



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ЛИМНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

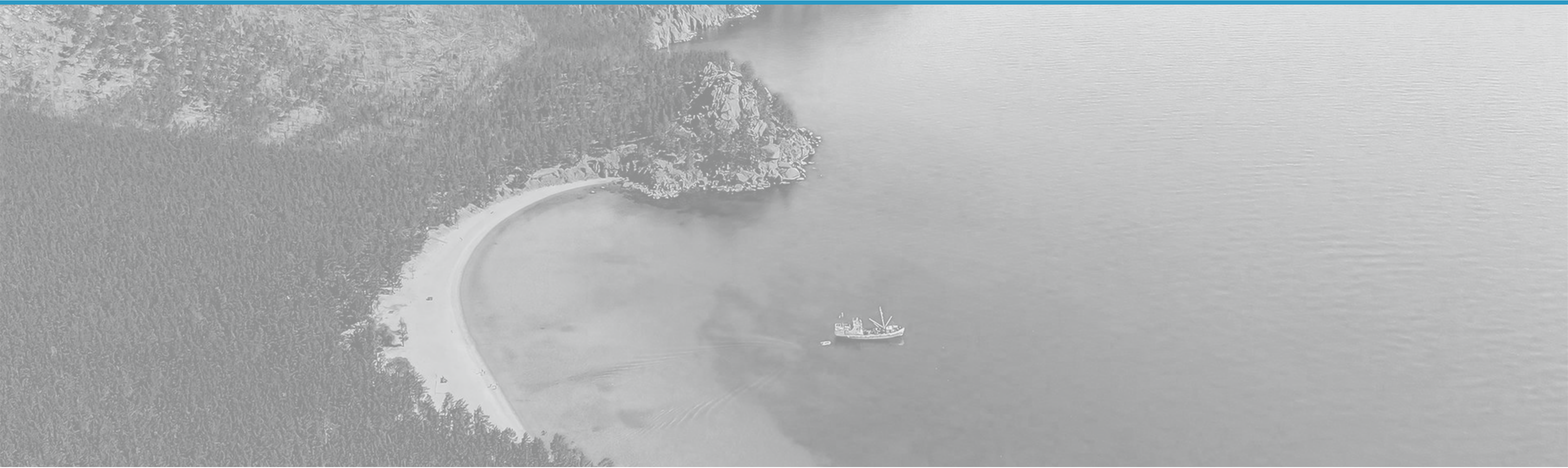
ЗА 2021 ГОД



ИРКУТСК



БАЗОВЫЕ ПРОЕКТЫ 2021-2025





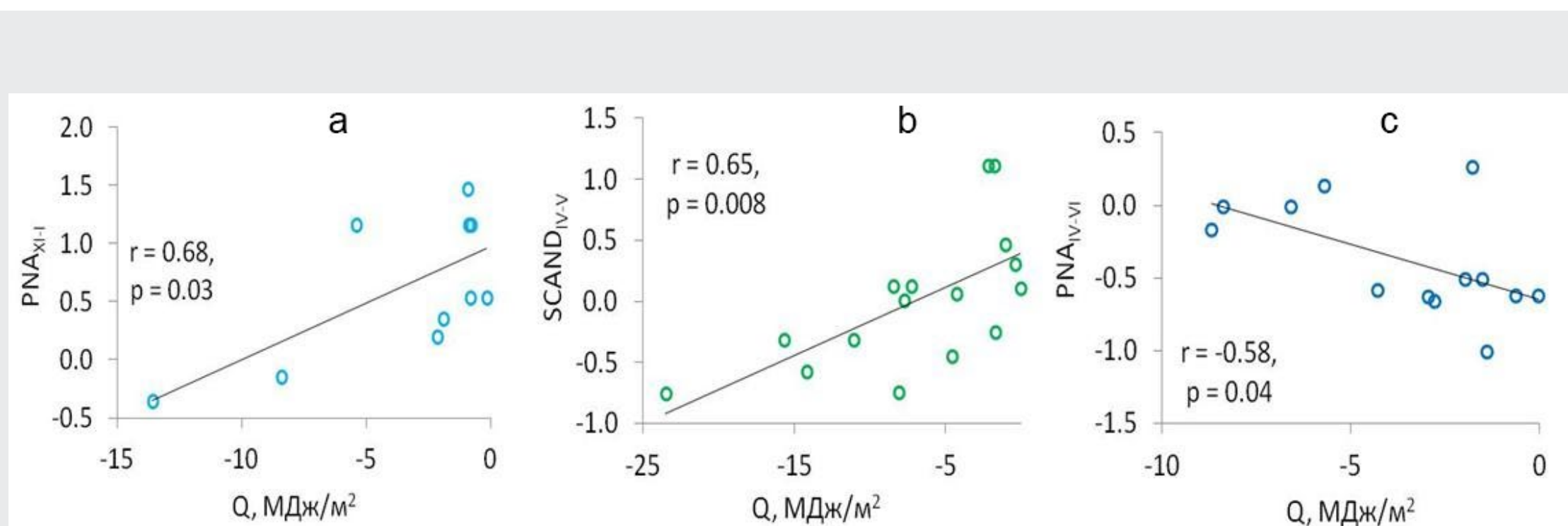
ИССЛЕДОВАНИЕ АДВЕКТИВНОГО И ТУРБУЛЕНТНОГО ВОДООБМЕНА БАЙКАЛА И ЕГО ВЛИЯНИЯ НА ЭКОСИСТЕМУ ОЗЕРА, РИСКИ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

