ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

ЛИМНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

ЗА 2022 ГОД

СОДЕРЖАНИЕ

Базовые проекты 2021-2025 3
Крупный научный проект Минобрнауки России 24
Проекты Российского научного фонда 28
Проекты Российского фонда фундаментальных исследований 40
Мероприятия 48
Приборная база 52
Экспедиционные работы 58
Публикации, популяризация деятельности 63
Международное сотрудничество 66
Молодежь ЛИН СО РАН 69

БАЗОВЫЕ ПРОЕКТЫ 2021-2025

Номер проекта в Минобрнауки России 0279-2021-0004 / Руководитель: к.г.н. Н.Г. Гранин

Оценка межгодовой изменчивости интрузий и ее связь с изменениями циркуляции атмосферы над Байкалом

При анализе спутниковой информации впервые наряду с данными о кольцевых структурах на льду озера Байкал (Рис 1. а) выявлены 26 случаев понижения температуры поверхности воды в навигационный период, часть из них показана на рис. б-д. Эти явления обусловлены локальными апвеллингами. Причиной их может быть конвекция, которая происходит за счет: а) повышения температуры; б) понижения минерализации; в) повышения концентрации растворенного в воде метана в придонной зоне. Кроме этого, восходящие потоки могут быть следствием всплывания газовых гидратов. При разной температурной стратификации, прямой и обратной, локальный апвеллинг способствует генерации циклонического или антициклонического кругового течения соответственно. Разные знаки температурных неоднородностей и направления таких течений являются следствием различий температурной стратификации зимой и летом.

Публикации:

Гранин Н.Г., Зырянов Д.В., Гнатовский Р.Ю., Блинов В.В. Кольцевые структуры на льду озера Байкал и локальные апвеллинги в летний период // Водные ресурсы. 2022. - Т. 49. - №2. - С. 154-162. DOI: 10.31857/S0321059622020079

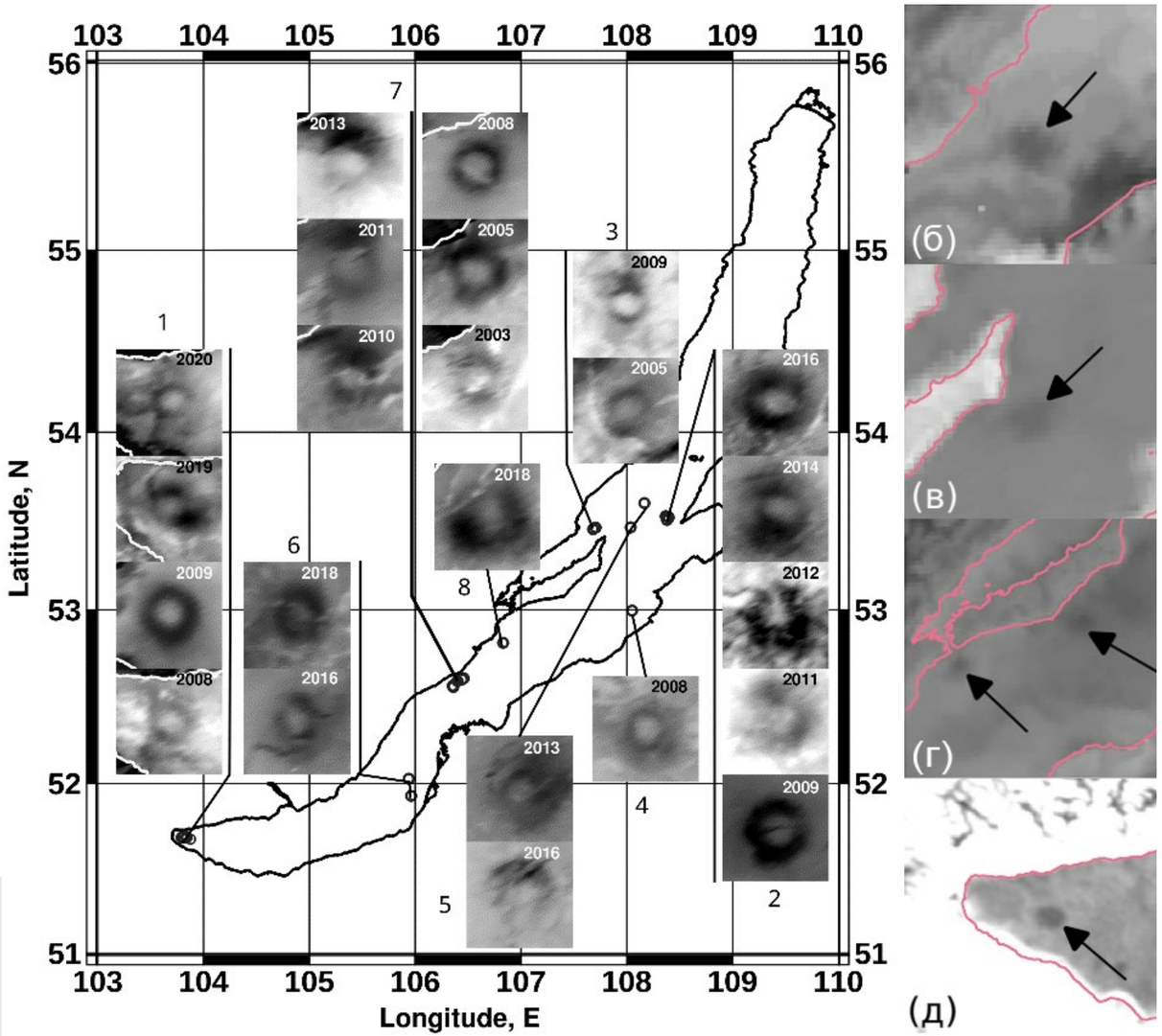


Рис.1. Расположение кольцевых структур на льду в 2003-2020 гг. На спутниковых снимках указаны годы, цифрами обозначены районы. (б-д) Локальные понижения температуры поверхности, обозначенные стрелками, в разных районах озера: (б) – Кукуйский каньон, 17.08.1998, (в) – м. Ижимей, 14.06.1999, (г) – пролив Ольхонские Ворота и м. Ухан, 10.07.1999, (д) – п. Култук, 13.06.2020.

Номер проекта в Минобрнауки России 0279-2021-0005 / Руководитель: д.г.-м.н. А.П. Федотов

Объективная классификация суточных типов погоды Восточной Сибири за период 1970-2020 гг.

Для региона Восточной Сибири (47,5°–67,5° с.ш., 102,5°–132,5° в.д.) за период 1970–2020 гг. был создан каталог типов погоды с суточным разрешением на основе объективного подхода Дженкинсона и Коллисона (ДК). Для классификации использовались данные о среднем давлении на уровне моря (MSLP) из реанализа Национальных центров прогнозирования окружающей среды/Национального центра атмосферных исследований (NCEP/NCAR). Выполнен статистический анализ годового, сезонного и месячного распределения 27 типов погоды (Рис. 1). За исследованный период наиболее частыми типами погоды были антициклонический (A, 23,5%), циклонический (C, 11,5%), неклассифицированный (U, 9,1%) и чистые адвективные типы северный (N, 6,9%), северо-восточный (NE, 6,0%) и западный (W, 5,4%). В адвективных типах атмосферной циркуляции преобладают северная и западная составляющие, которые ослабляются летом и усиливаются зимой и в переходные сезоны. В холодную половину года (октябрь–март) преобладают западные ветры, а в теплую (апрель–сентябрь) – восточные. Проанализированы многолетние тренды повторяемости режимов атмосферной циркуляции за исследуемый период. Для антициклонических типов погоды выявлены статистически значимые отрицательные тренды, а для типов с северной и западной компонентами — положительные. Связь между режимами атмосферной циркуляции и атмосферными осадками установлена по данным 87 метеостанций. Антициклонические типы погоды соответствуют более сухим погодным условиям во все сезоны года, а циклонические и адвективные типы с восточной компонентой — более влажным. Сезонная смена зонального воздушного потока в районе исследования (западный зимой и восточный летом), сопровождающаяся более влажными условиями для восточных типов циркуляции, свидетельствует о влиянии восточноазиатского муссона на район исследования. Региональные климатические изменения последних десятилетий, такие как ускоренное таяние ледников в 1990-е гг., увеличение числа засух, изменчивость осадков, хорошо согласуются с выявленными закономерностями атмосферной циркуляции.

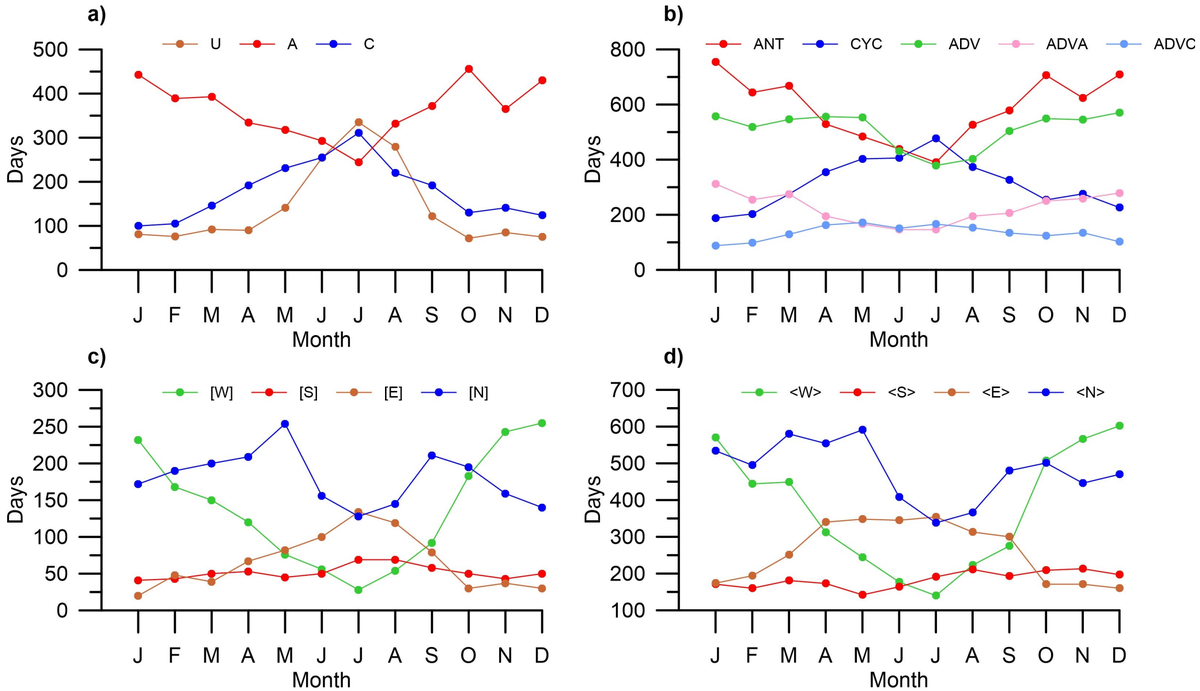


Рис.1. Осредненный годовой ход встречаемости (число дней за период 1970–2020 гг.) для типов U, A и C (a) и 13 групп типов погоды (b, c, d).

Публикации:

Osipova O.P., Osipov E.Y., Objective classification of weather types for the Eastern Siberia over the 1970–2020 period using the Jenkinson and Collison method // Atmospheric Research. – 2022. – V. 277. – 106291. DOI: 10.1016/j.atmosres.2022.106291.

Микроэволюция сиговых рыб оз. Байкал

Впервые с использованием микросателлитных локусов получено целостное представление о родственных связях и направлениях внутриозерной дивергенции комплекса сиговых рыб Байкала, представленного в озере тремя видами: обитателем открытой пелагиали – омулем и двумя сигами – озерным и озерно-речным, населяющими придонные слои подводного склона. Анализ с использованием микросателлитных локусов свидетельствует, что после Сартанского оледенения произошла симпатрическая дивергенция байкальских омуля, озерного сига и их популяций, а также географическая изоляция омуля в оз. Кулинда с сохранением однонаправленного потока генов в оз. Байкал. Вместе с тем, косвенно подтверждена гипотеза о многократной на протяжении более 1 млн лет гибридизации в периоды похолоданий с последующей вышеупомянутой внутриозерной дивергенцией при наступлении очередного климатического оптимума на пелагическую (омуль) и бентосную (озерный сиг) формы. В это время предок современного байкальского озерно-речного сига находился за пределами озера и вернулся только при образовании Иркутного стока из Байкала. Понимание особенностей эволюции и родственных связей байкальских сиговых с другими представителями семейства важны для совершенствования технологий их искусственного воспроизводства и аквакультуры.

Публикации:

Сидорова Т.В., Смирнов В.В., Кирильчик С.В., Суханова Л.В. Изучение популяционной структуры байкальских сиговых рыб на основе полиморфизма микросателлитных локусов // Генетика. 2022. - Т. 58. - №11. - С. 1311-1324. DOI: 10.31857/S001667582211011X

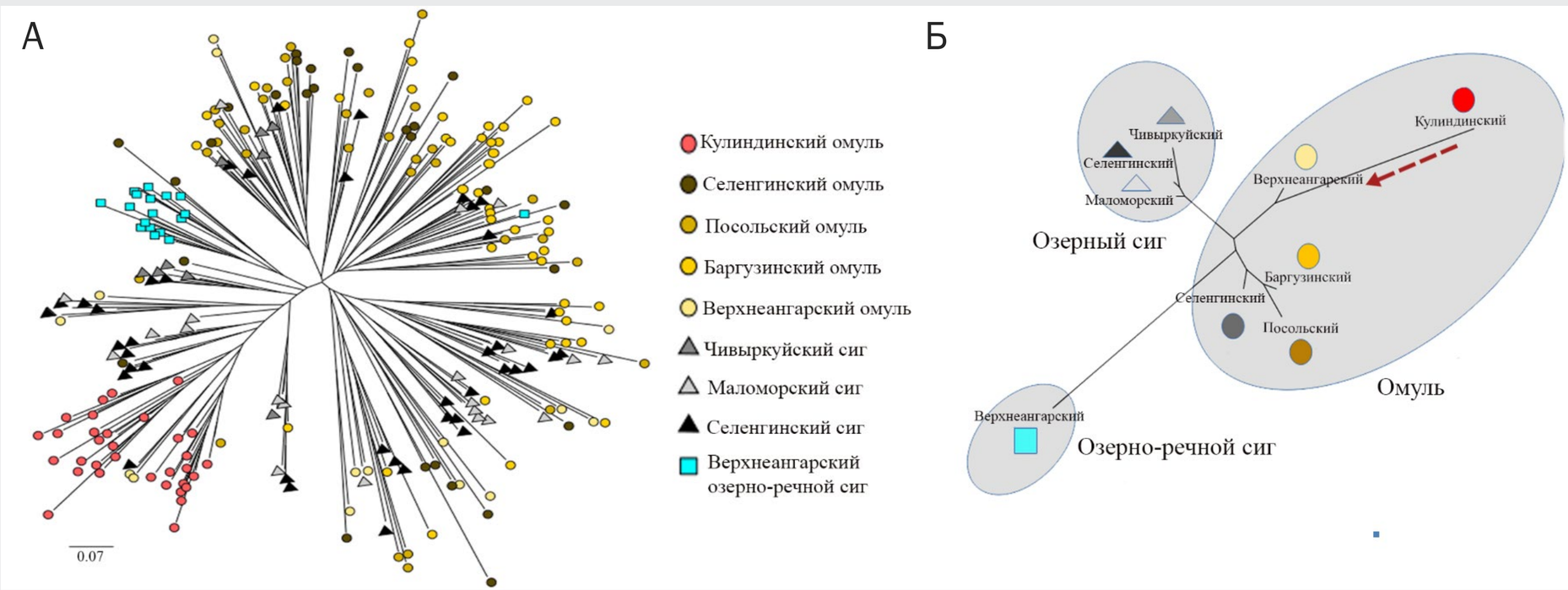


Рис.2. Схемы родства байкальских сиговых рыб, построенные по данным полиморфизма пяти микросателлитных локусов методом ближайших соседей (NJ – neighbor joining): А – особей на основе генетических расстояний между гаплотипами *Da*; Б – популяций на основе попарных значений *Fst*. Красной стрелкой указано направление потока генов из популяции омуля, изолированного в оз. Кулинда (имеет ледниково-тектоническое происхождение, находится в бассейне р. Кичера – северного притока оз. Байкал).

Номер проекта в Минобрнауки России 0279-2021-0006 / Руководитель: д.б.н. Т.И. Земская

Типизация гидратных структур и их роль в оценке рисков геологических катастроф озера Байкал

Установлено, что при снижении уровня озера Байкал на десятки метров в прошлом скопления газовых гидратов не являлись основным фактором возникновения оползней на его склонах. Изученные крупные оползневые структуры как в зоне современной верхней границы стабильности газовых гидратов, так и вне ее возникали и развивались под воздействием гравитационных сил и сейсмической активности района (Рис.1). Поэтому риски подводных геологических катастроф из-за разложения газовых гидратов в условиях современных изменений окружающей среды (незначительное повышение температуры воды или снижение уровня озера) маловероятны.

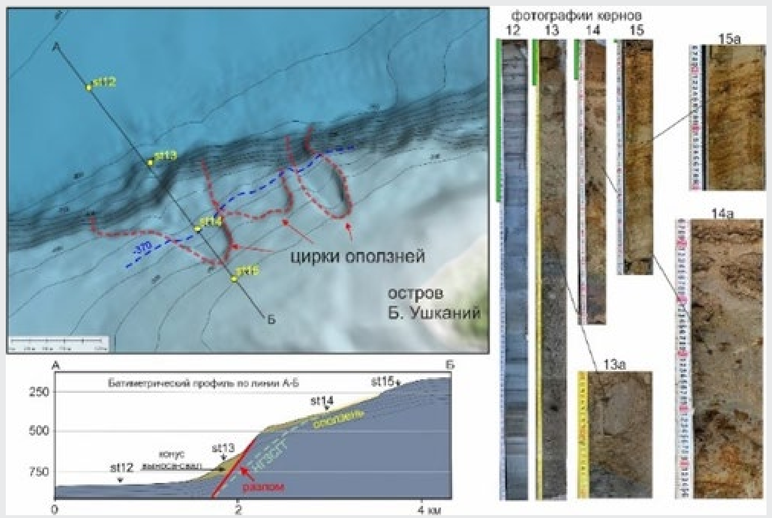


Рис.1. Батиметрическая схема Ушканьего оползня. Желтые точки – керны. Синим пунктир – верхняя граница зоны стабильности газовых гидратов. Внизу: цифры со стрелками - места отбора кернов; зелёный пунктир - нижняя граница зоны стабильности газовых гидратов. Справа: керны с врезками – обломки пород (13а), текстура смятия (14а), горизонтальное залегание слоев (15а). Зеленым показан голоценовый диатомовый слой.

Анализ 63 гидратоносных структур (3 из которых открыты в 2022 г.) подтвердил наличие на Байкале известных трех типов структур морской подводной разгрузки углеводородов: грязевые вулканы (30), сипы (12), покмарк (1). Выделен новый четвертый тип – байкальские гидратные холмы (20) (Рис.2). Каждый из них характеризуется своим механизмом консервации газа в виде газовых гидратов и повышенной миграцией метана и его гомологов к поверхности дна.

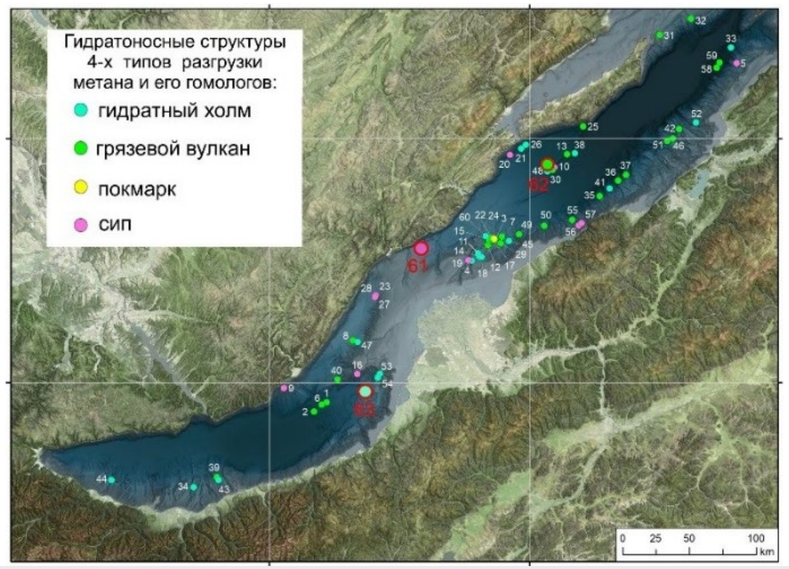


Рис.2. Карта распределения гидратоносных структур озера Байкал 2022 года (Khlystov et al., 2022 с дополнениями). Красным цветом показаны структуры открытые в 2022 г. 61 – сип «Голый», 62 – гидратный холм «Посолканьон-3», 63 – грязевой вулкан «Санкт-Петербург-3».

Публикации:

Khlystov O. M., De Batist M., Minami H., Hachikubo A., Khabuev A.V., Kazakov A.V. The position of gas hydrates in the sedimentary strata and in the geological structure of Lake Baikal. In: World atlas of submarine gas hydrates in continental margins. Eds. Mienert J., Berndt C., Tréhu A.M., Camerlenghi A., Liu C.-S. Cham: Springer, 2022. P. 465–471. DOI: 10.1007/978-3-030-81186-0

Номер проекта в Минобрнауки России 0279-2021-0007 / Руководитель: д.б.н., профессор О.А. Тимошкин

Биоразнообразие озера Байкал: актуальность изучения и новые сведения

Результаты регулярных и многолетних исследований биоразнообразия Байкала свидетельствуют, что в озере живут представители практически всех крупных таксонов, известных науке. Исследования 2022 г. подтверждают, что Байкал – самое богатое озеро в мире по числу видов гидробионтов: в нем обитают около 2700 видов животных и более 1000 растений обитают. Причем 56-60% животных эндемичны для озера. Исследования в этом направлении в настоящее время приобретают особую актуальность в связи с возросшим антропогенным прессом и возможностью безвозвратной утери некоторых эндемичных видов (Timoshkin et al., 2016).

Ежегодно ученые регистрируют 5-12 новых для науки видов. Прошлый 2022 г. не был исключением. Опубликованы иллюстрированные описания 5 новых для науки видов хоботковых турбеллярий (Рис. 1, 2) из эндемичных родов *Coulterella*, *Cohenella* и *Linella* (Turbellaria: Kalyptorhynchia, Rhynchokarlingiidae), нематоды *Ethmolaimus gracilis* (Nematoda, Chromadorida) (Зайцева и др., 2022; Наумова и др., 2022). Проведена ревизия редкого рода свободноживущих нематод – *Hofmaenneria* (Nematoda: Monhysterida). Скорректирован диагноз рода, составлены дихотомические ключи для всех валидных видов мировой фауны, из которых 4 обитают в оз. Байкал (Гагарин и др., 2022).

Публикации:

Гагарин В.Г., Наумова Т.В. Обзор рода Hofmaenneria Gerlach, Meyl 1957 (Nematoda, Monhysterida) // Амурский зоологический журнал. – 2022. – Т. 14. – № 1. – С. 131–138. DOI: 10.33910/2686–9519–2022–14–1–131–138.

Зайцева Е.П., Криворoткин Р.С., Тимошкин О.А. Новые виды микроскопических псаммофильных турбеллярий родов Coulterella, Cohenella и Linella (Plathelminthes, Kalyptorhynchia, Rhynchokarlingiidae) из озера Байкал // Зоологический журнал. – 2022. – Т. 101. – № 12. – С. 1323–1336. DOI: 10.31857/S0044513422120133.

Рис.1. – *Coulterella fialkovi* Timoshkin et Zaytseva sp. n.: 1, 2 – внешний вид слегка придавленного живого червя; 3, 4 – туника хоботка; 5 – кокон. 1 – паратип № 8; 2 – особь, собранная 14 июля 2008 г. в бухте Большие Коты, напротив скалы “Два Брата”, с глубины 2.8 м, крупнозернистый песок; 3 – паратип № 5; 4 – особь-голотип; 5 – паратип № 2. Масштаб, мкм: 1, 2 – 500; 3–5 – 100.

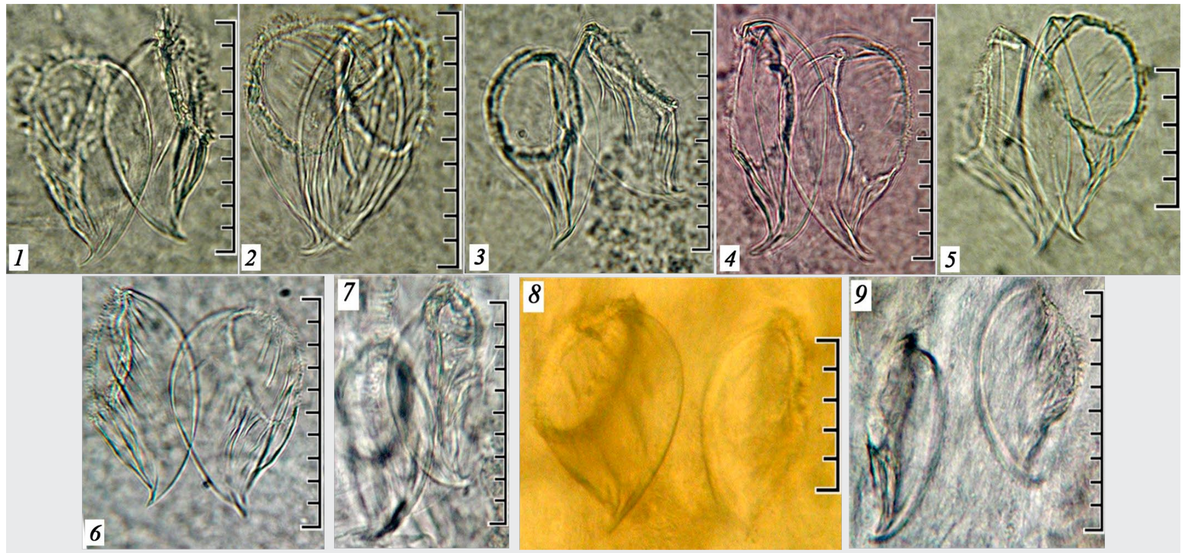


Рис.2. Крючья кутикулярного аппарата *Cohenella sagalevichi* Timoshkin et Zaytseva, 2022: 1 – голотип, 2-7 – паратипы №№ 1-6; 8-9 – нетиповой материал из пади Варначка (сбор 21.08.2008, глубина 2 м). Масштаб: 1-4, 6-7, 9 = 100 мкм, 5, 8 = 50 мкм.

Одна из загадочных тенденций последних лет – активное освоение открытого Байкала широкораспространенными видами гидробионтов. В рамках этого направления проанализированы морфология, динамика заселения озера за последние 100 лет, особенности распространения и экологии палеарктических улиток сем. Lymnaeidae. Составлена карта-схема находок; изучены конхиологические признаки и пигментация тела, оценена генетическая изменчивость *Radix auricularia* (на основе маркеров cyt-b мт ДНК и ITS-2 яДНК) из прибрежно-соровой зоны и открытого Байкала. Выявлено, что особи *Radix* из разных участков и глубин озера, несмотря на значительные морфологические отличия, принадлежат одному виду, который в Байкале представлен двумя гаплотипами: в I кроме байкальских представителей входят улитки из Европы, Дальнего Востока и Центральной Азии; II-й объединяет особей из Сибири, Дальнего Востока и Монголии (Schniebs et al., 2022) (Рис. 3).

В мелководной зоне у острова Большой Ушканий обнаружена молодь и партеногенетические самки нового для фауны Байкала вида кладоцер *Daphnia turbinata* Sars. Вид имеет весьма ограниченный ареал: горные озера Южной Сибири и Монголии, обитает в мелких водоемах вдоль западного побережья Байкала. На появление *D. turbinata* в открытой литорали озера повлияло обогащение прибрежных вод биогенными элементами после пожаров на острове в 2015-2018 гг. (Scheveleva et al., 2022).

Публикации:

Naumova T.V., Gagarin V.G. Ethmolaimus gracilis sp. n. (Nematoda, Chromadorida) from Lake Baikal // Inland Water Biology. – 2022. – Vol. 15. – № 1. – P. 23–27. DOI: 10.1134/S1995082922010102.

Sheveleva N.G., Mirabdullayev I.M., Neronova S.Y. Cladocera species (Crustacea, Branchiopoda) in the littoral zone of Lake Baikal: some representatives of Daphniidae families // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – Vol. 962. – № 1. – P. 1–7. DOI: 10.1088/1755–1315/962/1/012034.

Schniebs K., Sitnikova T.Ya., Vinarski M.V., Müller A., Khanaev I.V., Hundsdoerfer A.K. Morphological and Genetic Variability in Radix auricularia (Mollusca: Gastropoda: Lymnaeidae) of Lake Baikal, Siberia: The Story of an Unfinished Invasion into the Ancient Deepest Lake // Diversity. – 2022. – Vol. 14. – № 7. – P. 1–28. DOI: 10.3390/d14070527.

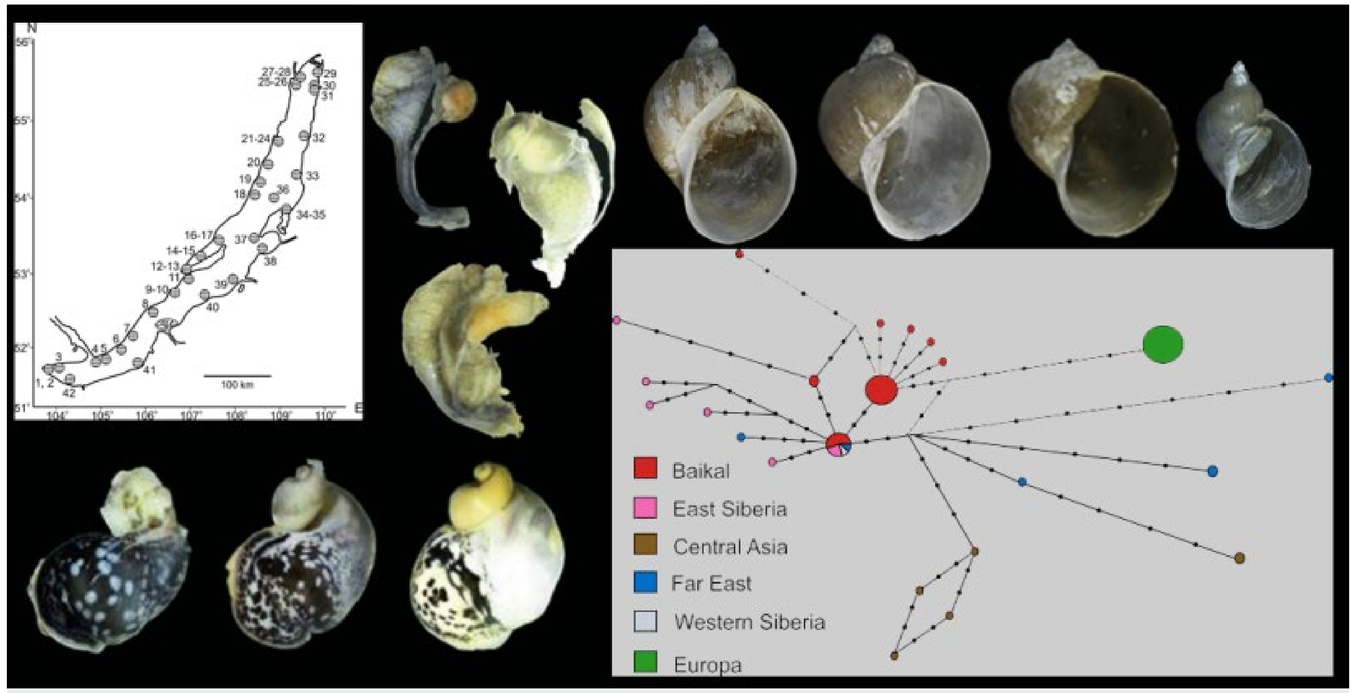


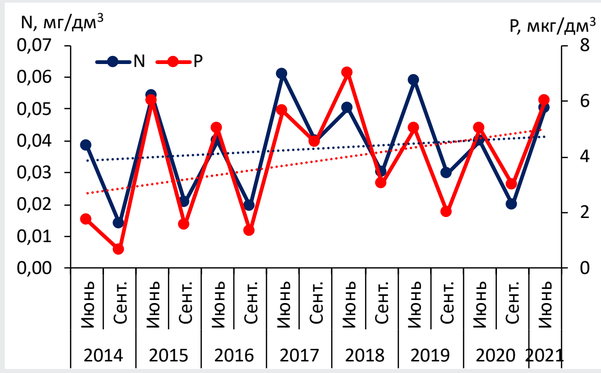
Рис.3. Морфология раковины, пигментация тела и сеть гаплотипов палеарктической улитки *Radix auricularia* из Байкала и других регионов.

Влияние лесных пожаров на химизм интерстициальных и прибрежных вод, а также на фитопланктон прибрежной зоны (на примере о. Бол. Ушканий)

Впервые проведено изучение влияния пожаров на экологию прибрежной зоны Байкала (на примере Б. Ушканьего острова, лето 2015 г.). В 2016 г. выявлены повышенные концентрации Р в интерстициальной воде (до 0,050 мг/дм^3 Р-PO_4), массовое развитие аборигенных бентосных цианопрокариот (доминировал толипотрикс), а также обширные береговые скопления (БСД) во многих бухтах. Общая фитомасса БСД оценена примерно в 19 тонн. Максимальные концентрации Р-PO_4 (0,21 мг/дм^3), $N_{мин.}$ (до 9,3 мг/дм^3) в поровых водах обнаружены 2-3 года спустя. Фитомасса БСД уменьшилась, доминировали *Nostoc* spp. Возросла общая масса фитобентоса (от 0,080-0,212 до 1-2 кг/м^2).

Увеличилась концентрация PO_4 (в 3-7 раз), N-NO_3 (в 1,5-3 раза) в прибрежной воде в 2017-2021 гг. по сравнению с 2014 г. Значительно изменилась структура прибрежного фитопланктона: его основу составляли нанопланктонные жгутиковые, типичные для мезо-эвтрофных водоемов (показатели органического загрязнения). Изменения в структуре фитопланктона и -бентоса в 2017-2018 гг. обусловлены вторичным загрязнением (гниение БСД) и эвтрофикацией. Полученные данные могут служить в качестве модельных при изучении постпирогенного состояния прибрежной зоны озера.

Рис.4. Пожар на острове Б. Ушканьем летом 2015 г.



