края. Ежегодно заносимый из аквариумов в озера Петропавловска-Камчатского вид *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms формирует черешки с аэренхимой, но цветения растений не отмечено, по степени натурализации вид отнесен к эфемерофитам.

В 2021 г. завершена работа над коллективной монографией «Черная книга флоры Дальнего Востока (Абрамова и др., 2021). Инвазионные виды растений в экосистемах Дальневосточного федерального округа». Это первая сводка, посвященная растениям, вторгающимся в естественные фитоценозы Дальневосточного федерального округа (ДФО). В работе обобщены оригинальные сведения о распространении, местообитаниях и инвазионном статусе 117 чужеродных видов, принадлежащих к 99 родам из 32 семейств. В инвазионную фракцию флоры Камчатского края включен 71 вид растений, принадлежащих к 63 родам из 17 семейств. В этом исследовании упоминается только один инвазионный вид, обитающий в водоемах, — это элодея канадская (*Elodea canadensis* Michx). Обнаружен в Республике Бурятия, Забайкальском крае и Республике Саха (Якутия). На полуострове Камчатка этот вид до настоящего времени не отмечался.

В процессе наших исследований мы обратили внимание на следующие виды, которые могут представлять интерес как потенциально инвазионные виды в пресноводных экосистемах Камчатки.

1. *Aegagropila linnaea* Kutz. (эгагропила Линнея). Впервые для Камчатки этот вид обнаружен в 2013 г. в оз. Котельном, а в 2017 г. и в оз. Налычево (природный парк «Налычево»). В начале XX века в оз. Налычево была собрана обширная коллекция пресноводных водорослей участниками Ботанического отряда экспедиции Русского географического общества, но эгагропилы в сборах не было (Еленкин, 1914). Не находили мы эгагропилу и при обследовании оз. Налычево в 1994 г. В 2018 г. эгагропила Линнея была включена в число видов, нуждающихся в охране в Камчатском крае. Эгагропила встречалась в оз. Налычево в виде свободно плавающих шаров диаметром 1–1,3 см, в юго-восточной и в северной части, местами были отмечены небольшие скопления (Романов и др., 2018). Но уже в 2020 г. было отмечено, что *Aegagropila linnaea* активно занимает мелководья в южной части озера, формирует «залежи» толщиной 100–120 см и вытесняет ранее наблюдавшиеся здесь сообщества полушника морского (*Isoetes maritima* Underw.), харовых водорослей, губок и других водных организмов. Увеличение скоплений эгагропилы требует особого внимания, так

как может негативно влиять на качество воды в озере и уменьшать площадь нерестилищ нерки (*Oncorhynchus nerka* (Walbaum)). Целесообразно изменить статус *Aegagropila linnaea* и исключить этот вид из Красной книги Камчатского края.

2. *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms Эйхорния толстоножковая (водяной гиацинт). Естественный ареал этого однолетнего водного растения — Южная Америка, тропические районы. Вследствие интродукции вид натурализовался на всех континентах, кроме Антарктиды. Благодаря эффективности вегетативного размножения и высокой интенсивности роста водяной гиацинт способен формировать на поверхности водоемов сомкнутые сплавины, препятствующие судоходству, сельскому и рыбному хозяйству, а также способствует гибели местной флоры (Красовская, 2017). На Камчатке этот вид был отмечен нами в летний период с 2018 по 2021 гг. в северной части оз. Култучного в г. Петропавловске-Камчатском, в той части, куда сливались сточные воды, в 2022 г. он сфотографирован на оз. Медвежье (*Pontederia crassipes,* 2022). Достоверно известно, что в оз. Култучное взрослые особи ежегодно переносили из аквариумов энтузиасты-аквариумисты. Растения успешно вегетировали всё лето и начало осени (в 2018 г. до 23 сентября). Пузыревидные вздутия черешков с аэренхимой были сформированы, но цветения растений не отмечено. По степени натурализации водяной гиацинт на Камчатке следует отнести к эфемерофитам — видам, произрастающим в водных объектах только в течение одного вегетационного периода, так как возможность формирования жизнеспособных популяций этого вида жестко связана с тепловым режимом водоемов в течение всего года.

3. *Mentha* × *piperita* L. Мята перечная. Это природный гибрид мяты водной *(Mentha aquatica)* и мяты колосовой *(Mentha spicata)* известен как широко распространенная садовая культура. В п. Анавгай в Центральной Камчатке несколько десятилетий назад мята ушла из культуры и поселилась по берегам ручья с подтоком термальных вод, протекающего вдоль поселка, в высокой пойме р. Быстрой. В 2025 г. на отдельных участках (и ежегодно площадь таких участков увеличивается) заросли мяты полностью покрывают русло ручья, скрывая водяное зеркало. Поведение мяты настолько агрессивно, что она теснит как прибрежные заросли местных видов (*Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert, *Rumex aquaticus* L.), так и заросли чужеродных, произраставших здесь у выходов термальных вод (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.*, Bidens tripartita* L.).

Работа выполнена в рамках государственного задания КФ ТИГ ДВО РАН по теме «Структурно-функциональная организация, динамика и продуктивность наземных и прибрежных экосистем на Дальнем Востоке РФ. Разработка научных основ и экономических инструментов устойчивого природопользования» (№ ЕГИСУ 124012700496-4).

Литература

Виноградова Ю. К., Антонова Л. А., Дарман Г. Ф. и др. Черная книга флоры Дальнего Востока: инвазионные виды растений в экосистемах Дальневосточного Федерального округа. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2021. 510 с.

Еленкин А. А. (ред.). Споровые растения Камчатки: 1) Водоросли, 2) Грибы. Камчатская экспедиция Фёдора Павловича Рябушинского. Ботанический отдел. М.: Тип. П. П. Рябушинского, 1914. 612 с.

Красовская Л. С. Эйхорния. М.: Большая российская энциклопедия, 2017. Т. 35. С. 238–239.

Романов Р. Е., Чемерис Е. В., Чернягина О. А. Эгагропила Линнея. Красная книга Камчатского края. Т. 2. Растения / отв. ред. О. А. Чернягина. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2018. С. 273.

Pontederia crassipes Эйхорния толстоножковая. 2019. [Электронный ресурс] URL: https://www.inaturalist.org/observations/127616713 (дата обращения: 25.04.2026).

Mentha × *piperita* L. Мята перечная. 2019. [Электронный ресурс] URL: https://www.inaturalist.org/observations/33579153 (дата обращения: 25.04.2026).

ПРИЗНАКИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРЕСНОВОДНЫХ СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА В ВЫСОКОЙ АРКТИКЕ (ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА)

Е. С. Чертопруд [1]*, А. А. Новичкова [2], А. Д. Быков [3]

[1] Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия
[2] Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия
[3] Центральный институт ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия

** e-mail: horsax@yandex.ru*

SIGNS OF CLIMATE-DRIVEN CHANGES IN FRESHWATER ZOOPLANKTON ASSEMBLAGES IN THE HIGH ARCTIC (FRANZ JOSEF LAND)

E. S. Chertoprud, A. A. Novichkova, A. D. Bykov

Представлен анализ зоопланктона малых пресноводных водоемов острова Александры (Земля Франца-Иосифа). Обследовано 12 водоемов, выявлено порядка 10 видов Rotifera, 3 Copepoda и 1 Cladocera. Среди ракообразных три вида обнаружены впервые для архипелага: *Cyclops kikuchii, Megacyclops* sp. и *Chydorus* gr. *sphaericus*. Высокие численность и частота встречаемости свидетельствуют об успешной колонизации этими видами водоемов острова. Новые находки, вероятно, обусловлены выраженным потеплением и формированием экологических ниш, доступных для колонизации видами из более низких широт.

Выявление общих закономерностей изменчивости видового богатства и структуры сообществ гидробионтов Арктики под влиянием климатического фактора является одной из фундаментальных проблем современной экологии. Потепление в Арктике происходит почти в четыре раза быстрее, чем в других регионах планеты (Rantanen et al., 2022). Действие климатического и антропогенного факторов оказывает кумулятивный эффект на экосистемы арктических водоемов и приводит к изменениям их биоразнообразия, продуктивности, функциональной и трофической структуры (Wrona et al., 2013; Hayden et al., 2019). Целью данного исследования являлся анализ состава зоопланктона малых пресноводных водоемов острова Александры (западная часть архипелага Земля Франца-Иосифа). Пробы зоопланктона отбирали в ходе комплексной экспедиции Русского географического общества в августе 2025 г. в северо-восточной, свободной от ледников части острова. Было обследовано 12 пресноводных водоемов, в том числе относительно крупные озера Ледяное и Пинегина. Для каждого водоема были измерены базовые гидрохимические параметры воды, температура и проведено гидрологическое описание.

Всего было отмечено около 10 таксонов коловраток, видовая принадлежность которых пока уточняется, а также три вида веслоногих (Copepoda) и, что наиболее интересно, один вид ветвистоусых (Cladocera) ракообразных. Среди Copepoda найдены представители Cyclopoida: *Diacyclops crassicaudis, Cyclops kikuchii* и *Megacyclops* sp. Первый из них был ранее отмечен в моховых лужах архипелага (Ретовский, 1935), где обитает также другой вид Copepoda — *Maraenobiotus vejdovskyi*, отмеченный ранее (Scott, 1899). Из новых находок наиболее многочисленным и часто встречающимся являлся *C. kikuchii.* Cladocera были представлены видом *Chydorus* gr. *sphaericus* — первая находка таксономической группы для Земли Франца-Иосифа. Данный вид был отмечен в семи водоемах, и его численность часто достигала нескольких десятков особей на пробу. Все перечисленные таксоны, кроме *C. kikuchii*, были отмечены в водоемах ближайших архипелагов — Новая Земля и Шпицберген (Ретовский, 1935; Coulson et al., 2014). *C. kikuchii* не так давно рассматривался как подвид *Cyclops vicinus vicinus*, который широко распространен на арктических островах. Вероятно, ранее эти два вида смешивали при идентификации.

Новые находки ракообразных в пресноводных экосистемах арктических островов, включая архипелаг Земля Франца-Иосифа, обусловлены комплексом факторов. Среди них первостепенное значение имеет недостаточная изученность. Несмотря на обедненность фауны, только анализ большого числа проб из разных водоемов и местообитаний позволяет выявить редкие виды, а данные по зоопланктону пресных вод архипелага известны фактически из двух работ (Scott, 1899; Ретовский, 1935). Не менее важным фактором оказываются климатические изменения последних десятилетий. Среднегодовая температура воздуха на Земле Франца-Иосифа выросла на 2,5–3,5 °C с 1970 г., что является одним из наиболее выраженных показателей потепления в Арктике (Moon et al., 2024). Этот тренд привел к ускорению таяния ледников, увеличению глубины оттаивания вечной мерзлоты и росту растительного индекса NDVI в зоне тундры на 15–20 %. В результате сформировались водоемы с повышенной продуктивностью, создав экологические ниши для колонизации видами ракообразных из более низких широт. Высокие численность и частота встречаемости особей впервые обнаруженных видов свидетельствуют о том, что по крайней мере некоторые из них успешно закрепились в колонизированных водоемах.

Ввиду изолированности архипелага Земля Франца-Иосифа основным путем проникновения новых видов, вероятно, является расселение посредством водоплавающих птиц. При этом ранее показано, что Cladocera быстрее колонизируют новые территории по сравнению с Copepoda, и многие из них имеют широкие палеарктические или даже голарктические и космополитные ареалы (Novichkova, Azovsky, 2017). В свою очередь, Copepoda являются более термотолерантными по сравнению с Cladocera и имеют преимущества при выживании в высоких широтах, являясь доминирующей или даже единственной группой ракообразных в водоемах арктических пустынь.

Литература

Ретовский Л. О. Микрофауна пресных водоемов Новой Земли и Земли Франца-Иосифа // Труды Всесоюзного Арктического института. 1935. Т. 14. С. 3–72.

Coulson S. J., Convey P., Aakra K. et al. The terrestrial and freshwater invertebrate biodiversity of the archipelagoes of the Barents Sea; Svalbard, Franz Josef Land and Novaya Zemlya // Soil Biology and Biochemistry. 2014. Vol. 68. P. 440–470.

Einsle U. K. *Cyclops kikuchii* Smirnov, 1932 (Copepoda, Cyclopoida), eine selbständige Art aus süddeutschen Gewässern // Crustaceana. 1994. Vol. 66. P. 240–246.

Hayden B., Harrod C., Thomas S. M. et al. From clear lakes to murky waters — tracing the functional response of high-latitude lake communities to concurrent ‘greening’ and ‘browning’ browning’ // Ecology letters. 2019. Vol. 22, N 5. P. 807–816.

Moon T. A., Druckenmiller M. L., Thoman R. L. (Eds.) Arctic Report Card (NOAA). 2024. https://arctic.noaa.gov/wp-content/uploads/2024/12/ArcticReportCard_full_report2024.pdf

Novichkova A. A., Azovsky A. I. Factors affecting regional diversity and distribution of freshwater microcrustaceans (Cladocera, Copepoda) at high latitudes // Polar Biology. 2017. Vol. 40. P. 185–198.

Rantanen M., Karpechko A. Y., Lipponen A. et al. The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979 // Communication Earth &Environment. 2022. Vol. 3: 168.

Scott T. Report on the marine and freshwater Crustacea from Franz-Josef Land, collected by Mr. William S. Bruce, of the Jackson-Harmsworth Expedition // Journal of the Linnean Society, Zoology. 1899. Vol. 27. P. 60–126.

Sweetman J. N., Rühland K. M., Smol J. P. Environmental and spatial factors influencing the distribution of cladocerans in lakes across the central Canadian Arctic treeline region // Journal of Limnology. 2010. Vol. 69, N 1. P. 76–87.

Wrona F. J., Reist J. D., Amundsen P. A. et al. Freshwater ecosystems // In H. Meltofte (Ed.) Arctic biodiversity assessment: Status and trends in Arctic biodiversity. Narayana Press. 2013. P. 443–485.

ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ *PALAEMON CURVIROSTRIS* NGUYÊN, 1992 (DECAPODA: PALAEMONIDAE) (ВЬЕТНАМ)

И. И. Чеснокова [1]*, С. В. Статкевич [1], Ку Нгуен Динь [2], Э. Р. Аблязов [1], Чан Ван Тьен [2]

[1] Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, Россия, Севастополь, Россия
[2] Тропический научно-исследовательский и технологический центр, Хошимин, Вьетнам

** e-mail: chii@ibss-ras.ru*

BIOLOGY OF *PALAEMON CURVIROSTRIS* NGUYÊN, 1992 (DECAPODA: PALAEMONIDAE) (VIETNAM)

I. I. Chesnokova, S. V. Statkevich, N. D. Cu, E. R. Ablyazov, T. V. Tien

Впервые получены данные по размерно-весовой структуре популяции *Palaemon curvirostris* Nguyên, 1992, характеризующейся устойчивым преобладанием самок. Установлено, что плодовитость вида является одной из самых высоких среди представителей рода Palaemon и носит сверхпропорциональный характер по отношению к размеру самок, что указывает на ключевую роль крупных особей в поддержании популяции в условиях нестабильной среды. Впервые для вида описана морфология выводковой сумки, показана ее тесная связь с размерами тела и плодовитостью.

Род креветок Palaemon является одним из самых богатых по видовому составу родом семейства Palaemonidae и в настоящее время включает в себя 86 видов (морских, эстуарных, пресноводных). Во Вьетнаме насчитывается 11 представителей его рода, и одним из наиболее часто встречающихся на юге Вьетнама является *P. curvirostris* Nguyên, 1992. Несмотря на описание вида, еще в 1992 г. изучение особенностей его биологии, экологии и распространения практически не проводилось, в то время как именно эти знания необходимы для поддержания биоразнообразия региона, сохранения уникального эндемичного вида и оценки возможности его использования человеком. В связи с этим целью исследования стало комплексное изучение биологии *P. curvirostris*.

В период с 2019 по 2024 гг. был собран и проанализирован материал, включавший 930 особей *P. curvirostris* (рис.). Отбор проб проводился в трех районах: основное русло дельты р. Меконг, на р. Боде (пров. Камау), также являющейся частью дельты, и в пределах природного заповедника Канзе (дельта р. Донгнай). При проведении стандартного биологического анализа у креветок измеряли общую длину (TL), массу (W), определяли плодовитость и объем выводковой сумки.



Внешний вид *Palaemon curvirostris* (фото Е. П. Карповой)

P. curvirostris — типичный эстуарный вид, демонстрирует высокую толерантность к широкому диапазону солености (2,11–35 ‰) и глубин (2–14 м). Изначально вид был описан как обитатель мангровых эстуариев в районе Вунгтау (Nguyên, 1992). Наше исследование значительно расширяет известный ареал: вид был обнаружен в реках провинций Камау, Канзё, Бенче, Тьензянг, Чавинь и Шокчанг. Для P. curvirostris характерно устойчивое преобладание самок в уловах (♀:♂–1:0,36 (χ^2 = 178,82, df = 1, p < 0,001)). Самки крупнее самцов (TL: ♀ 47,1 ± 7,1 ♂42,5 ± 7,0; W♀1,05 ± 0,51, ♂ 0,75 ± 0,32 г) и достигают большей максимальной длины (♀ 69,9 и ♂ 61,0 мм). Ключевым вопросом для понимания популяционной динамики *P. curvirostris* является продолжительность его жизненного цикла. Прямые методы определения возраста у десятиногих ракообразных разработаны слабо (Vogt, 2019), однако, косвенную оценку позволяет сделать анализ размерной структуры. Суммарное распределение размеров в исследованной выборке имеет выраженный одномодальный характер с модой 48,1 мм. Согласно подходу, предложенному Б. Г. Ивановым (1978), наличие единственной четкой моды у тропических видов креветок может указывать на годовой жизненный цикл. Данные по близкородственным солоноватоводным видам *P. Macrodactylus* Rathbun, 1902 (1–2 года) и *P. Pugio* (Holthuis, 1949) (1,1–1,3 года) (Vogt, 2019) также поддерживают гипотезу о том, что жизненный цикл *P. curvirostris* не превышает 1–2 лет.

В условиях высокой неопределенности выживания молоди и лимитированной продолжительности жизни ключевое адаптивное значение приобретает максимизация репродуктивного выхода. Выявленная нами плодовитость *P. curvirostris* составила 509±374 икринок на самку (размах 100–2461), что сопоставимо с таковой у эстуарных видов: *P. argentinus* (Nobili, 1901) (Müller et al., 1999), *P. pandaliformis* (Stimpson, 1871) (Müller et al., 1999; Paschoal et al., 2016). Степенная регрессия выявила сильную положительную связь между плодовитостью и длиной тела самок: $F = 1{,}05 \times 10^{-4} \cdot TL^{3{,}92}$ ($R^2 = 0{,}80$; $p < 0{,}001$). Высокий показатель степени (b = 3,92) свидетельствует о том, что крупные самки вносят непропорционально большой вклад в пополнение популяции. Установленная сильная связь между объемом выводковой сумки и плодовитостью (r = 0,78; $F = 11{,}88 \cdot BPV - 31{,}85$; $R^2 = 0{,}61$) ожидаема и полностью согласуется с литературными данными: размер сумки напрямую лимитирует количество икры, которое самка способна вынашивать (Nazari et al., 2003; Paschoal et al., 2016).

Проведенное исследование значительно расширяет представления о биологии эстуарной креветки *P. curvirostris* — эндемика Вьетнама. Результаты работы могут быть использованы для разработки мер по сохранению биоразнообразия южного Вьетнама, а также служить основой для оценки потенциальной пригодности *P. curvirostris* для целей аквакультуры и аквариумистики.

Исследование выполнено в рамках государственного задания (№ 124022400148-4), темы Эколан Э-3.6 (задача 1) и Эколан "The Ecosystem of the Mekong River under the Conditions of Global Climate Change and Anthropogenic Impact".

Литература

Иванов Б. Г. О возможности разделения одного возрастного класса у ракообразных на две размерные группы на примере *Pandalus borealis* (Crustacea, Decapoda) // Зоологический журнал. 1978. Т. 57, вып. 5. С. 673–681.

Müller Y. M. R., Nazari E. M., Ammar D. et al. Biology of Palaemonidae (Crustacea, Decapoda) from the Ratones hidrografic basin, Florianypolis, Santa Catarina, Brazil // Revista Brasileira de Zoologia. 1999. Vol. 16 (3). P. 629–639.

Nazari E. M., Simões costa M. S., Müller Y. M. R. et al. Comparisons of fecundity, egg size and egg mass volume of the freshwater prawns *Macrobrachium potiuna* and *Macrobrachium olfersii* (Decapoda, Palaemonidae) // Journal of Crustacean Biology. 2003. Vol. 23. P. 862–868.

Nguyên V. X., Review of Palaemoninae (Crustacea: Decapoda: Caridea) from Vietnam, Macrobrachium excepted // Zoologische Mededelingen. 1992. Vol. 66. P. 19–47.

Paschoal L. R. P., Guimarães F. J., Couto E. C. G. Growth and reproductive biology of the amphidromous shrimp *Palaemon pandaliformis* (Decapoda: Caridea) in a Neotropical river from northeastern Brazil // Zoologia. 2016. Vol. 33 (6): e20160060.

Vogt G. A compilation of longevity data in decapod crustaceans // Nauplius. 2019. Vol. 27: e2019011.

ПАРАЗИТОФАУНА И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВИДОВОГО БОГАТСТВА ПАРАЗИТАРНЫХ СООБЩЕСТВ ЩУКИ *ESOX LUCIUS* (L.) И ОКУНЯ *PERCA FLUVIATILIS* (L.) БОГУЧАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Ю. К. Чугунова

Красноярский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Красноярск, Россия

e-mail: jhermann@mail.ru

PARASITE FAUNA AND FEATURES OF THE FORMATION OF SPECIES RICHNESS OF PARASITIC COMMUNITIES OF PIKE *ESOX LUCIUS* (L.) AND PERCH *PERCA FLUVIATILIS* (L.) IN THE BOGUCHANSKOYE STORAGE RESERVOIR

J. K. Chugunova

Исследовано видовое богатство паразитов инфра- и компонентных сообществ щуки и окуня Богучанского водохранилища с начала его существования. Показаны общие закономерности, происходящие в паразитофауне рыб: сокращение числа видов, развивающихся с участием бентоса, и нарастание зараженности паразитами, первыми промежуточными хозяевами которых служат планктонные ракообразные.

Материалом настоящей работы послужили результаты паразитологического мониторинга двух видов рыб (щуки и окуня), различающихся по типу питания и экологическим особенностям.

Исходный состав паразитофауны щуки состоял из 13 видов из 9 классов, из них 7 видов паразитов, чье развитие включает бентосных беспозвоночных, и всего 1 вид, развивающийся с участием планктонных копепод. В этом году паразитофауна характеризовалась максимальным видовым богатством и низкой скоростью накопления видового разнообразия в инфрасообществах (новые виды появляются реже при увеличении числа исследованных рыб). Доминирующее число видов в инфрасообществах — 5. Это *Trichodinella epizootica* (Raabe, 1950), *Tetraonchus monentheron* (Wagener, 1857), *T. nodulosus, Raphidascaris acus* (Bloch, 1779) и *Piscicola geometra* (Linnaeus, 1761), входящие в «ядро» компонентного сообщества с экстенсивностью инвазии от 46,6 до 93,3 %. Также в состав «ядра» входили *Azygia robusta* Odhner, 1911 (40,0 %) и глохидии моллюсков (33,3 %).

Второй год существования водоема (2014 г.) характеризовался резкой вспышкой численности паразитических инфузорий и, в частности, апиозом, что свидетельствует о наличии органики в формируемом водном объекте. Эта тенденция прослеживается и в последующие годы, достигая в 2020 г. максимального видового разнообразия и численности инфузорий.

Спустя 12 лет существования водохранилища видовое богатство инфрасообществ снижается. Регрессионная кривая стартует с низких значений, однако имеет более высокое нарастание количества обнаруженных видов паразитов при увеличении числа исследованных особей и проходит выше кривой, характеризующей накопление видов в 2012 г. Доминирующее число в инфрасообществах составляют четыре вида, три из которых: *T. epizootica, T. monentheron* и *T. nodulosus* — общие за весь период исследований, а в 2024 г. к ним добавляется нематода *Camallanus lacustris* Zoega, 1776.

Таким образом, в компонентном сообществе паразитов щуки отмечена тенденция нарастания встречаемости и численности паразитов с планктонным путем развития.

Напротив, в 2024 г. трематоды, пиявки и моллюски в составе паразитофауны щуки не зарегистрированы, а встречаемость *Echinorhynchus truttae* Schrank, 1788 и *Myxobolus anurus* (Cohn, 1895), развивающихся с участием бокоплавов и олигохет, соответственно, низкая (20 %) или единичная (6,6 %).

Распределения видового богатства инфрасообществ паразитов щуки в начальный период и в настоящее время между собой достоверно различаются (тест Колмогорова — Смирнова DN = 0,66, P-value = 0,002).

Исходный состав паразитофауны окуня Богучанского водохранилища включал 17 видов паразитов, относящихся к восьми классам. Это виды, ранее обитавшие в р. Ангаре до зарегулирования. Наиболее разнообразно представлены трематоды. Видовое богатство инфрасообществ варьировало от одного до семи (в среднем 3,4) видов на особь. В ядро компонентного сообщества входили: *Apiosoma campanulatum* (Timofeev, 1962) (38,2 %), *Ichthyocotylurus variegates* (Creplin, 1825) (97,05 %), *Diplostomum volvens* (70,6 %), *Diplostomum spathaceum* (Rudolphi, 1819) (20,6 %) и *C. lacustris* (26,5 %).

В период наполнения (в 2013 и особенно 2014 гг.) фауна самая бедная, при этом большая часть рыб несет малое число видов (от 0 до 4), в основном представленные паразитическими инфузориями. Регрессионная кривая для выборки 2014 г. графически проходит ниже всех линий, характеризующих накопление видов за весь период существования водоема.

Сразу после наполнения водоема (2016 г.) отмечается заметный рост видового богатства и увеличение сходства видового состава инфра- и компонентных сообществ паразитов. Так, в 2020 г. в составе паразитофауны окуня насчитывалось 14, а в 2021 — 16 видов, большинство из которых представлены инфузориями. Из паразитов со сложным циклом развития доминирующими по величине встречаемости и численности становятся гельминты с планктонным путем развития: *T. nodulosus* pl., *Proteocephalus percae* (Muller, 1780) и *C. lacustris*, в то время как «бентосные» паразиты в этот период отсутствуют.

К 2024 г. в составе паразитофауны насчитывается 20 видов из 10 классов. Видовое богатство инфрасообществ изменялось от 2 до 10 видов (в среднем 4,8). Это: *T. nodulosus, P. percae, Diplostomum* sp.*, C. lacustris* и *Echinorhynchus truttae* Schrank, 1788, входящие в «ядро» компонентного сообщества с экстенсивностью инвазии от 40 до 63,3 %. Коэффициент степенной регрессии, характеризующий среднюю величину видового богатства, имеет максимальное значение, а регрессионная кривая стартует с наиболее высоких единиц и проходит выше всех линий, характеризующих накопление видов с 2012 г. Распределения видового богатства инфрасообществ паразитов окуня в 2012 и 2024 гг. достоверно различаются (DN = 0,68, P-value << 0,05).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в процессе трансформации водоема (река — водохранилище) структура инфра- и компонентных сообществ паразитов щуки и окуня претерпевает существенные изменения. При этом окунь — наиболее показательный объект для исследований, характеризующий динамику паразитофауны, происходящую в водоеме. В отличие от щуки (засадного хищника), окунь — вид с высокой экологической пластичностью, способный специализироваться как планктофаг.

Зарегулирование реки и последующее эвтрофирование привели к увеличению продукции зоопланктона и его роли в питании рыб и, соответственно, к росту видового разнообразия, встречаемости и численности паразитов, включающих в развитие планктонных Copepoda. В то время как утрата в пищевом рационе окуня бентосных беспозвоночных, с первых лет существования водохранилища и до 2021 г., стала главной причиной обеднения видового богатства гельминтов в инфра- и компонентных сообществах. В настоящее время происходит увеличение видового богатства и разнообразия паразитофауны окуня за счет включения в состав паразитов, использующих в своем развитии зообентос.