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

Анализ межгодовой изменчивости (1993-2021 гг.) характеристик интрузий в придонную область показал, что их величины изменяются в широких пределах (дефицит тепла от $-(3,8 \div 6,1)$ МДж/м², количество кислорода $6,5 \div 28,2$ O₂ г/м² и средняя мощность слоя обновления от $72 \div 98$ м). Для Южного и Среднего Байкала они близки, и 1,5-4 раза меньше для Северного Байкала, что свидетельствует о меньшей интрузионной деятельности в этой части озера в исследуемый период. Выявлены достоверные ($p < 0,05$) положительные тренды дефицита тепла ($-0,18$ (МДж/м²)/год) и мощности слоя обновления (1,2 м/год) в Южном Байкале. Для Среднего и Северного Байкала никаких значимых трендов не выявлено.

При изучении связи интрузий с изменениями циркуляции атмосферы над Байкалом (Рис.1.) обнаружены значимые связи с механизмами, блокирующими зональный перенос (PNA и SCAND), со сдвигом их значений на один месяц раньше, когда начинают формироваться условия для развития интрузий поверхностных вод (апрель-июнь весной и ноябрь-январь в предледоставный период) в придонную область.



а) – Южный Байкал, ΔQXII–III, б) – Средний Байкал, ΔQV–VII, в) Северный Байкал, ΔQV–VII.

Рис.1. Связь дефицита тепла (Q, МДж/м²) в придонной зоне с индексами циркуляции.

Гидроакустические исследования районов углеводородной разгрузки на оз. Байкал, оценка расходов газа, анализ долгосрочной активности

Начиная с 2000-х гг. на озере Байкал был организован поиск и мониторинг выходов газа с помощью эхолотов. Анализ данных гидроакустических съемок районов углеводородной разгрузки с 2010 по 2021 год дал возможность проследить некоторые особенности в величинах расхода газа и их вариациях для трех глубоководных выходов – «Санкт-Петербург», «Кедровый» и «Маленький». Расход газа за время наблюдения у всех выходов менялся от максимальных значений (30, 68, 190 м³/сут, Рис.2.) до минимальных (0,6, 2,9, 0,7 м³/сут), соответственно. Также за последние десять лет зафиксированы случаи «извержения» («Маленький» и «Санкт-Петербург») и частичного или полного прекращения работы выходов газа.

Анализ зависимости высоты (размера) газового «факела» от величины расхода газа позволил оценить минимальный расход газа (20 т/год, 0,5 м³/сут, 41 ммоль/с), при котором «факел» еще возможно зарегистрировать в пелагической части озера, например, глубже 1000 метров. Площадь дна глубже этой изобаты равна 8,4 т. км², что составляет 27% от общей площади дна озера Байкал. Это допускает предположить, что могут существовать глубоководные выходы газа с малыми расходами, которые невозможно зарегистрировать на площади дна, превышающей четверть площади всего Байкала. Такие скрытые выходы газа могут давать ощутимый вклад в эмиссию метана из донных отложений в водную толщу. Необходимо продолжить работы в глубоководной зоне озера для исследования процессов разгрузки углеводородов и их влияния на экосистему озера.