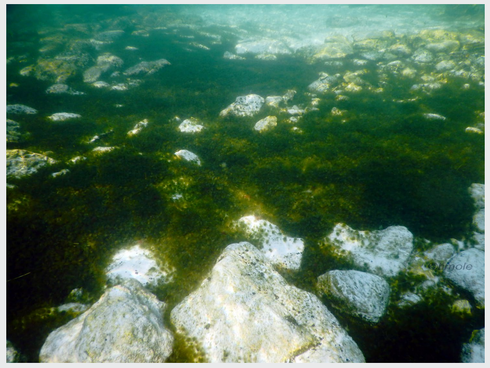


Рис.5. Места локализации БСД на побережье о. Б. Ушканий и динамика концентраций фосфатного фосфора и минерального азота в приурезовой воде на станции 2 (бух. Пещерка)

Номер проекта в Минобрнауки России 0279-2021-0008 / Руководитель: д.б.н., профессор Е.В. Лихошвай

Эволюция древних диатомей родов *Alveolophora* и *Aulacoseira*

В керне миоценовых отложений Баргузинской долины с помощью сканирующей электронной микроскопии исследованы распределение и морфологическая эволюция центрических диатомовых водорослей. Описан новый вид *Aulacoseira capitalina*, что расширяет ареал распространения миоценовых эллиптических видов в Евразии. Выявлена широкая морфологическая вариабельность видов *Alveolophora jouseana* и *Alveolophora antiqua* и показана эволюция формы створки, ключевого таксономического признака, по глубине керна.

Публикации:

Usoltseva M.V. Morphological variability of Alveolophora jouseana (Bacillariophyta) from type material // Phytotaxa. – 2022. – V. 533. – № 4. – P. 194-204. DOI: 10.11646/phytotaxa.533.4.2

Usoltseva M., Titova L., Hassan A., Rasskazov S., Morozov A. Morphological Variability of Alveolophora antiqua from a Freshwater Early Miocene Paleolake in The Barguzin Valley (Baikal Rift Zone) // Diversity. 2022. - V. 14. - p. 1-17. DOI: 10.3390/d14121075

Titova L.A., Hassan A.I., Usoltseva M.V. Aulacoseira capitalina sp. nov. (Bacillariophyta) from the Middle Miocene sediments of the Barguzin Valley, Baikal Rift Zone (Russia) // Acta Biologica Sibirica. 2022. - V. 8. - p. 571-582. DOI: 10.14258/abs.v8.e35

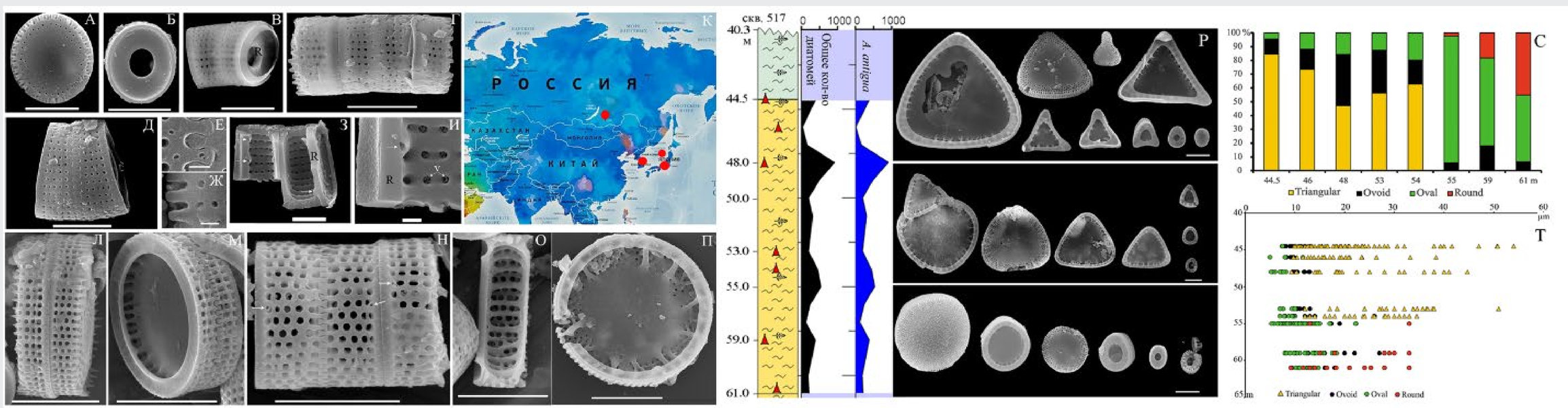


Рис.1. Миоценовые виды центрических диатомовых водорослей. Сканирующая электронная микроскопия. А-И – *Aulacoseira capitalina* sp. nov.; К – локализация эллиптических видов *Aulacoseira*; Л-П – *Alveolophora jouseana*; Р – вариабельность формы створок *Alveolophora antiqua* в керне 517; С – процентное соотношение разных форм створок; Т – распределение по размерам разных форм створок *Alveolophora antiqua* в керне 517. Масштаб – 10 мкм (А-Д, Л-П, Р), 5 мкм (З) и 1 мкм (Е, Ж, И).

Определение индикаторных организмов в арктических водоемах Якутии

В рамках концепции глобального изменения климата (GCC) продолжены поиски индикаторных видов микроэукариот и выяснение закономерностей формирования их разнообразия в арктических водоемах Якутии. Определены редкие арктические виды чешуйчатых хризофитовых, описан новый для науки вид *Synura tiksiensis*. Высокая доля аркто-бореальных, а также присутствие типичных бореальных таксонов демонстрирует тенденцию продвижения видов из умеренных широт на север. Показана связь видового состава этих организмов с параметрами водной среды, что характеризует их как индикаторы для дальнейшего мониторинга арктических водных экосистем.

Публикации:

Bessudova A., Gabyshev V., Bukin Y., Gabysheva O., Likhoshway Y.V. Species richness of scaled Chrysophytes in arctic waters in the Tiksi Region (Yakutia, Russia) // Acta Biologica Sibirica. 2022. - V. 8. - p. 431-459. DOI: 10.14258/abs.v8.e26

Bessudova A., Gabyshev V., Likhoshway Y.V. Record of two rare taxa from Synura genus (Chrysophyceae) with a description of a new species (Synura tiksiensis sp. nov.) near the arctic settlement of Tiksi, Yakutia, Russia // Phytotaxa. 2022. - V. 560. - №2. - p. 247-253. DOI: 10.11646/phytotaxa.560.2.8

Bessudova A. and Firsova A. Silica scaled Protista and Stomatocysts in East Siberia // Limnology and Freshwater Biology. – 2022. – V. 5. – P. 1669-1676. DOI: 10.31951/2658-3518-2022-A-5-1663

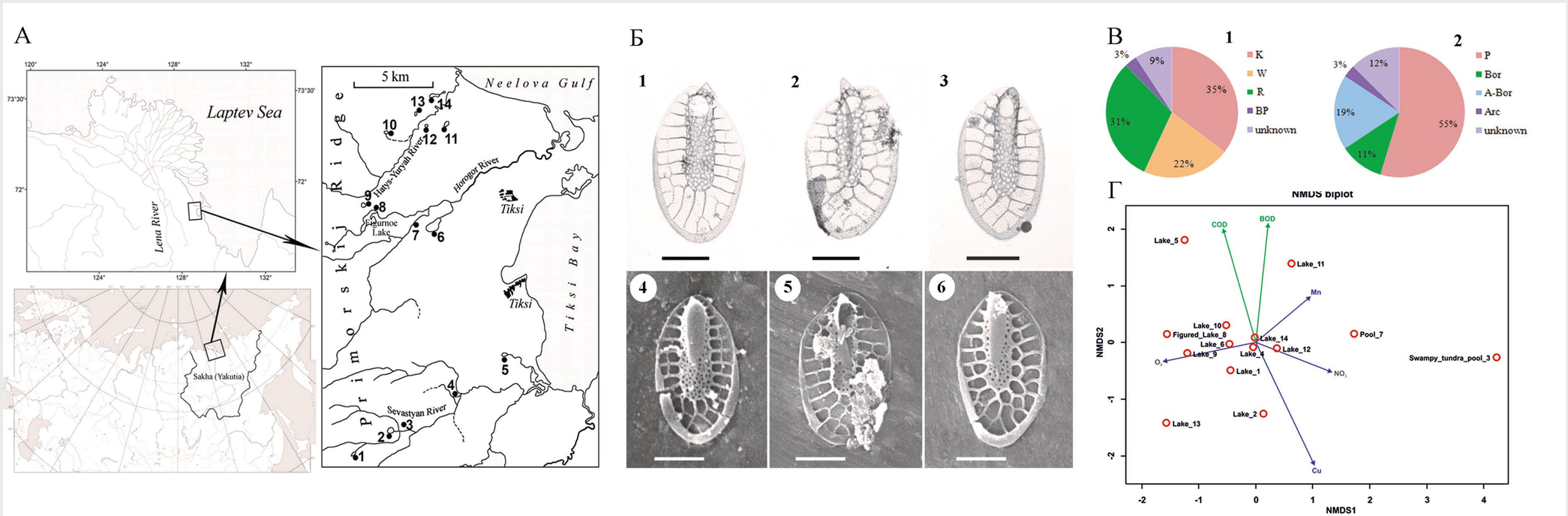


Рис.2. Чешуйчатые хризофитовые арктических водоемов Якутии. А – карта-схема отбора проб; Б – кремнистые чешуйки *Synura tiksiensis* sp. nov. Просвечивающая электронная микроскопия (2-4). Сканирующая электронная микроскопия (5-7). Масштаб – 1 мкм; В – географическое распределение видового состава чешуйчатых хризофитовых в водоемах района Тикси относительно долотной (1) и широтной (2) групп; Г – точечный график NDMS для водоемов. Стрелками показаны векторы градиента, физические и химические параметры, которые, как подтверждено, влияют на таксономический состав сообщества в соответствии с тестированием PERMANOVA (синие векторы – абиотические факторы, зеленые векторы – биотические факторы).

Номер проекта в Минобрнауки России 0279-2021-0009 / Руководитель: д.х.н., академик РАН М.А. Грачев

Генетическое разнообразие *Ulnaria acus* (Kützing) Aboal

Ulnaria acus (Kützing) Aboal – космополитный вид диатомовых водорослей, обитающий в пресных водоемах по всему миру. Как правило, популяции диатомовых водорослей одного вида представляют собой комбинацию различных генотипов. В настоящее время внутривидовая изменчивость *U. acus* недостаточно изучена. В работе показано, что использование маркерного гена *cox*1 может разделить *U. acus* на отдельные генотипы. Филогенетический анализ гена *cox*1 41 штамма показал, что евразийские штаммы *U. acus* образуют три клады (Рис. 1). Штаммы из озера Рица (Абхазия) и озера Матано (Индонезия) не являются гетерогенными. Штаммы *U. acus*, выделенные из озера Байкал (Россия) и р. Эрдре (Франция), вошли в две клады, что свидетельствует о том, что генетическая структура популяций этого вида неоднородна. Дальнейшие исследования по выявлению корреляции между различными генотипами *U. acus* и параметрами окружающей среды позволят ответить на вопрос о том, как меняется численность этого вида в период его цветения и о возможной роли внутривидовой генетической изменчивости в этом процессе.

Публикации:

Marchenkov A.M., Zakharova Yu.R., Volokitina N.A., Davidovich N.A., Davidovich O.I., Podunay Yu.A., Petrova D.P. Genotypic diversity of Ulnaria acus (Kützing) Aboal from Eurasia // Limnology and Freshwater Biology. 2022. - №6. - p. 1705-1711. DOI: 10.31951/2658-3518-2022-A-6-1705.

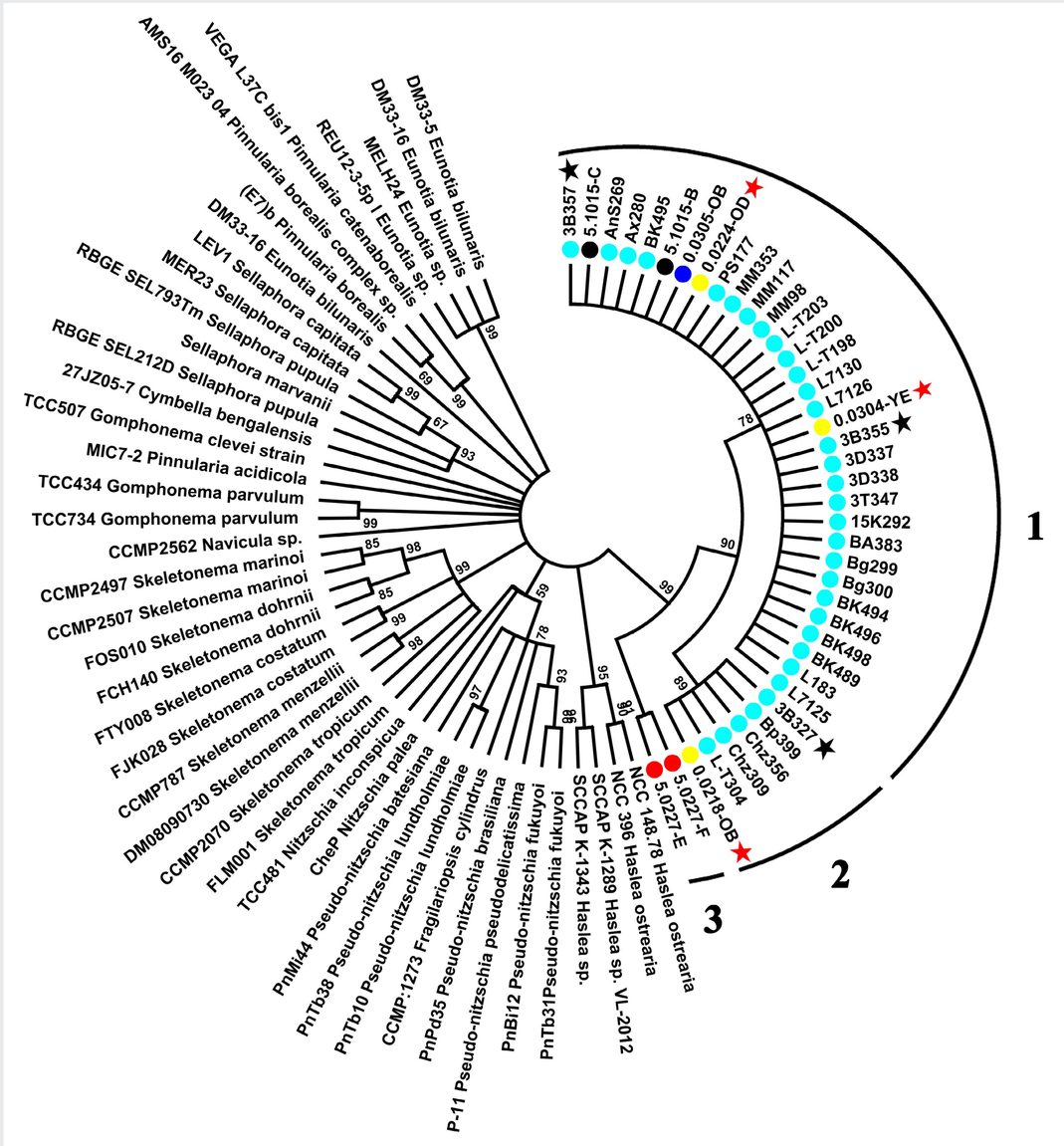


Рис.1. Филогенетическое дерево фрагментов генов *cox*1, построенное методом максимального правдоподобия (ML). Последовательности, исследуемых штаммов, отмечены цветом: голубой – Россия, оз. Байкал; черные – Абхазия, оз. Рица; синие – Франция, р. Сарт; желтые – Франция, р. Эрдр; красные – Индонезия, оз. Мотана. Красными звездочками отмечены клоны, принадлежащие к двум разным кладам, выделенные из одного образца Франция, р. Эрдр. Черными звездочками отмечены клоны, принадлежащие к двум разным кладам, выделенные из одного образца Россия, озеро Байкал. В узлах дерева приведены бутстреп-значения, полученные при n=1000 реплик.

Коллекция живых культур диатомовых водорослей Лимнологического института СО РАН

Создание коллекции культур микроводорослей является первым шагом к практическому использованию продуктов их метаболизма и изучению их генетического разнообразия. В отделе ультраструктуры клетки ЛИН СО РАН создана коллекция моноклональных культур диатомовых водорослей, выделенных из разных районов озера Байкал и других водоемов. В настоящее время коллекция является единственной в Сибири и представлена 146 штаммами планктонных и бентосных диатомей, относящихся к 20 видам (Рис. 2). Моноклональные культуры используются для решения ряда задач, связанных с экологией, таксономией, клеточной и молекулярной биологией, генетики. Это необходимый шаг для выявления перспективных таксонов, способных к длительному поддержанию в культуре и продуцирующих вещества, которые могут быть интересны для биотехнологических целей и фундаментальных исследований.

Публикации:

Zakharova Yu.R., Volokitina N.A., Bashenkhaeva M.V., Petrova D.P., Likhoshway Ye.V. Collection of living diatom cultures of Limnological Institute: Trends and use potential // Limnology and Freshwater Biology. 2022. - №6. - p. 1681-1687. DOI: 10.31951/2658-3518-2022-A-6-1681.

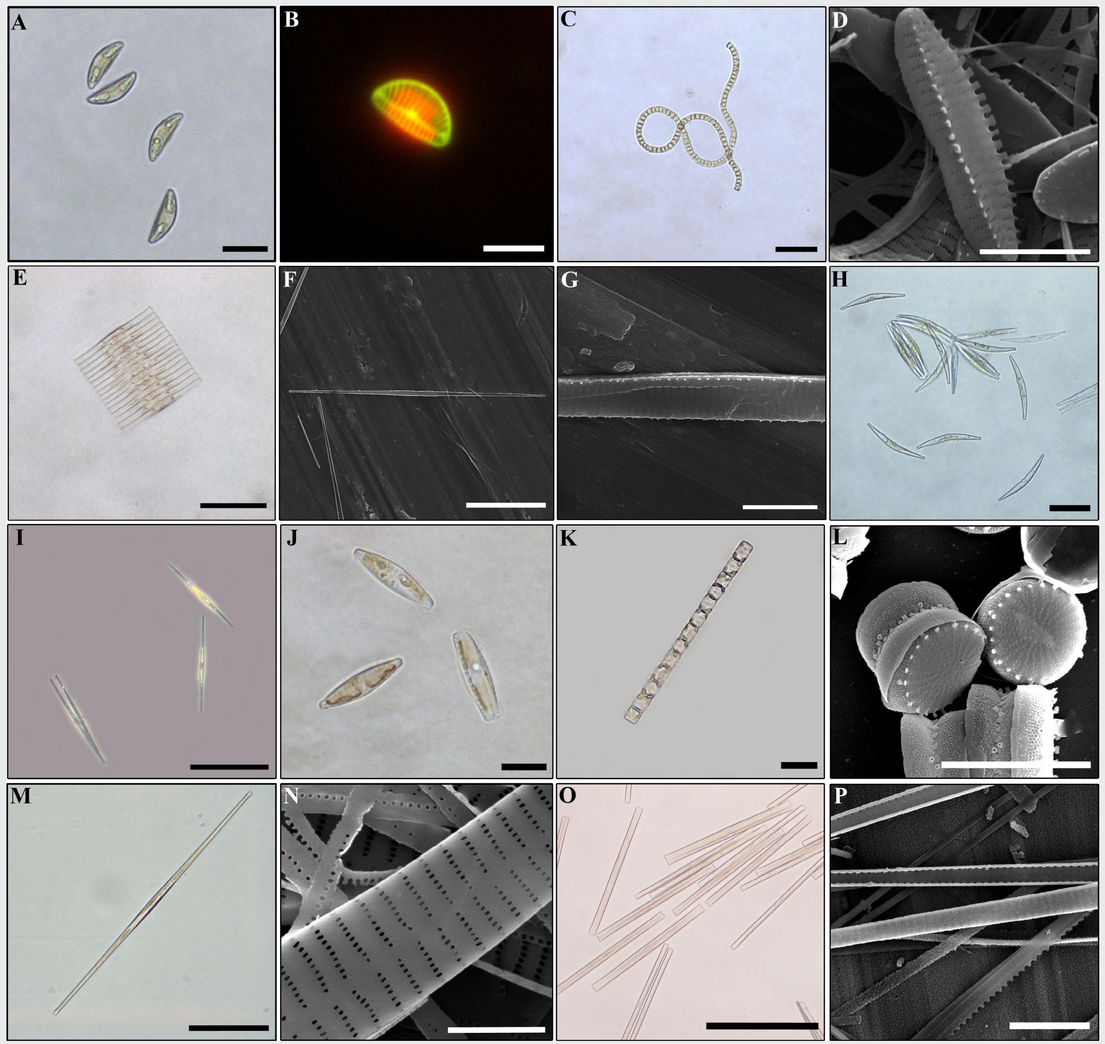


Рис.2. Микрофотографии моноклональных культур диатомей из коллекции ЛИН СО РАН. *Encyonema ventricosum* (C.Agardh) Grunow (A, B); *Fragilaria capucina* Desmazières (C, D); *Fragilaria crotonensis* Kitton (E); *Fragilaria radians* (Kütz.) Williams & Round (F, G); *Hannaea baicalensis* Genkal, Popovskya et Kulikovskiy (H); *Nitzschia graciliformis* Lange-Bergalot et Simonsen (I); *Nitzschia dissipata* (Kützing) Rabenhorst (J); *Stephanodiscus meyeri* Genkal & Popovskaya (K, L); *Ulnaria acus* (Kützing) M. Aboal (M, N); *Ulnaria danica* (Kützing) Compère & Bukhtiyarova (O, P); СМ (A, C, E, F, H-K, M, O), эпифлюорисцентная микроскопия (B), СЭМ (D, G, L, N, P). Масштаб: 50 мкм – C, F, H, I, M, O; 20 мкм – A, B, E, K; 10 мкм – D, J, L, P; 5 мкм – G, N.

Номер проекта в Минобрнауки России 0279-2021-0010 / Руководитель: д.б.н., доцент Д.Ю. Щербаков

Первые данные о генетике байкальских мшанок и их сообществ

Hislopia placoides – является единственным эндемичным видом мшанок оз. Байкал (Рис. 1A,B) и рассматривается как реликт прошлых, более теплых геологических периодов. Он обеспечивает среду обитания для разнообразных ассоциированных организмов. Исследованы колонии *H. placoides* (Рис. 1B) по фрагментам генов COI и 16S рРНК мтДНК, и ассоциированные микробные сообщества по фрагменту 16S рРНК с помощью нанопорового секвенирования (MinION). Установлено, что морфологическая изменчивость и географическая удаленность не связаны с генетическим полиморфизмом и обусловлены экологическими особенностями местообитаний. Выявлен генетический полиморфизм в пределах колонии, указывающий на то, что колония может формироваться более чем одной особью. Анализ микробных сообществ выявил 11 доминирующих кластеров (Рис. 1C), из которых 88–95% – диатомовые водоросли + цианобактерии, протеобактерии и бактероиды. Тепловая карта структуры бактериальных сообществ (Рис. 1D) показала, что наибольшее разнообразие наблюдалось в пробе из Посольского сора. Метанотрофные бактерии Methylococcales отмечены только в *H. placoides* с железо-марганцевых конкреций открытой сублиторали оз. Байкал (м. Бабушкин).

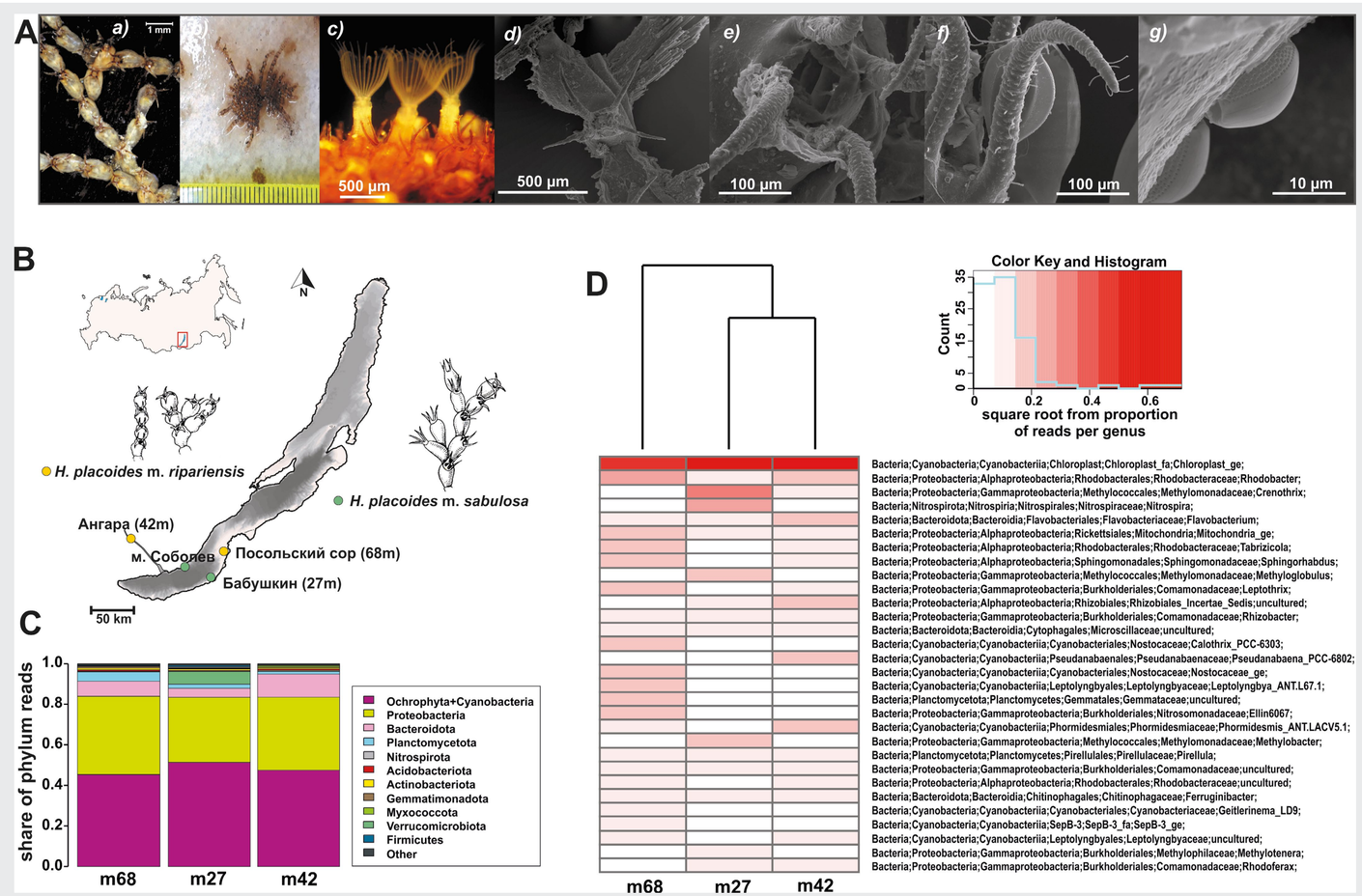


Рис.1. A – a), b) – фото живых колоний *H. placoides*, c) – зооиды с лофофорами, d)-g) – фото *H. placoides* на сканирующем микроскопе (d) – фрагмент колонии, e) – рот, f) – шипы *H. placoides*, g) – диатомовые водоросли на поверхности *H. placoides*; B – точки сбора и внешний вид морфотипов *H. placoides*; C – Распределение доминирующих бактериальных таксонов, полученных из трех колоний *H. placoides*, собранных в разных районах; D – тепловая карта структуры бактериальных сообществ, построенная на основе 30 наиболее представленных таксонов.

Номер проекта в Минобрнауки России 0279-2021-0011 / Руководитель: д.б.н., профессор С.И. Беликов

Открытие эктопаразитной инвазии, впервые обнаруженной в популяции байкальских сиговых рыб

Омуль *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775), эндемичная рыба озера Байкал, является основным промысловым видом, имеющим важное хозяйственное значение для обширного района Восточной Сибири. Несмотря на непрерывное 250-летнее изучение байкальского омуля и его интенсивный промысел, ни рыбаки, ни биологи никогда не находили кольчатых эктопаразитов в многочисленных уловах омулей. Прицельные паразитологические исследования также никогда не выявляли этих паразитов на сиговых рыбах Байкала.

В данном исследовании мы представляем первую достоверную информацию о существовании специфических кольчатых паразитов, поражающих пелагическую популяцию байкальского омуля, и сообщаем о 4% зараженности производителей в р. Селенга, крупнейшем притоке оз. Байкал. Мы также получили основные морфометрические параметры зараженных рыб, морфологию неизвестного паразита и стратегию его питания. Анализ на основе ДНК был применен для установления таксономии пиявок и не выявил на сегодняшний день близкородственных таксонов, существующих в международных генетических базах данных (например, GenBank). Пиявка, паразитирующая на омуле, может представлять собой потенциально новый вид.

Публикации:

Kaygorodova I.A., Matveenko E.Yu., Dzyuba E.V. Unexpected discovery of an ectoparasitic invasion first detected in the Baikal coregonid fish population // Fishes – 2022. – V. 7. – 298. DOI: 10.3390/fishes7050298.

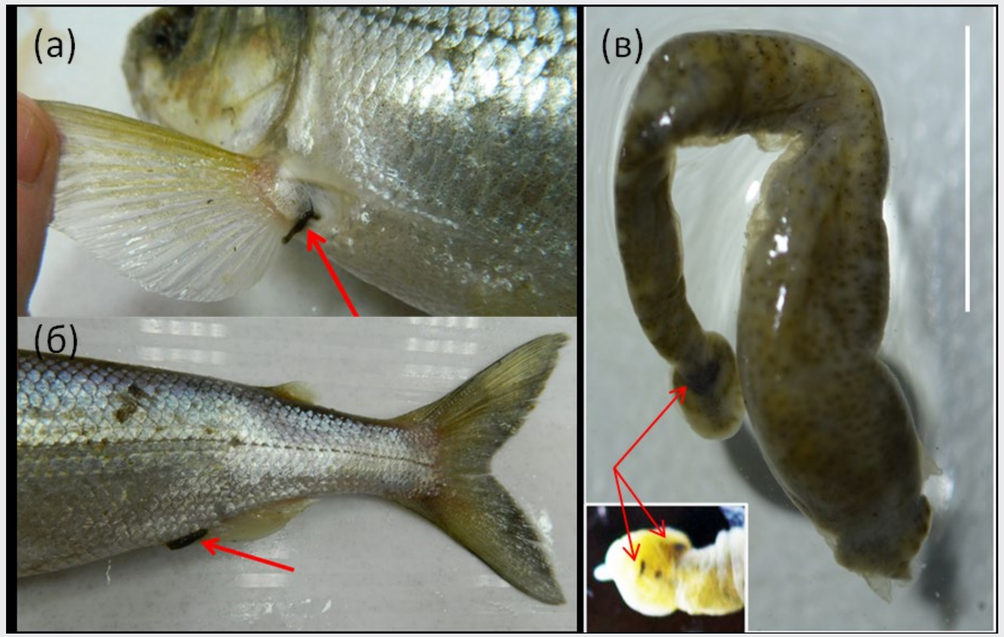


Рис.1. Расположение эктопаразитов пиявок на байкальском омуле: а – на брюшном плавнике; б – на грудном плавнике; в – внешний вид пиявки. Масштаб = 5 мм. В левом нижнем углу показан крупный план передней присоски с хорошо сохранившимися глазами.

ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА ВОДНЫЕ И НАЗЕМНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ БАССЕЙНА ОЗЕРА БАЙКАЛ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Номер проекта в Минобрнауки России 0279-2021-0014 / Руководитель: д.г.н., профессор Т.В. Ходжер

Сезонная и межгодовая динамика полициклических ароматических углеводородов в Южном Прибайкалье – суперэкотоксикантов для окружающей среды и здоровья человека

По многолетним исследованиям на двух станциях мониторинга атмосферы в Южном Прибайкалье (Иркутск – урбанизированная, Листвянка – сельская) впервые определены сезонная и межгодовая динамика в распределении полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), включенных в приоритетный ряд суперэкотоксикантов. Установлены высокие корреляционные связи между температурой воздуха, атмосферным давлением, инверсиями и содержанием ПАУ в воздухе зимой (Рис. 1). По диагностическим соотношениям 21 соединения ПАУ определены источники загрязнения: сжигание угля, жидкого топлива, дров, выбросы автотранспорта, лесные пожары. Расчетные концентрации эквивалента токсичности (BaPeq) ПАУ возрастали от лета к зиме с увеличением вклада бенз(а)пирена – одного из наиболее опасных соединений. В аэрозоле зимой преобладали тяжелые четырех-, пяти- и шестикольцевые ПАУ, летом – легкие двух- и трехкольцевые ПАУ (Рис. 2). Доля переноса аэрозоля с содержанием ПАУ от промышленных источников Южного Прибайкалья по направлению к Южному Байкалу составила 65-70%.

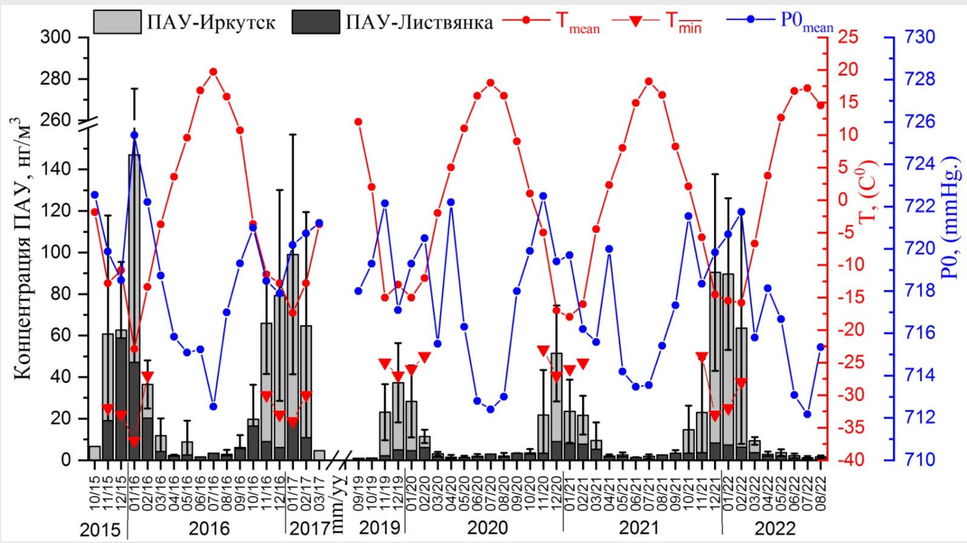


Рис.1. Усредненные за месяц суммарные концентрации ПАУ (нг·м$^{-3}$), температура воздуха (ТоС), приземное давление (РО) в г. Иркутск, п. Листвянка, 2015-2022 гг.