АНАЛИЗ РЕАКЦИИ МОРСКИХ РЕСУРСОВ НА РЕГИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ КИТАЯ

Чэнь Хаотянь

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

e-mail: hsdjenu@gmail.com

ANALYSIS OF THE RESPONSE OF MARINE RESOURCES TO THE REGIONAL DEVELOPMENT OF CHINA'S COASTAL REGIONS

Chen Haotian

By constructing an indicator system for the comprehensive development index of the marine economy and the comprehensive development index of the regional economy, and applying the comprehensive response degree model and kernel density estimation method, this study analyzes the spatiotemporal pattern evolution of the comprehensive response intensity of China's marine economy to the economic development of coastal areas from 2001 to 2013. The results show: (1) From 2001 to 2013, the overall comprehensive response intensity remained at a medium-to-high level. The increase in response intensity slowed in high-value regions, while low-value regions experienced faster improvement, gradually narrowing the gap. This indicates that the relationship between China's marine economy and coastal economic development has become increasingly close, and the level of coordinated land-sea development has gradually improved. (2) During 2001–2007, 50% of the 11 coastal provinces in China were in a low response state. Since 2008, only Hainan has remained in a low response state. Over the study period, Tianjin and Guangdong maintained stable comprehensive response rankings, while Shandong, Jiangsu, Hebei, Guangxi, and Hainan improved their rankings, and Shanghai, Zhejiang, Liaoning, and Fujian declined in ranking. In comparison, the regions that improved their rankings placed greater emphasis on technological development and industrial restructuring, leading to a faster increase in the comprehensive benefits of marine economic development.

Проведена комплексная оценка морской экономики Китая на экономическое развитие прибрежных регионов: методология и пространственно-временной анализ (2001–2013 гг.). исследовались 11 прибрежных провинций Китая (Тяньцзинь, Хэбэй, Ляонин, Шанхай, Цзянсу, Чжэцзян, Фуцзянь, Шаньдун, Гуандун, Гуанси, Хайнань) с целью количественного измерения и анализа пространственно-временной эволюции силы отклика морского хозяйства на экономику прибрежных районов с помощью модели комплексной чувствительности и метода ядерной оценки плотности.

Сформированы две системы показателей: индекс развития морской экономики (16 показателей) и индекс развития региональной экономики (16 показателей). Каждая система структурирована по четырем направлениям.

Масштаб (вес: 0,242 для морской; 0,169 для региональной): валовая продукция морских отраслей, добавленная стоимость морской экономики, ВРП, инвестиции в основные фонды, розничный товарооборот и др.

Структура (0,226; 0,174): экспорт морской продукции, структурная энтропия морских отраслей, коэффициент опережения базовых отраслей, коэффициент Хоффмана.

Научно-технический уровень (0,152; 0,385): квалификация научных кадров, плотность НИИ, степень внедрения достижений, производительность труда, инвестиционная эффективность.

Устойчивость развития (0,380; 0,272): интенсивность использования акваторий, новые источники морской энергии, природоохранные зоны, расходы на НИОКР и образование, утилизация промышленных отходов.

В ходе исследования использовалась концепция дуговой эластичности в экономике. При этом коэффициент отклика θj (t) в год t показывает, на сколько процентов изменится

морской индекс при изменении регионального индекса на один процент. С помощью Stata 14,0 выполнена криволинейная подгонка.

На основе эмпирических данных и стандартов предшествующих исследований выделены три типа: высокий отклик (провинции с максимальной чувствительностью морской экономики к региональным колебаниям); средний отклик и низкий отклик.

Динамика интегральных индексов (2001–2013) демонстрирует, что интегральный индекс морской экономики вырос с 0,281 до 0,723; региональный индекс — с 0,398 до 0,709. До 2008 г. морской индекс превышал региональный; после финансового кризиса 2008 г. региональный индекс стал выше, что свидетельствует о большей устойчивости диверсифицированной экономики суши по сравнению с узкоспециализированной и экспортнозависимой морской экономикой.

Всего проанализировано 54 ситуации (11 провинций × 3 периода = 33, но с разбивкой на два подпериода: 2001–2007 и 2008–2013 гг.) (табл.).

Проанализированные подпериоды

Подпериод	Высокий, %	Средний, %	Низкий, %
2001–2007	16,7	64,8	18,5
2008–2013	16,7	64,8	18,5

В 2001–2007 гг. 50% провинций находились в зоне низкого отклика (Цзянсу, Шаньдун, Гуандун, Гуанси, Хайнань, Тяньцзинь). В 2008–2013 гг. лишь Хайнань сохранил низкий отклик; Цзянсу и Шаньдун переместились в категорию высокого отклика. При этом были выявлены изменения позиций в рейтинге силы отклика (2001–2013): повысили позиции — Шаньдун, Цзянсу, Хэбэй, Гуанси, Хайнань; понизили позиции — Шанхай, Чжэцзян, Ляонин, Фуцзянь; без изменений — Тяньцзинь, Гуандун. Причины роста: провинции, улучшившие позиции, отличаются вниманием к технологическому прогрессу и структурной перестройке промышленности

Комплексная сила отклика морской экономики на экономику прибрежных регионов Китая в 2001–2013 гг. находилась на среднем и высоком уровнях. Высокочувствительные провинции замедлили рост, низкочувствительные — ускорились, межрегиональный разрыв сократился.

Установлено, что сила отклика определяется не столько масштабом морской экономики, сколько ее комплексной эффективностью — технологическим уровнем, структурным разнообразием и устойчивостью развития.

Позиции в рейтинге чувствительности повысили провинции, делавшие ставку на инновации и структурную оптимизацию (Шаньдун, Цзянсу, Хэбэй, Гуанси, Хайнань). Провинции, сохранившие скоростную модель роста без качественного улучшения (Ляонин, Фуцзянь), свои позиции снизили.

В условиях «новой нормальности» приоритетом должно стать ускорение технологической модернизации морского хозяйства, рациональное ресурсопользование и взаимоувязанное сухопутно-морское планирование для повышения чувствительности и устойчивости морской экономики к развитию прибрежных территорий.

СТРУКТУРА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И СОПУТСТВУЮЩИХ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗАХ ДАННЫХ

Д. Г. Шавриев*, А. В. Иськив

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

** e-mail: shavrievd@gmail.com*

STRUCTURE OF THE REPRESENTATION OF BIOLOGICAL INFORMATION AND ASSOCIATED ABIOTIC FACTORS IN RELATIONAL DATABASES

D. G. Shavriev, A. V. Iskiv

Рассматривается структура представления биологической информации и абиотических факторов в реляционных базах данных. Предложена модель базы данных для хранения информации о рыбах и параметрах окружающей среды рек южного Вьетнама, реализованная в СУБД MySQL. Описана логическая структура, включающая таксономические, экологические и морфометрические данные, а также обоснованы принципы нормализации и связей между таблицами. Показаны преимущества реляционного подхода, включая оптимизацию обработки данных, обеспечение целостности и безопасности. Рассмотрены перспективы разработки пользовательского веб-интерфейса для упрощения ввода и анализа данных.

Современные биологические исследования характеризуются значительным ростом объемов данных, включающих как биологическую информацию (таксономия, морфометрия, популяционные характеристики), так и абиотические параметры среды (температура, соленость, глубина и др.). Хранение и анализ таких данных требуют использования надежных и масштабируемых информационных систем.

Реляционные базы данных (РБД) являются одним из наиболее распространенных решений для структурирования сложных взаимосвязанных данных. Их преимущества заключаются в строгой формализации структуры данных, обеспечении целостности через механизмы нормализации, а также высокой скорости выполнения запросов при использовании индексов (Silberschatz et al., 2019). Кроме того, системы управления базами данных (СУБД), такие как MySQL, предоставляют встроенные инструменты для обеспечения безопасности, резервного копирования и разграничения доступа (Гаврилов, Лапшин, 2020). Применение реляционных БД в биологических исследованиях позволяет стандартизировать хранение информации, исключить дублирование данных и повысить эффективность аналитической обработки.

Разработанная структура РБД предназначена для хранения и анализа биологических данных рыб и сопутствующих абиотических факторов рек южного Вьетнама. В качестве СУБД используется MySQL. Данная СУБД предоставляет значительное количество инструментов для обеспечения надежного хранения, обработки и управление данными (Гаврилов, Лапшин, 2020). База данных организована по принципу нормализации и включает несколько взаимосвязанных групп таблиц.

Таксономический блок состоит из следующих таблиц: orders — классы (отряды) видов; family — семейства; species — виды; author и species_author — информация об авторах, описавших виды. Данная иерархическая структура отражает биологическую классификацию и позволяет эффективно управлять таксономическими данными без дублирования.

Блок абиотических факторов: environment — содержит параметры окружающей среды (температура, соленость, содержание кислорода, глубина, прозрачность воды и др.); substrate — типы донного субстрата, справочная таблица. Эти таблицы связаны с таблицей тралений, что позволяет анализировать влияние среды на биологические показатели.

Блок тралений (полевых исследований): trawling — ключевая таблица, содержащая информацию о тралениях: дата, координаты, глубина, продолжительность, пройденное расстояние; catch_fish_family и catch_fish_species — данные об улове (количество и масса рыб), агрегированные по семействам и видам соответственно в зависимости от степени определения таксона. Такая структура обеспечивает возможность анализа улова на разных уровнях детализации.

Блок данных биологического анализа экземпляров: measurement — содержит морфометрические и биологические данные отдельных особей (длина, масса, пол, зрелость, возраст и др.); m_trawling — связывает конкретные измерения с тралениями; справочники: fishing_tool, caviar, retainer. Использование отдельной таблицы измерений позволяет хранить детализированные данные без перегрузки других таблиц.

Предложенная структура базы данных соответствует принципам третьей нормальной формы (3NF), что позволяет минимизировать избыточность данных, исключить аномалии вставки, обновления и удаления, а также обеспечить целостность данных через внешние ключи (Silberschatz et al., 2019).

Разделение данных на логические блоки (таксономия, среда, уловы, измерения) повышает гибкость системы и упрощает выполнение сложных аналитических запросов, например, анализ зависимости видового состава от абиотических факторов или оценка распределения биомассы по районам, исследование морфометрических характеристик популяций. Использование промежуточных таблиц (species_author, m_trawling) реализует связи «многие-ко-многим», что является важным для биологических данных.

Реляционная модель позволяет существенно повысить производительность работы с большими массивами данных за счет использования индексов для ускорения выборок, оптимизации SQL-запросов, разделения данных по таблицам (вертикальная декомпозиция) (Silberschatz et al., 2019). Современные реляционные СУБД предоставляют комплексные механизмы защиты данных: разграничение прав доступа пользователей (RBAC); шифрование данных; журналирование транзакций; автоматическое резервное копирование (backup) и восстановление (Гаврилов, Лапшин, 2020). Использование ограничений целостности (PRIMARY KEY, FOREIGN KEY, UNIQUE) позволяет предотвратить дублирование данных и поддерживать их согласованность. На основе этих механизмов возможно построение комплексных программных решений, обеспечивающих устойчивость системы к сбоям.

На основе разработанной базы данных возможно создание веб-приложения с графическим интерфейсом для более удобного ввода и анализа данных пользователями. Это позволит упростить процесс заполнения базы (без необходимости работы с SQL), снизит вероятность ошибок ввода, а также расширить доступ к данным для исследователей.

Реляционные базы данных являются эффективным инструментом для хранения и анализа биологических и абиотических данных. Разработанная структура базы данных обеспечивает целостность, масштабируемость и удобство работы с информацией. Использование MySQL позволяет реализовать надежную систему управления данными с высоким уровнем безопасности. Предложенный подход может быть использован в экологических и ихтиологических исследованиях для анализа сложных природных систем.

Литература

Гаврилов А. В., Лапшин В. А. Базы данных и системы управления базами данных. М.: Юрайт, 2020. 256 с.
Silberschatz A., Korth H., Sudarshan S. Database System Concepts. New York: McGraw-Hill, 2019. 1376 p.

ЧУЖЕРОДНЫЕ ВИДЫ ИХТИОФАУНЫ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА, ВЕКТОРЫ И СКОРОСТЬ ПРОНИКНОВЕНИЯ ВСЕЛЕНЦЕВ

Ф. М. Шакирова[1]*, **В. З. Латыпова**[2, 3]

[1] *Татарский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Казань, Россия*
[2] *Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия*
[3] *Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, Россия*

* *e-mail: shakirovafm@gmail.com*

ALIEN SPECIES OF THE ICHTHYOFAUNA OF THE KUIBYSHEV RESERVOIR, VECTORS AND RATE OF PENETRATION OF INVADERS

F. M. Shakirova, V. Z. Latypova

Приводится видовой состав вселенцев Куйбышевского водохранилища, векторы проникновения и факторы внешней среды, влияющие на скорость и характер расселения видов. Отмечено, что в водоеме преимущество получили непромысловые виды с короткоцикловой стратегией воспроизводства или виды, экологически пластичные. Неоднородность условий в Куйбышевском водохранилище обусловливает характер проникновения и скорость расселения чужеродных видов рыб в водоеме.

Широкомасштабное гидростроительство, зарегулирование большинства речных бассейнов, активизация хозяйственной деятельности человека, рост количества атомных и тепловых электростанций, увеличивающих тепловую нагрузку на водоемы и теплоемкость водных масс, а также заметные климатические изменения приводят к значительным изменениям в фаунистическом составе наземных и водных экосистемах, расширяя и сужая их ареалы. Отмечено, что в историческом аспекте нередко наблюдаются не только быстрые и явные изменения видового разнообразия отдельных экосистем, но и необратимые преобразования ландшафтов целых регионов (Голованов, 2014; Шакирова и др., 2014, 2015).

Куйбышевское водохранилище, расположенное в Центральной части России, также не обошла эта проблема. В бассейне Волги, в районе будущего Куйбышевского водохранилища до зарегулирования стока встречался 51 вид рыб. В результате гидростроительства и перекрытия реки плотинами Жигулевской ГЭС во вновь созданном водоеме в новых условиях обитания гидробионтов, изменился состав и численность реофильных и лимнофильных видов (Кузнецов, 2005; Шакирова и др., 2014, 2015 и др.). За более чем 60-летний период существования водохранилища из состава его ихтиофауны выпали более десяти проходных реофильных видов, но стали появляться чужеродные виды, ранее здесь не встречавшиеся. Сегодня в составе ихтиофауны отмечается 60 видов рыб, в числе которых 19 видов — вселенцы (31,7%), хотя видовой состав вселенцев, появившихся здесь в разные годы и различным путем, насчитывает 24 вида, но некоторые из них в настоящее время уже не встречаются в водоеме и информация по ним отсутствует (Шакирова и др., 2015).