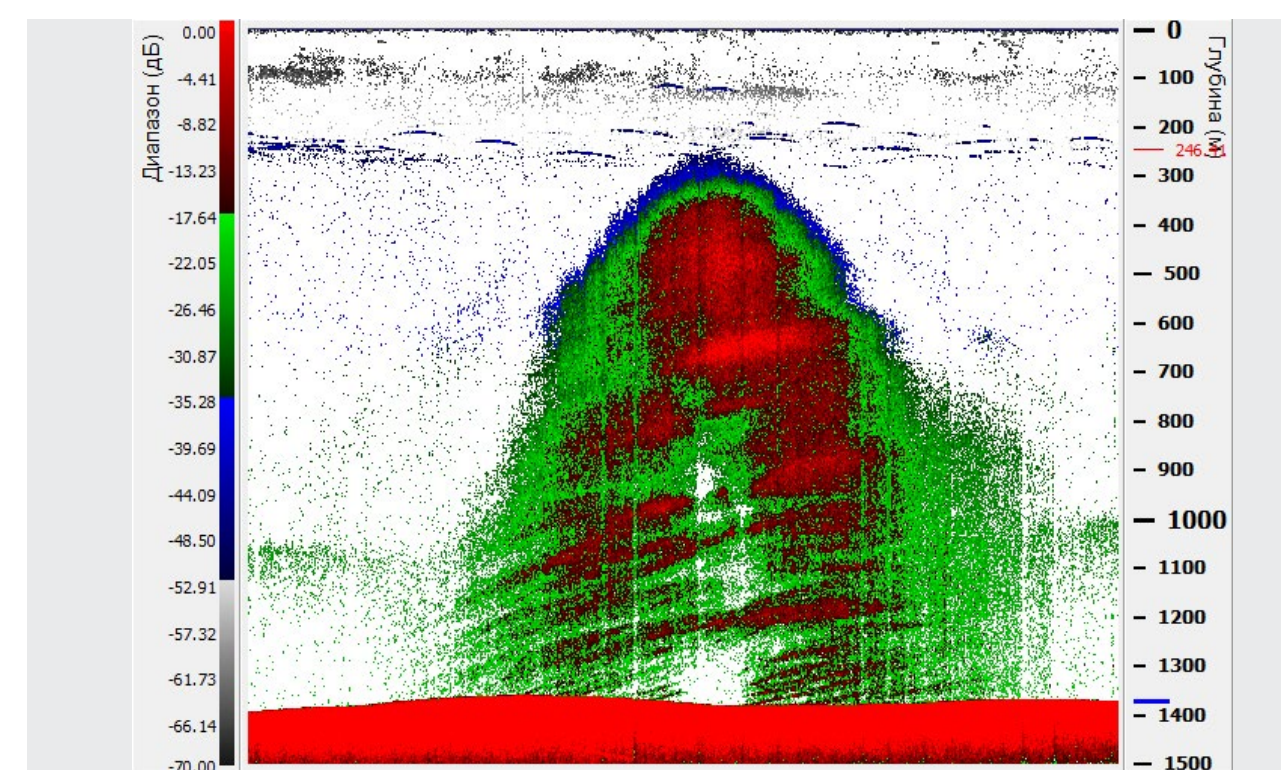


Рис.2. Эхограмма регистрации максимальной высоты факела выхода газа «Санкт-Петербург» на пике активности 18 мая 2018 года.

Исследование влияния изменений уровня озера на смещение нижней границы устойчивости газовых гидратов и на концентрацию растворенного в воде метана

Повышение уровня воды в Байкале после строительства Иркутской ГЭС привело к заглоблению нижней границы устойчивости газовых гидратов и вызвало длительный переходный процесс их образования и уменьшения поступлений метана из донных отложений. Впервые получены временные оценки переходного процесса (Рис.3а). При повышении уровня озера на 80 см и увеличении степени насыщения донных отложений газовой гидратами (без учета осадконакопления) время переходного процесса возрастает от десятков до сотен лет.

Математическое моделирование позволило оценить смещение нижней границы устойчивости газовых гидратов с учетом изменений уровня озера и осадконакопления (Рис.3б). Смещение границы может оказывать влияние на концентрацию метана в воде и, как следствие, на биоту. Это может объяснить массовую гибель эндемичной глубоководной рыбы голомянки до середины прошлого века. Поступление тепличного газа метана отрицательно связано с повышением уровня Мирового океана вследствие глобальных изменений климата.