Публикации:

Marinaite I., Penner I., Molozhnikova E., Shikhovtsev M., Khodzher T. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Atmosphere of the Southern Baikal Region (Russia): Sources and Relationship with Meteorological Conditions // Atmosphere. – 2022. – V. 13. – №. 3. – P. 420 – 432. DOI: 10.3390/atmos13030420

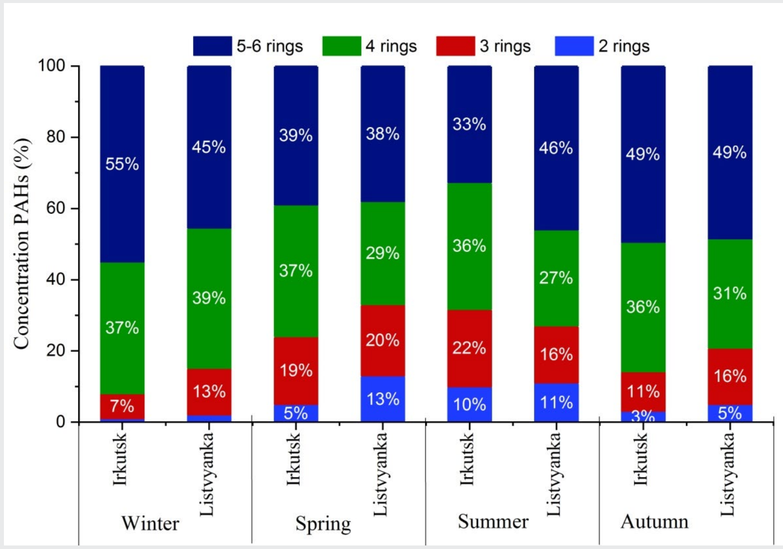


Рис.2. Доля ПАУ с различным количеством колец на станциях Иркутск, Листвянка (Южное Прибайкалье), 2015-2021 гг.

Пространственно-временная динамика приземного озона в Байкальском регионе

С использованием автоматических методов измерения атмосферных загрязнений, цифровых интернет-баз данных, впервые подробно изучены причины пространственно-временной изменчивости приземных концентраций озона в Байкальском регионе. На урбанизированных территориях под влиянием различных загрязнений содержание озона в приземном слое снижается, основная причина – фотохимические реакции оксидов азота с озоном (Рис. 3, 4).

Рис.3. Средние суточные концентрации O_3 в городах долины р. Ангары и на прибрежной станции Листвянка (минимум O_3 – г. Ангарск; максимум – ст. Листвянка).

Рис.4. Средние суточные концентрации O_3 в городах долины р. Селенги (годовая эмиссия загрязнений в ~10 раз ниже, чем в долине реки Ангары).

Над побережьем и акваторией Байкала основное влияние на озон оказывают природные факторы: солнечная радиация и сток из верхней тропосферы, которые способствуют пополнению озона в приземном слое атмосферы в весенний период (март-май, Рис. 5). Атмосферные осадки и водная поверхность озера в июне-сентябре увеличивают выведение озона из атмосферы. Максимальные концентрации озона наблюдается в прибрежных областях, на возвышенностях (ст. Листвянка – до 2 ПДКс.с.), минимальные вплоть до нулевых значений – в промышленных городах (Ангарск, Иркутск).

Публикации:

Obolkin V., Potemkin V., Khuriganova O., Khodzher T. Ozone Monitoring in the Baikal Region (East Siberia): Spatiotemporal Variability under the Influence of Air Pollutants and Site Conditions // Atmosphere. 2022. – V. 13. – № 4. – P. 1-10. DOI: 10.3390/atmos13040519

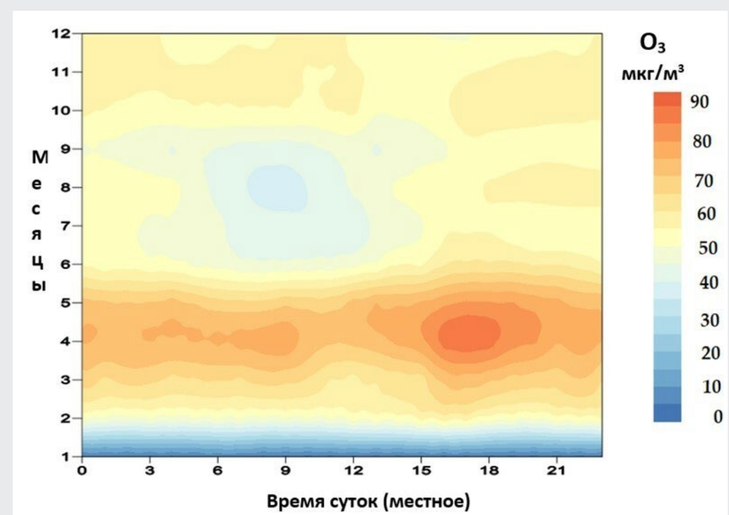


Рис.5. Суточное и годовое распределение приземных концентраций озона на станции Листвянка (650 м над у.м.), 2021 г. Максимум – апрель, 18 часов (максимум солнечной радиация при минимуме атмосферных осадков). Минимум – январь и июль-август, 8-9 часов утра (ослабление генерации O_3).

Номер проекта в Минобрнауки России 0279-2021-0015 / Руководитель: к.б.н., доцент О.И. Белых

Алгоритм для определения статистической репрезентативности данных, полученных с использованием высокопроизводительного секвенирования генов 16S рРНК

Определение таксономического состава сообществ является важным этапом биологических исследований. Для анализа разнообразия микроорганизмов в последнее время широко применяются методы ампликонной метагеномики. Представленность определенного таксона в метагеномных пробах определяется количеством (покрытием) расшифрованных нуклеотидных последовательностей.

Рассмотрен вопрос статистической достоверности используемых показателей представленности таксонов, в частности для минорной компоненты микробиомов. С привлечением многолетних данных анализа микробиомов разработан алгоритм оценки статической репрезентативности выборок последовательностей ДНК, основанный на использовании бутстреп метода (Рис. 1). Применение алгоритма позволяет оценить доверительные интервалы, абсолютные и относительные ошибки показателей представленности таксонов, что значительно повышает достоверность анализа микробных сообществ различного рода экосистем.

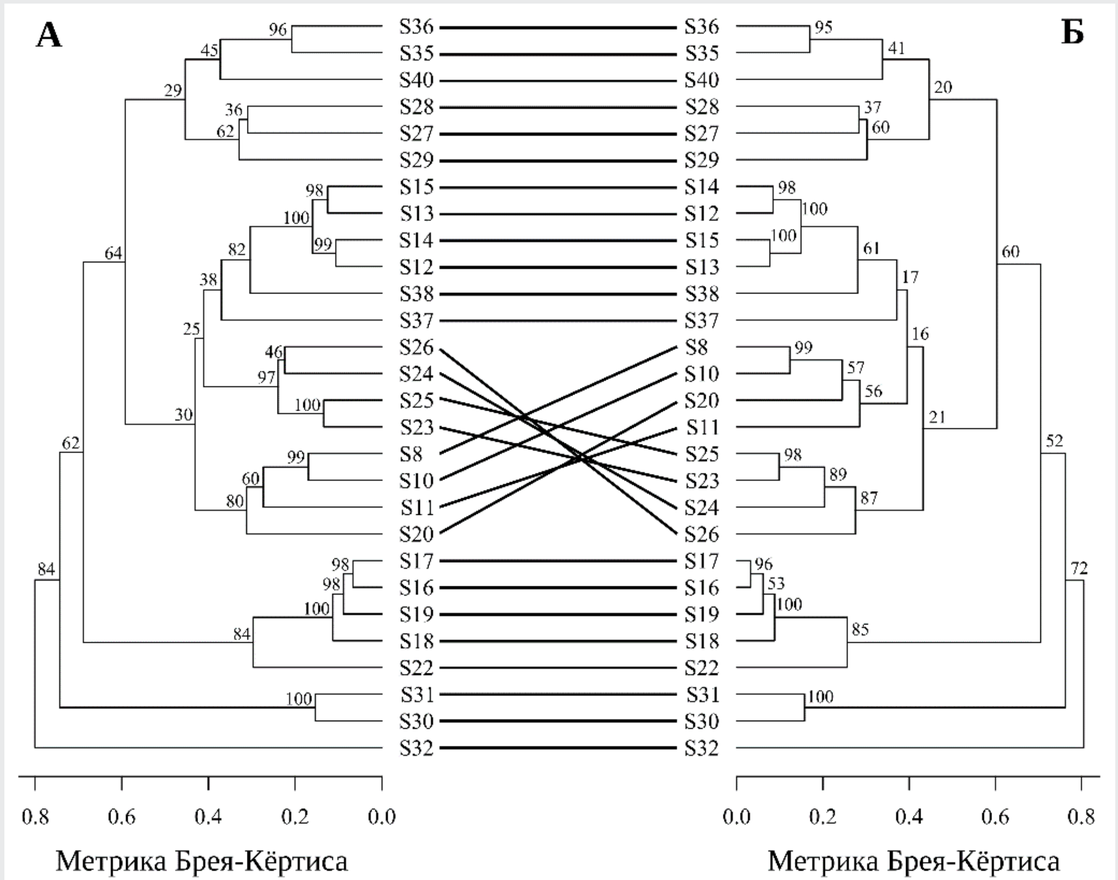


Рис.1. Сравнение UPGMA-дендрограмм на основе дистанций Брея-Кертиса до (а) и после (б) использования предложенного алгоритма. Цифрами на ветвях обозначены значения рассчитанных бутстреп поддержек.

Публикации:

Краснопеев А.Ю., Букин Ю.С., Потапов С.А., Белых О.И. Алгоритм фильтрации наборов данных ДНК-штрихкодирования природных сообществ // Генетика. 2022. – Т. 58. – № 2. – С. 219-231. DOI: 10.31857/S0016675822020084

Разнообразие и биогеография сообществ Т4-подобных бактериофагов в озере Байкал

Хвостатые бактериофаги (порядок Caudovirales) – наиболее многочисленная группа фагов, играющая важную роль в функционировании микробных сообществ. Методом высокопроизводительного секвенирования из оз. Байкал получены последовательности генов капсидного белка (gp23) Т4-подобных фагов в планктонной фракции размером более 0,2 мкм (бактериальной), состав и роль вирусов в которой до настоящего времени практически не изучены в отличие от фракции свободных вирусных частиц.

Кластерный анализ установил уникальность фагов оз. Байкал, показав совместную группировку виромов озера, включая бактериальную и вирусную фракции, и раздельную с виромами других водных экосистем (Рис. 2). Внутри байкальского кластера Т4-подобные фаги распределяются по экотопам: нейстон, планктон, биопленки, губки. Выявлено высокое разнообразие Т4-фагов, что указывает на высокий потенциал этой группы литических вирусов вызывать гибель таксономически разных бактерий, влиять на численность микробных сообществ и, в конечном итоге, на потоки вещества и энергии в оз. Байкал.

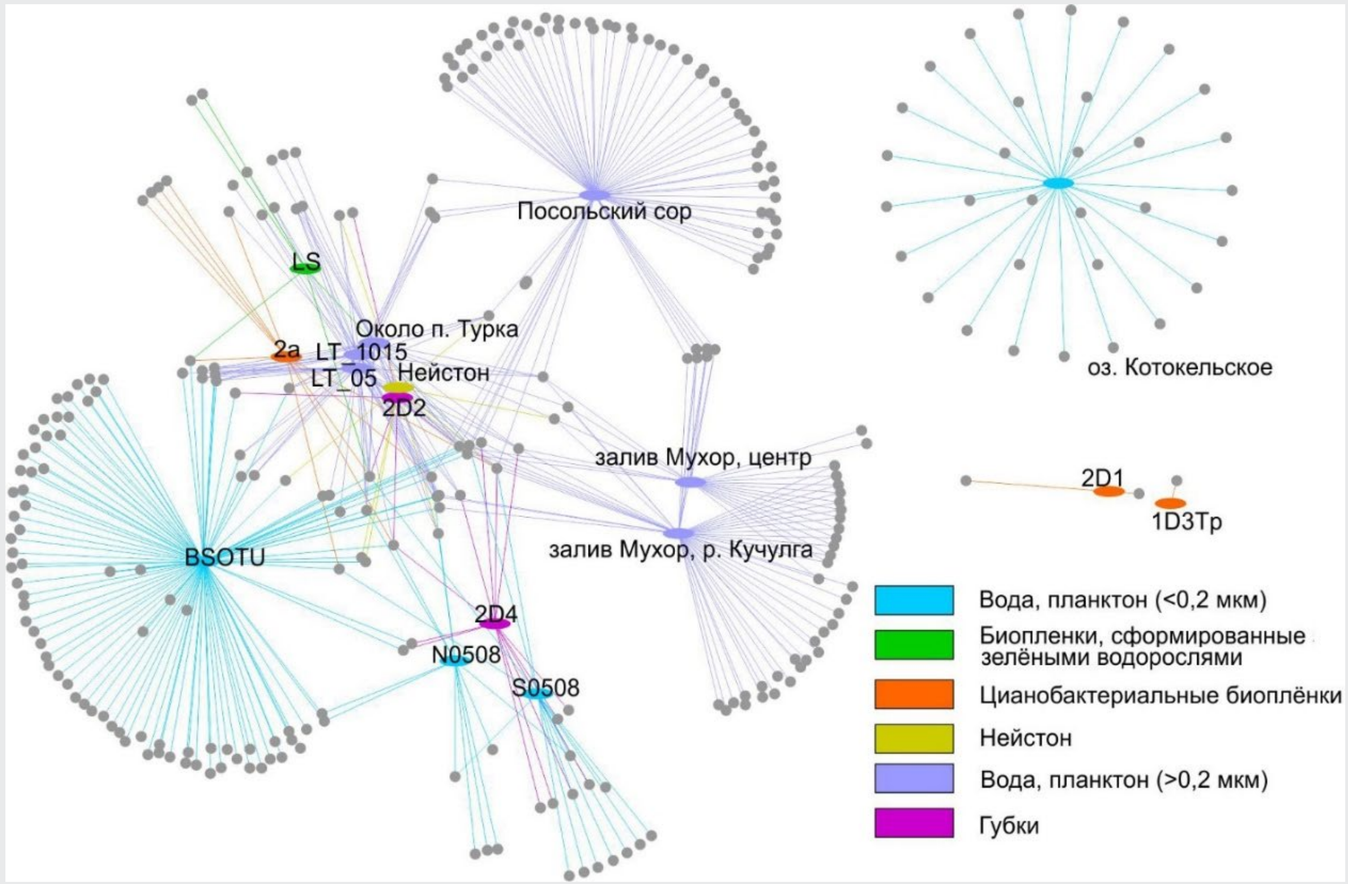


Рис.2. Сеть, демонстрирующая взаимосвязь последовательностей генов основного капсидного белка (gp23) из разных экотопов и фракций оз. Байкал: (Potapov et al., 2022), S0508 и N0508 (Butina et al., 2010); 2D1, 1D3Tp, 2D2, 2D4, Neuston (Potapov et al., 2020) и оз. Котокель (Butina et al., 2013). Овалы – образцы, круги – OTE, общие OTE имеют несколько рёбер от разных образцов.

Публикации:

Potapov S.A., Tikhonova I.V., Krasnopeev A.Yu., Suslova M.Yu., Zhuchenko N.A., Drucker V.V., Belykh O.I. Communities of T4-like bacteriophages associated with bacteria in Lake Baikal: diversity and biogeography // PeerJ. – 2022. – V. 10. DOI: 10.7717/peerj.12748

Номер проекта в Минобрнауки России 0279-2022-0004 / Руководитель: к.г.н. М.М. Макаров

Оптимизация искусственного воспроизводства байкальского омуля *Coregonus migratorius*

Выполнены расчеты зависимости промвозврата и численности нерестового стада от количества скатившихся личинок соответствующего поколения для естественной селенгинской популяции омуля. Известно, средняя многолетняя численность ската личинок составляет 1.4 млрд. Согласно нашим расчетам, увеличении численности ската до 1.5 млрд. приведет к увеличению численности стада до 85-90% от максимально возможного, при скате 2.5 млрд. личинок соответственно. Увеличение ската свыше 2.5 млрд. приведёт к уменьшению численности поколения селенгинской популяции. Аналогичные расчеты выполнены для искусственной популяции из Посольского сора. Максимальная величина промвозврата достигается при численности выпущенных личинок с Большереченского рыбоводного завода 150-250 млн. Дальнейшее увеличение численности выпущенных личинок ведёт к выеданию кормовой базы, что является основной причиной высокой смертности. В результате сформировано предложение по оптимизации деятельности Большереченского рыбоводного завода для перераспределения избыточной мощности в рамках стратегии развития пастбищного рыбоводства сиговых видов рыб, в том числе байкальского омуля. Предлагается выпускать личинок в мелководную зону Малого Моря и в водохранилища Ангарского каскада ГЭС, имеющих значительный рыбохозяйственный потенциал.

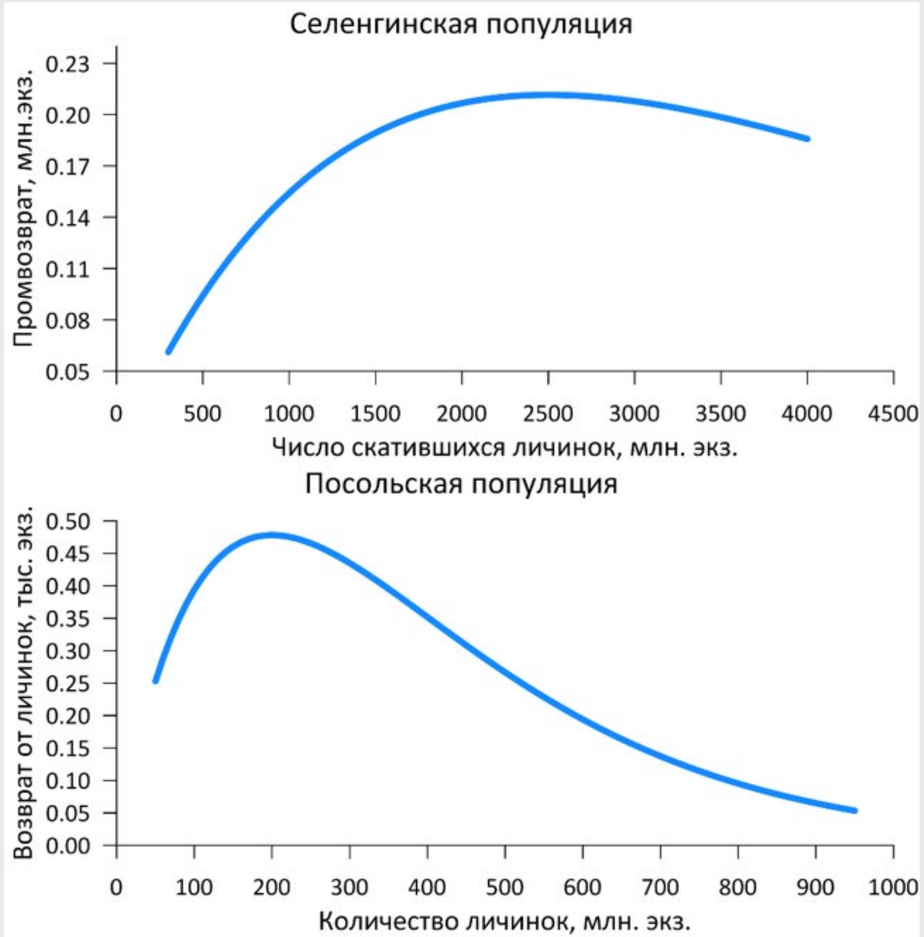


Рис.1. Кривая, отражающая зависимость возврата производителей в нерестовую реку от числа скатившихся личинок данного поколения (Селенгинская популяция) или от числа выпущенных личинок с Большереченского рыбоводного завода (Посольская популяция).

Связь санитарно-микробиологического состояния качества вод с водностью озера Байкал

На примере залива Лиственничный (Рис. 2) выполнены работы по оценке влияния уровня озера Байкал на санитарно-микробиологические показатели качества воды. Ранее на р. Селенге, основном притоке Байкала, было показано увеличение численности санитарно-значимых бактерий во время паводков (Бондаренко и др., 2015). Подобная зависимость наблюдалась в поверхностных водах оз. Танганьика в сезон дождей по сравнению с засушливым сезоном (Mosh et al., 2022). В результате исследования качества воды залива Лиственничный в годы экстремальной водности оз. Байкал (2017–2021 гг.) установлено, что уровень фекального загрязнения не зависит от уровня и температуры воды, а меняется в зависимости от сезона (Таблица 1). В летний и осенний сезоны наблюдается значительно более высокая численность санитарно-показательных микроорганизмов по сравнению с весенним, что можно связать с возрастающей антропогенной нагрузкой.

Рис.2. Карта станций отбора проб: Ст. 1 – Причал-Баржа, Ст. 2 – Напротив устья р. Крестовка, Ст. 3 – Почта, Ст. 4 – Пирс ЛИН СО РАН, Ст. 5 – Нерпинарий, Ст. 6 – Больница, Ст. 7 – Пляж за мысом, Ст. 8 – Фоновая

Таблица 1. Средние значения уровня, температуры воды и численности санитарно-показательных бактерий в зал. Лиственничный в различные годы и сезоны

Показатель	Сезон		
	весна	лето	осень
Уровень воды, м	456,2	456,8	456,8
Температура воды, °С	5,0	10,1	7,0
ОКБ, КОЕ/100 мл	38,5	52,9	59,8
ТКБ, КОЕ/100 мл	24,6	43,3	51,1
Энтерококки, КОЕ/100 мл	14,8	31,7	19,5
ОМЧ при 37 °С, КОЕ/мл	18,8	26,4	52,0

Примечание: ОКБ – численность обобщенных колиформных бактерий; ТКБ – численность термотолерантных колиформных бактерий; ОМЧ – общее микробное число.

Публикации:

Подлесная Г.В., Галачьянц А.Д., Штыкова Ю.Р., Суслова М.Ю., Зименс Е.А., Макаров М.М., Тимошкин О.А., Белых О.И. Санитарно-микробиологическая оценка качества вод залива лиственничный в период экстремальной водности озера Байкал // География и природные ресурсы. 2022. – Т. 5. – С. 163-169. DOI: 10.15372/GIPR20220517

Номер проекта в Минобрнауки России 0279-2022-0003 / Руководитель: д.х.н., профессор В.В. Анненков

Ассимиляция наночастиц синтетических пластиков оомицетами *Pythium aquatile* Höhnk, 1953

Грибы и грибоподобные организмы, в том числе оомицеты, обладают способностью разлагать различные органические материалы, включая синтетические полимеры. Подобная способность является важной с учётом увеличивающегося загрязнения окружающей среды пластиками как крупными предметами, так и микрочастицами. Основным механизмом питания грибов является осмотрофия, при которой организм выделяет в окружающую среду энзимы, вызывающие разрушение целлюлозы и других биополимеров до мелких молекул, которые затем поглощаются клетками путём осмоса. Синтетические пластики более устойчивы к деструкции и, как известно, при разложении в природной среде проходят стадию нанопластика с размером частиц менее 500 нм.

При культивировании оомицетов *P. aquatile* (выделены из байкальской эндемичной зеленой водоросли *Draparnaldioides* spp.) в присутствии флуоресцентно-меченных наночастиц полиметилметакрилата, поливинилхлорида и полистирола установлено, что гифы питиума поглощают наночастицы, причём через сутки частицы пластика практически исчезают (Рис. 1). Таким образом, нами впервые показано, что оомицеты способны поглощать синтетические пластики в виде наночастиц и разлагать их внутри своих клеток.

Публикации:

Annenkov V.V., Danilovtseva E.N., Pal'shin V.A., Zelinskiy S.N., Polyakova M.S., Mincheva E.V. Assimilation of synthetic plastic nanoparticles by the oomycete Pythium aquatile // Limnology and Freshwater Biology. – 2022. – № 6. – P. 1728-1733. DOI: 10.31951/2658-3518-2022-A-6-1728

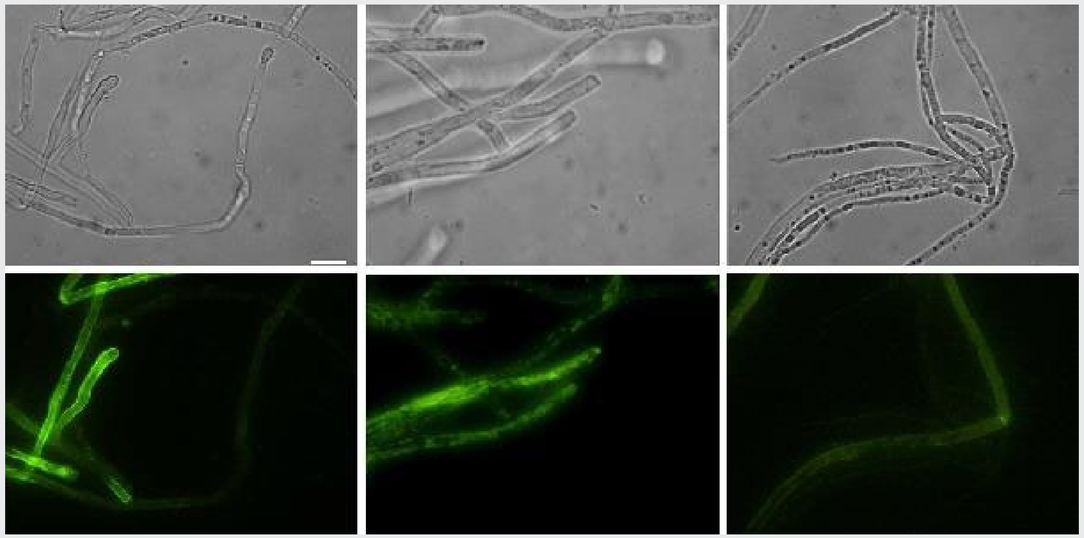


Рис.1. Световые (верхний ряд) и флуоресцентные (нижний ряд) микрофотографии мицелия *P. aquatile*, культивированного в присутствии наночастиц полиметилметакрилата диаметром 80 нм. Время культивирования: 2, 4 и 24 ч, слева направо, соответственно. Масштаб: 10 мкм.

КРУПНЫЙ НАУЧНЫЙ ПРОЕКТ МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Соглашение № 075-15-2020-787 / Руководитель: д.г.-м.н. А.П. Федотов

Формирование концептуальных основ мониторинга экстремальных природных явлений и антропогенных выбросов в атмосфере

За три года выполнения проекта проведена модернизация двух опорных станций мониторинга атмосферы «Листвянка» (51°84′67″N; 104°89′30″E) и «Боярский» (51°50′47″N; 106°04′01″E), расположенных на западном и восточном побережье центральной экологической зоны (ЦЭЗ) Южного Байкала. В результате модернизации станций реализован автоматический режим их работы, включающий сбор, анализ и передачу данных в ЦОД, что позволило завершить работы по созданию региональных центров (Иркутская область, Республика Бурятия) приемки и обработки данных онлайн мониторинга количественного и качественного состава атмосферы на БПТ. Общей особенностью разработанной региональной системы центров сбора и обработки данных является синхронность измерений газовых и аэрозольных примесей, метеорологических параметров в атмосфере в 2-х разнесенных точках БПТ, длительность периодов непрерывных измерений и высокое временное разрешение. Для оперативного доступа, анализа и отображения измеренных данных использована платформа Grafana, к преимуществам которой относят облачные возможности, возможность прямого подключения к базам данных, публикацию дашбордов для внешних пользователей (Рис. 1).

На основе полученных в проекте результатов установлено, что загрязнение атмосферы ЦЭЗ Южного Байкала связано, главным образом, с региональными переносами со стороны крупных индустриальных центров (прежде всего Иркутск, Ангарск, значительно реже со стороны Бурятии). Основной вклад в загрязнение атмосферы ЦЭЗ вносят выбросы высоких источников – крупные угольные ТЭЦ, «трассерными» веществами которых являются оксиды серы, азота, твердые взвешенные частицы. Временная изменчивость концентраций измеряемых параметров на станциях мониторинга происходит синхронно, что указывает на их общий источник происхождения – сжигание угля в крупных городах Прибайкалья.

Выбросы низких источников, таких как автотранспорт и мелкие котельные, сильно загрязняют атмосферу в самих городах оксидами азота, оксидом углерода, (CO, NOx), но оказывают минимальное влияние на ЦЭЗ озера. Показано, что наиболее сильное загрязнение атмосферы в ЦЭЗ Южного Байкала происходит при переносах воздушных масс с севера – запада в зимний период. При переносах с юго-востока Байкала, загрязнение атмосферы минимально.

В рамках выполнения проекта накоплена база данных ежедневных прямых траекторий переноса воздушных масс от региональных источников за 2020-2022 годы, определен долевой вклад неблагоприятных метеорологических ситуаций, при которых выбросы от региональных источников достигали озера Байкал.

Для анализа синоптической ситуации на БПТ на каждые сутки в 2021-2022 гг. создана база данных по региональной синоптике. Накопленные знания о синоптической ситуации, процессах переноса примесей на БПТ позволяют, используя стандартные прогнозы погоды, оценивать ожидаемое количество поступающих в атмосферу озера атмосферных загрязнений.

Показана возможность использования наземных и спутниковых данных для описания процессов распространения примесей на БПТ с достаточной степенью достоверности. Совместный анализ спутниковых данных, траекторных расчетов и данных опорных станций мониторинга

продемонстрировал возможности эффективного использования спутниковых данных для описания процессов распространения примесей на БПТ. Реализованные в ЦП инструменты спутникового мониторинга дают объективное представление об источниках и масштабах загрязнения атмосферы Байкала.

Публикации:

Molozhnikova E., Shikhovtsev M., Obolkin V., Khodzher T. Comparative analysis of satellite and continuous surface measurements of gas impurities in the air basin at the Listvyanka station, Lake Baikal// Proceedings of SPIE. – 2022. – V. 12431. – P. 1-5. DOI: 10.1117/12.2643507

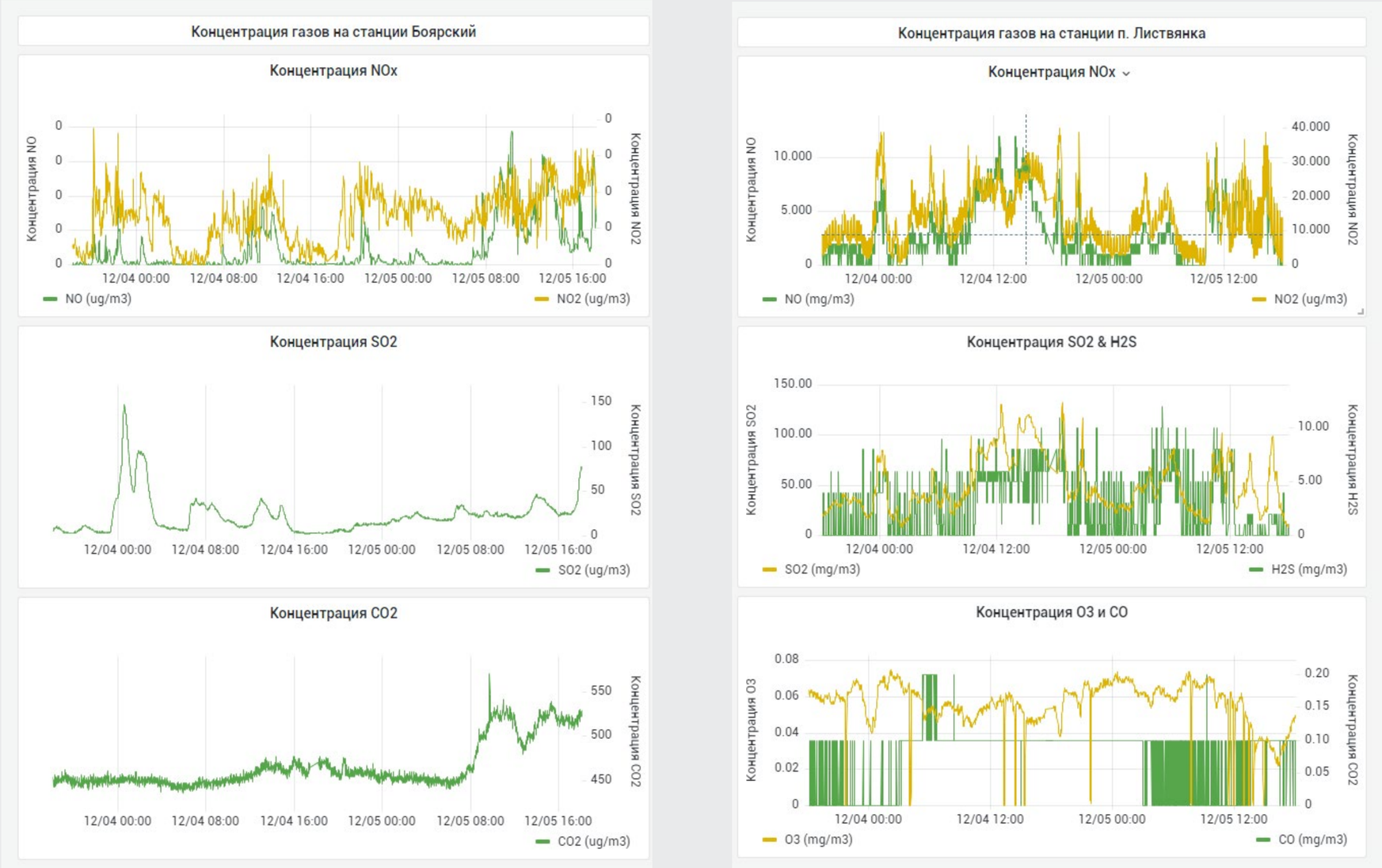


Рис.1. Пример отображения данных с системы мониторинга состава атмосферы на БПТ (ст. «Боярский», «Листвянка»).

Формирование концептуальных основ мониторинга гидрологических режимов водоемов

Для круглогодичного мониторинга вертикального профиля температуры в озере Байкал была разработана распределенная система измерения температуры. Термокоса измеряет мгновенный вертикальный профиль температуры с частотой до 1 Гц и разрешением до 1 мК. Каждый датчик термокосы снабжен микронагревателем с целью реализации термоанемометрического режима работы для оценки скоростей течений на разных глубинах. Опытный образец термокосы состоит из 11 температурных датчиков, расположенных по глубинам от 20 до 120 метров с шагом 10 метров. Таким образом, термокоса покрывает деятельный слой оз. Байкал с наиболее выраженными изменениями температуры в течение всего года. Термокоса была интегрирована в один из стрингов нейтринного телескопа Baikal-GVD (Рис. 2) и подключена к телекоммуникационной сфере, в которую был смонтирован разработанный в ЛИН СО РАН даталоггер. Разработанная система мониторинга позволяет в режиме онлайн получать качественно новые данные о гидрофизическом состоянии деятельного слоя пелагиали оз. Байкал.