Проникновение новых видов в Куйбышевское водохранилище (черноморско-азовская тюлька, европейская корюшка, европейская ряпушка, девятииглая колюшка, черноморская пухлощекая игла-рыба, ряд бычков родов *Neogobius* и *Proterorhinus* и др.) стали отмечаться с первых десятилетий существования водоема, что было обусловлено созданием новых экологических ниш и депрессивным состоянием ряда популяций аборигенных видов вследствие нестабильных условий воспроизводства (Галанин, Шакирова, 2006; Шакирова и др., 2015). В последующем, в результате интенсивного гидростроительства каналов, служащих

транспортной артерией для расселения многих видов за пределы их естественных ареалов, активизация судоходства, акклиматизационные мероприятия, бракеражная (попутная) акклиматизация, садковое выращивание и многое другое явились причинами активизации биоинвазионных процессов. Следует отметить, что проникновение и расселение чужеродных видов, как с севера (из водоемов бассейнов Белого и Балтийского морей), так и с юга (из бассейнов Каспийского и Черного морей) продолжается и сегодня, при этом северный поток немногочисленен по количеству видов, а южный, Понто-каспийский, значительно богаче в видовом отношении, что обусловлено такими факторами, как температура водных масс, лимнизация, минерализация и эвтрофикация (Слынько, Терещенко, 2014). В создавшейся в водоеме ситуации преимущество получили непромысловые виды с короткоцикловой стратегией воспроизводства или виды, экологически пластичные (Динамика…, 2020).

Следует учесть, что неоднородность условий в Куйбышевском водохранилище объясняет характер расселения и натурализацию рыб, протекающего с юга на север. При этом колебания и режим уровня воды, а также течения можно рассматривать как факторы, влияющие на скорость и характер саморасселения. Некоторые виды, например тюлька, начав свое проникновение и продвижение по Волге в 1960-х гг. прошлого столетия, успешно натурализовалась и за 10 лет освоила всю акваторию Куйбышевского водохранилища, а за 30 лет массово освоила все водохранилища Волги. Тюлька успешно натурализовалась, в новых для нее условиях достигла достаточной численности и активно осваивается промыслом. При этом, нижние плесы выступали как стартовый участок, с которого сначала осваивались центральные и Волжский плес позже, при наличии подходящих условий и факторов среды вселенцем осваивался Камский плес. Черноморская пухлощекая игла рыба, а также бычки (бычок-кругляк, звезчатая пуголовка, бычок-головач) начали проникновение в волжские водохранилища также в 1960-х гг. и продвигались почти такими же темпами, как и тюлька. Бычок-цуцик и бычок-песочник были обнаружены в водоеме в 2002 и 2003 гг., соответственно, тогда как в Волгоградском и Саратовском водохранилищах они были обнаружены в 1981–1982 гг., а в Куйбышевском встречены лишь через 20 лет. На наш взгляд, это мнение ошибочно, виды проникли в водоем раньше, но небольшие по размерам и малочисленные они не были обнаружены.

Таким образом, неоднородность условий в Куйбышевском водохранилище обусловливает характер проникновения и скорость расселения чужеродных видов рыб в водоеме. Исследование за проникающими и акклиматизируемыми в водохранилище видами рыб показывает, что процесс формирования ихтиофауны Куйбышевского водохранилища не стабилизирован, он продолжается в условиях проникновения и расселения чужеродных видов. Дальнейшие изменения в составе ихтиофауны Куйбышевского водохранилища и самопроизвольного вселения чужеродных видов в экосистему следует ожидать в результате активизации деятельности нового грузового порта СММЛЦ (Свияжский мультимодальный логистический центр), расположенного на пересечении международных транспортных коридоров север — юг и запад — восток.

Литература

Галанин И. Ф., Шакирова Ф. М. Бычок-цуцик — новый вселенец Куйбышевского водохранилища // Сб. докл. XX Любищевские чтения. Ульяновск, 2006. С. 438–445.

Голованов В. К. Температурные критерии жизнедеятельности рыб. Прогноз. Экологические риски и экспертная оценка // Современное состояние биоресурсов внутренних вод: материалы докл. II конф. с междунар. уч. (6–9 ноября 2014.). Борок, Россия. М.: Полиграф-плюс, 2014. С. 162–170.

Динамика состояния экосистем и популяций рыб различных экологических групп Куйбышевского водохранилища / под ред. В. З. Латыповой и Ф. М. Шакировой. Казань: АН РТ, 2020. 122 с.

Кузнецов В. А. Рыбы Волжско-Камского края. Казань: Kazan-Казань, 2005. 208 с.

Слынько Ю. В., Терещенко В. Г. Рыбы пресных вод Понто-Каспийского бассейна: разнообразие, фауногенез, динамика популяций, механизмы адаптаций. М.: Полиграф-Плюс, 2014. 328.

Шакирова Ф. М., Северов Ю. А. Видовой состав ихтиофауны Куйбышевского водохранилища // Вопросы ихтиологии. 2014. Т. 54, № 5. С. 520–532.

Шакирова Ф. М., Северов Ю. А., Латыпова В. З. Современный состав чужеродных видов рыб Куйбышевского водохранилища и возможности проникновения новых представителей в экосистему водоема // Российский журнал биологических инвазий. 2015. № 3. С. 77–98.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ВИДЕОАНАЛИТИКИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ В ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗАБОЛЕВАНИЙ РЫБ

Д. А. Шалгин*, Д. С. Дудакова, Е. В. Надточий, А. В. Гузева

Институт озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

** e-mail: d.shalgin1@gmail.com*

APPLICATION OF VIDEO ANALYTICS SYSTEMS BASED ON NEURAL NETWORK MODELS IN THE IDENTIFICATION OF FISH DISEASES

D. A. Shalgin, D. S. Dudakova, E. V. Nadtochiy, A. V. Guzeva

Для индустриальной аквакультуры наиболее критичной является задача автоматизации диагностики болезней рыб. Системы видеоаналитики на основе нейросетевых моделей требуют качественной разметки изображений экспертами с аннотацией каждого симптома. Актуальными проблемами остаются малые датасеты, переобучение, ошибки при различении бактериальных заболеваний и зависимость от условий съемки. Для надежной диагностики болезней в реальных рыбоводных хозяйствах необходимы датасеты представительного объема, качественно размеченные ихтиологами, аргументация данных и строгая валидация нейросетевых моделей.

Для аквакультуры как сложного сельскохозяйственного направления необходимо учитывать биологические особенности выращиваемых объектов и технические параметры оборудования, а при некоторых методах рыбоводства — состояние окружающей среды (Богачев, 2018). Важной проблемой наряду с кормлением являются заболевания рыб, которые сильно влияют на качество и количество итоговой продукции. При интенсивном рыбоводстве с высокими плотностями посадок заболевания особенно опасны. Для хозяйств, использующих садковые линии и прудовые системы, высококонтагиозные инфекции (инфекционный некроз поджелудочной железы, вибриоз, некроз гемопоэтической ткани) грозят эпизоотиями, требующими последующей дезинфекции и длительного карантина, что выводит предприятие из производственного цикла. Хронические формы снижают среднесуточный прирост биомассы, ухудшают конверсию корма и вызывают выбраковку продукции вследствие геморрагических проявлений, некрозов тканей и вторичного микробного обсеменения. Экономические и экологические последствия болезней рыб требуют новых подходов в диагностике и мониторинге (Черданцев, 2022).

Нейросетевые модели требуют значительного объема обучающих данных, размеченных экспертами. Свободно доступные датасеты (Fish Dataset, DeepFish, Nocardiosis Fish Dataset) содержат изображения в идеальных условиях, однако, в реальных условиях (мутность, освещенность) качество моделей падает.

При разметке используются различные стратегии: фиксация точек, ограничивающие рамки, полигоны, ломаные линии — выбор зависит от задачи (подсчет, оценка биомассы, диагностика). Для диагностики болезней распространена бинарная или мультиклассовая классификация, но требуется аннотация каждого симптома с выделением областей поражения и анализ поведения в видеопотоке.

Для выявления заболеваний применяются сверточные нейронные сети (CNN) (Nanthini et al., 2022; Yasruddin et al., 2022; Ле, Ронжин, 2024), обученные на изображениях здоровой и больной рыбы. Кроме визуального определения система должна находить и косвенные признаки, отражающиеся в поведении и активности. Освещение, мутность воды и качество оптики камер препятствуют получению высококачественных изображений, которые необходимы для анализа. Так, Хасан и соавторы (Hasan, Ibrahim, Azlan, 2022) достигли точности 94,44 % при использовании сверточных нейронных сетей для обнаружения заболеваний рыб,

используя в своей работе 90 изображений и два типа заболеваний. Однако узким местом является малая выборка данных, что ведет к некорректной обобщенности и к отсутствию независимых валидационных изображений, а малое количество взятых заболеваний не отражает реального разнообразия в аквакультуре.

В статье Tamut et al., 2025 рассматривается семь типов заболеваний, датасет составляет 2444 изображения с валидацией. Точность модели составила 99,71 % на 697 изображениях валидации, а низкий показатель ошибки тестирования 0,0119 отражает то, что эта модель классифицирует новые данные с минимальной ошибкой. Как отмечали сами авторы, основным недостатком является отсутствие аугментации — это может повлечь за собой переобучение модели. Также отмечено, что нейронная сеть ошибалась при определении бактериальных заболеваний. Сложность определения состоит в незначительных отличиях проявления разных заболеваний, также усложняет идентификацию и качество самого изображения. Стоит проводить обучение модели с использованием материала разного уровня поражения заболеванием.

Результаты по применению глубокого обучения в аквакультуре и принципиальная возможность автоматического выявления болезней рыб по изображениям демонстрируют интерес к развитию технологии. Для достижения высокой точности модели в реальных условиях (с учетом изменения съемки) и для обеспечения способности различать визуально похожие проявления болезней необходимы дальнейшие разработки систем с большими датасетами, аугментацией и валидацией. Особого внимания заслуживает проблема смешанных инфекций, когда на одной рыбе присутствуют признаки двух и более заболеваний. Без специальных архитектурных решений (многоканальные выходы, внимание к областям) даже высокая общая точность может скрывать ошибки дифференциальной диагностики, что чревато неверным лечением и дополнительными потерями.

Дальнейшие исследования должны быть направлены не только на рост точности, но и на устойчивость алгоритмов к вариативности внешних условий, а также на интерпретируемость решений для конечных пользователей. Только тогда автоматизированная диагностика станет полноценным инструментом оперативного мониторинга.

Литература

Богачев А. И. Значение рыбохозяйственного комплекса в обеспечении продовольственной безопасности России // Вестник Марийского гос. ун-та. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2018. С. 47–54.

Ле В. Н., Ронжин А. Л. Обзор интеллектуальных систем управления и робототехнических задач в производстве аквакультуры // Морские интеллектуальные технологии. 2024. С. 171–180.

Черданцев В. П., Свечникова Т. М., Тронина М. В. Технологии искусственного интеллекта в аквакультуре // Вопросы рыболовства. 2022. С. 171–177.

Hasan N., Ibrahim S., Azlan A. A. Fish diseases detection using convolutional neural network (CNN) // International Journal of Nonlinear Analysis and Applications. 2022. P. 1977–1984.

Nanthini N., Arul S., Kumaran K. et al. Convolutional neural networks (CNN) based marine species identification // International Conference on Advanced Computing and Robotic Systems (ICACRS). 2022. P. 602–607.

Tamut H., Ghosh R., Gosh K., Siddique M. A. S. Enhancing disease detection in the aquaculture sector using convolutional neural networks analysis // Aquaculture Journal. 2025. Vol. 5: 6.

Yasruddin M. L., Ismail M. A. H., Husin Z., Tan W. K. Feasibility study of fish disease detection using computer vision and deep convolutional neural network (DCNN) algorithm // International Conference on Control, Power, and Artificial Intelligence (CSPA). 2022. P. 272–276.

МИКРОПЛАСТИК В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕР ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ОСТРОВА КИНГ-ДЖОРДЖ (АНТАРКТИКА)

Е. П. Шалунова[1]*, И. Ма[1], З. И. Слуковский[2], А. В. Весман[3]

[1] Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
[2] Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, Россия
[3] Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

** e-mail: e.shalunova@spbu.ru*

MICROPLASTIC IN BOTTOM SEDIMENTS OF LAKES OF THE WEST PART OF KING GEORGE ISLAND (ANTARCTICA)

E. P. Shalunova, I. Ma, Z. I. Slukovskiy, A. V. Vesman

Впервые оценено загрязнение микропластиком донных отложений 11 пресноводных озер полуострова Файлдс и пляжевых отложений бухты Беллинсгаузен в западной части острова Кинг-Джордж (Антарктика). Средняя концентрация синтетических микрочастиц составила 9 частиц/кг сухого веса, максимальное значение (45 частиц/кг) зафиксировано на литорали оз. Длинного. В ряде озер (Слаломное, Мираж, Географов) микропластик не обнаружен, присутствуют только целлюлозные волокна, что связывают с удаленностью от основных источников загрязнения.

Несмотря на удаленность Антарктического региона, микрочастицы полимеров обнаруживаются в воде, донных отложениях, морском льду, снеге и организмах полярных видов, при этом донные отложения пресноводных водоемов Антарктики ранее не изучались с точки зрения возможного загрязнения микропластиком.

Поверхностные донные отложения (0–11 см) отобраны в 2022 г. из 11 озер полуострова Файлдс в западной части острова Кинг Джордж, где размещены российская станция Беллинсгаузен, другие международные станции и аэропорт. Для сравнения проанализирована проба пляжевых отложений из бухты Беллинсгаузен.

Для обработки проб использовали протокол с плотностным разделением ($ZnCl_2$) и перекисным окислением всплывших частиц, с последующим подсчетом частиц (согласно Guide to microplastic identification, 2015) в ресурсном центре «Развитие молекулярных и клеточных технологий» Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ). Размерный диапазон микрочастиц составил от 0,083 до 5 мм (ячея фильтровальной сетки — 80 мкм), превалирующая форма — волокна (98 %).

Средняя концентрация микрочастиц пластика в донных отложениях водоемов полуострова Файлдс составила 9 частиц на 1 кг абсолютно сухого веса. В подсчет включены только частицы, идентифицированные как синтетические полимеры методом Рамановской спектроскопии в ресурсном центре «Оптические и лазерные методы исследования вещества» СПбГУ. Содержание МП в пресноводных отложениях полуострова Файлдс значительно ниже, чем в морских осадках вблизи острова Кинг-Джордж (Antacli et al., 2024; De-la-Torre et al., 2024), что, вероятно, связано с более интенсивным поступлением микрочастиц в морскую среду. Наибольшие концентрации отмечены в крупных озерах с большим водосбором (рис.), а для наиболее удаленных озер — МП частицы не обнаружены. Для достоверного понимания процессов поступления и миграции МП в Антарктическом регионе требуется продолжение исследований МП в морских и пресноводных объектах.

В пробах преобладали полимеры с плотностью выше пресной воды (ПЭТ — 59, ПАН — 28 % от всех типов МП). Полимеры на основе целлюлозы составили 34 % от всех отобранных для спектрального анализа микрочастиц. Степень деструкции волокон изучена с помощью СЭМ и не зависит от типа материала.