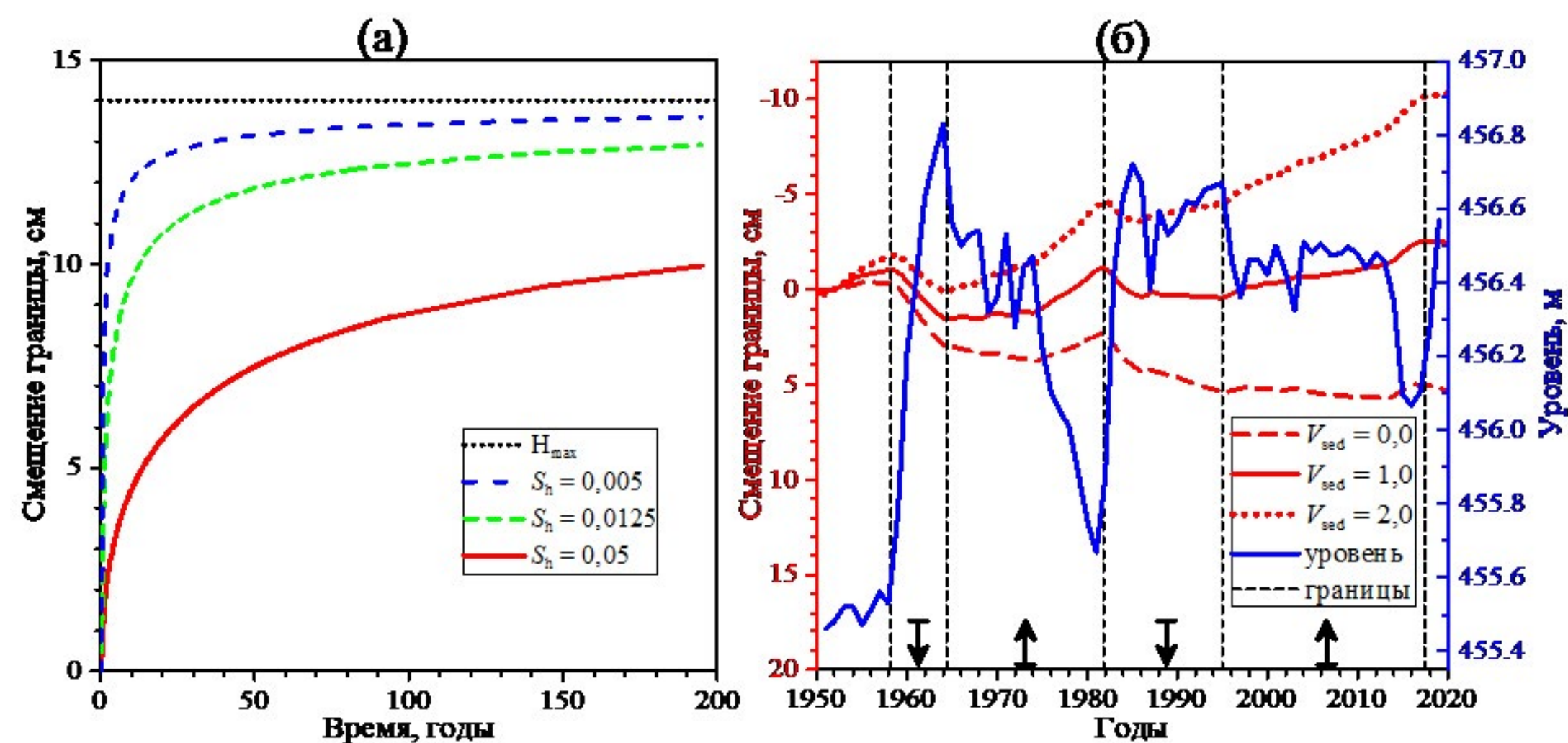
Публикации:

Sharma S., Richardson D.C., Woolway R.I., Imrit M.A., Bouffard D., Blagrove K., Daly J., Filazzola A., Granin N., Korhonen J., Magnuson J., Marszelewski W., Matsuzaki Sh.-I.S., Perry W., Robertson D.M., Rudstam L.G., Weyhenmeyer G.A., Yao H. Loss of ice cover, shifting phenology, and more extreme events in northern hemisphere lakes // *JGR Biogeosciences*. – 2021. – V. 126. – e2021JG006348. DOI: [10.1029/2021JG006348](https://doi.org/10.1029/2021JG006348)