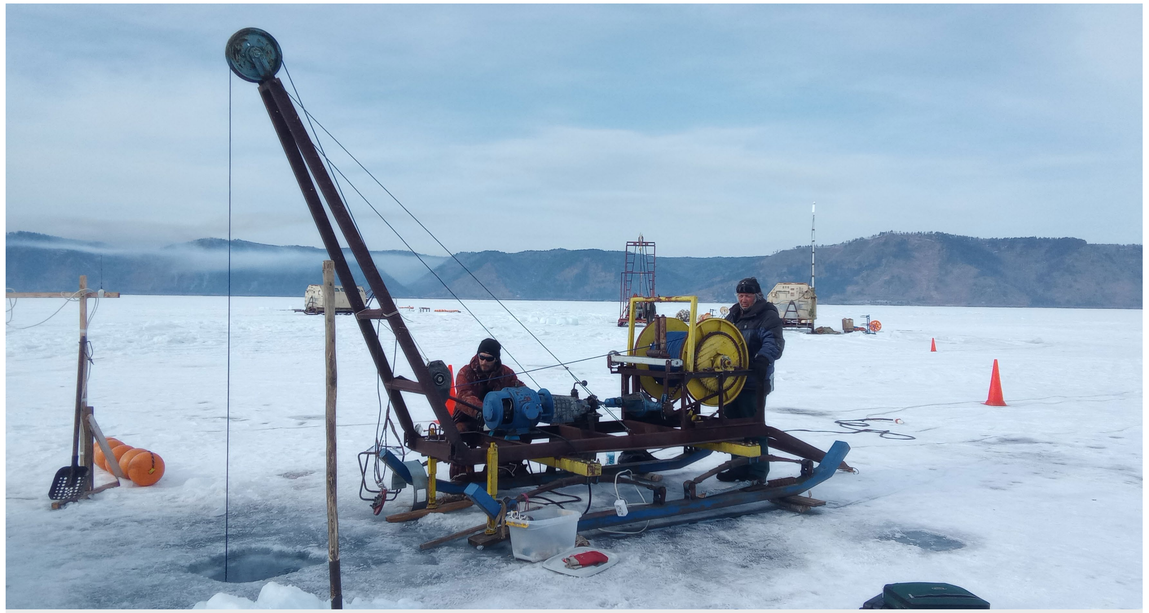


Рис.2. Постановка буйковой станции с термокосой для онлайн мониторинга.

Для принятия, обработки и визуализации получаемой с различных мониторинговых станций информации в ЛИН СО РАН был организован серверный кластер, разработан и внедрен программный комплекс служб центра сбора, обработки и хранения данных (ЦОД). Вся информация поступает в службу-сервер, обеспечивающей двухсторонний обмен данными со станциями, сохранение данных в базу данных под управлением PostgreSQL и контроль регулярности выхода на связь станций мониторинга. Для визуализации и оперативного просмотра поступающей информации организован интерактивный WEB интерфейс с использованием свободно распространяемой BI-платформы Grafana (Рис. 3), обеспечен доступ к информационным панелям внешних пользователей через сеть Internet.

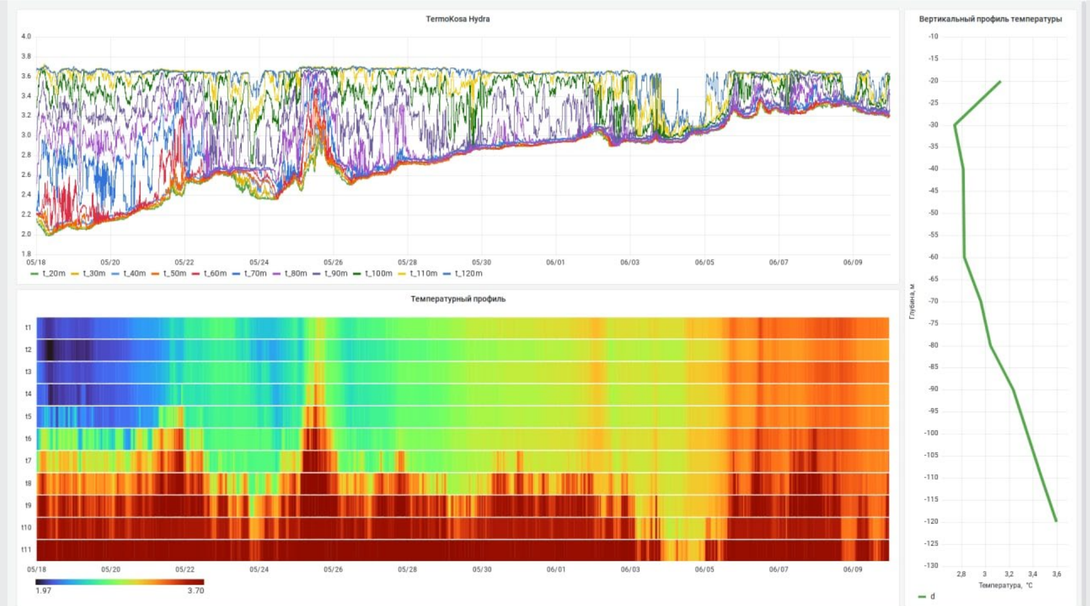


Рис.3. Пример отображения данных с системы онлайн мониторинга деятельного слоя озера Байкал в WEB-интерфейсе центра сбора, обработки и хранения данных.

Публикации:

Асламов И.А., Макаров М.М., Гнатовский Р.Ю., Портянская И.А. Термопрофилирующая система онлайн мониторинга деятельного слоя на базе глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». – 2022. – Т 42. – С. 3-15. DOI: 10.26516/2073-3402.2022.42.3

ПРОЕКТЫ РОССИЙСКОГО НАУЧНОГО ФОНДА

Номер проекта РНФ 22-15-00268 / Руководитель: д.х.н., профессор В.В. Анненков

Фоточувствительные системы на основе биоподобных полиаминов

Проект направлен на создание «интеллектуальных» синтетических химических структур, обладающих чувствительностью к температуре, кислотности среды и свету. В 2022 г. получены новые биоподобные полиамины, содержащие от трёх до 10 и более атомов азота в цепи, аналогичные полиаминам, обнаруженным в диатомовых водорослях. Методом потенциометрического титрования охарактеризованы кислотно-основные свойства полиаминов в 0.1 М растворе NaCl, соответствующем физиологическим условиям. Полученные данные позволят прогнозировать состояние полиаминных фрагментов в целевых фоточувствительных композициях. Совокупность данных динамического светорассеяния, потенциометрического титрования и первоначальные результаты квантово-химического моделирования указывают на важную роль внутри- и межмолекулярных водородных и координационных (через катион натрия) связей на свойства и способность к ассоциации полиаминов. Изучено влияние длины цепи полиаминов на их способность к взаимодействию с полиакриловой и полиметакриловой (ПМАК) кислотами, а также с олигонуклеотидами. Установлено, что длинноцепные полиамины, содержащие 7-8 и более атомов азота, эффективно взаимодействуют с поликислотами. В случае ПМАК стабилизация комплексов, помимо ионных/водородных связей, возможна за счёт гидрофобных взаимодействий с участием метильных групп ПМАК и стабильные комплексы образуются начиная с 4 атомов азота в полиаминной цепи. Проведён синтез фоточувствительного блока на основе гексаарилбиимидазола. Отработан синтез стартового бром-производного, способного при облучении светом обратимо распадаться на два окрашенных радикала. При замещении атомов брома на полиамин $HN(CH_3)(CH_2)_3N(CH_3)(CH_2)_3N(CH_3)H$ удалось получить целевой фоточувствительный продукт (Рис. 1). Подобранные условия позволили провести процесс без заметного протекания побочных реакций (кватернизация третичных атомов азота, присоединение по двум концам полиамина). Полученное соединение содержит активные >NH группы, пригодные для дальнейшей модификации.

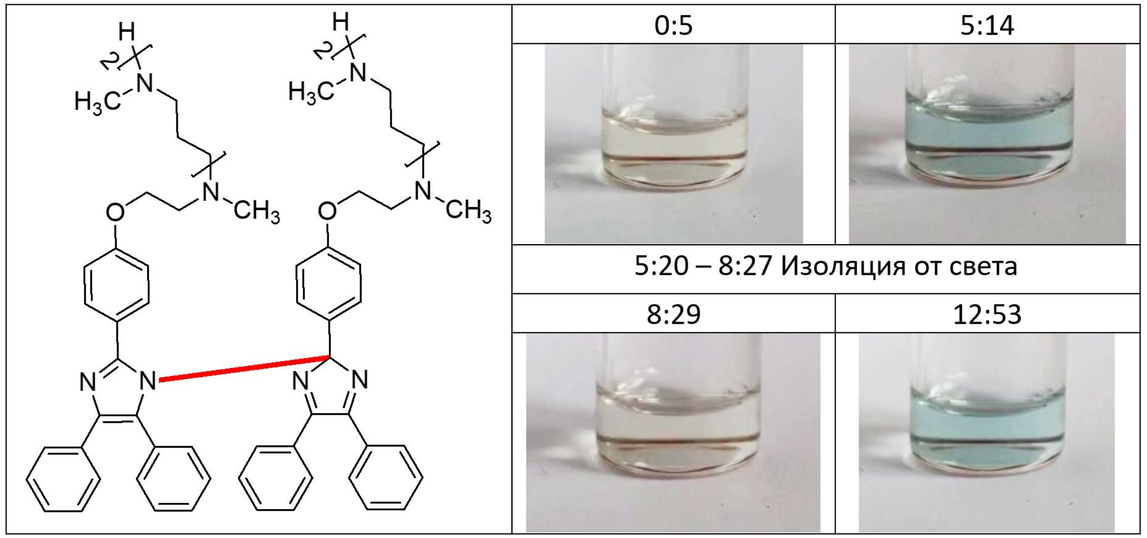


Рис.1. Структура нового фоточувствительного полиамина и результаты освещения его раствора дневным светом. Красным указана разрывающаяся при освещении связь. Время указано в минутах: секундах.

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЛКОВ МТОЦ И ТУБУЛИНОВ И ИХ ФУНКЦИИ В МОРФОГЕНЕЗЕ КРЕМНЕЗЕМНЫХ ПАНЦИРЕЙ У ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ

Номер проекта РНФ 22-24-00080 / Руководитель: к.б.н. Е.Д. Бедошвили

Разный состав комплексов гамма-тубулина и дополнительных структурных белков обеспечивает разнообразие микротрубочковых организующих центров (МТОЦ) среди эукариот. Основным компонентом МТОЦ является гамма-тубулин и белки кольцевого комплекса гамма-тубулин (GCP – gamma complex protein). Согласно проведенным ранее исследованиям МТОЦ диатомовых водорослей играет важную роль не только в делении клетки, но и в морфогенезе кремнеземных створок, обеспечивающих морфологическое разнообразие этой группы микроводорослей. В настоящее время состав МТОЦ диатомей остается малоизученным. В результате сравнительного анализа предсказанных аминокислотных последовательностей нам удалось установить особенности структуры GCP2 и GCP3 диатомей и предположить функционально значимые консервативные аминокислотные остатки, в том числе сайты посттрансляционной модификации. Были впервые идентифицированы последовательности GCP4 у нескольких видов диатомей Mediophyceae. Анализ grip-мотивов, структурных участков, вовлеченных во взаимодействие GCP между собой и гамма-тубулином, и его сравнение с изученными GCP других организмов выявил консенсусные аминокислоты, характерные для диатомей (Рис. 1А). Впервые с помощью гатастатина проведено ингибирование гамма-тубулина у центрической диатомовой водоросли *Aulacoseira islandica*. Показано, что основной морфологические аномалией в строении створок *A. islandica* после воздействия различных концентраций гатастатина является отсутствие соединительных шипов вокруг лицевой части створки (Рис. 1Б). Полученные результаты будут способствовать прогрессу в понимании структуры микротрубочковых центров диатомовых водорослей и его регуляции, а также его участия в морфогенезе видоспецифических кремнеземных створок диатомей.

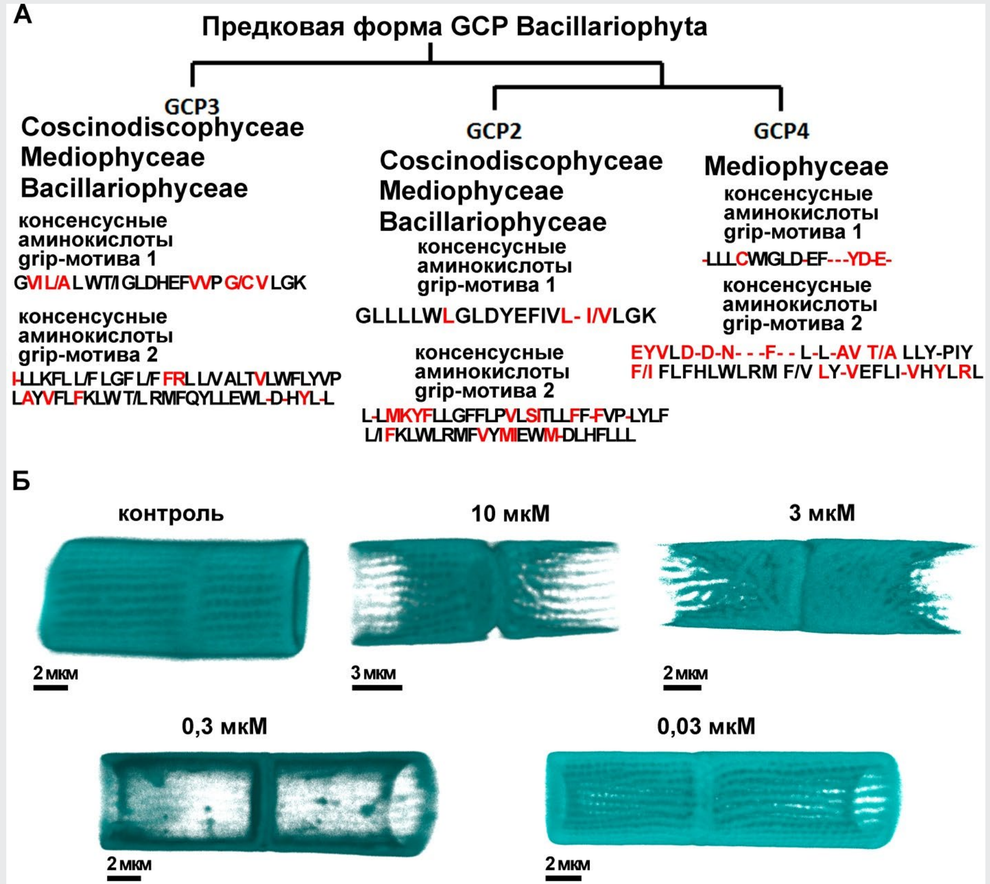


Рис.1. Обобщение филогенетического анализа GCP диатомовых водорослей (А) и лазерная сканирующая конфокальная микроскопия створок *Aulacoseira islandica*, формировавшихся в присутствии разных концентраций гатастатина с окраской PDMPO (Б). На рисунке 1А красным выделены консенсусные аминокислоты, несовпадающие с ранее выделенными для других организмов.

Номер проекта РНФ 22-24-01120 / Руководитель: к.б.н. Т.В. Бутина

Оценка эффективности различных подходов для анализа вирусов в байкальских моллюсках

Главная задача первого этапа проекта заключалась в апробировании методик/способов выделения вирусного материала из образцов моллюсков, обитающих в оз. Байкал, и подборе оптимальной схемы исследования образцов от пробоподготовки до проведения высокопроизводительного секвенирования (next generation sequencing, NGS) и анализа полученных массивов данных. Во время экспедиции 2022 г. на станциях южной котловины оз. Байкал произведен отбор проб различных видов брюхоногих байкальских моллюсков семейств *Benedictia*, *Valvatidae* и *Baicalidae* (Рис. 1). По итогам проведенных работ по пробоподготовке выбран способ анализа вирусов в моллюсках путем NGS-секвенирования суммарных нуклеиновых кислот из образцов, последующей биоинформатической обработки прочтений и выявления вирусных последовательностей. Такой подход повсеместно используется в настоящее время для исследования вирусов водных беспозвоночных. Методы выделения суммарных нуклеиновых кислот (ДНК и РНК) были отработаны на образцах моллюсков *Benedictia baicalensis*. На базе ООО «Институт Геномного Анализа» получены библиотеки выделенных ДНК и РНК моллюсков *B. baicalensis*, которые планируется секвенировать в режиме парноконцевого чтения (PE150) с использованием прибора «MGI Tech» (Китай). В ходе выполнения проекта также осуществлен поиск новых инструментов для обработки данных NGS-секвенирования (метагеномных и метатранскриптомных прочтений). В результате проведена разработка конвейера для обработки и анализа ДНК и РНК (кДНК) библиотек из проб моллюсков – для получения геномных сборок, идентификации в них фрагментов геномов или полных геномов ДНК- и РНК-содержащих вирусов, и оценки функциональной активности выявленных вирусов (Рис. 2). Работа конвейера была апробирована и отработана на наборах метагеномных данных, полученных ранее коллективом проекта при исследовании разнообразия вирусов в воде оз. Байкал и в составе ассоциированных сообществ байкальских губок.

Рис.1. Отбор образцов байкальских брюхоногих моллюсков

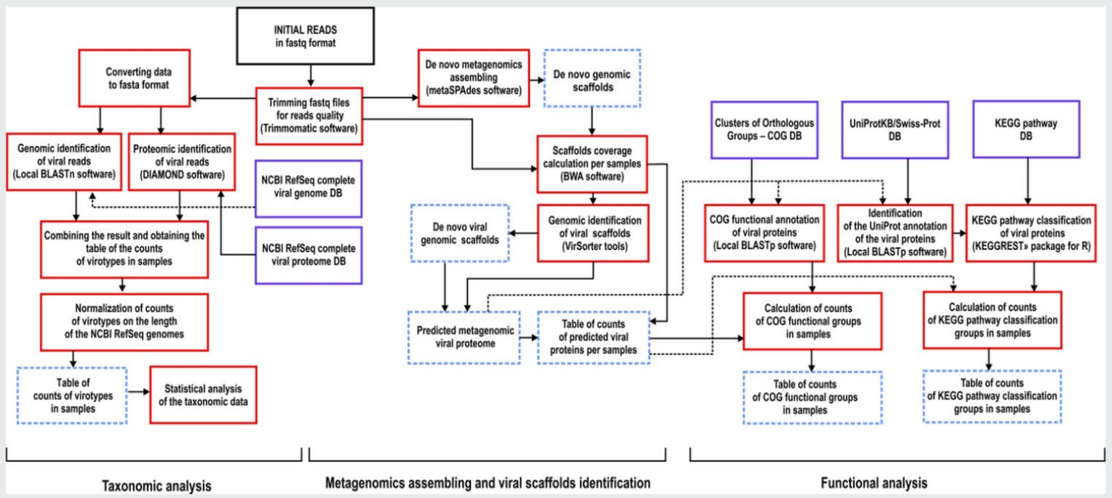


Рис.2. Схема биоинформатического анализа данных NGS-секвенирования

ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНО-ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ НАД АКВАТОРИЕЙ ОЗ. БАЙКАЛ

Номер проекта РНФ 19-77-20058 / Руководитель: д.г.н., профессор Т.В. Ходжер

Проект направлен на решение фундаментальной проблемы физики атмосферы, связанной с исследованием механизмов переноса аэрозольных и газовых примесей в атмосфере Байкала, выявлении природных и антропогенных источников их формирования, оценкой воздействия на окружающую природную среду как на локальном, так и региональном масштабах. В последнее десятилетие, кроме загрязнений от промышленных комплексов Прибайкалья, значительное влияние на состав и свойства атмосферы над озером оказывает дымовой аэрозоль от лесных пожаров. С целью оценки качества атмосферы над Байкалом и ее роли в загрязнении поверхностного слоя воды ежегодно в летние периоды 2019-2022 гг. проводились комплексные эксперименты на НИС с использованием оборудования дистанционного зондирования (лидар «ЛОЗА-А2») ЦКП «Атмосфера» ИОА (г. Томск) и локального контроля – газоанализаторов, счетчиков аэрозольных частиц, метеосистем и других приборов ЛИН СО РАН и ИФМ СО РАН (г. Улан Удэ).

Получены вертикальные разрезы пространственно-временной структуры аэрозольных полей тропосферы над озером до высот 4-10 км, газовых примесей, счетной и массовой концентрации, химического состава аэрозоля в приводной атмосфере. Выявлены основные источники и механизмы загрязнения воздуха, с учетом физико-географических особенностей региона и синоптической ситуации.

Для идентификации источников атмосферного аэрозоля над озером проведен анализ и статистическая обработка неорганических (элементный, ионный состав), органических (ПАУ, черный углерод) соединений. Сделаны расчеты сухого осаждения с аэрозольным веществом на акваторию озера (Рис. 1, 2, 3).

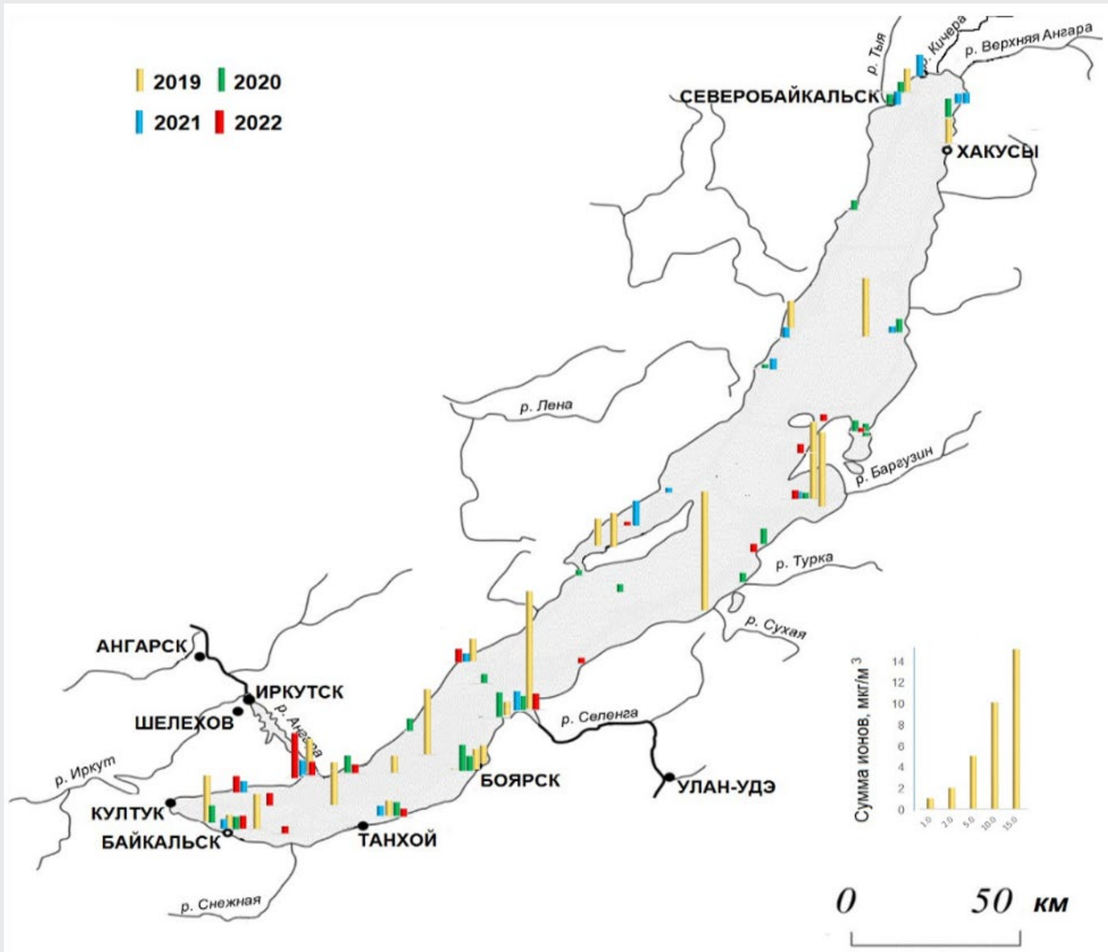


Рис.1.Пространственное распределение суммы ионов в составе аэрозоля приводной атмосферы оз. Байкал, 2019-2022 гг., мкг/м^3

В экспедиции 2022 г., по сравнению с данными 2019-2021 гг., в атмосфере над озером не было зарегистрировано высокое содержание дымового аэрозоля, при котором кратно повышаются концентрации газовых примесей (оксидов азота, серы) и увеличивается массовая концентрация аэрозоля субмикронной фракции.

Публикации:

Zhamsueva G., Zayakhanov A., Khodzher T., Tcydypov V., Balzhanov T., Dementeva A. Studies of the Dispersed Composition of Atmospheric Aerosol and Its Relationship with Small Gas Impurities in the Near-Water Layer of Lake Baikal Based on the Results of Ship Measurements in the Summer of 2020 // Atmosphere. 2022. - V. 13. - №1. - p. 1-16. DOI: 10.3390/atmos13010139

Golobokova L.P., Khodzher T.V., Zhamsueva G.S., Zayakhanov A.S., Starikov A., Khuriganova O.I. Variability of the Chemical Composition of the Atmospheric Aerosol in the Coastal Zone of the Southern Basin of Lake Baikal (East Siberia, Russia) // Atmosphere. 2022. - V. 13. - №7. - p. 1-18. DOI: 10.3390/atmos13071090

Жамсуева Г.С., Ходжер Т.В., Балин Ю.С., Заяханов А.С., Цыдыпов В.В., Пеннер И.Э., Насонов С.В., Маринайте И.И. Экспериментальные исследования аэрозольных и газовых примесей в приводном слое атмосферы оз. Байкал (корабельная экспедиция, сентябрь 2021 г.) // Оптика атмосферы и океана. 2022. - Т. 9. - №35. - С. 704-711. DOI: 10.15372/AOO20220902

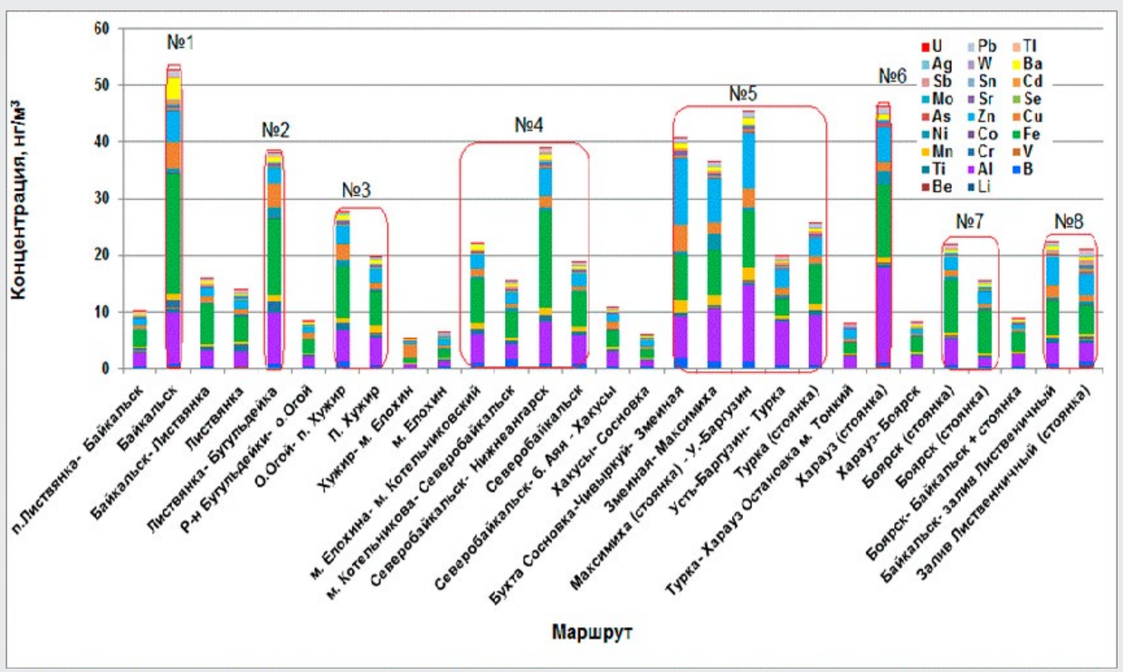


Рис.2. Изменчивость элементного состава в аэрозоле приводного слоя атмосферы оз. Байкал по маршруту НИС «Академик В.А. Коптюг» 24 июля-04 августа 2019 г.

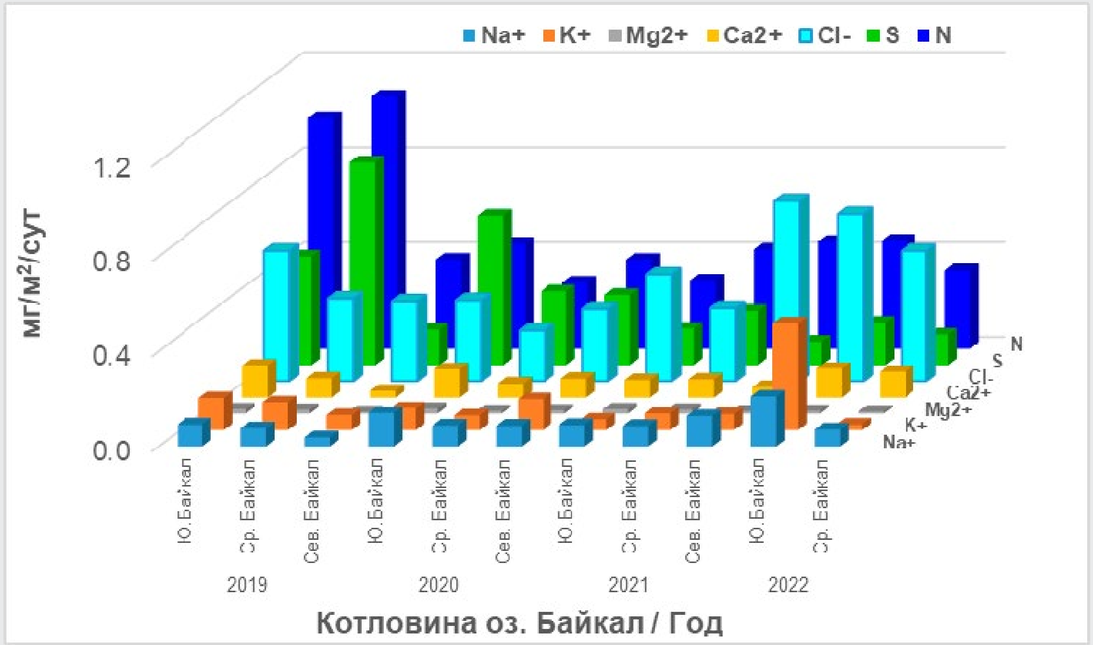


Рис.3. Потоки основных ионов из атмосферы с аэрозольным веществом на акваторию оз. Байкал, 2019-2022 гг.

Номер проекта РНФ 22-24-00612 / Руководитель: С.А. Потапов

Транскриптомы вирусной фракции оз. Байкал

Впервые охарактеризованы метатранскриптомы (совокупность мРНК) вирусной фракции (менее 0,2 мкм) планктона пелагиали древнего олиготрофного озера Байкал. Выявлено доминирование транскриптов ДНК-содержащих вирусов (Рис. 1): бактериофагов и вирусов водорослей. Обнаружены транскрипты, схожие с крупным ядерно-цитоплазматическим вирусом Pithovirus sibericum (Рис. 2), выделенным из мерзлоты Восточной Сибири. Среди РНК-вирусов найдены представители семейств Retroviridae, Metaviridae, Potyviridae, Astroviridae, Closteroviridae, инфицирующие широкий круг хозяев, включая растения, животных, человека. Функциональный анализ показал преобладание категории «репликация вирусов» как свидетельство их активного размножения в воде озера. Кроме того, функциональные категории представляли почти одинаковое соотношение в трех образцах, несмотря на географическую удалённость станций отбора проб. В сравнительном UPGMA-анализе транскрипты из оз. Байкал образовали кластер, обособленный от метатранскриптомов других экосистем, демонстрируя уникальность вирусных сообществ оз. Байкал.

Одно из самых значимых применений секвенирования вирусных нуклеиновых кислот для исследований Байкала связано с потенциальными оценками здоровья экосистемы. Данные, полученные при секвенировании, могут быть использованы для быстрого и относительно недорогого выявления присутствия опасных для здоровья человека и животных вирусов.

Публикации:

Potapov S., Krasnopeev A., Tikhonova I., Podlesnaya G., Gorshkova A., Belykh O. The Viral Fraction Metatranscriptomes of Lake Baikal // Microorganisms. 2022. – V. 10. – № 10. – P. 1-20. DOI: 10.3390/microorganisms10101937

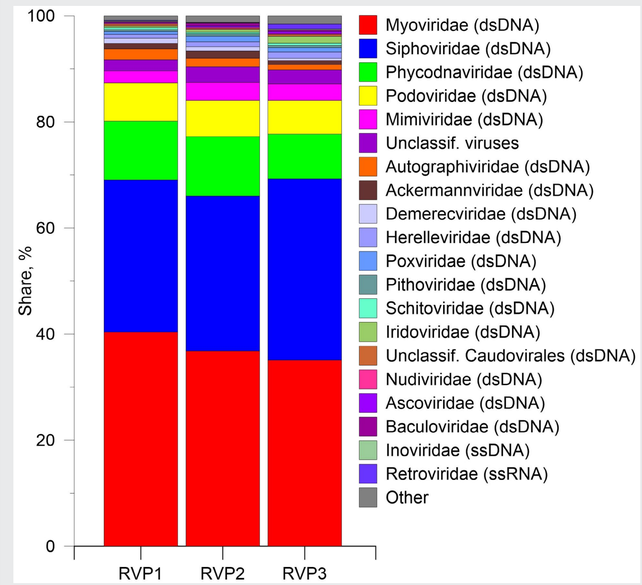


Рис.1. Представленность вирусных таксонов на уровне семейств в транскриптомах оз. Байкал. dsDNA – двухцепочечные ДНК вирусы, ssDNA – одноцепочечные ДНК вирусы, ssRNA – одноцепочечные РНК вирусы. RVP1 – ц. ст. пос. Листвянка – пос. Танхой, RVP2 – ц. ст. мыс. Ухан – мыс. Тонкий, RVP3 – ц. ст. мыс Елохин – Пос. Давша.