Концентрация частиц микропластика в пробах донных отложений, част./кг сухого веса

Поступление МП в водоемы на полуострове Файлдс, вероятно, является результатом различных процессов износа синтетических материалов (износ одежды, снаряжения и пластиковых частей оборудования) и переноса частиц, включая поверхностный сток, атмосферный перенос и перенос птицами (с фекалиями).

Исследование частично проведено в рамках проекта государственного задания № FMEZ-2024-0014 Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН.

Литература

Antacli J. C., Rimondino G. N., Di Mauro R. et al. Microplastic pollution in marine sediments of the Antarctic coastal environment of Potter Cove and nearby areas (25 de Mayo/King George Island, South Shetlands) // Marine Pollution Bulletin. 2024. Vol. 209, Part B: 117236.

De-la-Torre G. E., Forero Lypez A. D. et al. Low prevalence of microplastic contamination in the bottom sediments and deep-sea waters of the Bransfield strait, Antarctica // Chemosphere. 2024. Vol. 364: 143310.

Guide to microplastic identification // Marine and Environmental Research Institute. 2015.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЕКРЕАЦИОННЫХ ВОДОЕМОВ В ЧЕРТЕ ГОРОДА СЫКТЫВКАРА НА ОСНОВЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ИНДЕКСА ТОКСИЧНОСТИ

Т. В. Шевкунова[1]*, **Е. Н. Патова**[2]

[1] *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки ГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина», Сыктывкар, Россия*
[2] *Институт биологии КомиНЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия*

* *e-mail: obedik@bk.ru*

ECOLOGICAL STATE OF RECREATIONAL WATER BODIES WITHIN SYKTYVKAR CITY BASED ON HYDROCHEMICAL PARAMETERS AND TOXICITY INDEX

T. V. Shevkunova, E. N. Patova

Представлены результаты исследования экологического состояния рекреационных водоемов в черте г. Сыктывкара. Оценка проведена на основании анализа гидрохимических показателей (содержании растворенного кислорода, соединений азота и фосфора, органических и других веществ) и расчета индекса токсичности исследуемых образцов природной воды. Выявлены основные загрязняющие вещества, определены участки с наиболее неблагоприятной экологической обстановкой. Проанализированы вероятные источники загрязнения, включая антропогенное воздействие.

Рекреационные водоемы являются важным элементом природно-антропогенных ландшафтов, выполняя экологические, социальные и оздоровительные функции. В условиях урбанизации их значение существенно возрастает, поскольку они обеспечивают населению возможность для отдыха, туризма и восстановления здоровья, одновременно влияя на микроклимат и экологическое состояние городской среды (Алимов, 2011; Зайцев, Китаев, 2013). Состояние таких водоемов во многом определяет уровень экологической безопасности и качество жизни населения.

Основной проблемой рекреационных водоемов является высокая антропогенная нагрузка. Загрязнение бытовыми отходами, поступление биогенных элементов и нарушение прибрежных экосистем приводят к эвтрофикации, ухудшению качества воды и снижению биологического разнообразия (Боголюбов, 2016). Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, санитарное состояние водных объектов, используемых для рекреации, является ключевым фактором, определяющим безопасность их использования населением (Онищенко, 2007).

Важную роль в сохранении экологического состояния водоемов играет система мониторинга, включающая гидрохимические, гидробиологические и санитарно-микробиологические исследования. Применение методов биоиндикации позволяет своевременно выявлять негативные изменения в экосистемах и оценивать степень антропогенного воздействия (Абакумов, 2002).

В качестве объектов исследования, расположенных в пригородной зоне г. Сыктывкара, были выбраны водные объекты — озера Выльты, Шойкир и руч. Лемью, входящие в систему малых водоемов бассейна р. Вычегды. Их активное использование в целях рекреации и любительского рыболовства обусловливает необходимость мониторинга качества воды как важного фактора обеспечения безопасности здоровья населения.

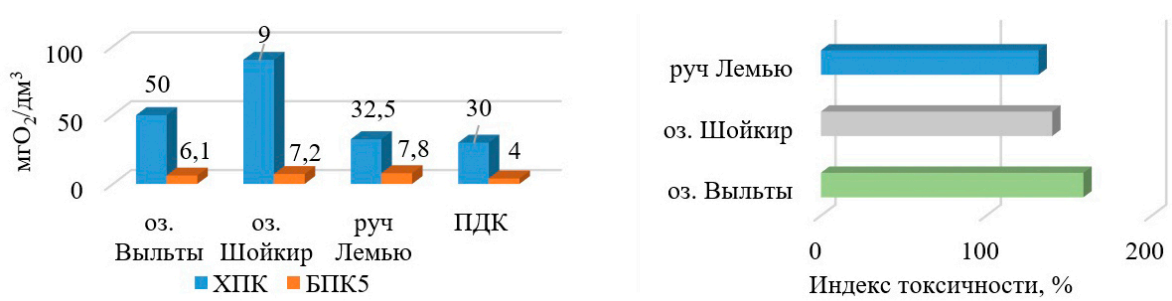
Отбор проб воды для определения гидрохимических показателей проводился в соответствии с требованиями ГОСТ Р 59024 в августе 2025 г. В ходе исследования было

проанализировано более 20 показателей, характеризующих органическое и неорганическое загрязнение водной среды. Определение индекса токсичности проводилось с использованием в качестве тест-объекта суспензионной кратковременной культуры клеток млекопитающих — сперме быка, обладающей высокой чувствительностью к присутствию токсичных веществ в водной среде. Оценка осуществлялась по изменению подвижности и жизнеспособности сперматозоидов, что позволяет интегрально характеризовать уровень токсического воздействия исследуемых проб воды.

В результате исследований выявлено многократное превышение ПДК для водных объектов культурно-бытового водопользования (II категория) (СанПин…,2021) по органическим показателям загрязнения воды, таким как ХПК и $БПК_5$ (рис.). Кроме того, все образцы имеют высокие значения цветности, максимальная величина на оз. Шойкир до 259 градусов. Содержание железа в водных объектах г. Сыктывкара обусловлено в первую очередь характерными для региона подзолистыми, болотными и торфяными почвами, из которых происходит его активное вымывание в водную среду. Массовая концентрация общего железа на всех исследуемых объектах находится в интервале 2,5–3,0 мг/дм^3, что выше ПДК в 10 раз.

Озеро Шойкир и руч. Лемью отличаются содержанием биогенных элементов ниже ПДК, в то время как на оз. Выльты отмечается превышение массовой концентрации фосфатов и ионов аммония ввиду сброса недостаточно очищенных коммунально-бытовых сточных вод жилищного хозяйства.

Если значение индекса токсичности находится в диапазоне 70–130 %, то такая проба считается нетоксичной, поскольку в образцах отсутствуют вещества, оказывающие выраженное негативное воздействие на тест-объекты. По результатам определения индекса токсичности установлено, что исследуемые пробы воды находятся выше диапазона нормальных значений, что свидетельствует о присутствии в образцах загрязняющих веществ (см. рис.).



Гидрохимические показатели, превышающие ПДК, и индекс токсичности исследуемых водоемов

На основании полученных данных можно сделать вывод о комплексном загрязнении исследуемых водных объектов, обусловленном природными и антропогенными источниками. Повышенные цветность и ХПК свидетельствуют о высоком содержании растворенных органических веществ, поступающих при вымывании из торфяных, болотных и подзолистых почв, тогда как высокие значения $БПК_5$ связаны преимущественно с поступлением хозяйственно-бытовых стоков. Увеличение индекса токсичности указывает на наличие техногенных примесей, что подтверждает смешанный характер загрязнения.

Литература

Абакумов В. А. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеоиздат, 2002. 240 с.

Алимов А. Ф. Экология водных экосистем. СПб.: Гидрометеоиздат, 2011. 304 с.

Боголюбов С. А. Экологическое право. М.: Юрайт, 2016. 450 с.

Зайцев В. Ф., Китаев С. П. Водная экология. М.: Академия, 2013. 256 с.

Онищенко Г. Г. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. М.: Медицина, 2007. 312 с.

СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. 764 с.

АНАЛИЗ ОБЪЕМОВ СТОЧНЫХ ВОД, ПОСТУПАЮЩИХ В ГИДРОГРАФИЧЕСКУЮ СЕТЬ БАССЕЙНА РЕКИ ДОН В ПРЕДЕЛАХ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

М. А. Шишкин*, В. А. Дмитриева

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

**e-mail: newt.sr@bk.ru*

ANALYSIS OF WASTEWATER VOLUMES ENTERING THE HYDROGRAPHIC NETWORK OF THE DON RIVER BASIN WITHIN THE VORONEZH OBLAST

M. A. Shishkin, V. A. Dmitrieva

Антропогенную нагрузку испытывают практически все реки Воронежской области, независимо от размера. Часть этой нагрузки хозяйственная деятельность оказывает опосредованно — через воздействие на притоки (изменение их гидрологических, гидрохимических и, как следствие, экологических показателей). Сбрасываемые сточные воды являются одним из главных загрязнителей вод суши, что требует контроля за их объемами и качеством. Цель исследования состоит в оценке объемов и качества сточных вод, поступающих в гидрографическую сеть бассейна р. Дон в пределах Воронежской области.

Территория городского округа г. Воронежа — зона наибольшей антропогенной нагрузки. Река Дон вместе со своим левобережным притоком — р. Воронеж, составляет основу поверхностного водного фонда городского округа Воронежа. В ухудшении экологического состояния этой крупной реки большую роль играют ее боковые притоки (Чувычкин, Яблонских, Девятова, 2016). Большая их часть относится к малым рекам. Некоторые из них протекают в районах с развитой промышленностью — такие реки подвержены наибольшему негативному воздействию от загрязнения сбросами сточных вод предприятий (Баскакова и др., 2020).

Цель исследования — выяснить динамику поступления сточных вод в р. Дон и ее притоки в пределах Воронежской области. В работе использованы сведения по объемам сброса сточных вод от городских предприятий за 2010–2025 годы, предоставленные отделом водных ресурсов по Воронежской и Ростовской областям Донского бассейнового водного управления.

Сравнение среднегодовых объемов сброса за последние пять лет показало, что объемы сточных вод, поступающие в р. Дон по притокам, сопоставимы с объемами, поступающими в р. Дон непосредственно и составляют 32,7 % от общего объема сбросов сточных вод в гидрографическую сеть бассейна р. Дон в пределах Воронежской области. Данный объем практически целиком поступает по притокам 1 и 2 порядка, что показывает ведущую роль этих водотоков. Наблюдается сокращение сброса сточных вод при уменьшении порядка водотока от главной реки до притоков 2 порядка. Долевое участие притоков 3 и 4 порядка в процессе сброса сточных вод незначительно (на них в совокупности приходится 0,27 % от общего объема сброса). Это связано с тем, что малые реки чаще всего протекают в удалении от промышленно развитых территорий и ввиду малого расхода воды менее востребованы в отраслевом водопользовании. Но это не означает, что притоки 3 и 4 порядка испытывают гораздо меньшую антропогенную нагрузку. На их состояние большее влияние оказывают другие источники загрязнения, такие как захламление русел, сток с полей и др.

Сток от предприятий может быть загрязненный или нормативно очищенный, что определяет степень его влияния на загрязнение реки. Большая часть сточных вод, сбрасываемых непосредственно в русло р. Дон, относится к загрязненным (56 % от объемов сброса в русло реки). Еще более загрязненный сток поступает в притоки 1 (загрязнен на 80,5 %). Возможно,

это связано с тем, что более малые водотоки используют более мелкие предприятия, которые не могут окупить затраты на установку и модернизацию очистного оборудования. Тем не менее в данной ситуации притоки крупной р. Дон становятся источниками поступления больших объемов загрязняющих веществ.

Анализ динамики поступления объемов загрязненных сточных вод за период с 2010 по 2025 гг. показал для главной реки и притоков 1 порядка тенденцию к увеличению объемов загрязненного сброса и его доли в общем объеме сброса. Сохранение данной тенденции неизбежно приведет к обострению экологических проблем в бассейне р. Дон.

Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы:

Река Дон в границах Воронежской области является главным приемником сточных вод, сбрасываемых предприятиями (67,3 % от всего объема сбросов сточных вод в гидрографическую сеть бассейна р. Дон в границах Воронежской области), при этом существенный вклад в загрязнение главной реки вносят притоки 1 и 2 порядка (32,7 %). С возрастанием порядка притока происходит снижение его значимости для отраслевого водопользования, что подтверждается уменьшением объемов сбросных вод.

Качество сбрасываемых сточных вод в притоки 1 порядка в целом значительно хуже, чем сточных вод, поступающих непосредственно в реку Дон, что ставит притоки первого порядка наравне с крупными водопользователями по вкладу в загрязнение р. Дон.

В настоящее время наблюдается тенденция к ухудшению качества р. Дон и ее притоков, вызванная негативным воздействием сточных вод.

Для предотвращения кризисных экологических ситуаций и потери экономического потенциала главных рек бассейна р. Дон необходимо совершенствовать систему управления сточными водами: контролировать состояние очистного оборудования, своевременно производить его ремонт или устанавливать новые очистные сооружения. Частичное решение проблемы возможно за счет расширения системы мониторинга за состоянием природных вод посредством создания пунктов наблюдения на притоках 1 и 2 порядка.

Литература

Баскакова А. Г., Куролап С. А., Клепиков О. В., Молоканова Л. В. Геоэкологическая оценка состояния водных объектов Воронежской области: источники и факторы их загрязнения // Известия Дагестанского гос. пед. ун-та. Естественные и точные науки. 2020. № 2. С. 39–46.

Чувычкин А. Л., Яблонских Л. А., Девятова Т. А. Изменение характеристик качества поверхностных вод реки Дон в пределах Воронежского городского округа и Ближнего Подворонежья // Вода: химия и экология. 2016. № 6 (96). С. 3–8.

СТОК АРКТИЧЕСКИХ РЕК: МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА И ПРОГНОЗ

М. В. Шмакова

Институт озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: m-shmakova@yandex.ru

ARCTIC RIVER RUNOFF: LONG-TERM DYNAMICS AND FORECAST

M. V. Shmakova

Текущие климатические изменения совместно с социально-экономической деятельностью неоднозначно влияют на условия формирования водного и твердого стока на водосборе. Для больших рек, расположенных в разных физико-географических и климатических зонах, эта неоднозначность усугубляется региональными особенностями частных водосборных территорий.