Kouraev A.V., Zakharova E.A., Kostianoy A.G., Shimaraev M.N., Desinov L.V., Petrov E.A., Hall N.M. J., Rémy F., Suknev A.Ya. Giant ice rings in southern Baikal: multi-satellite data help to study ice cover dynamics and eddies under ice // *The Cryosphere*. – 2021. – V. 15, № 9. – P. 4501–4516. DOI: [10.5194/tc-15-4501-2021](https://doi.org/10.5194/tc-15-4501-2021)

Aslamov I., Kirillin G., Makarov M., Kucher K., Gnatovsky R., Granin N. Autonomous System for Lake Ice Monitoring // *Sensors*. – 2021. – № 21(8505). DOI: [10.3390/s21248505](https://doi.org/10.3390/s21248505)

Sinyukovich V.N., Latysheva I.V., Makukhin V.L. Transformation of the conditions triggering flash flood-producing rains in Southern Areas of the Angara and Baikal Regions // *Proceedings of SPIE*. – 2021. – V. 11916. – № 119166I. – P. 1–5. DOI: [10.1117/12.2603409](https://doi.org/10.1117/12.2603409)



(а) – нижняя граница устойчивости газовых гидратов при различной степени газогидратного насыщения пор донных отложений (S_h) без учёта седиментации при повышении уровня озера на 80 см; (б) – нижняя граница устойчивости газовых гидратов при различных скоростях осадконакопления (V_{sed} , мм/год) и изменении среднегодового уровня озера (м) после строительства Иркутской ГЭС, при величине газогидратного насыщения пор $S_h=0,05$. Вертикальные пунктирные линии – границы периодов подъема (стрелка вверх) и заглобления (стрелка вниз) нижней границы устойчивости газовых гидратов, связанные с изменением внутрислоевого давления и потоков метана при скорости седиментации $V_{sed}=1$ мм/год.

Рис.3. Смещение нижней границы устойчивости газовых гидратов.



ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИЙ СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ В СЕЗОННЫХ И ДОЛГОВРЕМЕННЫХ АСПЕКТАХ В КОНТЕКСТЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ И АНТРОПОГЕННЫХ НАГРУЗОК

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

В ходе исследований было определено, что фитопланктон прибрежной зоны в 2021 г. характеризовался изменением состава доминантов весеннего комплекса. Большой вклад в биомассу вносили диатомовые водоросли (68%): *Aulacoseira baicalensis*, *A. islandica*, *Stephanodiscus meyeri*, *Synedra acus* var. *radians*. В отличие от прошлых лет, 2021 г. по биомассе (1148 ± 110 мг/м³) относится к высокопродуктивным годам, как и 2019 г. (Рис.1.)

Изучение зон смешивания речных и озерных вод показало, что максимально активно процессы перемешивания протекали на придельтовом участке Селенгинского мелководья, в 1-3 км от устьев проток р. Селенга.

Дана оценка содержания приоритетных загрязнителей – полихлорированных бифенилов (ПХБ) и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в воде Байкала. Установлен сопоставимый уровень концентраций индикаторных конгенов ПХБ как в литоральной зоне, так и пелагиали озера – от < 0.02 до 0.24 нг/л. Содержание приоритетных ПАУ в воде литоральной зоны – от 0.6 до 120 нг/л зависит от сезона, концентрация бензапирена, потенциально опасного канцерогена, не превышает ПДК, установленной для этого загрязнителя в питьевой воде. В ряду парабенов отмечена максимальная концентрация метилпарабена – до 1.3 мкг/л и минимальная для бутилпарабена – 0.03 мкг/л.

Публикации:

Semenov A.A., Enikeev A.G., Babenko T.A., Shafikova T.N., Gorshkov A.G. Phthalates – a strange delusion of ecologists // *Theoretical and Applied Ecology*.-2021.-V.2021.-№1.-p.16-21. DOI: [10.25750/1995-4301-2021-1-016-021](https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-1-016-021)

Gorshkov A.G., Izosimova O.N., Kustova O.V., Marinaite I.I., Galachyants Y.P., Sinyukovich V.N., Khodzher T.V. Wildfires as a Source of PAHs in Surface Waters of Background Areas (Lake Baikal, Russia) // *Water*.-2021.-V.13.-№2636.-p.1-16. DOI: [10.3390/w13192636](https://doi.org/10.3390/w13192636)