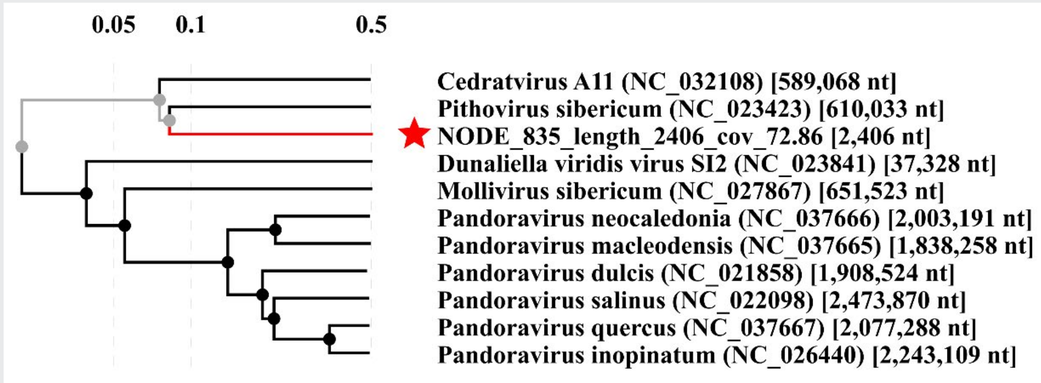


Рис.2. Дерево, построенное с последовательностью Node_835 (отмечена звёздочкой). По базе данных RefSeq ближайшим родственником этого контига является Pithovirus sibericum.

МЕТАГЕНОМНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ В ГРАДИЕНТНЫХ ЗОНАХ ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩИ ОЗЕРА БАЙКАЛ, ПОИСК НОВЫХ ТАКСОНОВ И МЕТАБОЛИЧЕСКИХ ПУТЕЙ

Номер проекта РНФ 22-14-00084 / Руководитель: д.б.н. Т.И. Земская

Описание и геномный анализ факультативной литоавтотрофной термофильной бактерии рода *Thermaerobacter*, изолированной из низкотемпературных осадков озера Байкал

Из низкотемпературных аэробных поверхностных осадков метанового сипа Посольская Банка (оз. Байкал) выделен термофильный штамм *Thermaerobacter* sp. PB12/4term (=VKM B–3151^T) (Рис. 1) с нехарактерным для типовых видов метаболизмом. В отличие от других близкородственных представителей рода, штамм способен к факультативно литотрофному росту с использованием водорода, соединений серы и CO_2, что обеспечивается наличием ферментов гидрогеназ, отсутствующих у ближайших гомологов. Филогеномный анализ с помощью GTDB-tk подтвердил его тесное родство с представителями рода *Thermaerobacter*, что не позволило идентифицировать штамм PB12/4term как новый вид р. *Thermaerobacter*. Полученные данные о физиологических и биохимических отличиях штамма PB12/4term расширяют наши знания о функциональной активности бактерий рода *Thermaerobacter*. Оптимальная температура роста 60°C, нехарактерная для донных осадков оз. Байкал, может свидетельствовать о его глубинном происхождении и поступлении в поверхностные осадки вместе с газонасыщенными флюидами.

Публикации:

Pavlova O.N., Tupikin A.E., Chernitsyna S.M., Bukin Yu.S., Lomakina A.V., Pogodaeva T.V., Nikonova A.A., Bukin S.V., Zemskaya T.I., Kabilov M.R. Description and genomic analysis of the first facultatively lithoautotrophic, thermophilic bacteria of the genus Thermaerobacter isolated from low-temperature sediments of Lake Baikal // Microbial Ecology. 2023. - p. 1-16. DOI: 10.1007/s00248-023-02182-1

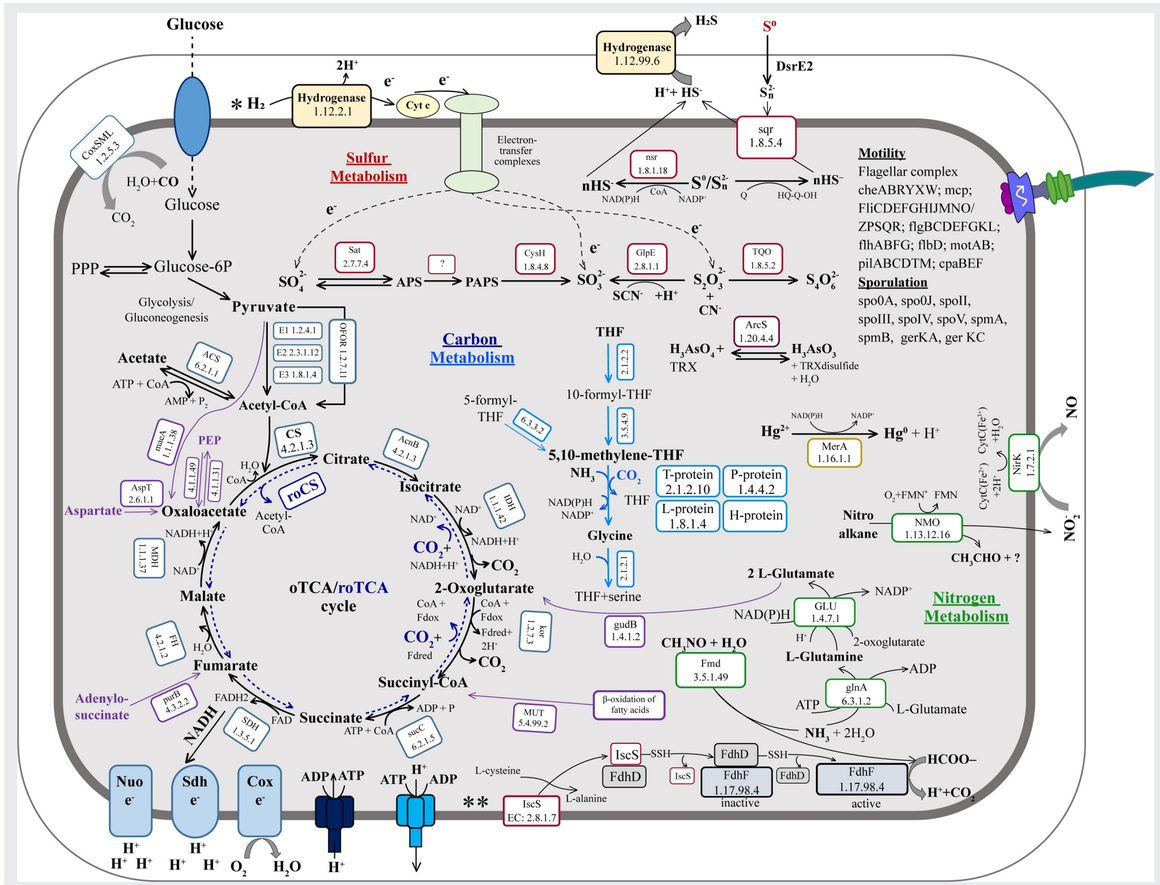


Рис.1. Схема метаболизма *Thermaerobacter* sp. PB12/4term.

МЕТОД ОЦЕНКИ ДОЛИ ПОЛОВОГО РАЗМНОЖЕНИЯ У ОРГАНИЗМОВ СО СМЕШАННОЙ РЕПРОДУКТИВНОЙ СТРАТЕГИЕЙ

Номер проекта РНФ 22-24-00791 / Руководитель: д.б.н. Д.Ю. Щербаков

Разработан метод определения соотношения бесполого и полового размножения на основании результатов анализа генетического полиморфизма особей, отобранных из исследуемой популяции, который производится с помощью компьютерного моделирования популяционных процессов и анализа выборок их «модельных популяций» in silico. Объектно-ориентированные компьютерные симуляции используют организмы-объекты, обладающие следующими свойствами: в модели генетическое разнообразие возрастает за счет случайных мутаций и уменьшается за счет поглощения аллелей в результате генетического дрейфа. Таким образом, результаты симуляции должны зависеть от размера модельной популяции, что также отражает свойства природных популяций. В этом варианте модели, использовались три несцепленных физически маркера, по три аллеля у каждого (a1,a2,a3;b1,b2,b3;c1,c2,c3 на Рис. 1). Эта организация соответствует трем микросателлитным маркерам. Математическая модель и результаты работы опубликованы на GitHub: https://github.com/YuriLamy/Valinor. Модель позволяет исследовать изменения частот аллелей нескольких маркеров и вычислять различные метрики генетического разнообразия. В рамках задачи, стоящей перед настоящим проектом, наибольший интерес представляет количественная оценка средней неравновесности сцепления, гаплотипического разнообразия (S) и информационной энтропии Шеннона. При полностью половом размножении и нейтральности аллелей среднее значение неравновестности или корреляции во всех парах маркеров должны стремиться к нулю. Однако, чем выше доля бесполого размножения, тем больше сказывается снижение уровня рекомбинации и тем ближе средняя неравновесность к единице.

Выводы теоретических исследований:

• Смешение репродуктивных стратегий приводит к накоплению отклонений от равновесного соотношения частот аллелей, микросателлитных маркеров и SNP.

• Для оценки соотношения полового и бесполого размножения наиболее перспективным представляется использование критерия, включающего гаплотипическое разнообразие для микросателлитных маркеров, и использование среднего значения одной из метрик неравновесности сцепления, определенного для большого количества SNP- маркеров.

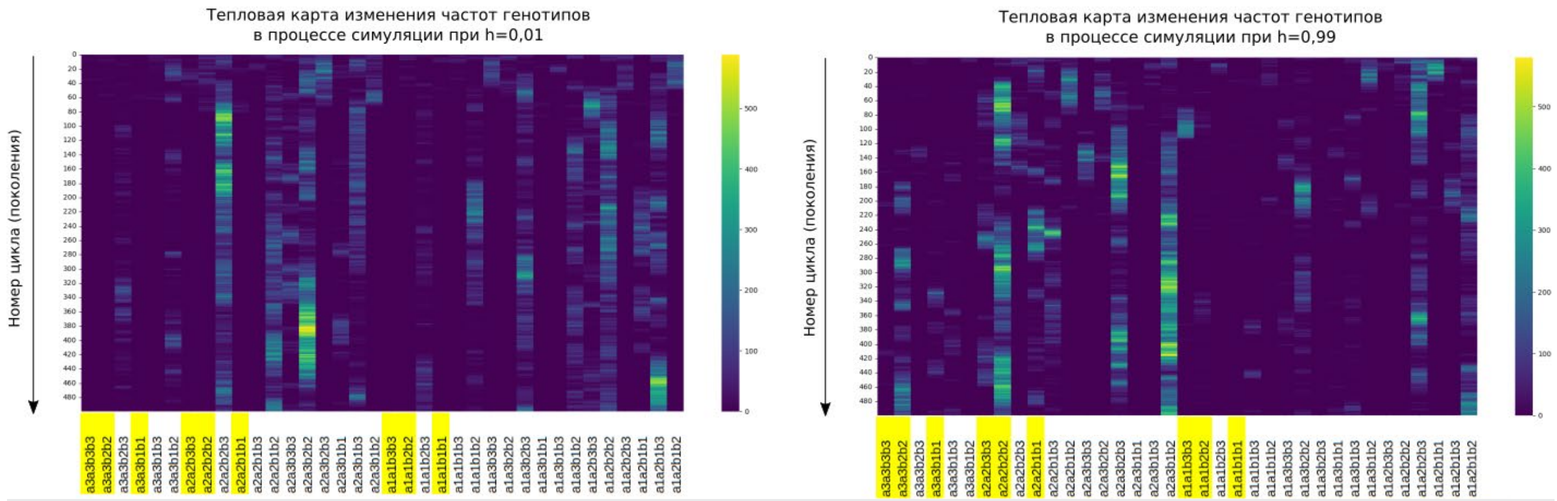


Рис.1. Тепловые карты изменения частот генотипов во время симуляции при разных значениях h

АНАЛИЗ ТАКСОНОМИЧЕСКОГО СОСТАВА И МЕТАБОЛИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ НИЖНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛЬДА И ФОТИЧЕСКОГО СЛОЯ В ЛЕДОВЫЙ ПЕРИОД В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

Номер проекта РНФ 21-74-00147 / Руководитель: к.б.н. М.В. Башенхаева

В ходе проекта были отобраны пробы воды с нижней поверхности льда и из фотического слоя (0–25 м) в ледовый период 2022 г. Проведен анализ видового состава и количественных показателей фито- и бактериопланктона. Для метагеномного анализа пробы разделены на бактериальную фракцию (осаждение на фильтры 0,22 мкм) и эукариотическую фракцию, включая также бактерий, ассоциированных с эукариотами (осаждение на фильтры 5 мкм). В результате получено 6 парноконцевых библиотек размером около 30 млн прочтений для бактериальной фракции и около 60 млн прочтений для эукариотической. Таксономический анализ очищенных библиотек указывает на преобладание в бактериальной фракции представителей бактериальных филумов *Proteobacteria*, *Actinobacteria* и *Cyanobacteria* в интегральных пробах (Рис. 1А), а также *Bacteroidetes* в составе пробы нижней поверхности льда (Рис. 1Б). Первичный анализ показал доминирование в пробах цианобактерий рода *Synechococcus*. Значительную долю составляли следующие таксоны: *Candidatus Planktophila versatilis, Ilumatobacter, Corynebacterium, Cyanobium, Bradyrhizobium, Polynucleobacter, Acidovorax,*

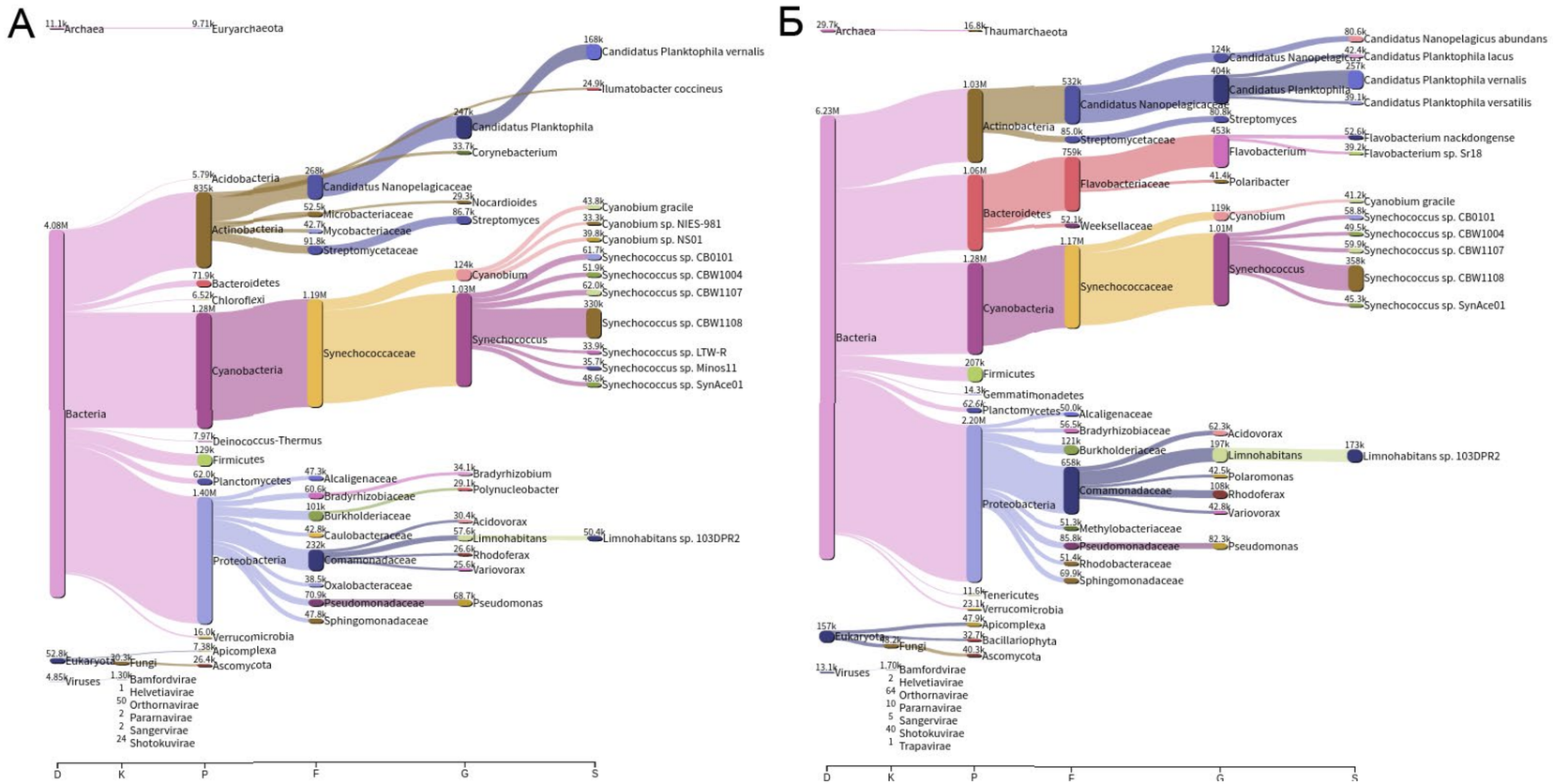


Рис.1.Таксономическое распределение прочтений в бактериальной фракции (осаждение на 0,22 мкм фильтр) по данным метагеномного анализа. А. Сообщество фотического слоя (0-25 м) в ледовый период; Б. Сообщество нижней поверхности льда.

Limnohabitans, Rhodoferax, Variovorax и *Pseudomonas*. Помимо данных таксонов в сообществе нижней поверхности льда существенную долю составляли *Flavobacterium*. В эукариотической фракции значительна доля *Bacillariophyta*, также в пробах были обнаружены *Ascomycota, Basidiomycota, Apicomplexa*. Помимо бактериальных и эукариотических прочтений, в пробах обнаружено небольшое количество архейных последовательностей, относящихся к филумам *Euryarchaeota* и *Thaumarchaeota*; а также вирусных прочтений – *Bamfordvirae, Helvetiavirae, Orthornavirae, Pararnavirae, Sangervirae, Shotokuvirae, Trapavirae* и *Loebvirae*.

Проведен первичный анализ метаболического потенциала бактериальной фракции. Показано, что из всех полученных прочтений к аннотированным генам относится 71.69%, к неаннотированным – 27.5% и 0.8% генов, ответственных за рРНК (Рис. 2А). Среди основных метаболических классов наибольшее количество аннотированных прочтений имели подсистемы на основе кластеров (CBSS) и углеводный обмен (Рис. 2Б). Около 4% составляли гены, ответственные за синтез жирных кислот и липидов, что может быть связано с адаптацией к низким температурам. На основе метагеномных данных был проведен поиск генов, отвечающих за механизмы адаптации к низкой температуре (синтез десатураз, белков холодового шока или антифризных белков). Всего было найдено 98 последовательностей, предположительно относящихся к белкам холодового шока, 8 – к антифризным белкам и 397 – к десатуразам жирных кислот.

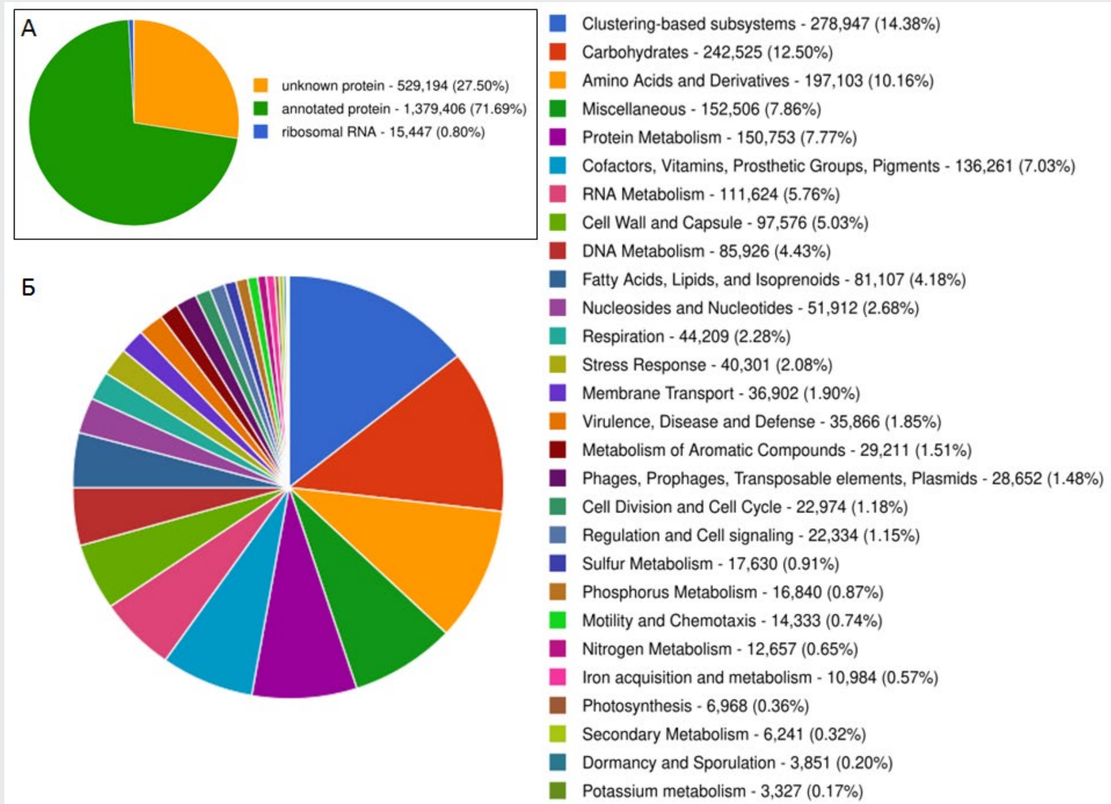


Рис.2. Данные первичного анализа метаболического потенциала бактериальной фракции сообществ нижней поверхности льда и фотического слоя в ледовый период. А. Процентное соотношение аннотированных и неаннотированных генов и генов, кодирующих рРНК; Б. Относительное распределение основных метаболических классов с использованием онтологии Subsystems.

Публикации:

Bashenkhaeva M.V., Yeletskaya E.V., Tomberg I.V., Marchenkov A.M., Galachyants Yu.P. Under-ice bacterial and microeukaryotic communities of Lake Baikal: diversity, functional features and comparison of free-living and particle-associated communities // FEMS Conference on Microbiology in association with Serbian Society of Microbiology (30 June - 2 July 2022, Serbia), electronic abstract book – 2022. – P. 590–591

СОЗДАНИЕ ЗАДЕЛА В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ DDRAD СЕКВЕНИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ФИЛОГЕНИИ LUBOMIRSKIIDAE

Номер проекта РНФ 22-24-01037 / Руководитель: к.б.н. В.Б. Ицкович

В ходе первого года выполнения проекта было проведено несколько экспедиций для сбора образцов губок. Для неидентифицируемых на основе морфологии образцов мы провели анализ D3 домена 28S рДНК. Полученные последовательности были депонированы в GenBank NCBI (номера доступа OP558490-OP558521). Впервые выполнен филогенетический анализ на основе 28S рДНК, включающий 16 видов пресноводных губок. Анализ генетической вариабельности D3 домена 28S рДНК у Spongillida показал, что межвидовая изменчивость превышает внутривидовую. *Ephydatia muelleri*, *Spongilla lacustris* и *Eunapius fragilis* образуют монофилетические клады, и следовательно D3 домен 28S рДНК можно использовать для их ДНК штрих-кодирования (Рис. 1). Для байкальских губок использование этого маркера важно, так как безгеммульные Spongillidae и Lubomirskiidae в некоторых случаях неотличимы друг от друга по морфологии. Было показано, что 28S рДНК пригодна для идентификации пресноводных губок Spongillida на уровне семейства и вида. Нуклеотидные замены по этому консервативному маркеру были выявлены у экземпляров Lubomirskiidae как с морфологическими различиями, так и без них. Это может свидетельствовать о криптическом видообразовании байкальских губок. Образцы 7 видов Lubomirskiidae, в том числе генетически дивергентные по фрагменту 28S рДНК, были отобраны для проведения ddRAD-анализа. Также в анализ были взяты неидентифицируемые согласно морфологии образцы с промежуточными морфологическими характеристиками. Далее были получены библиотеки и успешно проведено ddRAD секвенирование для 72 образцов Lubomirskiidae.

Публикации:

Itskovich V., Kaluzhnaya O., Glyzina O. The Utility of 28S rDNA for Barcoding of Freshwater Sponges (Porifera, Spongillida) // Diversity. 2022. - V. 14. - №1126. - p. 1-9. DOI: 10.3390/d14121126

Itskovich V.B., Kaluzhnaya O.V., Glyzina O.Y. The problem of species delimitation within the endemic Lake Baikal sponges Lubomirskiidae // Limnology and Freshwater Biology. 2022. - №5. - p. 1671-1674. DOI: 10.31951/2658-3518-2022-A-5-1671

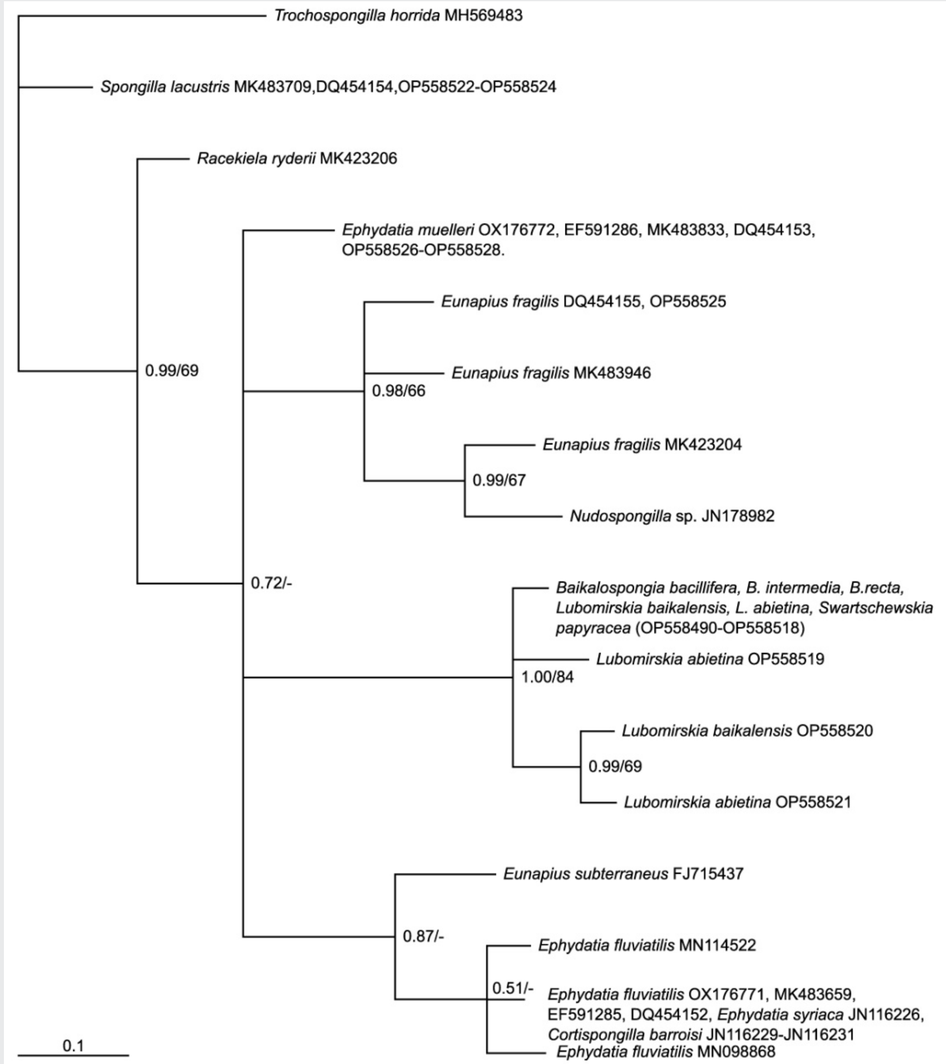


Рис.1. Филогенетическое древо, полученное байесовским методом на основе последовательностей 28S рДНК (287 п.о.) Spongillida. Узлы древа охарактеризованы апостериорными вероятностями (PP > 0.50) и бутстреп поддержкой (ML; bp > 50%). Последовательность Trochospongilla horrida (Spongillidae; GenBank MH569483) была использована как аутгруппа.

ПРОЕКТЫ РОССИЙСКОГО ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ БЫТОВЫХ ПЛАСТИКОВ: ВЛИЯНИЕ НА ГИДРОБИОНТОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТА И В ПРИРОДНОЙ СРЕДЕ

Номер проекта РФФИ 19-05-50008 / Руководитель: д.х.н., профессор В.В. Анненков

Наночастицы бытовых пластиков: возможные опасности для водных организмов

Впервые экспериментально оценены возможные концентрации наночастиц бытовых пластиков (полистирол, поливинилхлорид, полиметилметакрилат), образующиеся при деструкции в водной среде. Показано, что ожидаемые концентрации ниже 0.01 мг/л, что делает сомнительным их обнаружение и, тем более, количественное определение в естественных условиях. Отработаны условия получения флуоресцентных наночастиц на основе бытовых пластиков. Для изученных одноклеточных гидробионтов (диатомовые водоросли *Ulnaria ferefusiformis* и динофлагелляты *Gymnodinium corollarium*) негативное влияние наночастиц пластиков происходит при концентрации 0.1-1 мг/л (Рис. 1), у брюхоногих моллюсков *Benedictia baicalensis* при 1 мг/л. Рыбы *Danio rerio* переносят концентрации 15 мг/л даже на стадии мальков, без последствий для будущего потомства; пластик, попадающий в них с пищей, выводится с фекалиями. Данные концентрации недостижимы в обычных водоёмах и представимы лишь в неких крайне загрязнённых местах типа Большого тихоокеанского мусорного пятна. Между тем нанопластик действует отрицательно на спикулогенез в кремнистых губках *Lubomirskia baicalensis* при концентрациях 0.001-0.005 мг/л, что связано, вероятно, с фильтрующим характером питания данных организмов, способствующим накоплению пластика в организме. Одноклеточные организмы, способные к гетеротрофному питанию, например динофлагелляты, страдают от пластиковых наночастиц, но в то же время способны перерабатывать нанопластик.

В целом полученные результаты позволяют более объективно подойти к оценке рисков загрязнения окружающей среды пластиками и представляют основу для дальнейших масштабных работ, в том числе с применением биохимических и генетических методов. При оценке состояния экосистем, возможно подверженных загрязнению пластиком, особое внимание следует обращать на фильтрующие организмы и одноклеточные организмы, способные к гетеротрофному питанию.

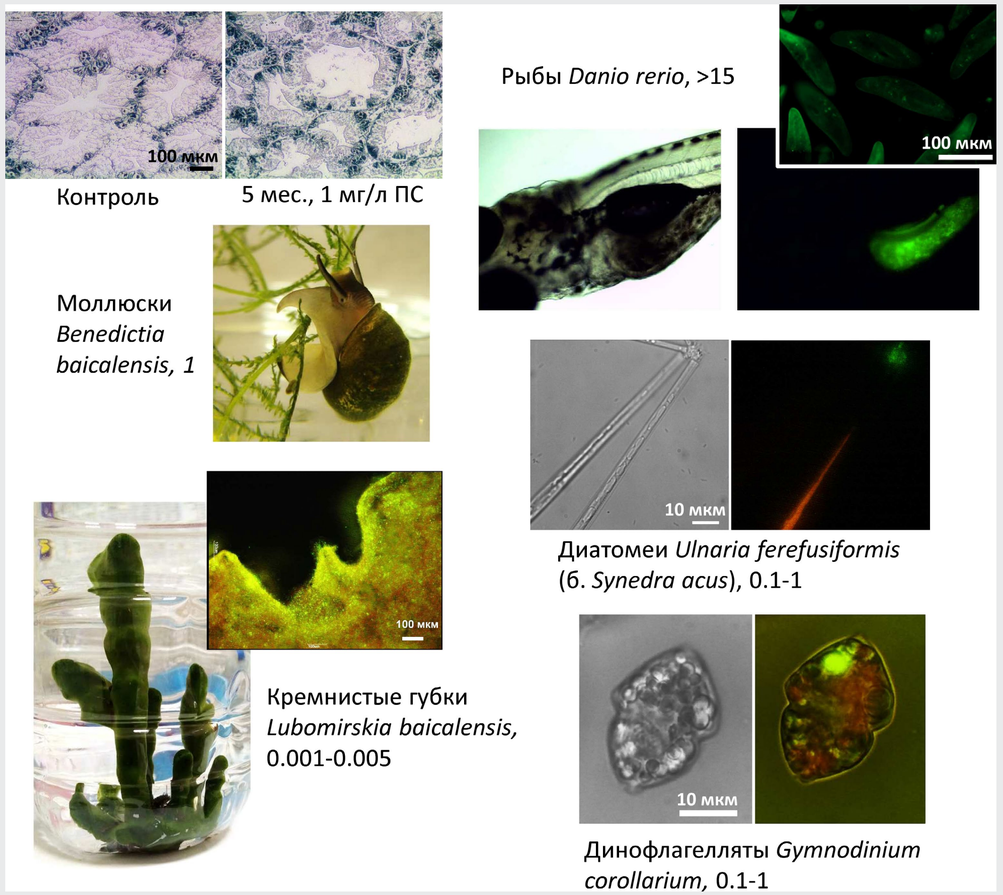


Рис.1. Изученные организмы и концентрации (мг/л) нанопластика, вызывающие их угнетение. Моллюски: гиспатологические изменения пищеварительной железы (гипертрофия и некроз канальцев); рыбы: флуоресцентные наночастицы проникают в корм (инфузории *Paramecium caudatum*), что вызывает окрашивание желудка мальков без дальнейших видимых последствий; диатомеи: нанопластик не проникает в клетки, но блокирует области двугубого выроста (rimoportula), важного для функционирования клетоу; динофлагелляты: виды, способные к гетеротрофному питанию, накапливают и перерабатывают сублетальные количества нанопластика в пищевых вакуолях: губки: благодаря фильтрующему характеру питания поглощают значительные количества нанопластика даже при малых его концентрациях.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ГЕНОМИКА ПРЕСНОВОДНЫХ ГУБОК (PORIFERA; SPONGILLIDA)

Номер проекта РФФИ 20-04-00868 / Руководитель: к.б.н. В.Б. Ицкович

На основе молекулярных данных (транскриптомные, геномные и метагеномные данные, мультилокусный анализ) прояснены филогенетические отношения и таксономия Spongillida, изучена адаптация к повышенной солености. Получены последовательности полных геномов трех видов Spongillidae: *Meschnikowia tuberculata*, *Rosulaspongilla alba*, *Radiospongilla crateriformis*. Размеры полученных геномов составили около 150-170 миллионов пар оснований. Таким образом, из пяти проанализированных нами ранее и в ходе данного проекта геномов (*L. baikalensis*, *Stratospongilla sp.*, *M. tuberculata*, *R. alba, R. crateriformis*) и одного имеющегося в генбанке (*E. muelleri*) необычно большой размер генома выявлен только у байкальской губки *Lubomirskia baikalensis*.