Арктический регион Российской Федерации является одним из ключевых элементов ресурсно-энергетической базы нашей страны. Последний климатический период характеризуется значительным повышением температуры воздуха Арктической зоны в сравнении с общими тенденциями, наблюдаемыми в целом по территории России. При этом изменение климата приводит к изменению водности рек, ее перераспределению в течение года. На водосборных бассейнах рек вечной мерзлоты принципиально меняются условия формирования водного и твердого стока.

В данном исследовании была проанализирована динамика водного и твердого стока на семи гидрометрических створах, расположенных в нижнем течении крупнейших арктических рек азиатской части Российской Федерации. В основе моделирования этих величин лежат сосредоточенная модель формирования стока на водосборе, разработанная под руководством С. А. Кондратьева в Институте озероведения РАН (Кондратьев, 2007; Кондратьев, Шмакова, 2015), и распределенная модель почвенной эрозии, также разработанная в Институте озероведения РАН (Шмакова, 2024). Параметры моделей были откалиброваны для каждого из семи исследуемых створов для периода 2001–2020 гг. Средние значения критерия Нэша-Сатклифа при калибровке параметров модели формирования стока составили 73 %, что может полагаться вполне удовлетворительным. Среднее относительное отклонение между рассчитанными значениями почвенного выноса и наблюденными значениями расхода наносов в исследуемых водотоках составило от 30 до 70 %. С учетом откалиброванных параметров был проведен численный эксперимент по реализации социально-экономических сценариев серии SSPs на конец 2100 г. SSPs (Shared Socioeconomic Pathways) — это сценарии изменения климата, разработанные в рамках шестого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (Meinshausen et al., 2020). Для реализации численного эксперимента вход в модели формирования стока и почвенной эрозии обеспечили метеорологические ряды, рассчитанные для сценариев SSP1–2,6 и SSP5–8,5. Первый сценарий («устойчивое развитие» или «зеленый путь») основан на RCP2,6 и предполагает активное внедрение зеленой энергии и устойчивых экономических практик. Второй сценарий («разработка на ископаемом топливе») основан на RCP8,5 и предполагает минимальные меры по смягчению изменений климата и описывает будущее, движимое быстрым экономическим ростом и высокими энергетическими потребностями.

Для исследуемых гидрометрических створов были рассчитаны скорости изменения модулей водного vQ, л/ (с·км^2·год) и твердого vR, т/ (км^2·год) стока на основании линейных трендов, аппроксимирующих многолетнюю динамику исследуемых величин, и построены зависимости этих величин от широты и долготы, на которых располагаются створы. Также

были рассчитаны отклонения средних значений этих величин второго климатического периода (1991–2020 гг.) по отношению к первому периоду (1961–1990 гг.) (Новый двухуровневый подход…; WMO Guidelines, 2023), *dQ* и *dR*,% и построены зависимости этих отклонений от широты и долготы исследуемых створов. Результаты расчетов показали отсутствие зависимости скорости изменения среднегодового модуля стока воды от географического расположения створов и зависимость относительных отклонений среднегодовых расходов воды от широты и долготы исследуемых створов. То есть, согласно расчетам, относительные отклонения среднегодовых расходов воды увеличиваются с запада на восток и с юга на север. При этом для твердого стока выраженной зависимости от расположения расчетного створа не наблюдается. Последнее объясняется существенным влиянием на формирование и состав твердого стока антропогенной деятельности на водосборе. Для р. Оби — это изменение площади сельскохозяйственных угодий (Иванов, 2020), а для некоторых исследуемых рек — уменьшение горнодобывающей активности на водосборе. Зависимости скорости изменения и отклонений метеорологических величин (среднегодовой температуры воздуха и годовых слоев осадков) от широты расположения метеостанций также не выражены, тогда как во втором климатическом периоде отклонения среднегодовой температуры воздуха и годовых слоев осадков уменьшаются по долготе. Принимая во внимание характер зависимостей для стока, можно отметить, что последнее демонстрирует нелинейный вклад метеорологических величин в формирование стока на водосборе.

Моделирование водного и твердого стока исследуемых рек в соответствии с социально-экономическими сценариями серии SSP (Schwalm et al., 2020) и разработанными на их основе сценариями изменения климата показали общее увеличение водности исследуемых рек. Из полученных результатов следует, что в створах, расположенных восточнее, скорость изменения рассматриваемых величин выше, чем для створов, расположенных западнее. При этом так же, как и для зависимостей, приведенных выше, несколько в стороне лежат результаты расчетов годового твердого стока для р. Колымы — п. Среднеколымск. Последнее объясняется большими погрешностями моделирования этой величины в силу определенных сложностей при калибровке параметров модели почвенной эрозии. А именно большая антропогенная нагрузка (золотодобыча) на водосборе р. Колымы (Walling, 2008; Ушаков, 2016), неравномерно приходящаяся на разные годы, определила не связанную с метеорологическими величинами динамику выноса продуктов почвенной эрозии в водоток и, как следствие, плохо связанные с расходами воды расходы наносов.

Литература

Иванов В. Динамика ландшафтов отрезка поймы среднего течения реки Оби за 200 лет: магистерская диссертация. Томск: ТГУ, 2020. 76 с.

Кондратьев С. А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. СПб.: Наука, 2007. 252 с.

Кондратьев С. А., Шмакова М. В. Расчет формирования стока на водосборе на основе модели ILHM. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2015614210, 09.04.2015.

Новый двухуровневый подход к «климатическим нормам». Гидрометцентр России. Режим доступа: https://meteoinfo.ru/news/1-2009-10-01-09-03-06/11151-03062015-l-r (дата обращения: 19.01.2026).

Ушаков М. В. Влияние добычи россыпного золота на мутность воды реки Колымы // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 9. С. 316–325.

Шмакова М. В. Речные наносы и почвенная эрозия: методы и модели. М.: ИНФРА-М, 2024. 292 с.

Meinshausen M., Nicholls Z. R. J., Lewis J. et al. The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500 // Geoscientific Model Development. 2020. Vol. 13 (8). P. 3571–3605.

Schwalm C. R., Glendon S., Duffy Ph. B. RCP8.5 tracks cumulative CO_2 emissions // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2020. Vol. 117 (33). P. 19656–19657.

Walling Des. E. The changing sediment loads of the world's rivers. Warsaw Univ. of Life Sci. SGGW, Land Reclam. 2008. Vol. 39. P. 3–20.

WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. World Meteorological Organization. WMO–No 1205. 2023. 18 p.org/10.5194/gmd-13-3571-2020 Archived 2023-04-16 at the Wayback Machine.

ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАВЫЧИ *ONCORHYNCHUS TSHAWYTSCHA* (WALBAUM, 1792) НА ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКЕ

Е. В. Шульгина

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

e-mail: cherry@vniro.ru

APPROACHES TO OPTIMIZING HATCHERY REPRODUCTION AND RATIONAL USE OF CHINOOK SALMON *ONCORHYNCHUS TSHAWYTSCHA* (WALBAUM, 1792) ON WESTERN KAMCHATKA

E. V. Shulgina

Подчеркивается уязвимое состояние чавычи на Западной Камчатке. Отмечается необходимость принятия специальных мер для поддержания численности, в частности ее заводское воспроизводство. Для эффективной работы ЛРЗ требуется получение смолта-сеголетка, что снижает конкуренцию между заводской и дикой молодью. На Малкинском ЛРЗ ведутся работы по апробации отечественных кормов и разработке гормональных терапий для получения молоди, готовой к скату в море сразу после выпуска, это позволяет сократить пресноводный период жизни. Полноценная реализация данной задачи позволит существенно нарастить выпуск этой группы тихоокеанских лососей.

Рыбная отрасль играет важнейшую роль в экономике и продовольственной безопасности страны, обеспечивая миллионы людей ценными пищевыми ресурсами и рабочими местами. Поддержание современного уровня развития природопользования невозможно без широкого внедрения аквакультуры, что способствует снижению нагрузки на природные ресурсы и восполнению деградирующих популяций, обеспечивая устойчивое использование запасов.

Лидером по добыче рыбы в Российской Федерации является Камчатский край. Вклад региона в общероссийский улов всех видов водных биоресурсов составляет около 35 % (Росстат, 2024). Тихоокеанские лососи являются ключевыми объектами для рыбной отрасли Камчатского края, обеспечивая порядка 40 % доходов от общей добычи гидробионтов. Их вылов на полуострове в 2025 г. составил 259 тыс. т, что стало одним из лучших результатов за последние годы. Основным объектом промысла является горбуша (около 80 % общего вылова), помимо нее вылавливают нерку, кету, кижуча, чавычу и симу.

На фоне климатических изменений и антропогенного воздействия прослеживается тенденция сокращения уловов тихоокеанских лососей с длительным пресноводным периодом жизни. Наиболее крупным и ценным видом из этой группы рыб является чавыча. В последнее десятилетие ее вылов составляет около 0,1 % (235 т) от общего объема добычи тихоокеанских лососей в регионе (Лососевая путина, 2025), тогда как в 1980-е гг. ее объем вылова достигал двух тыс. т.

Промышленные объемы чавычи осваиваются в ходе добычи массовых видов тихоокеанских лососей. Следует отметить, что вид является одним из самых ценных объектов спортивно-любительского рыболовства и приоритетным видом для ННН-промысла. С 2010 г. во всех водных объектах Западной Камчатки лов чавычи разрешен только для любительского рыболовства, а также в целях осуществления научно-исследовательского лова и искусственного воспроизводства.

Перечисленные факторы привели к снижению численности чавычи в водных объектах Западной Камчатки, что потребовало введения мер регулирования промысла и наличия мощностей по искусственному воспроизводству.

Жизненный цикл тихоокеанских лососей включает переход к обитанию из пресных вод в морские, через стадию смолтификации, это генетически запрограммированный процесс, при котором организм готовится к жизни в морских условиях. Понимание механизма адаптации молоди к морским условиям необходимо для получения физиологически полноценных смолтов и их выпуска в сроки, оптимальные по гидрологическим и гидробиологическим условиям. Однако длительность пресноводного периода у чавычи может достигать трех лет, что существенно затрудняет ее разведение. Основной проблемой искусственного воспроизводства является конкуренция за кормовые ресурсы базового водоема, что не позволяет значительно увеличивать количество выпускаемой молоди. Для сокращения пресноводного периода жизни необходимо получать смолта-сеголетка, готового к скату в море непосредственно после выпуска с лососевого рыбоводного завода. Такая молодь не вступает в конкурентные взаимоотношения с естественной ихтиофауной водоема. При смолтификации у молоди происходят заметные поведенческие, морфологические и биохимические изменения, в том числе гормонального баланса, что ведет к перестройке водно-солевого обмена. На Малкинском ЛРЗ проводятся работы по оптимизации получения смолта-сеголетка путем апробации и внедрения кормов новых рецептур и подбору гормональных терапий, без вмешательства в геном.

Эта работа позволит пополнять численность популяции чавычи р. Большой, не создавая конкурентные отношения между заводской и дикой молодью в ней. Помимо этого, исследования позволят оптимизировать биотехнику искусственного воспроизводства тихоокеанских лососей с длительным пресноводным периодом жизни. Успешная реализация вышеперечисленных работ позволит значительно нарастить воспроизводство этой группы лососей, объем выпуска которых в настоящее время ничтожен.

Литература

Лососевая путина – 2025: нарастающий вылов тихоокеанских лососей по промысловым районам Дальнего Востока России на 30 ноября 2025 года [Электронный ресурс] / ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО». Режим доступа: https://vniro.ru/files/putina-losos/putina-losos-2025/20251130-losos-putina.pdf (дата обращения: 30.04.2026).

Пресс-релиз о развитии рыбопромышленного комплекса [Электронный ресурс]: [о развитии рыбохоз. комплекса Камчатского края: утв. 21.02.2025 № 02-08] / Территор. орган Федер. службы гос. статистики по Камчатскому краю. Петропавловск-Камчатский, 2025. Режим доступа: https://41.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Пресс-релиз%20о%20развитии%20РПК.pdf (дата обращения: 30.04.2026).

ФАКТОРЫ, КОНТРОЛИРУЮЩИЕ СЕЗОННОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЧНЫХ И ОЗЕРНЫХ ВОД БАССЕЙНА ОЗЕРА ХАНКА, ПРИМОРСКИЙ КРАЙ РФ

В. М. Шулькин*, А. Г. Болдескул, Т. Н. Луценко, В. В. Шамов, С. Г. Юрченко

Федеральное бюджетное государственное учреждение науки «Тихоокеанский институт географии ДВО РАН», Владивосток, Россия

** e-mail: shulkin@tigdvo.ru*

FACTORS CONTROLLING THE SEASONALITY OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF RIVER AND LAKE WATERS IN THE LAKE KHANKA BASIN, PRIMORSKY KRAI, RUSSIA

V. M. Shulkin, A. G. Boldeskul, T. N. Lutsenko, V. V. Shamov, S. G. Yurchenko

Содержание макроионов в реках, питающих оз. Ханка, зависит от их водного режима, тогда как состав озерных вод стабилен в течение года и соответствует средневзвешенным показателям рек. Концентрация биогенных элементов в речных водах контролируется либо водным режимом (Si) подобно макрососставу, либо усилением в теплый период мобилизации на водосборе (P, N, РОУ). В озере биогенные элементы зависят от продукционно-деструкционного цикла, особенно в прибрежье, находящемся под прямым влиянием речного стока. Содержание крупных коллоидов в реках также прямо зависит от водности, однако в озере всегда понижено. Концентрация растворенных (< 0,45 мкм) форм Al, Ti, Fe, находящихся преимущественно в составе крупных коллоидов, меняется соответственно. Поведение Mn контролируется его мобилизацией в раствор в реках из восстановленных отложений и разбавлением водным стоком, а в озере преобладают окисление и фиксация в твердых фазах на взвеси.

Озеро Ханка — крупнейший водоем на границе РФ и КНР. Значительная площадь зеркала (4000 км^2) в сочетании с малой глубиной (4,5 м) обусловливают уязвимость озера к влиянию природно-климатических и антропогенных факторов. Главные негативные явления — квазициклические колебания уровня озера, ведущие к деградации береговой линии, и ухудшение качества вод. Колебания уровня контролируются климатическими, гидрологическими и гидрогеологическими факторами с временным масштабом годы и десятилетия. Однако проблемы качества вод не могут быть оценены без достаточно полных данных о сезонной изменчивости биогеохимических характеристик. Целью данной работы являлась характеристика сезонности химического состава вод оз. Ханка и впадающих в него рек, а также выделение главных контролирующих факторов.