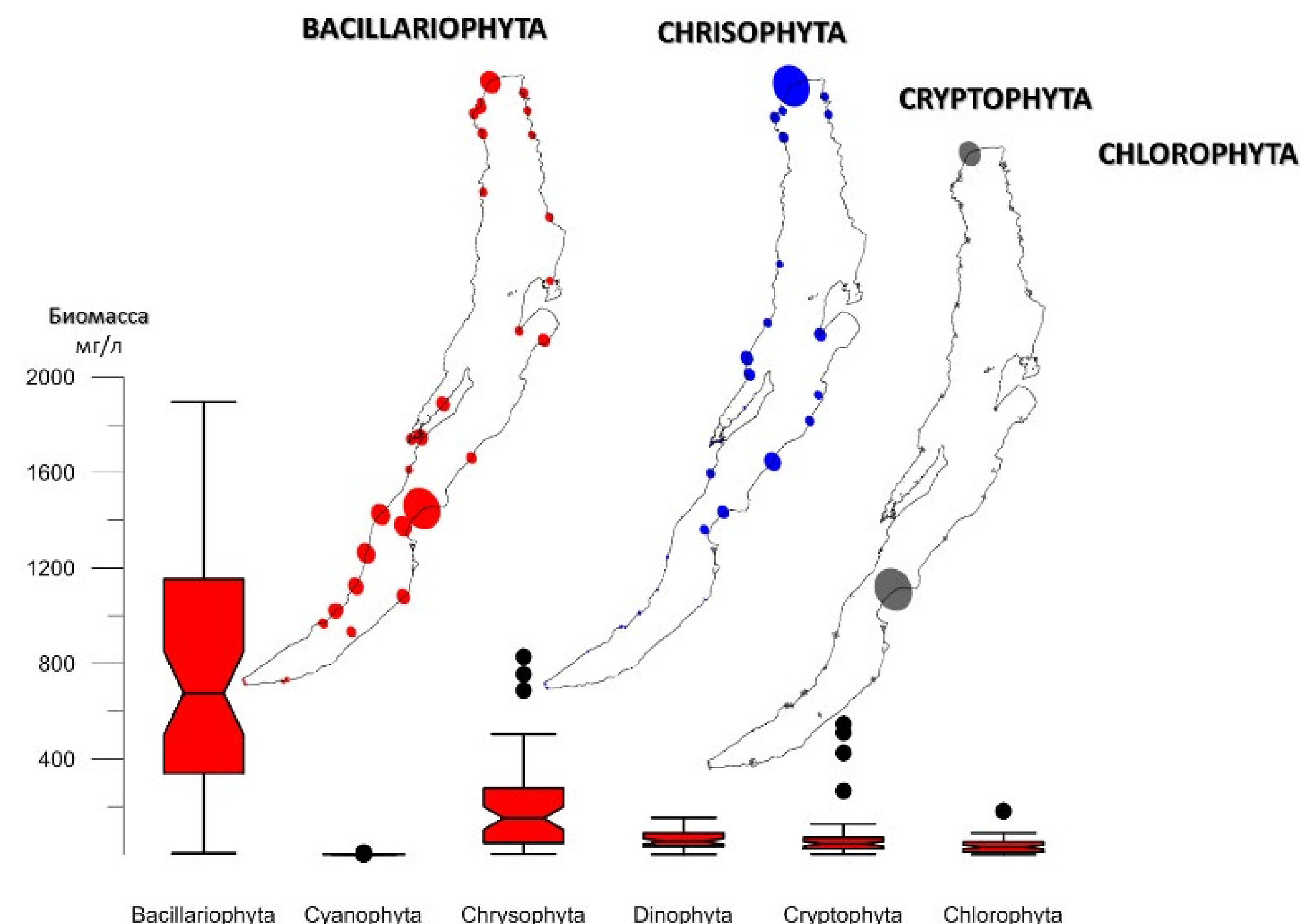


Рис.1. Распределение основных таксонов весеннего фитопланктона в литорали оз. Байкал

Kondratov I.G., Sitnikova T.Ya., Kaygorodova I.A., Denikina N.N., Annenkov V.V., Khanaev I.V., Kirilchik S.V., Nebesnykh I.A., Dzyuba E.V. Amazing Discoveries of Benthic Fauna from the Abyssal Zone of Lake Baikal // *Biology*.-2021.-V.10.-№972.-p.1-17. DOI: [10.3390/biology10100972](https://doi.org/10.3390/biology10100972)