С помощью филогеномного анализа на основе транскриптомных данных было впервые доказано, что рода *Spongilla* и *Eunapius* формируют хорошо поддержанную кладу, в то время как род *Ephydatia* парафилетичен. Анализ на основе полных митохондриальных геномов показал близкое родство *Ephydatia muelleri* с Lubomirskiidae, а *E. fluviatilis* – с *Metschnikowia tuberculata*. Род *Ephydatia* является видом – основателем для радиаций эндемичных видов спонгиллид в древних озерах. Полученные данные впервые дают прочную основу для дальнейшего пересмотра отряда Spongillida на уровне семейств.

На основе полученных молекулярных данных губки *Spongilla alba*, обитающие в солоноватых водах были отнесены нами к новому роду *Rosulaspongilla* gen. nov., включающему два новых вида. Впервые морфологическими и молекулярными методами проанализирован видовой состав губок Телецкого озера. Выявлено, что все собранные образцы относятся к виду *Spongilla lacustris*. Отсутствие эндемичных видов губок в глубоководном Телецком озере, в отличие от озера Байкал, имеющего сходные экологические условия, вероятно, связано с малым геологическим возрастом озера.

Проведен метагеномный анализ микробиомов 12 видов пресноводных губок, включая обитающих в солоноватых водах *M. tuberculata* и *R. alba*, выявлено существенное различие микробиомов (Рис.1). Между видами пресных и солоноватых вод общими являются всего около 30 процентов симбионтов, включая известного эндосимбионта губок *Candidatus entotheonella*.

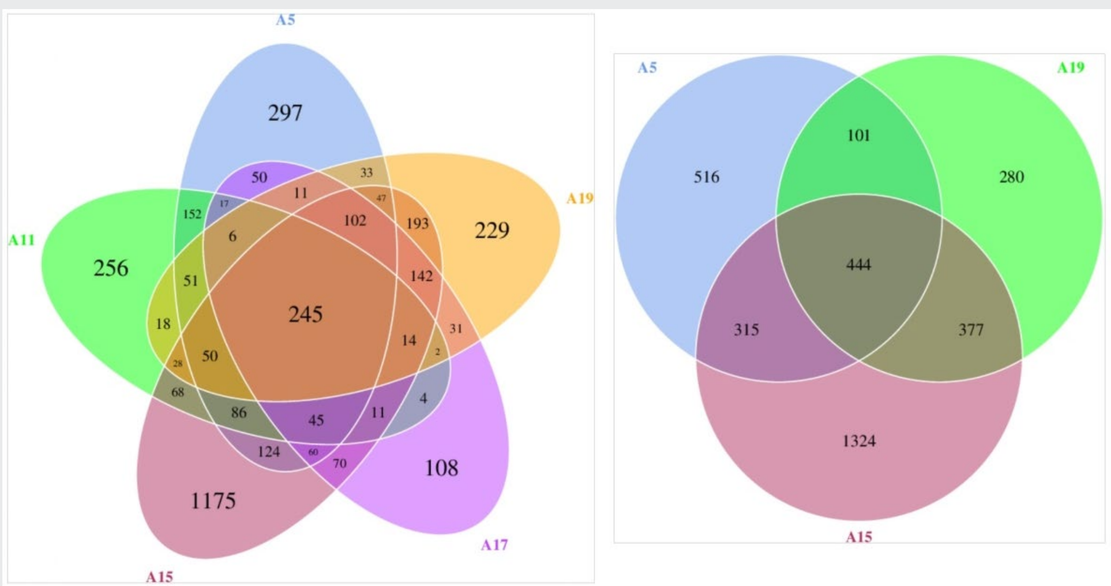


Рис.1. Диаграмма Венна, показывающая общие и уникальные идентифицированные виды симбиотических бактерий *R. alba*, *R. crateriformis*, *S. lacustris* и *M. tuberculata*.

ВИДОВОЙ СОСТАВ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ПАСПОРТИЗАЦИЯ ФАУНЫ РЫБЬИХ ПАРАЗИТОВ (PISCICOLIDAE, HIRUDINEA) БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Номер проекта РФФИ 20-34-90043 / Руководитель: к.б.н. И.А. Кайгородова

Проведен анализ видового разнообразия и пространственного распределения сообществ рыбьих пиявок (сем. Piscicolidae) Байкальского региона. Морфологический анализ выявил 5 видов эндемичных байкальских и 17 видов внебайкальских писциколид. Биоинформационный анализ на основе данных о первичной структуре четырёх фрагментов генома (cox1, 12S рРНК, 18S рРНК и 28S рРНК), проведенный методами MEGA, BEAST, GMYC и ASAP, подтвердил разнообразие внебайкальских сообществ, а для байкальских эндемиков его удвоил, выявив 10 видов, относящихся к криптическим комплексам «*Baicalobdella torquata*», «*Baicalobdella cottidarum*», «*Codonbdella* sp.» и «*Codonobdella truncata*».

Таксономическое разграничение байкальских эндемичных видов оказалось невозможным без привлечения молекулярно-генетических данных. Реконструкция эволюционной истории с использованием как мультигенного подхода, так и однолокусной филогении (*cox1*) подтвердили положение образцов из Байкальского региона в пределах кластера пресноводных рыбьих пиявок с идентичным характером ветвления внутри кластера (Рис. 1). Генетические расстояния между видами соответствуют видовым и подтверждают статус каждого вида, идентифицированного морфологически или филогенетически.

Паразитологический анализ показал, что высокая распространённость бделлёза у байкальских керчаковых рыб (30-53%) экологически детерминирована, поскольку прибрежные виды страдают от этого заболевания чаще и сильнее поражаются, чем абиссальные виды. Мигрирующие и жилые формы лососёвых рыб (омуль, хариус, сиг) рек Ангара, Селенга и Баргузин страдают от пиявок значительно меньше (4,1% популяции) и только в нерестовый период. Кроме того, установлено, что потенциально новый биологический вид *Piscicola sp.*, обнаруженный в водоёмах Восточной Сибири, является географическим викариатом палеарктической *P. geometra* и неарктической *P. milneri*.

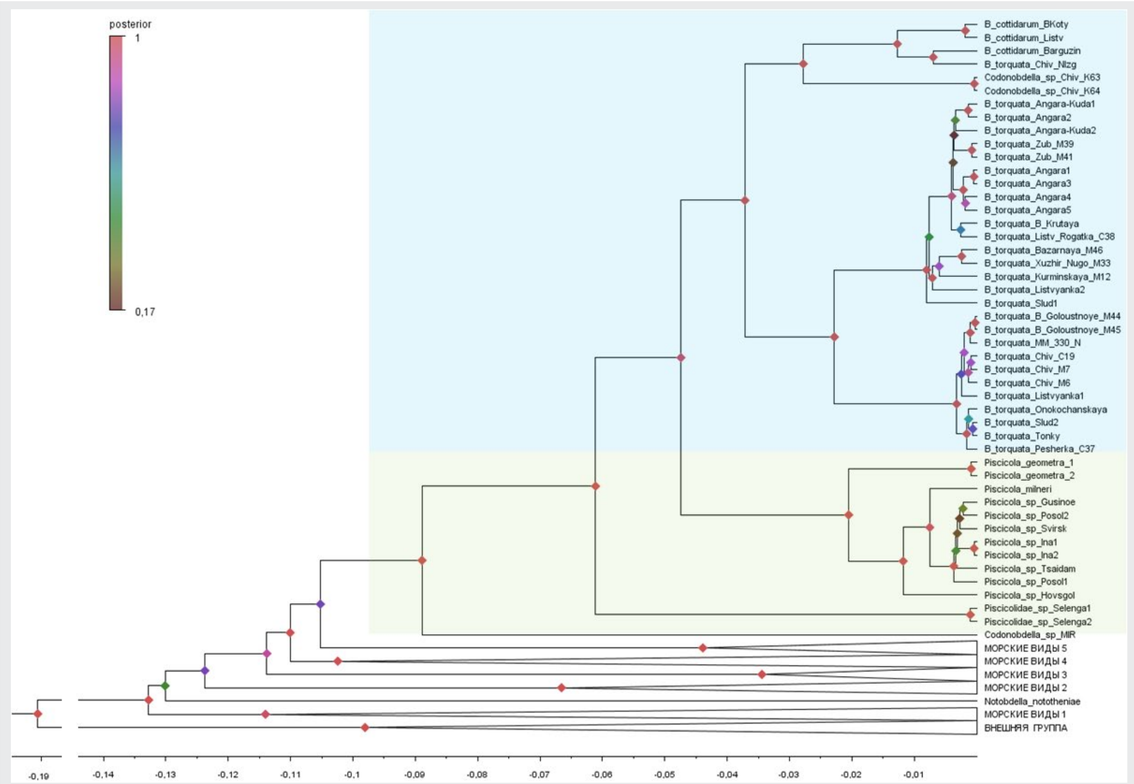


Рис.1. BI-филогения, выведенная на основе 87 нуклеотидных последовательностей каскадно сцепленных фрагментов генома *cox1*, *12s*, *18s* и *28s*, отражает эволюционное положение рыбьих пиявок (сем. Piscicolidae) Байкальского региона. Голубым фоном выделены эндемики оз. Байкал, светло-зелёным – группа образцов из других пресных водоёмов Прибайкалья.

Публикации:

Kaygorodova I., Matveenko E., Dzyuba E. Unexpected Discovery of an Ectoparasitic Invasion First Detected in the Baikal Coregonid Fish Population // Fishes. 2022. - V. 7. - №5. - p. 1-14. DOI: 10.3390/fishes7050298

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОПУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ЭНДЕМИЧНЫХ ГУБОК ОЗ. БАЙКАЛ LUBOMIRSKIA BAIKALENSIS В УСЛОВИЯХ МАССОВОЙ ГИБЕЛИ С ПОМОЩЬЮ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ МАРКЕРОВ, РАЗРАБОТАННЫХ НА ОСНОВЕ ПОЛНОГО ГЕНОМА

Номер проекта РФФИ 20-44-383010 / Руководитель: аспирант А.С. Яхненко

Тестирование разработанных ранее микросателлитных маркеров и анализ популяционной структуры космополитной губки *Ephydatia muelleri*

В ходе работ был проведен морфологический анализ 82 образцов космополитных губок, собранных в заливе Сарма оз. Байкал (n=32) и в озере Ханхой в районе мыса Елга о.Ольхон (n=50) (Рис. 1, 2). Были определены виды *Ephydatia muelleri* (84% образцов из озера Ханхой и 80% из залива Сарма) и *Spongilla lacustris* (16% образцов из озера Ханхой и 20% из залива Сарма). Вид *E. muelleri* оказался наиболее массовым.

Успешно генотипирован был 41 образец по 7 микросетеллитным локусам (Таблица 1). Среди 41 образца было выявлено 24 уникальных гаплотипа, что может быть связано с высоким уровнем клональности за счет расселения с помощью геммул, что характерно для представителей пресноводных губок.

Получены данные по числу аллелей, числу эффективных аллелей, информационные индексы Шеннона, наблюдаемая гетерозиготность, ожидаемая гетерозиготность, объективная ожидаемая гетерозиготность и F индекс фиксации. Количество аллелей на локус варьирует от 2 до 8. В каждом районе отбора образцов присутствуют частные аллели. Согласно результатам теста на отклонение от равновесия Харди-Вайнберга, обе популяции находятся в равновесии. Значение Fst=0.09, что говорит о наличии слабой дифференциации между двумя исследованными районами. Расстояние между двумя исследованными районами составляет 15 км. Наличие слабой генетической дифференциации на таком незначительном расстоянии можно объяснить тем, что космополитные губки оз. Байкал обитают не только в заливах, но и в отгороженных песчаными косами небольших озерах (оз. Ханхой), которые не соединяются друг с другом реками, что может замедлять расселение. Полученные данные подтверждают, что разработанные нами микросателлитные маркеры могут быть с успехом использованы для проведения популяционно-генетических исследований космополитной губки *Ephydatia muelleri*. В отличие от эндемичных губок озера Байкал, у космополитных губок в процессе отбора образцов не было зафиксировано случаев заболеваний, что может быть связано с высокой способностью космополитных губок к адаптациям в различных условиях обитания и коротким жизненным циклом.

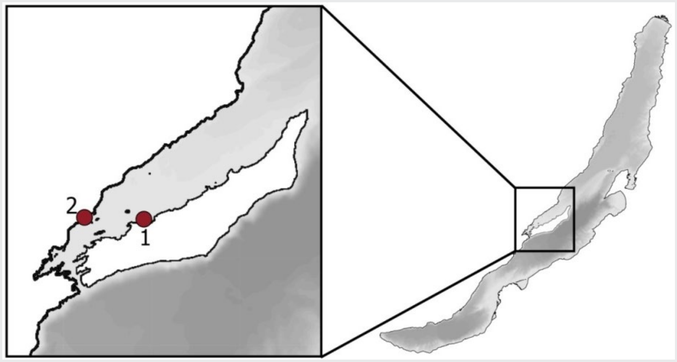


Рис.1. Карта отбора образцов космополитных губок. 1 – оз. Ханхой в районе мыса Елга, 2 – район залива Сарма.

Рис.2. Образец губки рода Ephydatia из оз. Ханхой

Таблица 1. Праймеры для микросателлитных локусов, использованных в анализе

Locus Name	Fw. primer	Tm	Fluorescent label
Emu_249	Fw- CATCTCTGGTGAAGTACACAGGTG Rev- CAGAGTGCTCCAGCTGCT	59-61	Fam
Emu_187	Fw-AGCACAGCATAGCAACGATTG Rev- ATGTGGACTTCAGGCACCTG	59-61	Fam
Emu_291	Fw- ACGTACCTCAAACACCGTAGTAC Rev - CCCGGCTGTCTGTAAGTCAT	59-61	Tamra
Emu_369	Fw- ACAAGGGTTAGTTAGGAGGCAG Rev- GAGTACTAGGAGGATGAACCAGTG	59-61	Rox
Emu_266	Fw- GCCTGTGGTGTAAACAGTGG Rev- CCAAGCGTCCCAGCTAAGAG	59-61	Fam
Emu_217	Fw- GTGTCATGGAAGACCAATGAGC Rev- CCTTCAGGCAGGACATCAATACT	59-61	Fam
Emu_367	Fw- CCACTGTTCCTTGCCAGACA Rev- CCAGAGGGTGTCAGGATTGAG	59-61	Rox

ИЗУЧЕНИЕ РАЗНООБРАЗИЯ ГЕНОВ БИОЛОГИЧЕСКИ-АКТИВНЫХ МЕТАБОЛИТОВ В МИКРОБИОМАХ БАЙКАЛЬСКИХ ГУБОК

Номер проекта РФФИ 20-44-380023 / Руководитель: к.б.н. О.В. Калюжная

Разнообразие генов поликетидсинтаз (PKS) в микробиомах байкальских губок эндемичного семейства Lubomirskiidae

Исследовано разнообразие генов вторичных метаболитов (поликетидсинтаз, PKS) в микробиомах четырёх видов эндемичных байкальских губок *Lubomirskia baicalensis, Baikalospongia fungiformis, Swartschewskia papyracea, Rezinkovia echinata*. В общей сложности было идентифицировано 109 последовательностей фрагментов KS-доменов PKS, принадлежащих прокариотическим (61 посл.) и эукариотическим (48 посл.) микроорганизмам (Рис. 1) разнообразных таксономических групп. Последовательности генов PKS байкальских губок проявляли 35-99% сходства с ближайшими гомологами из банка данных NCBI (https://www.ncbi.nlm.nih.gov). Филогенетический анализ показал, что «прокариотические» ветви PKS включают представителей разнообразных таксонов, а объединение последовательностей в группы происходит не по филогенетической принадлежности, а по их функциональным (ферментативным) свойствам. Эукариотические же последовательности PKS формируют группы в соответствии с их систематической принадлежностью. Необходимо также отметить, что целый ряд последовательностей являлся близкородственным байкальским планктонным микроорганизмам, что говорит о тесном взаимодействии симбиотического микробиома гидробионта-хозяина и сообщества окружающей губку водной среды.

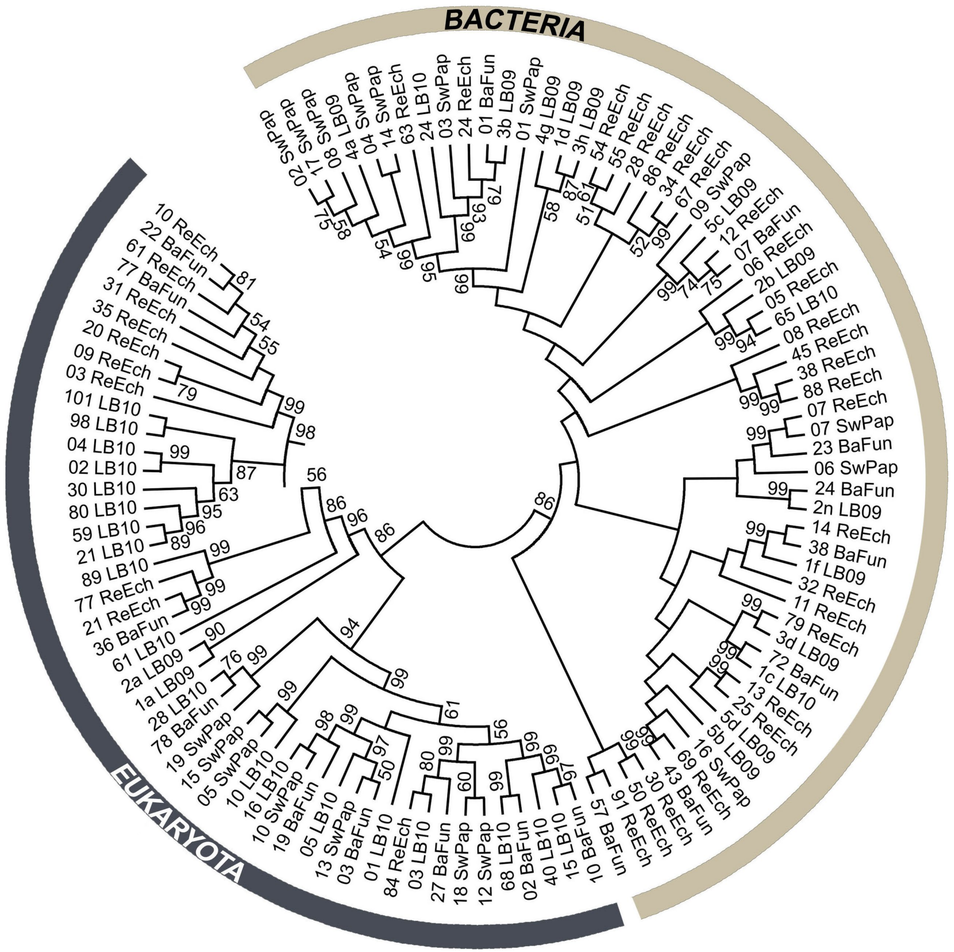


Рис.1. . Разнообразие генов PKS про- и эукариотических микроорганизмов в сообществах эндемичных байкальских губок. Круговое дерево, построенное методом ML, на основе сравнения фрагментов аминокислотных последовательностей KS-доменов (233 а.о.). Сокращения видовых названий байкальских губок: BaFun – *Baikalospongia fungoformis*; Lb – *Lubomirskia baicalensis*; ReEch – *Rezinkovia echinata*; SwPap – *Swartschewskia papyracea*.

Публикации:

Калюжная О.В., Ицкович В.Б. Особенности разнообразия генов поликетидсинтаз в сообществе пресноводной губки Baikalospongia fungiformis // Генетика. 2022. - Т. 58. - №3. - С. 343-354. DOI: 10.31857/S0016675822030067

ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ГОРОДАХ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ (НА ПРИМЕРЕ ГГ. ИРКУТСК, АНГАРСК, ШЕЛЕХОВ)

Номер проекта РФФИ 20-45-380024 / Руководитель: к.г.н. Н.А. Онищук

Пространственное распределение элементов в снежном покрове городов Иркутской области в 2020-2022 гг.

В снежном покрове гг. Шелехов и Ангарск наибольшее накопление исследуемых элементов выявлено в промышленных районах вблизи источников выбросов (Рис. 1). Ореолы загрязнения атмосферы от выбросов алюминиевого завода и ТЭЦ-5 распространяются на жилой массив г. Шелехов и д. Олха. Промышленная зона в г. Ангарске расположена в отдалении от города, и по основному направлению воздушных масс антропогенные выбросы не поступают в жилые районы. В снежном покрове г. Иркутска максимальное накопление загрязняющих элементов определено в районах с пониженными формами рельефа, где метеорологические условия не способствуют рассеиванию воздушных поллютантов из-за малых скоростей ветров. Данные районы испытывают значительную антропогенную нагрузку со стороны расположенных здесь различных промышленных объектов и автодорог с интенсивным движением транспорта. Они находятся также под воздействием примесей, поступающих с воздушным переносом, со стороны г. Шелехов по долине р. Иркут и г. Ангарск по долине р. Ангара. Максимальное накопление элементного состава в снежном покрове исследуемых городов выявлено в 2022 г.

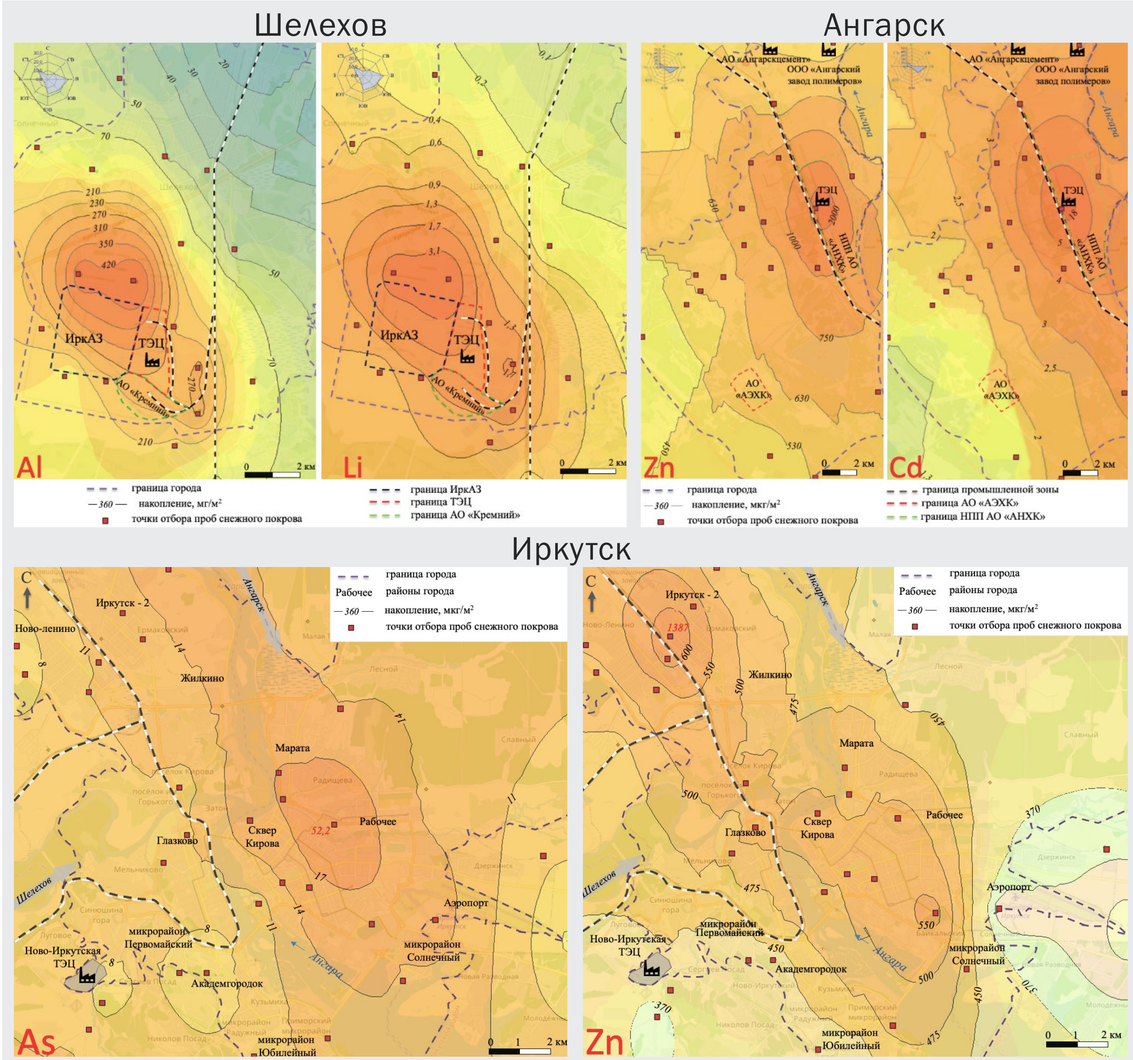


Рис.1. Пространственное распределение накопления элементов в снежном покрове городов Иркутской области в 2020-2022 гг., мкг/м^2

Публикации:

Molozhnikova Y.V., Shikhovtsev M.Yu., Marinaite I.I., Netsvetaeva O.G., Onishchuk N.A. Spatial distribution of anthropogenic tracers in the snow cover of the Southern Baikal region // Proceedings of SPIE. – 2022. – Vol. 12341. – P. 1-7. DOI: 10.1117/12.2644206

Номер проекта РФФИ 20-54-44017 / Руководитель: к.б.н. Л.В. Суханова

Формирование кишечного микробиома на ранних стадиях онтогенеза сиговых рыб.

Аквакультурная составляющая является важной частью проекта. Формирование благоприятной микрофлоры кишечного микробиома на ранних стадиях развития – ключ к получению рыбы с высокой пищевой ценностью. В качестве модельного объекта и потенциального претендента на получение гибридных форм для индустриальной аквакультуры (в том числе и гибридов с монгольским *Coregonus pidschian* Gmelin) использован экологически полиморфный вид байкальских сиговых – омуль *C. migratorius* Georgi. Работы проводились в условиях аквариального комплекса ЛИН СО РАН. В экспериментальных условиях исследованы экотипы байкальского омуля, адаптированные к обитанию в разных кормных зонах озера: эпипелагиали, донных слоях подводного склона и прибрежно-пелагической области. Соответственно, экотипы различаются по сезонному распределению, питанию, росту, скорости созревания нагульным и нерестовым миграциям. Три популяции омуля, отнесенные к трем разным экотипам, были исследованы метасеквенированием ампликона 16S рДНК. Всего проанализировано 6 вариантов (Рис. 1) по три повторности, пулированных от 10-ти особей. У непитающихся личинок топ-20 филотипов, составляющих от 36 до 54% всего микробиома, были представлены в основном аэробными водными микроорганизмами. Через месяц кормления доля топ-20 филотипов увеличилась до 64-85%. Среди топ-20 филотипов появились характерные для кишечной микробиоты таксоны: Mycoplasma, Bacteroides, классы Clostridia, Fusobacteria, большинство из которых являются строгими анаэробами или внутриклеточными симбионтами. Результаты свидетельствуют, что кишечный микробиом непитающихся личинок отличается высоким разнообразием за счет транзиторной микрофлоры из окружающей среды. При появлении пищи разнообразие микробного сообщества снижается за счет развития микробиоты хозяина. Соотношение нормы и транзита увеличивается в пользу нормы, и запускаются процессы адаптивного симбиоза. Различия в структуре анализируемых микробиомов кишечника свидетельствуют о влиянии генотипа хозяина на развитие симбиотической микрофлоры кишечника. Эти различия можно интерпретировать в контексте адаптации хозяина к условиям занимаемой экологической ниши. Особенности развития кишечного микробиома могут быть учтены при выборе форм сигов, наиболее пригодных для выращивания и содержания в условиях промышленной аквакультуры, селекции и получении гибридных форм, перспективных для коммерческого выращивания.

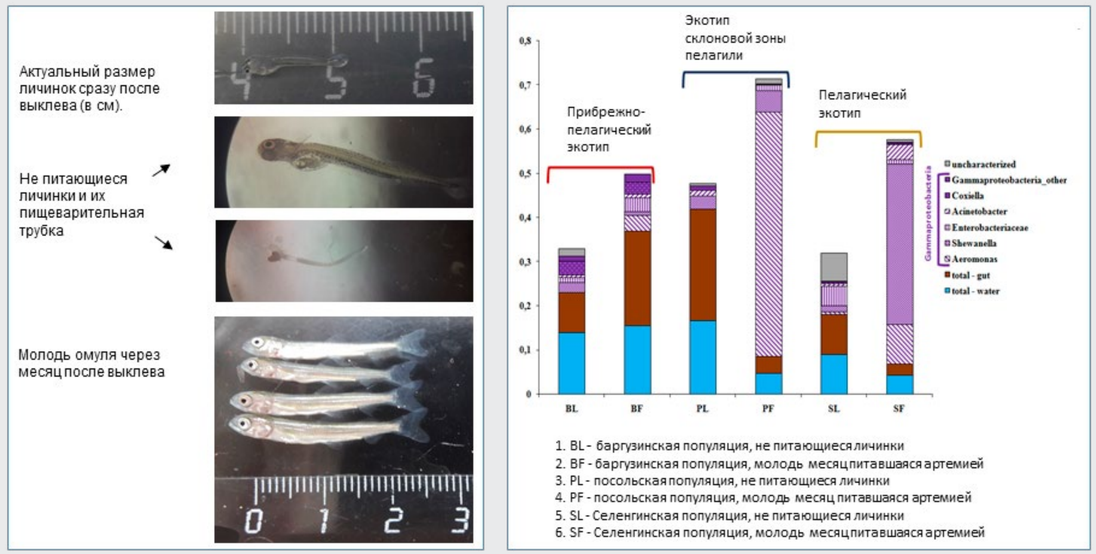


Рис.1. Кишечные микробиомы непитающихся и питающихся особей трех популяций омуля, отнесенных к трем разным экотипам (пелагическому и прибрежно-пелагическому и экотипу склоновой зоны пелагиали проанализированы метасеквенированием ампликона 16S рДНК). Все особи получены в идентичных условиях эксперимента (от оплодотворения икры до пробоотбора) в терморегулируемой аэрируемой проточной системе с подачей воды непосредственно из озера Байкал и рассеянным освещением с естественным фотопериодом.

МЕРОПРИЯТИЯ

На базе ЛИН СО РАН и БМ СО РАН при организационной поддержке Сибирского отделения РАН, Объединенного ученого совета СО РАН наук о Земле и Отделения наук о Земле РАН прошел научно-практический семинар «Современные тенденции изучения лимнических систем», посвященный 100-летию со дня рождения академика Григория Ивановича Галазия, с именем которого неразрывно связаны исследования озера Байкал и мероприятия по его охране. Г. И. Галазий – инициатор организации Лимнологического института СО РАН и его первый директор (1961–1987 годы). Был активным популяризатором знаний о Байкале, настоящий «Рыцарь Байкала» – так называли академика его коллеги и ученики.

Семинар проходил в очно-заочном режиме и собрал около 100 представителей научных и образовательных организаций Иркутска, Москвы, Санкт-Петербурга, Томска, Улан-Удэ, Читы. Работа семинара началась с презентации в ЛИН СО РАН Центра интерактивного мониторинга Байкальской природной территории и озера Байкал, где с временным интервалом до десяти секунд в онлайн режиме регистрируются метеорологические, гидрофизические, химические и биооптические показатели среды.

В ходе работы семинара были представлены доклады, освещающие итоги исследований озера Байкал сотрудниками ЛИН СО РАН, а также других институтов РАН, с информацией о современном состоянии изучения крупных озерных систем Европы и Азии, включая актуальные проблемы лимнологии и смежных наук. Был проведен круглый стол с участием Комитета Государственной Думы РФ по экологии, природным ресурсам и охране окружающей среды, где были рассмотрены проблемы правоприменительной практики охраны озера Байкал и пути их решения. В Байкальском музее СО РАН состоялось открытие выставки памяти академика Г.И. Галазия «Байкал — моя жизнь, мой дом, моя судьба», на которой были представлены фотографии и полевые дневники из его личного архива, все издания книги «Байкал в вопросах и ответах» и газетные статьи за весь период его деятельности, направленной на охрану озера Байкал и развитие лимнологических исследований. В докладах сотрудников Музея и учеников Г.И. Галазия были освещены жизнь и деятельность академика.

Открытие Центра интерактивного мониторинга Байкальской природной территории и озера Байкал.

Круглый стол с участием Комитета Государственной Думы РФ по экологии, природным ресурсам и охране окружающей среды.

С 22 по 27 августа 2022 года в ЛИН СО РАН проходил Третий Международный Симпозиум «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты», организованный при поддержке Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН, Института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, Иркутской областной государственной научной библиотеки им. И.И. Молчанова-Сибирского, компаний «Люмэкс», «Сиблабсервис». Этот симпозиум, как и проведенные ранее в Москве (2010) и Новосибирске (2015), является единственной отечественной площадкой, где комплексно рассматриваются актуальные для Российской Федерации проблемы природной и антропогенной миграции ртути, ее влияния на окружающую среду и население.

На Симпозиуме в течение четырех дней обсуждались вопросы, связанные с исследованиями геохимии ртути, техногенных и природных источников загрязнения ртутью, путей ее миграции и трансформации в различных природных средах и в производственных процессах, биоаккумуляции и метаболизма ртути в живых организмах, почвогрунтах и донных отложениях; накопления ртути в отходах производства – отвалах и хвостохранилищах, утилизацией ртутьсодержащих отходов и ремедиацией загрязненных территорий, а также современными методами определения ртути в природных и технологических объектах.