Пробы воды отбирали ежемесячно с февраля по ноябрь 2025 г. в нижнем течении рек Спасовка, Илистая, Мельгуновка, Комиссаровка, а также на трех точках в прибрежной зоне юго-восточной, западной и северо-западной частях оз. Ханка. Станция в юго-восточном прибрежье могла находиться под влиянием стока р. Спасовки. Кроме того, в июле 2025 была опробована центральная часть озера. Температура, электропроводность как мера общей минерализации, pH, DO измерялась in-situ зондом Aquaread 5000. В стационарной лаборатории ЦКП ТИГ ДВО РАН определяли щелочность титрованием, пробы фильтровали через предварительно взвешенные мембраны 0,45 мкм для определения взвеси, содержание макроанионов и биогенных элементов определяли хроматографически в неподкисленных фильтратах, а макрокатионы, Fe, Mn, Al, Ti, Cu, Ni, Ba анализировали методом ИСП-ОЕС в фильтратах подкисленных HNO_3. Часть подкисленных фильтратов анализировали ИСП-МС на более широкий круг элементов (от Li до U). Элементный состав взвеси на фильтрах определяли методами ИСП-ОЕС и ИСП-МС после минерализации смесью HNO_3–HF.

Кроме того, в фильтратах определяли содержание крупных (0,05–0,45 мкм) коллоидных частиц по интенсивности динамического рассеяния света (ДРС).

Минерализация и содержание макроионов в речных водах бассейна оз. Ханка характеризуется максимумом зимой и минимумом в половодье, т. е. контролируются водным режимом, в отличие от озерных вод, минерализация и содержание макроионов в которых мало изменчиво в течение года и по акватории, и соответствует средневзвешенным в реках.

Сезонные вариации содержания биогенных веществ в реках контролируются либо водным режимом подобно макроионам (Si), либо интенсивностью мобилизации на водосборе (P, NO_3, РОУ), ведущей к увеличению их концентрации в теплый период. Содержание биогенов в различных реках определяется уровнем антропогенной нагрузки и ландшафтными особенностями водосборов. Сезонная изменчивость концентрации биогенных веществ в озере контролируется, прежде всего, уровнем и фазой продукционно-деструкционного цикла планктона (Si, РОУ, NO_3). Однако для растворенных форм P на большей части озера наблюдается увеличение концентрации летом и осенью, указывающее на преобладание деструкционных процессов и в воде, и в донных отложениях. Исключение составляет юго-восточное прибрежье, находящееся под прямым влиянием речного стока, и где вследствие повышенной продукции фитопланктона, концентрация всех растворенных биогенов (N, P, Si) постоянно ниже, чем в реках и в озере, а РОУ, напротив, выше.

Содержание взвеси в реках контролируется водным режимом, а в озере — ветровым, взмучиванием. В результате содержание взвеси в оз. Ханка, как правило, выше, чем в реках. Количество крупных коллоидов в реках также зависит от водного режима, а также от ландшафтных условий на водосборах, но в озере оно всегда снижается и нивелируется, отражая, вероятно, влияние коагуляционных процессов.

Сезонность концентрации растворенных (< 0,45 мкм) форм Al, Fe и Ti в фильтратах подобна крупным коллоидам: минимум зимой и поздней осенью, максимум весной и летом, падение в июле, совпадающий с минимумом стока, повышенная концентрация у рек с залесенными водосборами, и значительное уменьшение концентрации в озере относительно рек. Для Fe подобие с крупными коллоидами не столь выражено, хотя корреляция остается значимой.

Сезонная изменчивость растворенного Mn в речных водах бассейна оз. Ханка отражает наложение двух процессов: мобилизацию Mn^{2+} из пойменных и аллювиальных отложений при восстановительном/глеевом диагенезе и влиянием поверхностного водного стока с концентрацией растворенного Mn первые мкг/л. Поэтому при минимальном стоке концентрация растворенного Mn в реках может возрастать до 200–500 мкг/л и падать до 5–10 мкг/л в половодье. В озерных водах концентрация растворенного Mn мало меняется в течение года и по акватории, и не превышает первых мкг/л. Исключение составляет прибрежье, находящееся под прямым влиянием речного стока, где растворенный Mn зимой достигает 200–300 мкг/л. Сезонная изменчивость концентрации Mn в речной и озерной взвеси подтверждает высокую скорость перехода из раствора во взвесь в кислородсодержащих речных водах и надежное удержание Mn в твердых фазах озерной взвеси.

Судя по концентрации Al и Ti в речной взвеси, в зимний период в ней доминирует биогенный детрит, который сменяется преимущественно алюмосиликатным материалом в половодье и летом. При этом, Fe и P в зимней речной взвеси накапливаются до 10–18 % и 0,4–1,4 %, соответственно. Летом концентрация Fe и P в речной взвеси снижается до фоновой (5–6 и 0,1–0,2 %), но в осенний период вновь возрастает. При этом в озерной взвеси концентрация Fe и P близка к фоновой на протяжении всего года.

Концентрация халькофильных металлов во взвеси и в растворе вод бассейна оз. Ханка не показывает признаков существенного антропогенного загрязнения и контролируется водным режимом и особенностями ландшафтов на водосборах.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 25-47-00022.

ОПТИМАЛЬНЫЕ УЧАСТКИ ДЛЯ ИМПЛАНТАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ У ЭНДЕМИЧНЫХ БАЙКАЛЬСКИХ АМФИПОД (CRUSTACEA: AMPHIPODA) РАЗНОГО РАЗМЕРА

Е. П. Щапова[1, 2]*, А. Н. Гурков[1, 2], Я. А. Ржечицкий[1], Е. А. Титов[2], К. П. Верещагина[1], М. А. Тимофеев[1]

[1] *Научно-исследовательский институт биологии озера Байкал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет», Иркутск, Россия*

[2] *Байкальский исследовательский центр, Иркутск, Россия*

[3] *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», Ангарск, Россия*

* *e-mail: shchapova.katerina@gmail.com*

OPTIMAL IMPLANTATION SITES FOR OPTICAL SENSORS IN ENDEMIC BAIKAL AMPHIPODS (CRUSTACEA: AMPHIPODA) OF DIFFERENT SIZES

E. P. Shchapova, A. N. Gurkov, Ya. A. Rzhechitskiy, E. A. Titov, K. P. Vereshchagina, M. A. Timofeyev

В настоящее время активно разрабатываются различные имплантируемые устройства, позволяющие осуществлять адресную доставку биологически активных веществ или непрерывно отслеживать прижизненное состояние животных *in vivo*. Ключевым условием успешной имплантации является детальное знание анатомии конкретного вида, позволяющее обеспечить избирательный контакт с целевой тканью и свести к минимуму риск травмирования внутренних органов. В работе представлены результаты анатомического исследования трех видов эндемичных байкальских амфипод — литорального *Eulimnogammarus verrucosus* (длина тела около 3 см) и крупных глубоководных видов *Acanthogammarus victorii* и *Acanthogammarus grewingkii* (длина более 6 см) — в контексте разработки и имплантации оптических сенсоров для физиологических исследований.

Цель работы — определение оптимальных мест введения имплантов, обеспечивающих надежный контакт с целевыми тканями (гемолимфой или мышцами), минимизацию повреждения внутренних органов и учет оптических свойств покровов и внутренних структур. Использованы методы криотомии с получением замороженных срезов толщиной 30 мкм, классической гистологии с окрашиванием гематоксилином и эозином, визуализации аутофлуоресценции, а также микроспектроскопии флуоресценции имплантированных гидрогелевых сенсоров на основе красителя SNARF-1.

Установлено, что наиболее универсальным местом для имплантации оптических сенсоров у амфипод разного размера являются спинные, или апикальные мышцы, особенно их участки, расположенные латеральнее сагиттальной плоскости тела.

У крупного вида *A. victorii*, несмотря на массивный экзоскелет, имплантированные в апикальные мышцы сенсоры сохраняли детектируемый уровень флуоресцентного сигнала, хотя его интенсивность снижалась примерно в десять раз. Для более мелкого *E. verrucosus* ослабление сигнала оказалось трехкратным. Таким образом это подтверждает принципиальную применимость оптических сенсоров даже под толстым панцирем крупных ракообразных.

Для случаев, когда имплант должен иметь прямой контакт с гемолимфой (например, для мониторинга системных физиологических параметров или высвобождения веществ), был проведен детальный поиск крупных лакун на нативных замороженных срезах. У *E. verrucosus* пространство под диафрагмой оказалось наименее пригодным из-за сильной аутофлуоресценции кишечника и гепатопанкреаса, а также значительной изменчиво-

сти его объема в зависимости от пищеварительной активности и у самок от стадии оогенеза. В сегментах 9–10 была обнаружена крупная лакуна. Данное место обеспечивает минимальный риск повреждения внутренних органов, при имплантации сенсоров диаметром около 300 мкм и лишено интенсивной аутофлуоресценции окружающих тканей.

Важным результатом стало обнаружение значительных скоплений липидных капель диаметром 7–100 мкм в соединительной ткани над гепатопанкреасом и кишечником у *E. verrucosus*, а также латерально в сегментах 3–5 у *A. grewingkii*. Эти скопления увеличивались в репродуктивный сезон и могут представлять собой потенциальные мишени для локальной доставки гидрофобных соединений, например, гормонов или лекарственных препаратов. У крупных видов рода *Acanthogammarus* в дорсальных выростах экзоскелета (килях) обнаружена массивная жироподобная ткань.

С оптической точки зрения, основными источниками аутофлуоресценции у *E. verrucosus* являются протоки гепатопанкреаса и кишечник, тогда как экзоскелет (за исключением шипов и щетинок уросомы) характеризуется низкой аутофлуоресценцией, что позволяет рекомендовать использование сенсоров с возбуждением в красной или инфракрасной области для минимизации фона.

Таким образом, для амфипод средних размеров (2–4 см) оптимальным местом прямого контакта с гемолимфой является лакуна в сегментах 9–10, а для более мелких сенсоров или при особых требованиях — полость над дорсальной диафрагмой. Спинные мышцы представляют собой универсальную площадку для имплантации у амфипод всех исследованных размеров. Обнаруженная жироподобная ткань в килях крупных байкальских видов открывает новые возможности для изучения локального метаболизма и адресной доставки липофильных веществ. Полученные данные имеют значение для автоматизации физиологических экспериментов на ракообразных, а также для развития методов экотоксикологии и аквакультуры, где амфиподы используются в качестве модельных объектов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 26-14-00072.

ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОЕМОВ С ЭКСТРЕМАЛЬНЫМИ УСЛОВИЯМИ НА БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ

Е. П. Щапова [1, 2]*, С. А. Черкашина [1], Я. А. Ржечицкий [1], Д. Д. Гассиев [3], Н. В. Шадрин [3]

[1] Научно-исследовательский институт биологии озера Байкал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет», Иркутск, Россия

[2] Байкальский исследовательский центр, Иркутск, Россия

[3] Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

** e-mail: shchapova.katerina@gmail.com*

THE HYDROBIOLOGICAL STUDY OF WATER BODIES WITH EXTREME CONDITIONS ON THE BAIKAL NATURAL TERRITORY

E. P. Shchapova, S. A. Cherkashina, Ya. A. Rzhechitsky, D. D. Gassiev, N. V. Shadrin

Представлена оценка продуктивности и биоразнообразия экстремальных водоемов (болот, соленых озер) на трех ООПТ Байкальской территории в рамках совместных исследований НИИ биологии оз. Байкал ФГБОУ ВО «ИГУ» и заповедников (2024–2026 гг.). Выявлен широкий спектр абиотических условий (pH от 3,6 до 10,4, минерализация до 4000 µS/см, пересыщение кислородом до 31 мг/л). Отмечено 56 видов беспозвоночных, впервые для региона массовое развитие *Keratella quadrata*. Обнаружен перспективный для биотехнологии *Gammarus lacustris*. Показана высокая эффективность партнерства «наука — ООПТ» для мониторинга и сохранения экосистем.

Байкальская природная территория включает не только уникальную экосистему оз. Байкал, но и разнообразные водоемы с экстремальными условиями — термальные и минеральные источники, верховые болота, гипергалинные и высокоминерализованные озера. Изучение биоты этих местообитаний имеет важное значение для понимания пределов адаптации гидробионтов, механизмов видообразования и сохранения реликтовых видов. Эффективное функционирование особо охраняемых природных территорий (ООПТ) невозможно без тесного сотрудничества с академическими и вузовскими научными учреждениями. Такое взаимодействие позволяет не только проводить фундаментальные исследования уникальных экосистем, но и решать прикладные задачи мониторинга, сохранения биоразнообразия и выявления биотехнологического потенциала гидробионтов. С 2024 г. НИИ биологии оз. Байкал реализовал три совместные научно-исследовательские программы с ООПТ Байкальского региона, направленные на изучение водоемов с экстремальными условиями.

Цель работы — оценка продуктивности, биоразнообразия и биотехнологического потенциала экосистем экстремальных водоемов (болот, озер различной солености) на особо охраняемых природных территориях Байкальского региона. С 2024 по 2026 гг. проведены экспедиционные исследования на трех ООПТ: в ФГБУ «Байкальский государственный заповедник» исследовались верховые болота как экстремальные местообитания, в ФГБУ «Заповедное Прибайкалье» изучались Тажеранские озера разной степени минерализации, а в ФГБУ «Заповедное Подлеморье» проведена оценка продуктивности озер различной минерализации.

Исследования экосистем водоемов проведены стандартными гидробиологическими методами. Сбор зоопланктона произведен фильтрованием от 25 до 200 л воды через сеть Апштейна с последующей фиксацией материала в 4% растворе формалина. Минерализацию и pH воды измеряли ручным прибором HI98129 (HANNA Instruments, Румыния), температуру

воды — электронным термометром (HANNA Instruments, Румыния), а оценку растворенного кислорода производили портативным анализатором Dissolved Oxygen Meter (EXTECH 407510, США). Лабораторная обработка проб включала идентификацию видов до возможного таксономического уровня, подсчет количества особей и их распределение по размерно-возрастным группам. Анализ проводился в камере Богорова с использованием бинокуляра и стереомикроскопа Olympus SZ61TR (Япония), измерение размеров организмов выполнялось с помощью окуляр-микрометра, а расчет биомассы проводился на основе регрессионных зависимостей массы тела от длины тела.