Совместное фото участников Симозиума

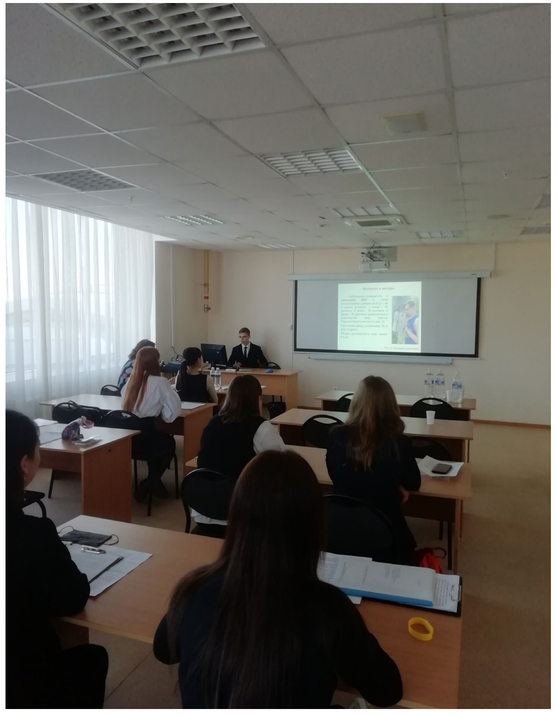
В работе Симпозиума приняли участие представители академических и научно-исследовательских институтов, университетов, а также научно-производственных организаций Российской Федерации и других стран. На Симпозиуме в очно-заочном формате участвовали более 90 человек, из которых 26 молодые ученые и студенты. Было представлено 10 пленарных, 42 устных и 13 стендовых докладов от 33 организаций из России, Армении, Аргентины, Киргизии, Канады. В рамках Симпозиума прошла молодежная школа «Междисциплинарный подход к исследованию ртути в объектах окружающей среды» и организован круглый стол по проблеме ртутного загрязнения отходами промышленного предприятия «Усольехимпром» г. Усолья- Сибирского.

Выставка приборов компании ООО «Люмэкс-маркетинг».

Во время работы Симпозиума работала выставка приборов компании ООО «Люмэкс-маркетинг» — основного российского производителя оборудования для анализа ртути в различных объектах окружающей среды. На выставке участникам продемонстрировали экспресс-анализ ртути в воде, почве, байкальском омуле, волосах человека.

14 и 15 апреля 2022 года прошла I Всероссийская Байкальская научно-практическая конференция школьников «Открывая горизонты», организованная ЛИН СО РАН и Культурно-досуговым центром «Родник» на базе Иркутской государственной областной универсальной библиотеки имени И.И. Молчанова-Сибирского и при поддержке «Молодежного кадрового центра» при Министерстве по молодежной политике Иркутской области. Целью проведения Конференции является привлечение школьников к участию в научных междисциплинарных исследованиях, повышение качества выполняемых школьниками научно-исследовательских работ (проектов), развитие сотрудничества научного сообщества с учреждениями дополнительно и общего среднего образования, популяризация среди школьников научных знаний, помощь в профессиональной ориентации.

В Конференции приняли участие 56 школьников 6-11 классов из городов Иркутск, Красноярск, Шелехов и Москва, а также Иркутского района (пос. Хомутово), из них 17 человек участвовали заочно с помощью онлайн трансляции, 39 – очно. В качестве членов экспертной комиссии выступили научные сотрудники ЛИН СО РАН, практикующие специалисты в тех областях науки, которые были представлены на секциях Конференции: «Экология», «Ботаника», «Химия и Жизнь». Все работы школьников содержали практическую часть, включающую эксперименты, наблюдения или реализацию социально-значимых экологических проектов, результаты многих исследований имели практическое значение. Победители Конференции были награждены дипломами. Некоторые участники продолжили свои исследования на базе ЛИН СО РАН под руководством научных сотрудников института.



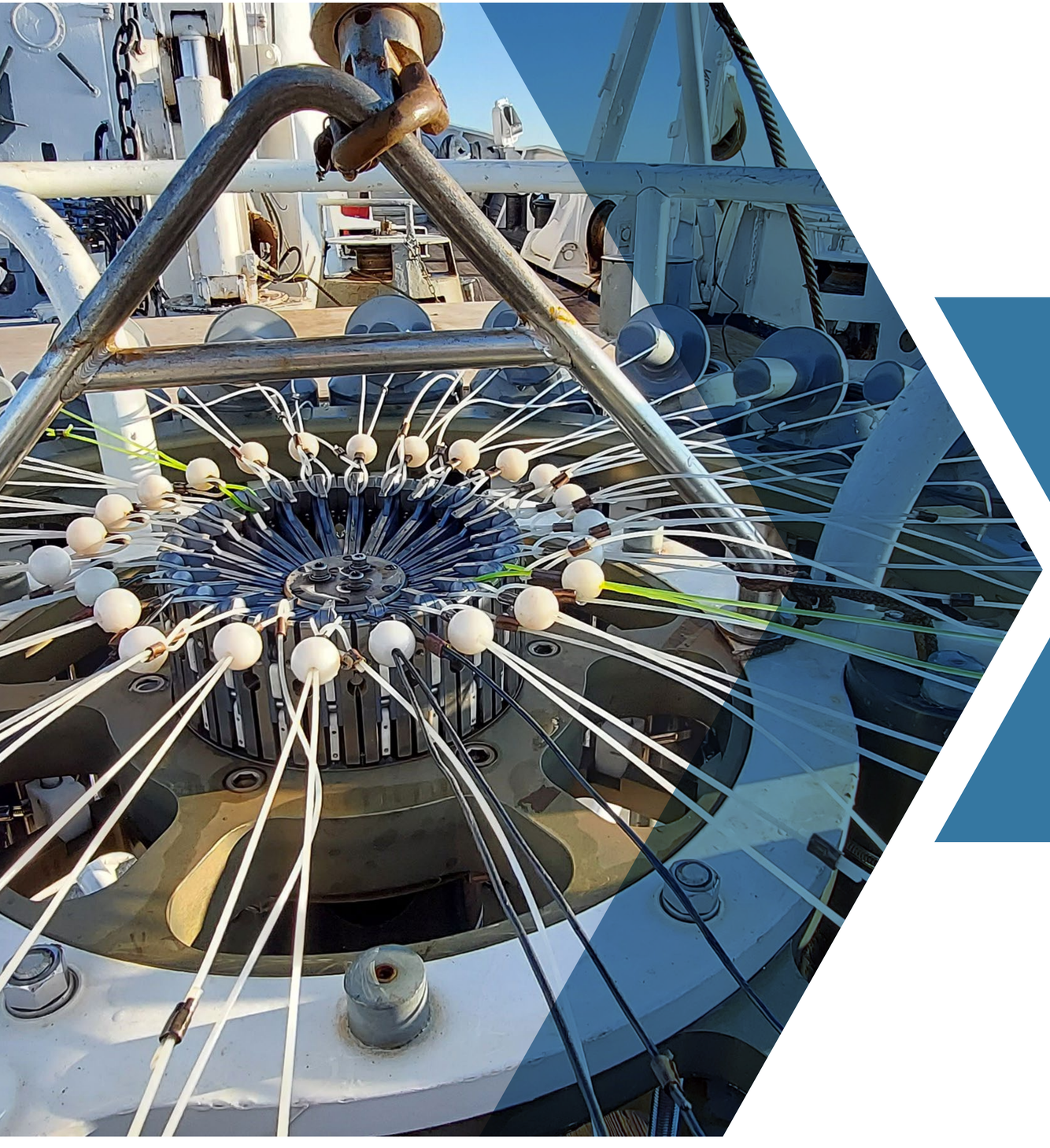
Семинар «Учимся выполнять экологические научно-исследовательские проекты для участия в Российском открытом молодежном водном конкурсе»

31 октября – 1 ноября Институт консалтинга экологических проектов в сотрудничестве с ЛИН СО РАН провели межрегиональный образовательный и практический семинар «Учимся выполнять экологические научно-исследовательские проекты для участия в Российском открытом молодежном водном конкурсе». Цель Водного конкурса - поддержка научно-исследовательской и проектной деятельности школьников и студентов вузов РФ и других стран-участниц в сфере охраны окружающей среды и устойчивого развития, включая анализ проблем водоподготовки и очистки загрязненных стоков и сохранения водного биоразнообразия, исследование корреляций водных, социальных, климатических и других факторов, а также форсайт-исследований.

В семинаре приняли участие 40 педагогов и школьников Иркутской области, Бурятии и Забайкальского края, представителей научных учреждений и некоммерческих организаций. Дистанционно участвовали образовательные учреждения Ангарска, 20 регионов России, школа из Монголии, Отдел водных ресурсов по Кемеровской области Верхне-Обского БВУ.

Открывали семинар руководитель Водного конкурса, директор Института консалтинга экологических проектов Н.Г. Давыдова, директор ЛИН СО РАН А.П. Федотов и представитель Министерства образования Иркутской области О.В. Бичевина. Участники семинара получили информацию и материалы о Российском открытом молодежном водном конкурсе и других проектах Института консалтинга, в том числе Всероссийском флешмобе «Голубая лента» в День воды и молодежном водном сообществе. Финалисты Водного конкурса выступили с презентациями своих проектов. Сотрудники ЛИН СО РАН провели лекционные и практические занятия для участников семинара.

Для знакомства аудитории семинара с основными направлениями работы официального спонсора Водного конкурса АО «ТВЭЛ» были представлены информационные видеоролики о нем, а также об его предприятии АО «АЭХК». Руководитель Водного конкурса Н.Г. Давыдова и член Номинационного комитета В.Л. Разумовский провели обучающий мастер-класс по подготовке проектов для участия в конкурсе, школьники обсудили свои идеи проектов по охране и восстановлению водных ресурсов с организаторами Водного конкурса и получили советы от ученых. После подведения итогов семинара всем участникам вручены сертификаты.



ПРИБОРНАЯ БАЗА

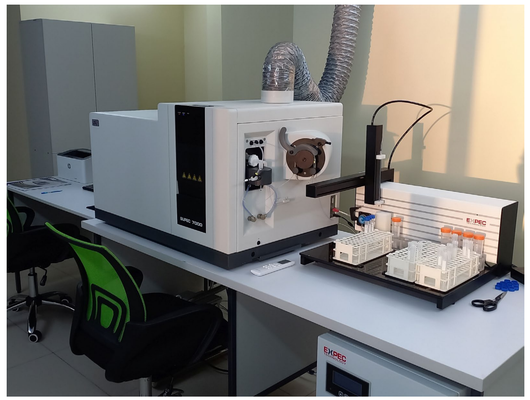
Приборный центр коллективного пользования физико-химического ультрамикроанализа (ЦКП «Ультрамикроанализ»)

Основные сведения о деятельности ЦКП «Ультрамикроанализ» в 2022 г.

1. Балансовая стоимость оборудования ЦКП, млн. рублей: 228.27
2. Количество единиц оборудования ЦКП стоимостью от 1 млн рублей, ед.: 20
3. Штатная численность сотрудников ЦКП (без совместителей), чел.: 5
4. Общий объем выполненных работ (оказанных услуг), млн. рублей: 17.24
   в том числе в интересах третьих лиц: 7.73
5. Фактическая загрузка оборудования ЦКП, %: 86.22
6. Фактическая загрузка оборудования ЦКП в интересах третьих лиц, %: 31.52
7. Количество организаций-пользователей, ед.: 26

https://old.ckp-rf.ru/ckp/77542/
http://lin.irk.ru/about/structure/ckp-ultramicroanaliz

Приборный парк ЛИН СО РАН пополнился новым оборудованием и техникой.



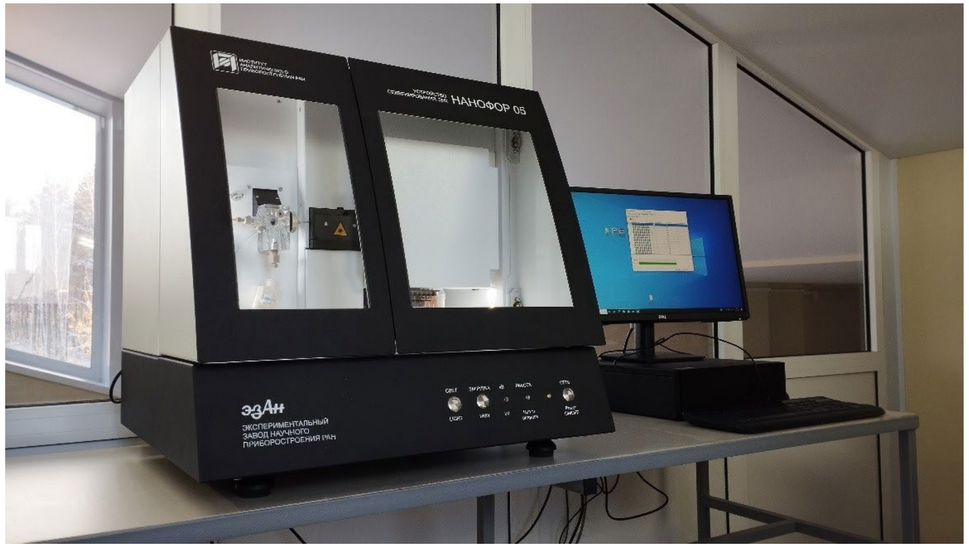
Аналитический комплекс для определения химического состава воды, почв, донных отложений, биоты на базе масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой SUPEC 7000 Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer с модулем водоподготовки, модулем термического разложения проб и системой очистки аргона.

Основные преимущества:

- На основе аэродинамического моделирования на стыке термической плазмы и вакуума оптимизируется ионный интерфейс, и чувствительность ICP-MS увеличивается в 3-5 раз, а предел обнаружения до ppt. Благодаря оперативной системе разбавления аргоном (AGOD), которая повышает устойчивость SUPEC 7000 к матрице, можно напрямую вводить образцы с содержанием солей до 10%. Уникальный молибденовый квадруполь обеспечивает наилучшее качество и стабильность осей. В настоящее время этот прибор является единственным, который может работать на борту транспортных средств.
- Чувствительность: ^{7}Li 10, ^{59}Co 20, ^{115}In 60, ^{238}U 80Mcps/ppm.Пределы обнаружения: ^{7}Li10, ^{59}Co10, ^{115}In2, ^{238}U2 нг/л. Соотношение оксидов, дважды заряженных ионов (^{156}CeO+/^{140}Ce+, ^{70}Ce++/^{140}Ce+) менее 3%. Кратковременная стабильность (20 мин) (^{7}Li, ^{59}Co, ^{115}In, ^{238}U) не более 2%.

Аппаратно-программный комплекс на базе хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000» с двумя детекторами ПИД (пламенно-ионизационный детектор) и ДТП (детектор по теплопроводности). Комплекс позволяет определять углеводороды (от C_1 до C_3) и чистые газы (H_2, He, Ar, O_2, N_2) в воде. В состав комплекса входит хроматограф, генератор водорода, воздушный компрессор с фильтром, генератор азота, компьютер для управления. Данный комплекс будет использован для изучения эмиссии углеводородов и динамических процессов в водной толще озера Байкал, что существенным образом дополнит гидрофизические исследования, проводимые Институтом.

Генетический анализатор Нанофор-05. Первый 8-капиллярный секвенатор (секвенирование по Сэнгеру) отечественного производства. Основные приложения прибора – секвенирование de novo и ресеквенирование, фрагментный анализ: микросателлитный анализ, LOH, AFLP, исследование однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) и другие. Открытость системы позволяет работать с наборами для капиллярного электрофореза как российских, так и импортных производителей.

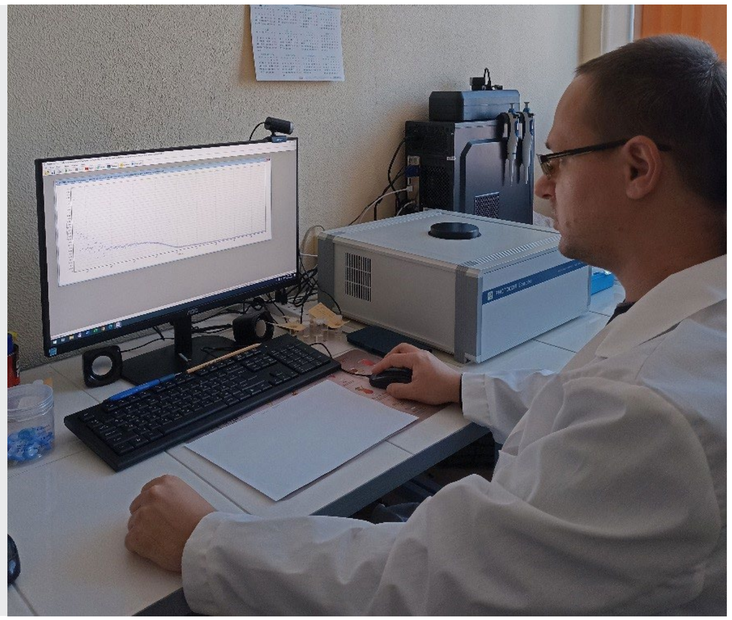


Автоматический микротом-криостат МСМ-3500 (замораживающий микротом) предназначен для получения тонких срезов тканей, микротом-криостат обеспечивает быстрое охлаждение, значительно сокращая время, необходимое для замораживания биологического образца. Минимальная температура в морозильной камере: -35°С. Подсветка и подогрев стекла дают хорошую видимость для наблюдения за процессом резки в камере. Полка для замораживания может охлаждаться до -45°С и вмещает 8 образцов, два из которых можно дополнительно охлаждать до -55°С. Стерилизация озоном или УФ-излучением, режим размораживания, спящий режим могут включаться автоматически по заданному расписанию или вручную. Имеется возможность использования лезвий низкого и высокого профиля. Прибор универсален, а держатель образца позволяет резать парафиновые блоки, что особенно выгодно для лабораторий с небольшим количеством исследований и незначительными бюджетами.

Многоугловой комплекс для анализа размера и дзета-потенциала наночастиц Фотокор предназначен для измерения следующих характеристик дисперсных частиц:

- размер частиц
- дзета-потенциал
- молекулярная масса
- коэффициент диффузии

Принцип работы основан на методе статического и динамического рассеяния света (фотонной корреляционной спектроскопии). Размер диспергированных в жидкости частиц и молекулярная масса полимерных молекул определяются измерением корреляционной функции флуктуаций интенсивности рассеянного света и интегральной интенсивности рассеяния. Принцип измерения дзета-потенциала основан на методе динамического рассеяния света в режиме измерения скорости потока (в режиме лазерного допплеровского анемометра). Диапазон измеряемых размеров находится в пределах от долей нм до 10 мкм.



Автоматический анализатор черного углерода модели BAC-10 фирмы Shenyang Chemetech CO.Ltd.

Мультиспектральный монитор анализатор BCA-10 основан на методе оптического ослабления, который использует характеристики поглощения аэрозолей сажи, адсорбированных на полосчатой кварцевой фильтровальной бумаге в различных оптических диапазонах для осуществления мониторинга общего количества аэрозолей сажи в реальном времени в атмосферном воздухе, воздухе рабочих помещений.

Технические характеристики: диапазон измерений 0-1000 мкг/м^3, длина волны источника света от 370 до 940 нм. Нижний предел обнаружения <55 нг/м^3. Встроенная система контроля влажности позволяет уменьшить влияние влажности на результаты измерений. Простое управление и стабильная работа при минимальном обслуживании; автоматический ре-старт при перерыве в питании.

Логгеры температуры (RBRsolo^3 T) – одни из самых компактных, легких и универсальных одноканальных регистраторов температуры, которые измеряют с частотой до 2 Гц, имеют большой объем памяти и могут работать до двух лет от одного элемента питания. Точность измерения температуры составляет ±0,002°С.

Универсальные гидроакустические доплеровские профилографы течений Aquadopp Profiler (ADCP).

Закупленная версия с частотой 2 МГц имеет диапазон профилирования течений до 12 м в обычном режиме и до 2 метров в режиме работы с высоким разрешением. Приборы могут работать как в автономном, так и в online режиме с передачей данных по кабелю. В режиме высокого разрешения по данным измерений можно рассчитывать скорости диссипации турбулентной кинетической энергии, а при использовании профилографов в паре получать компоненты тензора турбулентных напряжений Рейнольдса.

Экспедиционная машина для сопровождения полевых исследований, проводимых со льда озера Байкал.

Уникальная научная установка «Экспериментальный пресноводный аквариумный комплекс байкальских гидробионтов» (УНУ ПАК)

В 2022 г. на базе УНУ ПАК было проведено более 20 долгосрочных и краткосрочных научных исследований в рамках 7 «базовых» тем государственного задания ЛИН СО РАН, а также 5 грантов РФФИ и РНФ. Загрузка аквауставок УНУ ПАК составила 100%. В познавательных целях установку посетило более 700 школьников, студентов и гостей из разных организаций. Выполнено 10 школьных и студенческих научно-практических работ.

Продолжены работы по междисциплинарному научному мониторингу на всех этапах жизненного цикла сиговых рыб (Рис.1), которые нацелены на фундаментальные исследования эволюции рыб и научно-практические разработки (создание благополучных ремонтно-маточных стад, выявление наиболее стрессоустойчивых форм, разработку методов получения высокотехнологичной аквакультуры).

Рис.1. Получение межвидовых гибридов сиговых рыб разного уровня дивергенции

Впервые для байкальских сиговых рыб использован прижизненный мониторинг морфо-биологических показателей, который в дальнейшем будет применен для оценки качества аквакультуры и является одной из необходимых процедур в искусственном воспроизводстве ценных видов рыб (Рис.2). Результаты прижизненного исследования морфологических признаков гибридов сиговых рыб не выявили достоверных статистических различий на данном этапе их роста. Коэффициент упитанности у исследованных гибридов оказался выше, чем у их родительских форм.

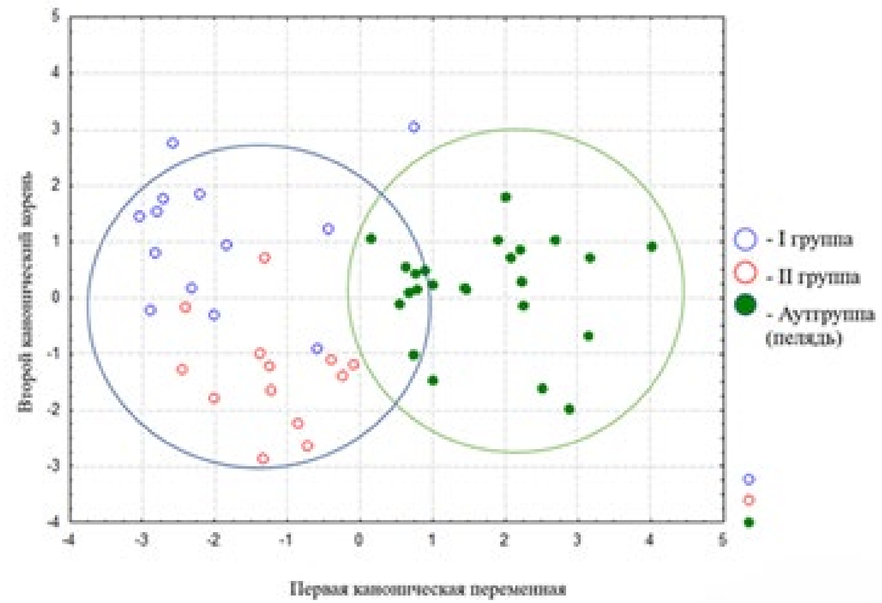


Рис.2. Прижизненное сравнение морфо-биологических показателей – распределение популяций гибридов I группы (самка омуль+самец пелядь), II группы (самка пелядь + самец омуль) и аутгруппы в пространстве канонических переменных по 20 пластическим признакам.

Публикации:

Itskovich V., Kaluzhnaya O., Glyzina O. The Utilityof 28S rDNA for Barcoding of Freshwater Sponges (Porifera, Spongillida) // Diversity. 2022. - V. 14. - №1126. - p. 1-9. DOI: 10.3390/d14121126

Itskovich V.B., Kaluzhnaya O.V., Glyzina O.Y. The problem of species delimitation within the endemic Lake Baikal sponges Lubomirskiidae // Limnology and Freshwater Biology. 2022. - №5. - p. 1671-1674. DOI: 10.31951/2658-3518-2022-A-5-1671

Проведены работы по определению ранних структурно-функциональных изменений в жабрах у байкальских рыб под воздействием взвешенных микрочастиц сажи в эксперименте (Рис.3). Установлено, что даже кратковременное (5 суток) нахождение рыб (*Paracottus knerii*, Dybowski, 1874) в воде, содержащей низкие (0.005 г/л) концентрации микрочастиц сажи, вызывает значительные структурно-функциональные перестройки клеточных элементов жаберных пластинок. В частности, под действием сажи наблюдаются дегенеративные изменения микрогребней апикальной поверхности клеток. Кроме того, на фоне возрастания продукции активных форм кислорода существенно уменьшается объем функционально активных митохондрий, что приводит к некрозу и запрограммированной гибели жаберных клеток. Эти процессы могут привести к ухудшению естественных процессов дыхания и водно-солевого обмена гидробионтов, необходимых для их существования.

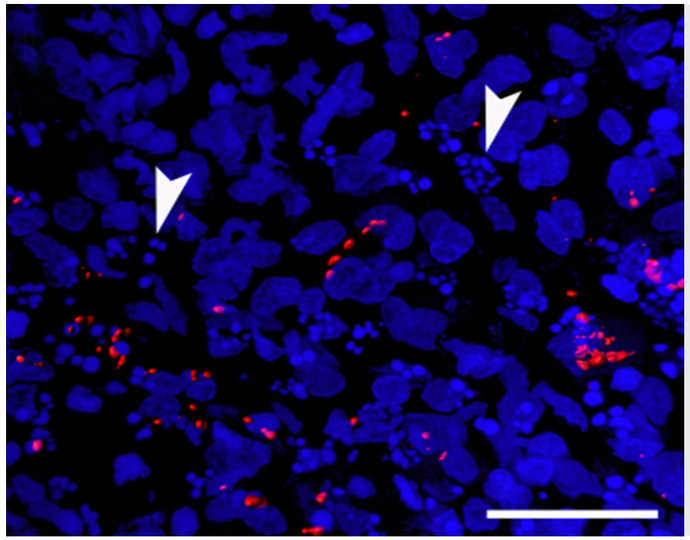


Рис.3. Гистохимическое выявление функционально активных митохондрий и апоптозных телец (отмечены стрелкой) в жаберных ламеллах у каменной широколобки (*P. knerii*) после кратковременного (5 суток) воздействия микрочастиц сажи. Окраска клеточных ядер (DAPI, синий) и функционально активных митохондрий (MitoTracker Orange, красный); лазерная конфокальная микроскопия. Масштаб: 30 мкм

Изучен штамм бентосной цианобактерии Tychonema sp. BBK16, культивируемой на базе УНУ ПАК. Этот вид был выделен в культуру из массовых обрастаний прибрежной зоны оз. Байкал. Обнаружено, что изучаемые цианобактерии синтезирует микроцистин, в отличие от ранее описанных видов. Эта способность выявлена in vitro на средах с байкальской бутилированной водой и сточной водой из очистных сооружений пос. Выдрино. Добавление к среде очищенной сточной воды усиливает метаболизм цианобактерий и приводит к увеличению концентрации микроцистина LR до 320 мкг/г сухого веса (Рис.4).

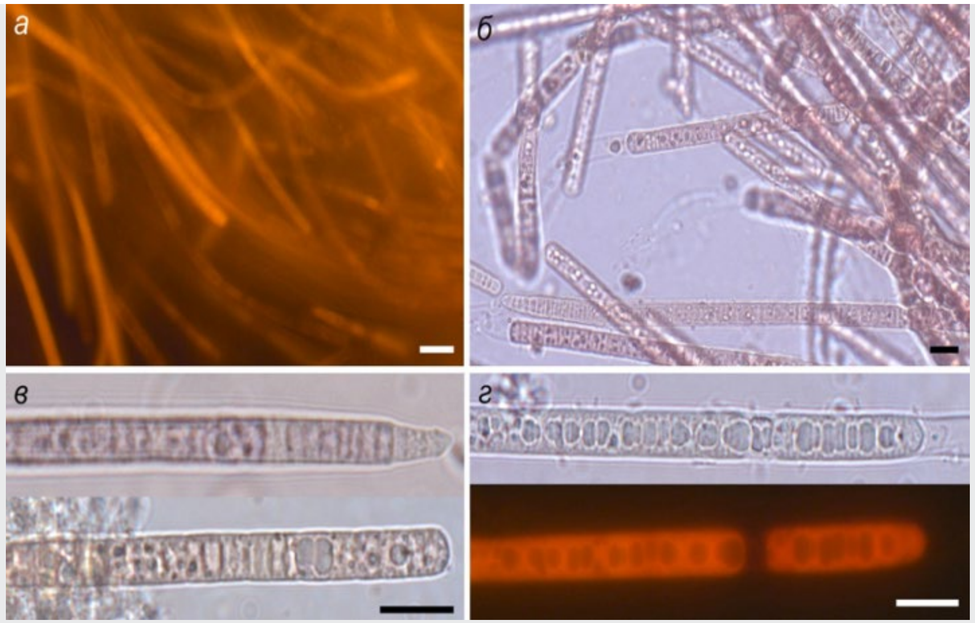


Рис.4. Штамм Tychonema sp. BBK16. А, б – эпифлуоресцентная и световая микроскопия биопленки, в – трихомы с заостренной и округлой конечной клеткой, г – световая и эпифлуоресцентная микроскопия трихомы с чехлом и развитой керитомией. Масштаб: 10 мкм.

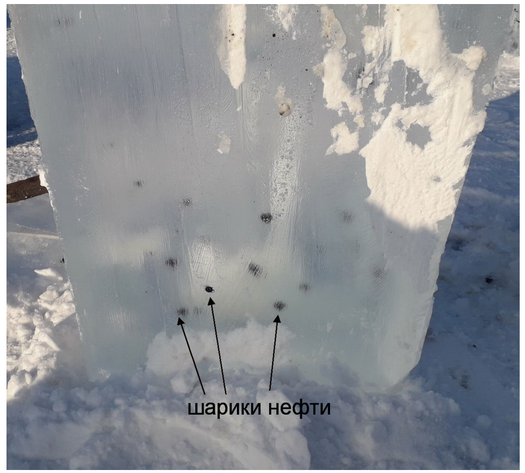
Публикации:

Sudakov N.P., Klimenkov I.V., Bedoshvili Ye.D., Arsent'ev K.Yu., Gorshkov A.G., Izosimova O.N., Yakhnenko V.M., Kupchinskii A.B., Didorenko S.I., Likhoshway Ye.V. Early structural and functional changes in Baikal Sculpin gills exposed to suspended soot microparticles in experiment // Chemosphere. 2022. - V. 290. - p. 1-12. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.133241

Тихонова И.В., Кузьмин А.В., Сороковикова Е.Г., Краснопеев А.Ю., Федорова Г.А., Жученко Н.А., Елецкая Е.В., Потапов С.А., Галачьянц А.Д., Липко И.А., Белых О.И. Микроцистин-продуцирующая цианобактерия Tychonema sp. из биопленок озера Байкал // Химия в интересах устойчивого развития. 2022. - Т. 30. - №4. - С. 427-435. DOI: 10.15372/KhUR2022399

ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ РАБОТЫ

В ходе зимних полевых работ на Байкале были продолжены исследования мест скопления газовых гидратов на границе их стабильности в районе сипа «Мелкий» на глубине 371-380 метров. Проведен поиск места разгрузки нефти на дне озера напротив устья Б. Зеленовская (240-250 м), где нефть всплывает на поверхность Байкала в виде крупных шариков.



Возобновлены комплексные ледовые исследования по определению динамики биогенных элементов, растворенных газов и органических веществ, количественных и качественных показателей фитопланктона в Байкале в подледный период, а также вертикальных профилей гидрофизических характеристик.

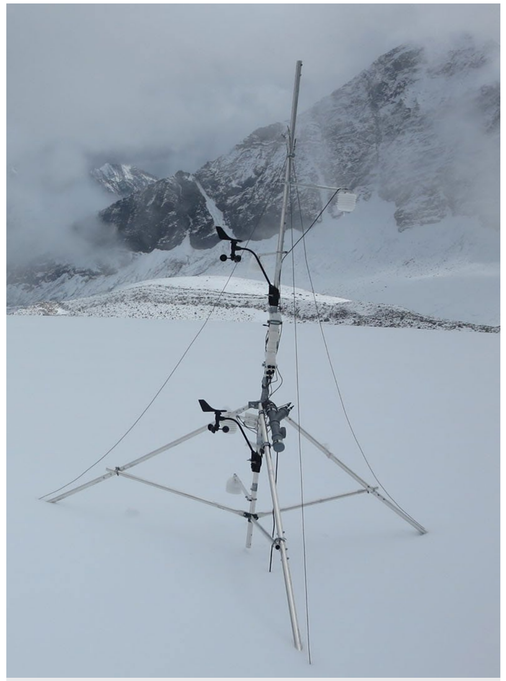
Во время экспедиции было пройдено более 1200 км по тальвигу оз. Байкал. Работы выполнялись на 15 центральных станциях по продольному разрезу озера: 12 км от Култука, Маритуй – Солзан, Листвянка – Танхой, Кадильный – Мишиха, Красный Яр – Харауз, Анга – Сухая, Ухан – Тонкий, Хобой – Крестовый, Академический хребет, Елохин – Давше, Байкальское – Турали, Котельниковский – Амнундакан, Тыя – Немнянка, Солнечная – Ушканьи, Малое Море (центр).

Собранные позволят выполнить анализ происходящих в настоящее время изменений в Байкале и оценить их масштаб.

Проведена экспедиция по отбору проб снежного покрова для идентификации источников загрязнения атмосферы и оценки величин выпадений загрязнителей из атмосферы на водные и наземные экосистемы бассейна оз. Байкал. Пробоотбор выполнен по направлениям доминирующих ветров от промышленных центров Иркутской области (Иркутск – Листвянка; Култук – Боярск; Байкальский заповедник) и промышленных центров Бурятии (Улан-Уде – Истомино; Улан-Уде – Усть-Баргузин) в сторону Байкала; в долине р. Баргузин и на акватории Баргузинского залива; в городе Улан-Уде.

Состоялась совместная с Институтом биологических проблем криолитозоны СО РАН экспедиция в район Полюса Холода (Оймяконский район, республика Саха), цель которой проведение отбора проб в крупных олиготрофных озерах Лабынкыр, Малые Лабынкырские, Водораздельное и Красное в период ледостава. В ходе экспедиции проводился отбор проб воды и донных осадков для определения химических показателей, общей численности бактерий и культивируемых гетеротрофов, видового состава и численности фитопланктона, а также для получения суммарной ДНК микроэукариот и бактерий.

Проведены экспедиционные работы на одном из самых крупных ледников хребта Кодар – Сыгыктинском (или Преображенского). Ледник расположен в верховьях левого притока р. Сюльбан – р. Олений Рог, на высоте 2260–2660 м над уровнем моря, на границе Иркутской области и Забайкальского края. Новые экспериментальные данные позволят количественно оценить основные факторы летнего таяния снега и льда в условиях современных изменений климата, выявить источники океанической и континентальной влаги, поступающей на ледник, и понять процессы трансформации атмосферной влаги в регионе, расположенном на границе Атлантического и Тихоокеанского влияния, в межгодовом и сезонном циклах.