По результатам исследований установлено, что водоемы Байкальской природной территории демонстрируют широкий спектр экстремальных абиотических условий. Верховые болота Байкальского заповедника характеризуются крайне кислой средой (pH 3,6–4,9), низкой минерализацией (2–10 µS/cm), высокой температурой воды летом (до 27,8 °C) и достаточным насыщением кислородом (7,2–8,3 мг/л). Эти условия относятся к экстремальным для большинства гидробионтов. В настоящее время пробы фитопланктона и зоопланктона с болот находятся на стадии обработки. Тажеранские озера («Заповедное Прибайкалье») показали выраженную внутригодовую динамику. В марте 2025 г. озера Шадар-Нур и Холбо-Нур полностью промерзли (толщина льда 60–70 см), оз. Нуху-Нур имело pH 10,37, соленость 2‰, электропроводность 3017 µS/cm, полное отсутствие кислорода и запах сероводорода — типичная зимняя гипоксия в условиях ледового режима. В июле 2025 г. ситуация кардинально изменилась: озера Безымянное и Гурби-Нур полностью высохли; в Нуху-Нуре pH снизился до 8,45, появился кислород (10,8 мг/л), минерализация упала до 1438 µS/cm, температура поднялась до 25,1 °C. Напротив, оз. Холбо-Нур приобрело экстремальные летние параметры: pH 9,62, кислород 31,0 мг/л (перенасыщение), электропроводность более 4000 µS/cm, температура 28,9 °C. Всего выявлено 56 видов беспозвоночных. Доминировали *Arctodiaptomus salinus, Keratella quadrata, Eucyclops serrulatus* и личинки хирономид. В 2024 г. впервые для региона отмечена массовая встречаемость *Keratella quadrata* (до 487 200 экз./м³). Озера Подлеморья (Бормашевое и Малое) относятся к слабосолоноватым (электропроводность 991–1142 µS/cm), имеют щелочную среду (pH 8,45–9,02), температуру воды 23–25 °C и нормальный кислородный режим (7,8–8,2 мг/л). В озерах Бормашевое, Малое, Нуху-Нур и Намиш-Нур обнаружены амфиподы *Gammarus lacustris*. Молекулярно-генетический анализ (генацитохром-С-оксидазы) показал принадлежность исследованных особей к Восточно-Азиатской группе, что расширяет представления о распространении этого комплекса видов в регионе. *Gammarus lacustris* рассматривается как перспективный объект для биотехнологии (кормовая база, аквакультура).

Таким образом, взаимодействие НИИ биологии оз. Байкал ИГУ с тремя ООПТ Байкальского региона в 2025 г. продемонстрировало высокую эффективность партнерства «наука — заповедная система». Дальнейшее развитие такого взаимодействия видится в создании единой базы данных по экстремальным водоемам Байкальской природной территории, организации совместных научно-практических семинаров и расширении спектра исследуемых экосистем, включая термальные источники и высокогорные озера.

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

ВКЛАД СФЕРЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В ПРИРОДНЫЙ КАПИТАЛ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

А. Д. Эпштейн

МИРЭА — Российский технологический университет, Москва, Россия

e-mail: ead2000@yandex.ru

CONTRIBUTION OF THE WATER SUPPLY AND SANITATION SECTOR TO NATURAL CAPITAL AND SUSTAINABLE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

A. D. Epstein

Раскрываются основные выводы, сделанные в результате проведенного процессного анализа цикла воды, с позиций концепции природного капитала как дарственного фонда. На основе анализа нормативно-правовых и нормативно-технических документов, имеющейся статистической информации и используемого природного капитала были формализованы основные характеристики питьевой воды и сточных вод на каждом технологическом этапе: объем и качество. Формализация основных характеристик воды, встроенная в концепцию использования природного капитала, позволяет выявить ключевые проблемы на уровне системы «природа — человек» и предложить направления совершенствования системы учета и управления в сфере водоснабжения и водоотведения с экосистемных позиций.

Цель проведенного процессного анализа цикла воды в производственном процессе водоснабжения и водоотведения в социально-экономической системе состоит в выявлении основных характеристик воды как части потребляемого и используемого природного капитала и как носителя загрязняющих веществ, угрожающих стабильности водных экосистем при превышении природных возможностей самоочищения.

Акцент исследования на сфере водопроводно-коммунального хозяйства обусловлен критически значимой ролью, которую играет экономическая деятельность по водоснабжению и водоотведению. Доля используемой воды в целях водоснабжения составляет более 14% от общего объема водопользования по Российской Федерации, а централизованное водоснабжение является неотъемлемым элементом комфортного проживания: доля домохозяйств, обеспеченных централизованным водопроводом, составляет более 91%. Объем сбрасываемых в водные объекты сточных вод составляет четверть общего объема сброса сточных вод в Российской Федерации. При этом до нормативных значений очищается лишь 48% стока. Это делает сферу водоотведения ключевой точкой воздействия, инвестиции в которую позволят существенно снизить антропогенную нагрузку на водные объекты: в настоящее время вклад сферы водоотведения в общий объем сбрасываемого загрязненного стока составляет 70,3%, а нормативно очищенных сточных вод — 59,4%.

Этим фактором обусловливаются повышенное внимание государства к водопроводно-канализационному комплексу и реализация федеральных программ в рамках экологической повестки национальных проектов, реализуемых в два этапа: 2018–2024 и 2025–2030 гг. и перспективу до 2036 г., результатом которых должно стать уменьшение сброса загрязненных сточных вод в два раза.

С точки зрения концепции природного капитала, социально-экономическая система водоснабжения и водоотведения является показательным объектом исследования, так как ее функционал нацелен на первоочередное решение социальных и экологических задач, в которых сохранение и приумножение природных ресурсов выступает целью и смыслом экономической деятельности. Водные ресурсы рассматриваются как капитал в той степени, в которой он вовлечен или может быть вовлечен в производственный процесс (Скобелев, 2025;

Скобелев и др., 2025). В рамках водоснабжения природный капитал представляет собой забираемую из водного источника свежую воду, которая посредством водоподготовки и транспортировки преобразуется в услугу водоснабжения. Деятельность по водоотведению использует природный капитал в части средообразующих функций водных экосистем, таких, как регуляция гидросферы, биологическая очистка воды.

Процессный анализ цикла воды в производственном процессе водоснабжения и водоотведения, замкнутом на природный капитал, выявил два основных параметра воды: объем и качество (соответствие ее состава нормативам).

Объем воды на каждом этапе может определяться как по приборам учета, так и расчетным способом. На этапах «отпуск воды потребителям» и «прием сточных вод» в отношении физических лиц подача воды и прием вод представляет собой коммунальную услугу. Неопределенность учета рождает проблему достоверности используемых участниками рынка ВКХ данных, которая зависит от оснащенности приборами учета на каждом этапе. Направлением совершенствования системы видится более полный учет фактического использования воды на всех этапах социально-экономической системы коммунального водопользования, а также совершенствования системы статистического учета в данной области.

Качество (соответствие гигиеническим нормативам) контролируется водоканалом в рамках производственного контроля в водном источнике, перед подачей в распределительную сеть и в распределительной сети, достоверность и полнота которого определяется количеством и номенклатурой лабораторных исследований (Самбурский, 2022). Дальнейшее развитие системы учета предполагает переход к качественно новому этапу, на котором в дополнение к качественному и количественному развитию лабораторных измерений будет внедряться экосистемный подход к организации системы контроля качества и безопасности питьевой воды.

Сточная вода в производственном процессе водоотведения рассматривается как носитель загрязняющих веществ; состав сточных вод контролируется абонентами, водоканалом и органами власти. Проблемным моментом является институциональная составляющая, а именно крайне запутанное и неустоявшееся законодательство, регулирующее процесс очистки сточных вод, которое по-прежнему ориентировано прежде всего на экономическую, а не экологическую составляющую (Энциклопедия технологий 2.0..., 2023). Реализация полноценного перехода на технологическое нормирование сбросов сточных вод поселений позволит преодолеть существующую институциональную ловушку.

Литература

Самбурский Г. А. Разработка и совершенствование теоретических и методологических принципов формирования технологической и нормативной базы обеспечения качества питьевой воды в Российской Федерации: специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов»: дис. … докт. техн. наук / Самбурский Георгий Александрович, 2022. 323 с.

Скобелев Д. О. Природный капитал как дарственный фонд // Национальные эколого-экономические и социальные интересы в эпоху больших вызовов: материалы XVIII междунар. науч.-практ. конф. Российского общества экологической экономики (РОЭЭ), (Кольский научный центр РАН, 30 июня 2025 года). Апатиты, 2025. С. 28–33.

Скобелев Д. О., Бобылев С. Н., Гусева Т. В. Природный капитал и обеспечение кредитной эмиссии // Охрана окружающей среды и заповедное дело. 2025. Т. 6, № 3 (19). С. 29–41.

Энциклопедия технологий 2.0: Технологии водоснабжения и водоотведения / гл. ред. Д. О. Скобелев; ФГАУ «НИИ «ЦЭПП». М.; СПб.: Реноме, 2023. 502 с.

ГЕЛЬМИНТОФАУНА СИЗОЙ ЧАЙКИ АКВАТОРИИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Г. А. Яковлева

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

e-mail: galina_il87@mail.ru

PARASITES OF COMMON GULL *(LARUS CANUS)* ON THE WATER AREA OF LAKE LADOGA

G. A. Yakovleva

Исследована гельминтофауна 42 экз. сизых чаек в весенний и осенний охотничьи сезоны в акватории Ладожского озера. Все особи чаек инвазированы различными гельминтами. Фауна паразитов представлена четырьмя основными группами — Trematoda, Cestoda, Nematoda, Acanthocephala. Показатели зараженности отдельных видов гельминтов были невысокими. Определен круг возможных видов паразитов, формирующих очаги опасных гельминтозов птиц, рыб и человека.

Чайки служат объективными показателями состояния водных экосистем и играют важную роль в функционировании водоема как единого целого. Под влиянием множества абиотических и биотических факторов, среди которых немаловажное значение имеют особенности питания птиц, происходит формирование их гельминтофауны. Чайки, как дефинитивные хозяева различных гельминтов, играют огромную роль в их распространении. В связи с тем что чайки, как и большинство водно-болотных птиц, являются перелетными, с расширением ареала хозяев происходит расселение паразитов, а также обмен фауной в местах массового скопления птиц во время миграции.

Крупные исследования паразитов чаек на территории Карелии не проводились, поэтому нет современных данных о видовом составе, встречаемости и роли различных хозяев в реализации жизненных циклов гельминтов. Имеются отрывочные данные о фауне паразитов чайковых птиц республики, которые приведены в работах В. Г. Кулачковой и И. В. Кочетовой (1964), Р. С. Мартьянова (2001), Г. А. Яковлевой и др. (2013). Первая из них посвящена гельминтам серебристой и сизой чаек, полярной крачки, обитающих в акватории Кандалакшского залива Белого моря. Вторая работа отражает сведения о паразитах сизой чайки и речной крачки с побережий Ладожского и Онежского озер. В последней приводится только список обнаруженных трематод некоторых чайковых птиц в осенний период.

Одним из наиболее массовых представителей семейства Чайковые является сизая чайка — *Larus canus* Linnaeus, 1758. Нами была исследована гельминтофауна 42 особей сизой чайки в акватории Ладожского озера, добытая в осенний (19 экз.) и весенний (23 экз.) охотничьи периоды 2010–2015 гг. Вскрытие птиц, поиск и извлечение гельминтов, их окрашивание и изготовление постоянных препаратов проводились по стандартным паразитологическим методикам (Дубинина, 1971).

В результате работы у птиц выявлена разнообразная фауна паразитических червей четырех групп: сосальщики (Trematoda), ленточные черви (Cestoda), круглые черви (Nematoda) и скребни (Acanthocephala). Все исследованные особи сизых чаек были инвазированы гельминтами. Общая зараженность трематодами составила 57 %, цестодами — 50 %, нематодами — 81 %, скребнями — 5 %. В осенний сезон максимальная зараженность зарегистрирована у сизых чаек трематодами (84 %) и цестодами (74 %), в весенний сезон добычи материала у чаек отмечена 100 % зараженность нематодами и 78 % — трематодами.

Полученные данные о фауне гельминтов сизой чайки в Карелии согласуются с образом жизни и характером их питания (Зимин, Ивантер, 2002). Рацион питания сизых чаек в дикой

природе очень разнообразен — мелкая рыба, различные водные и наземные беспозвоночные составляют его основу. Чайки могут поедать яйца и птенцов мелких птиц, мышевидных грызунов, а также некоторые растительные корма (ягоды, зерна злаков). Циклы развития большинства обнаруженных гельминтов связаны с различными водными и наземными беспозвоночными (ракообразные, моллюски, дождевые черви) и рыбой.

Среди обнаруженных гельминтов есть виды, которые могут иметь эпизоотологическое значение. Наиболее массовыми гельминтами в полученном материале были трематоды рода *Diplostomum*, вызывающие диплостомоз у рыб. Эти паразиты отмечены практически у всех исследованных особей. Интересной находкой также было обнаружение половозрелых трематод *Apophallus muehlingi*, которые у рыб могут вызывать точечные потемнения на коже, называемые «чернопятнистость». У цестод наибольшее значение в исследованном материале имеют гельминты, способные вызывать заболевание диботриоцефалез (цестоды рода *Dibothriocephalus*). Они зарегистрированы у шести особей осенью и весной. Среди нематод была отмечена единичная находка анизакидных паразитов рода *Contracaecum*, которые вызывают анизокидоз у человека. Скребни были представлены единичными экземплярами вида рода *Corynosoma*, которые могут вызывать патогенное заболевание у разводимых на фермах пушных зверей (лис, песцов, норок) при кормлении зараженной рыбой.

В целом эпизоотическая ситуация по гельминтам сизой чайки в исследованном районе не вызывает опасений из-за низких показателей зараженности. Однако необходимы мониторинг динамики гельминтофауны этих птиц, а также контроль зараженности промежуточных хозяев разных уровней.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (FMEN-2022-0005, № государственной регистрации 122032100130-3).

Литература

Дубинина М. Н. Паразитологическое исследование птиц. Л.: Наука, 1971. 140 с.

Зимин В. Б., Ивантер Э. В. Птицы. Петрозаводск: ПетрГУ, 2002. 288 с.

Кулачкова В. Г., Кочетова И. В. Характерные особенности гельминтофауны чайковых птиц Кандалакшского залива // К природной очаговости паразитарных и трансмиссивных заболеваний в Карелии. М.; Л., 1964. С. 48–57.

Мартьянов Р. С. Гельминтологические исследования *Larus canus*, *L. argentatus* и *Sterna hirundo* Онежского и Ладожского озер // Эколого-паразитологические исследования животных и растений Европейского Севера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. С. 96–99.

Яковлева Г. А., Лебедева Д. И., Иешко Е. П. Эколого-фаунистические особенности видового состава трематод водно-болотных птиц Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2013. № 2. С. 108–110.