Установленная автоматическая метеостанция на Сыгыктинском леднике

В навигационный период по 10 «Базовым» и 1 поисковому проектам государственного задания ЛИН СО РАН, а также 3 грантам РНФ проведено 28 экспедиций, в которых были задействованы 4 научно-исследовательских судна ЛИН СО РАН. Общая продолжительность проведенных экспедиций составила 271 судосутки (НИС «Академик Коптюг» – 11, НИС «Г.Ю. Верещагин» – 112, НИС «Титов» – 75, НИС «Папанин» – 73). В составе экспедиционных отрядов были ученые и студенты из 9 организаций: ФГБНУ ВНИРО, ВНИИ Океангеология, ИБВВ РАН, ИВП РАН, ИГУ, ИОА СО РАН, ИФМ СО РАН, МГТУ ГА, МГУ. В целом в экспедициях приняли участие 95 исследователей (из них 35 человек в возрасте до 39 лет), студентов и аспирантов – 21 человек.

В рамках экологического мониторинга были проведены комплексные экспедиции по исследованию абиотических и биотических компонентов экосистемы Байкала в весенний и осенний периоды, выявлению закономерностей их пространственно-временной динамики, а также по экспериментальному изучению механизмов и процессов, влияющих на распределение и круговорот вещества в водной толще с учетом температурно-плотностных аномалий глубоких природных вод в условиях современных изменений климата, изучению распределения и переноса физических и химических характеристик (кислород, биогенные элементы) в водной толще, газообмена вода-атмосфера.

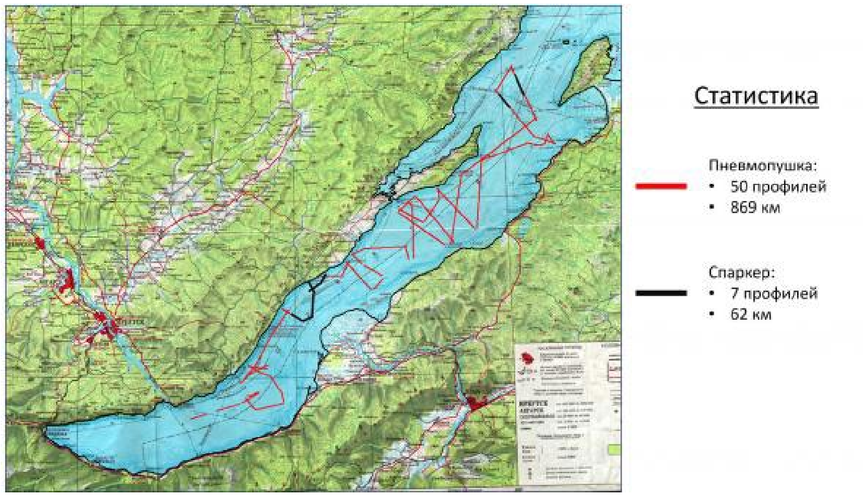
Совместно с ФГБНУ ВНИРО был выполнен гидроакустический учет (порядка 350 п. км) омуля на Селенгинском мелководье – самом рыбопродуктивом районе оз. Байкал. Параллельно эти работы сопровождались траловыми ловами, последние подобного рода исследования проводились в 2011 г. Для повышения эффективности тралений в ЛИН СО РАН был разработан оригинальный приборно-информационный комплекс с использованием автономных датчиков глубины, позволяющий определять величину вертикального раскрытия трала и его положение относительно дна и скоплений рыбы.

Class@Baikal International Student Web-Expedition

Состоялась седьмая геолого-геофизическая экспедиция международного научно-образовательного проекта «Плавучий университет – Class@Baikal» на борту НИС «Г.Ю. Верещагин»

Экспедиция проведена по соглашению с Центром эволюции и динамики Земли Отделения наук о Земле Университета Осло (Норвегия). В экспедиции участвовали студенты, аспиранты и преподаватели геологического и географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургского государственного университета, Севастопольского государственного университета, Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», сотрудники Лимнологического института Сибирского отделения РАН и Института проблем нефти и газа РАН, а также представители научно-инновационной компании «Сплит».

Впервые с 1992 г. участниками рейса на озере организованы и проведены широкомасштабные сейсмоакустические исследования с применением пневмоисточников, позволившие детализировать представления о строении осадочного выполнения рифта Байкала на глубинах свыше тысячи метров под дном. Уникальные данные лягут в основу новейших представлений об особенностях формирования залежей природных газовых гидратов и механизмах извержений неповторимых байкальских грязевых вулканов. Кроме того, выполнено более 850 тысяч км профилей с использованием пневмопушки.



Всего за 14 дней студенты Плавучего университета познакомились с одними из самых впечатляющих геологических явлений планеты, добыли со дна фрагменты газовых гидратов, наблюдали вытекания нефти из донных осадков, изучали последствия грязевулканических извержений и схода крупных мутьевых потоков и субаквальных оползней. На восьми станциях и в самой глубокой точке Байкала современными гидрологическими инструментами измерена скорость придонных течений.

Scopus®

WEB OF SCIENCE

РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ
Science Index

ПУБЛИКАЦИИ, ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

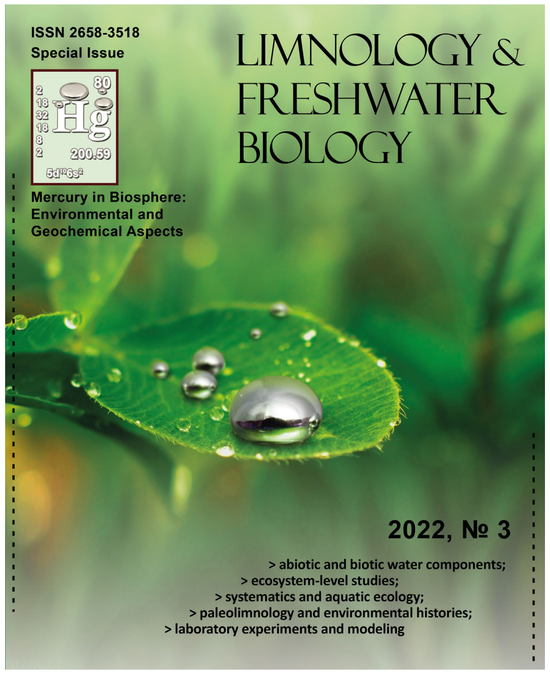
Публикационная результативность

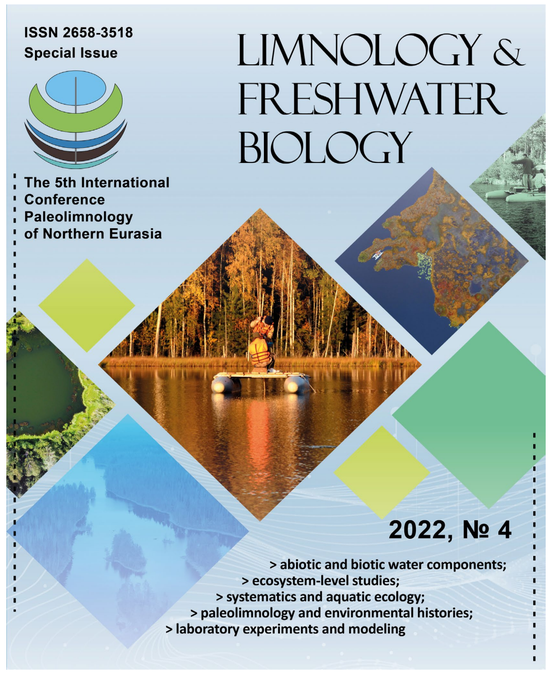
За отчетный период опубликовано 139 статей, из них 116 статей в журналах, индексируемых в международных информационно-аналитических системах научного цитирования Web of Science и Scopus, в том числе 49 в изданиях первого и второго квартиля (Q1 и Q2).

Комплексный балл публикационной результативности составил 462,01, совокупный импакт фактор журналов – 276,802.

Вышло 6 номеров нашего журнала **Limnology and Freshwater Biology**. http://limnolfwbiol.com/, 2 из которых по материалам международных совещаний:

- Третьего международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты»
- Пятой международной конференции «Палеолимнология Северной Евразии»





Патент на изобретение

Глызина О.Ю., Воробьева А.Н., Сапожникова Ю.П., Суханова Л.В., Адамович С.Н., Оборина Е.Н., Ушаков И.А. Способ инкубации икры лососеобразных рыб в шестилуночных культуральных планшетах с использованием стимуляторов развития.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2786438

Способ инкубации икры лососеобразных рыб в шестилуночных культуральных планшетах с использованием стимуляторов развития

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук (ЛИН СО РАН) (RU)*

Авторы: *Глызина Ольга Юрьевна (RU), Воробьева Алла Николаевна (RU), Сапожникова Юлия Павловна (RU), Суханова Любовь Васильевна (RU), Адамович Сергей Николаевич (RU), Оборина Елизавета Николаевна (RU), Ушаков Игорь Алексеевич (RU)*

Заявка № **2021139962**
Приоритет изобретения **30 декабря 2021 г.**
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **21 декабря 2022 г.**
Срок действия исключительного права на изобретение истекает **30 декабря 2041 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ИЗМЕНЕНИЕ

В ПАТЕНТ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2786438

Государственная регистрация отчуждения исключительного права по договору

Дата и номер государственной регистрации отчуждения исключительного права: *28.12.2022 № РД0418600*

Лицо(а), передающее исключительное право: *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук (RU)*

Приобретатель(и) исключительного права: *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук (RU), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского Сибирского отделения Российской академии наук (RU)*

продолжение см. на обороте

Запись внесена в Государственный реестр изобретений Российской Федерации *28 декабря 2022 г.*

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Изобретение относится к рыбоводству, а именно к способам повышения эффективности инкубации икры лососеобразных рыб. Оплодотворенную икру на стадии глазка помещают на инкубацию в холодильную камеру. Инкубацию проводят в культуральных планшетах, в которых икра размещается по 1-3 икринки на лунку планшета и находится в погруженном состоянии в водном растворе арилхалькогенилацетата трис(2-гидроксиэтил) аммония, с химической формулой 4- $Cl\text{-}C_6H_4SO_2CH_2C(O)O^-\cdot HN^+(CH_2CH_2OH)_3$, с концентрацией не выше 0,0001%. Изобретение обеспечивает максимальную выживаемость икры без принудительной аэрации и с минимальными трудозатратами.

Более 40 упоминаний о деятельности ЛИН СО РАН в средствах массовой информации за 2022 год

Областная — Общественно-политическая газета

ПРАВОВОЙ ПОРТАЛ
Официальный интернет-портал правовой информации Иркутской области

Общество · Власть · Экономика · Вопрос-ответ · Еще

25.05.2022 15:43 **Омуль любит счет**

На Байкале с 23 мая стартовала совместная экспедиция Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии и Лимнологического института СО РАН. С помощью гидроакустического и тралового методов ученые определят количество омуля и его размеры.

IRK.RU Новости Статьи Афиша Telegram Дзен СВОЁ Погода Туризм Обед Тесты Реклама Спецпроекты

Лента Происшествия Статьи Народные Фото COVID-19 **Общество** Еще

Ученые Лимнологического института СО РАН изучат древний лед из Антарктиды

10 ноября 2022 16:33

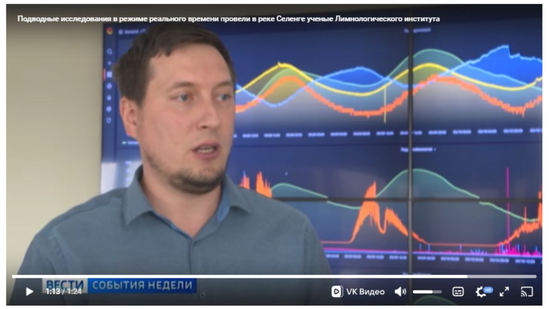
Ученые изучают древний лед из Антарктиды. Фото с сайта Арктического и антарктического НИИ

ВЕСТИ ИРКУТСК ТВ Радио ГТРК Продакшн Архив Контакты

Главная / Подводные исследования в режиме реального времени провели в реке Селенге ученые Лимнологического института

Подводные исследования в режиме реального времени провели в реке Селенге ученые Лимнологического института

18 сентября 2022 г. 8:15



© ГТРК «Иркутск» / Наталия Сальникова, Алена Беляева

Главная Новости Наука для общества Организация науки Просто о сложном Мнения Другие Печатная версия

Наука в Сибири — ИЗДАНИЕ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Центр интерактивного мониторинга Байкальской природной территории презентовали в ЛИН СО РАН

11 марта 2022

В Лимнологическом институте СО РАН (Иркутск) 10 марта презентовали Центр интерактивного мониторинга Байкальской природной территории и озера Байкал. Показатели разноплановых датчиков института отображаются на информационной панели.

«Можно следить за пульсом Байкала, за изменением окружающей среды в режиме реального времени, сейчас мы стоим на пороге, когда требуется пересмотр нового технологического уклада за наблюдениями на Байкале и Байкальской природной территории», — сказал директор ЛИН СО РАН доктор геолого-минералогических наук Андрей Петрович Федотов.

IRK.RU Новости Статьи Афиша Telegram Дзен СВОЁ Погода Туризм Обед Тесты Реклама Спецпроекты

Лента Происшествия Статьи Народные Фото COVID-19 **Экология** Еще

Сибирские ученые выступили против смягчения требований к промышленным стокам в Байкал

31 марта 2022 11:08

Фото с сайта Гринпис

Сибирское отделение РАН высказалось против смягчения требований к сбросам промышленных стоков в водные объекты Байкальской природной территории, которое предлагается проектом соответствующего **приказа Минприроды РФ**. Об этом сообщает Интерфакс со ссылкой на слова директора Лимнологического института СО РАН Андрея Федотова.

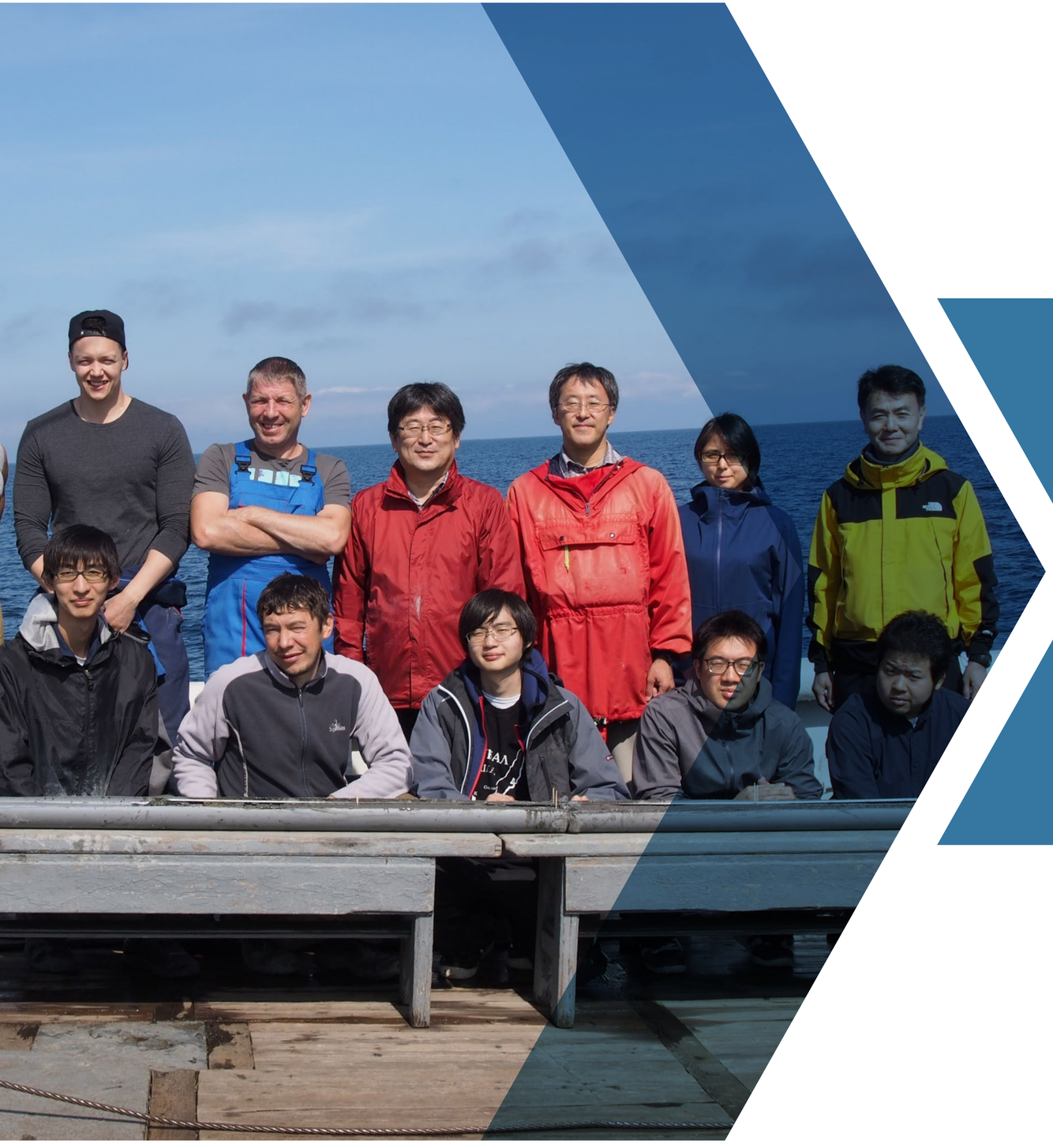
Областная — Общественно-политическая газета

ПРАВОВОЙ ПОРТАЛ
Официальный интернет-портал правовой информации Иркутской области

Общество · Власть · Экономика · Вопрос-ответ · Еще

08.08.2022 13:12 **Станции мониторинга уровня Байкала установили в северной котловине**

Тестовые автоматические гидрометеорологические станции (АГМС) мониторинга уровня Байкала установили в северной котловине озера. Работы проводились с использованием научно-исследовательского судна «Папанин», телеуправляемого необитаемого подводного аппарата ТНПА «РОВБИЛДЕР» и водолазов. Об этом 7 августа 2022 года сообщает Лимнологический институт СО РАН.



МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Соглашения с зарубежными организациями

MAX PLANCK INSTITUTE FOR BIOPHYSICAL CHEMISTRY

Институт биофизической химии общества Макса Планка (Германия)

Институт биологии (Монголия)

北見工業大学 KITAMI Institute of Technology

Технологический институт Китами (Япония)

Университет Сорбонны (Франция)

Центр эволюции и динамики Земли Отделения наук о Земле Университета Осло (Норвегия)

Университет им. Эрнандеса (Испания)

Университет Тромсё – Арктический университет Норвегии (Норвегия)

Крупные сетевые проекты

Продолжены работы по международной программе EANET (Сеть мониторинга кислотных выпадений в Восточной Азии), входящей в программу ЮНЕП (UNEP) в рамках ООН по окружающей среде. В Байкальском регионе работают три станции мониторинга атмосферы: Иркутск (городская), Листвянка (сельская), Монды (фоновая).

Результаты, получаемые на этих станциях по переносу кислотных компонентов и их воздействию на различные природные экосистемы, ежегодно передаются в Росгидромет РФ для отправки в Сетевой центр программы EANET и составления Национального отчета в России по состоянию загрязнения атмосферы на Азиатской ее территории, публикуются в ежегодных Обзорах «Состояние и загрязнение окружающей среды в Российской Федерации». На основе многолетнего периода наблюдений на р. Переемной (восточное побережье Южного Байкала) установлено (Рис. 1), что поступление в составе атмосферных выпадений сульфатов, минерального азота и ионов водорода привело к нарушению ионного

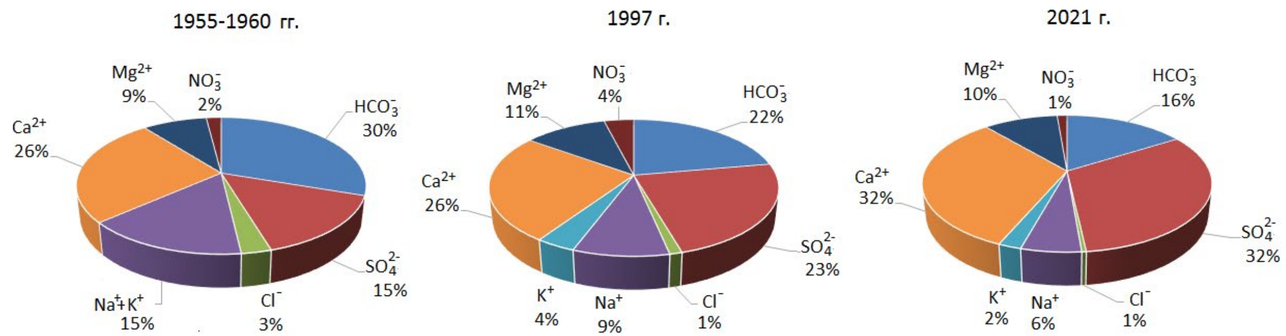


Рис.1. Изменение относительного химического состава воды р. Переемная в многолетнем аспекте

равновесия в воде реки, обусловило снижение устойчивости речных вод к закислению. В воде увеличилось содержание сульфатов, снижение гидрокарбонатов, что изменило относительный состав главных ионов. В настоящее время воды р. Переемной соответствуют сульфатному классу, группе кальция.

28-29 сентября 2022 г. в online режиме в Ниигата (Япония) прошло 23 совещание старших технических менеджеров (STM 23) из 13 стран участниц программы EANET. Сетевой центр представил предварительный проект Отчета о данных за 2021 г. и предварительный Отчет о проекте межлабораторных сравнений в 2021 г., а также о результатах совещания Группы экспертов по пересмотру Технического руководства по оценке потоков сухих отложений в Восточной Азии. Каждая страна доложила о Национальном плане и текущей деятельности EANET, включая возможности мониторинга, технические проблемы, планы на будущее.

18-22 октября 2022 г. в online режиме в Бангкоке (Таиланд) состоялся 22 научно-консультационный комитет (SAC22) программы EANET. На сессии присутствовали члены SAC или их заместители и другие назначенные лица из 13 стран участниц программы EANET, ведущие приглашенные ученые из других стран. Были рассмотрены проекты отчета программы EANET 2021 г. и финансового отчета. Проведено обсуждение основных мероприятий 2021 г.: мониторинг данных; публикация пятилетнего отчета (PRSAD4) результатов мониторинга 2014-2019 гг.; работа по обеспечению контроля качества данных; индивидуальное обучение; исследовательская программа и др.

GEO | GOS4M

GLOBAL OBSERVATION SYSTEM FOR MERCURY

Продолжен долговременный мониторинг на станции «Листвянка» в рамках проекта GOS4M (Глобальная система мониторинга ртути), состоящей из 43 станций за наблюдением ртути в атмосфере по всему миру, включая Антарктиду. Станция «Листвянка» расположена в центре огромной территории Сибири (Рис. 2), где до 2011 г. наблюдения не проводились. Эти измерения являются основным инструментом для оценки атмосферных поступлений ртути на глобальном и региональном уровнях, а также для моделирования процессов эмиссии, переноса и осаждения. Выявлены сезонные вариации содержания ртути в воздухе с увеличением в зимний период, что связано с ростом выбросов ртути от сжигания угля в Прибайкалье, установлены конкретные локальные источники ее выбросов. Эксплуатация монитора РА915АМ фирмы ЛЮМЭКС на протяжении 10 лет в сложных условиях Сибири показала его надежность и возможность автономного использования в сетях мониторинга в рамках проекта GOS4M.

Членство в зарубежных организациях

- Федерация Европейских микробиологических обществ (FEMS)
- Научно-руководящий комитет по загрязнению окружающей среды и атмосферной химии (SSC-EPAC) Всемирной метеорологической организации (WMO)
- Международное сообщество исследования диатомей (ISDR)
- Международное сообщество протозоологов (ISOP)
- Ихтиологическое сообщество Британских островов (FSBI)

Federation of European Microbiological Societies

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION

ISDR

ISOP

fsbi An International Society for Fish Biology

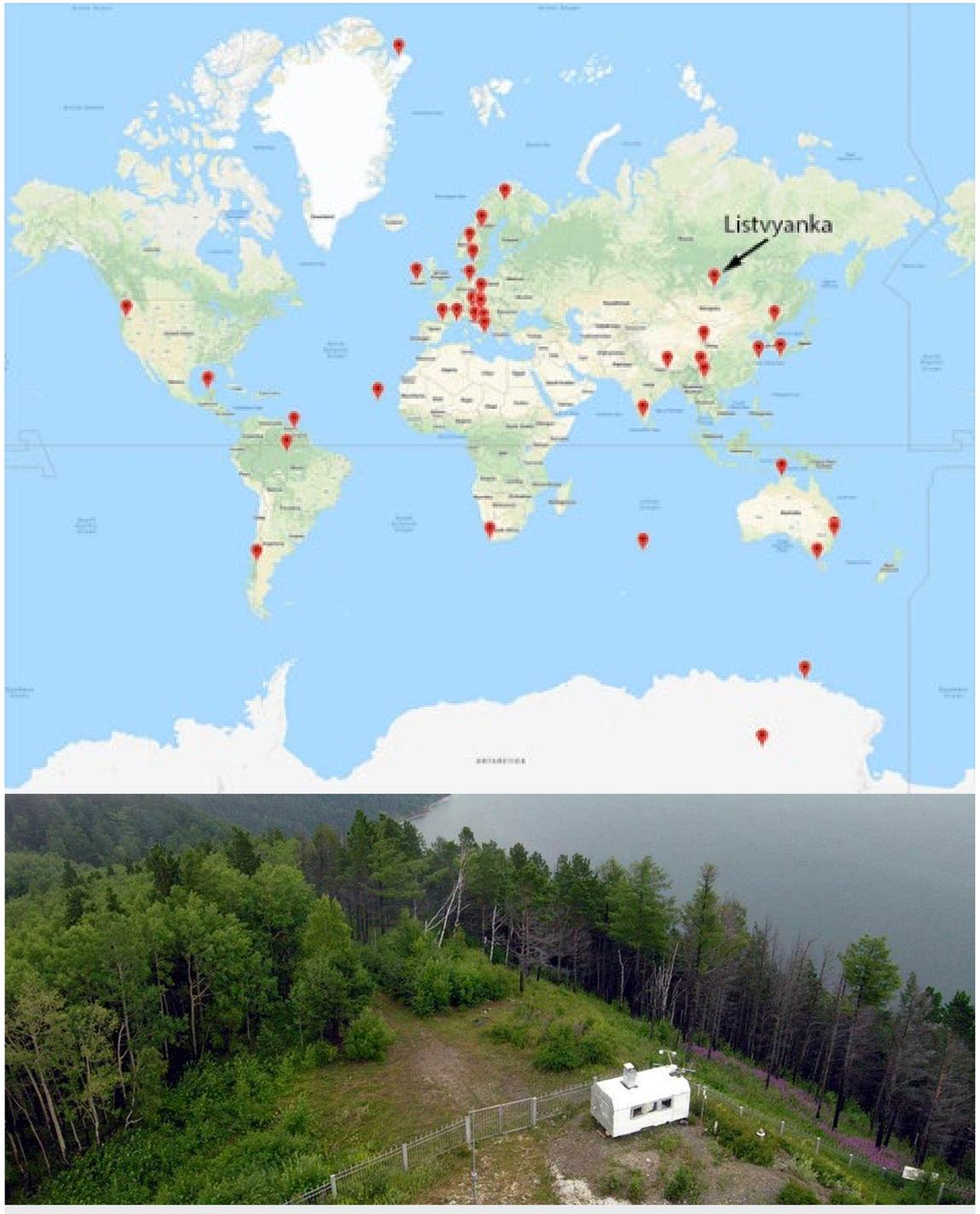


Рис.2. Расположение станции мониторинга «Листвянка» в сети GOS4M и вид станции с воздуха

МОЛОДЕЖЬ ЛИН СО РАН

Практика у студентов

Всего студентов, проходивших практику (учебную, производственную, преддипломную) в ЛИН СО РАН в 2022 году – 84 человека, в том числе:

- Иркутский государственный университет – 63;
- Московский государственный университет – 1;
- Бурятский государственный университет – 1;
- Иркутский национальный исследовательский технический университет – 1;
- Иркутский техникум речного и автомобильного транспорта – 18.

Аспирантура

В рамках реализации образовательных программ высшего образования – программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 13 человек проходили очное обучение по 7 научным специальностям:

- 1.4.2. Аналитическая химия;
- 1.5.3. Молекулярная биология;
- 1.5.7. Генетика;
- 1.5.11. Микробиология;
- 1.5.15. Экология
- 1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых;
- 1.6.18. Науки об атмосфере и климате.

Принято в аспирантуру 3 человека (специальности: 1.5.7. Генетика; 1.5.12. Зоология; 1.5.15. Экология). Фактический выпуск аспирантов, успешно прошедших государственную итоговую аттестацию и представивших диссертации – 2 человека. Количество аспирантов, выбывших до окончания аспирантуры – 1 человек.

Защиты диссертационных работ

Чернышов М.С. Природно-климатические и антропогенные факторы формирования уровенного режима озера Байкал. Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.21. Геоэкология (географические науки). Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, 12.05.2022 г.

Зайдыков И.Ю. Исследование популяционно-видовой структуры азиатских представителей рода Epischura Forbes, 1882 (Calanoida, Copepoda). Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.7. Генетика. Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, г. Владивосток, 24.06.2022 г.

Болбат А.В. Структура и эволюция митохондриального генома реликтовых пиявок. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.7. Генетика. Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, г. Новосибирск, 12.10.2022 г.

Аспиранты первого года обучения Роман Криворoткин и Татьяна Алексеева

Совет научной молодежи

Для представления интересов молодых сотрудников и координации их деятельности в Институте функционирует Совет Научной Молодежи (СНМ), избираемый коллективом молодых ученых каждые 2 года. В октябре 2022 г. состоялись перевыборы в состав СНМ. Одним из основных направлений деятельности СНМ является поддержка академической мобильности и публикационной активности среди молодежи. В 2022 г. молодыми учеными в соавторстве опубликовано более 50 статей в различных научных журналах, представлены результаты на научно-исследовательских конференциях в г. Новосибирске, Москве и Владивостоке. Молодые сотрудники выступили активными участниками различных мероприятий:

- 14-15 апреля – в организации I Всероссийской Байкальской научно-практической конференции школьников «Открывая горизонты» на базе Иркутской государственной областной универсальной библиотеки имени И.И. Молчанова-Сибирского и при поддержке «Молодежного кадрового центра» при Министерстве по молодежной политике Иркутской области;
- 27-29 апреля – в составе жюри Региональной конференции проектно-исследовательских работ для учащихся 8-11 классов общеобразовательных учреждений Иркутской области «Наука. Технологии. Интеллект»;
- 23 июня-7 июля – в седьмой экспедиции Международного научно-образовательного проекта Class@Baikal;
- 4-6 октября – в экспертной проектной сессии Второго мероприятия-спутника Конгресса молодых ученых, посвященного актуальным проблемам Арктики в г. Салехарде (Ямало-Ненецкий автономный округ) в рамках нацпроекта «Наука и университеты»;
- 11 октября-19 ноября – в Арктической экспедиции на научно-исследовательском судне «Академик Мстислав Келдыш» (рейс № 90) в Баренцевом, Карском и Печорском морях;
- 2-26 ноября – в комплексной экспедиции по исследованию струйных газовыделений метана у берегов Крыма на научно-исследовательском судне «Профессор Водяницкий» (рейс № 125);

Арктическая экспедиция на НИС «Академик Мстислав Келдыш»

Экспедиция на НИС «Профессор Водяницкий» в Чёрном море

- 1-3 декабря – в докладе результатов экспертной проектной сессии по восстановлению ценных видов сиговых рыб Обь-Иртышского бассейна правительству РФ на II конгрессе молодых ученых в г. Сочи, Федеральная территория «Сириус».

Молодые ученые представляли ЛИН СО РАН во Всероссийском конкурсе организаций «Лидеры отрасли РФ», где стали лауреатами в номинации «Победители конкурса».

В течение года молодыми сотрудниками было проведено множество экскурсий, лекционных и практических занятий, посвященных популяризации научной деятельности для школьников и студентов, в том числе профильных направлений ВУЗов г. Иркутска. Так, в сентябре 2022 г. более 200 школьников со всей России – победители Всероссийского конкурса «Большая перемена», посетили Институт в рамках культурно-образовательной программы «Путешествие мечты». С 31 октября по 1 ноября Институт консалтинга экологических проектов в сотрудничестве и на базе ЛИН СО РАН провел в Иркутске межрегиональный образовательный и практический семинар «Учимся выполнять экологические научно-исследовательские проекты для участия в Российском открытом молодежном водном конкурсе». Участники экскурсий и семинаров знакомились с работой Центра интерактивного мониторинга ЛИН СО РАН, особенностями исследований с помощью световых и электронных микроскопов ЦКП «Ультрамикроанализ», посетили Экспериментальный пресноводный аквариумный комплекс байкальских гидробионтов, узнали о деятельности группы водолазных исследований и подводного мониторинга, а также других научных подразделений Института.

Совместно с Администрацией института СНМ оказывает помощь в решении жилищных и социальных вопросов. В 2022 г. один сотрудник стал участником мероприятий по обеспечению жильем молодых ученых основного мероприятия «Обеспечение жильем отдельных категорий граждан» и получил государственный жилищный сертификат.

Победители Всероссийского конкурса «Большая перемена»

В 2022 г. продолжена практика проведения Конкурса проектов молодых ученых ЛИН СО РАН, впервые запущенного в 2021 г. с целью поддержки пилотных проектов молодых ученых, которые могут в дальнейшем стать основой полноценных грантов. Организационным комитетом Конкурса в 2022 г. было получено 9 заявок, из которых 5 лучших проектов получили поддержку.

Молодые ученые участвовали в разнообразных спортивных мероприятиях: Открытое первенство Иркутского научного центра СО РАН по лыжным гонкам ко Дню российской науки (II командное место), XVI Всероссийская Лыжная Академиада РАН (V командное место), 33-я эстафета СИФИБР СО РАН, посвященная Дню Победы (III место среди ИНЦ СО РАН); Легкоатлетический кросс Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (I командное место).

Возобновлена традиция новогоднего поздравления молодыми учеными детей сотрудников Института и детских домов Иркутской области.

Новогодняя сказка «Как у Деда Мороза совесть украли»

ЛИН СО РАН, Иркутск 2022