Выполнены исследования изменения изотопного статуса озера Байкал за 30-летний период. Показано, что современный гидрологический цикл обновления вод Байкала начался примерно с 1920 г., однако в изотопном отношении байкальские воды все еще находятся в транзитном-неравновесном статусе по сравнению с атмосферными выпадениями и наследуют изотопный состав вод, сформированных в Малый ледниковый период. Оценено, что потребуется порядка 220 лет, чтобы оз. Байкал пришло в изотопное равновесие ($\delta^{18}\text{O}$ -12.3‰, $\delta^2\text{H}$ -103.6‰) с атмосферными выпадениями (Рис.2). На основе «изотопного отпечатка» детализированы процессы вынужденной конвекции в обновлении придонного водного слоя (100-150 м) за счет верхнего слоя (0-150 м). Дается оценка размера «ячейки конвекционного перемешивания» порядка 30 км.

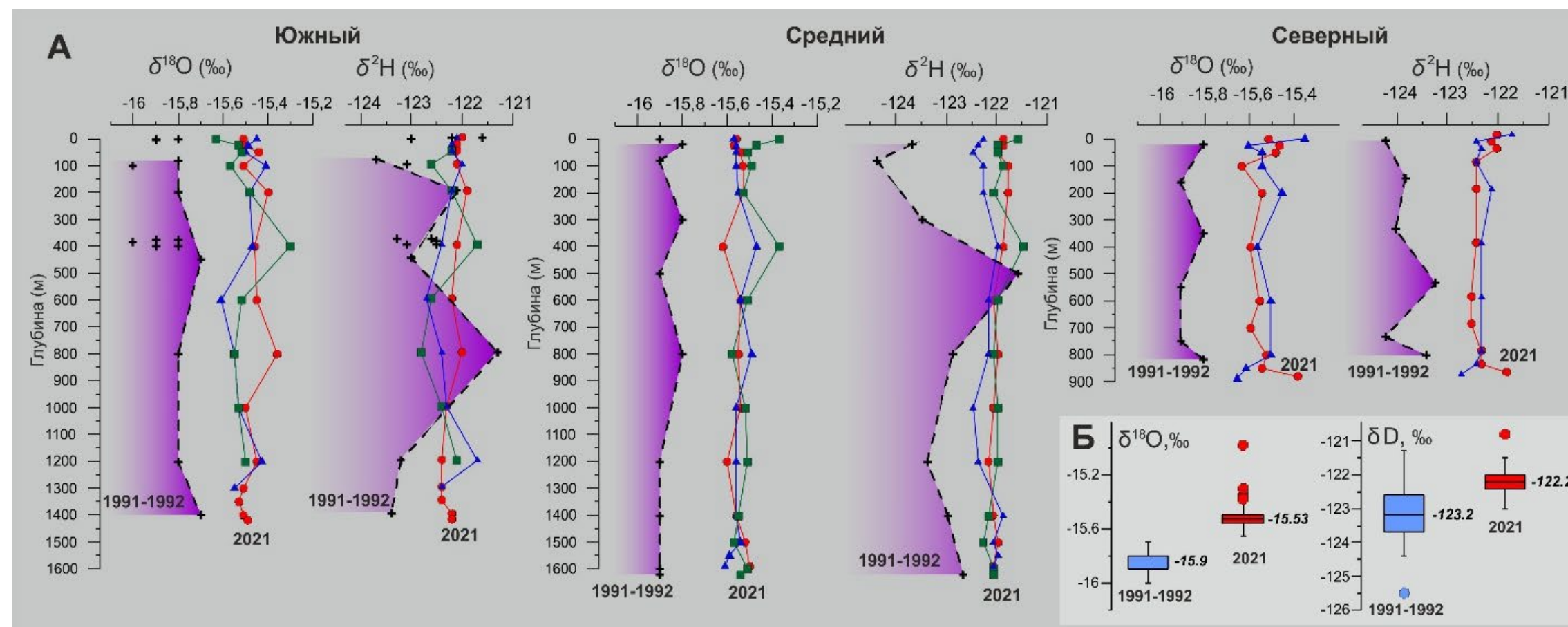


Рис.2. А – Распределение изотопного состава $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ вод в разных котловинах Байкала в 2021 г. по сравнению с 1991-1992 гг.
Б – Осредненные распределения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в 2021 и 1991-1992 гг.

Публикации:

Fedotov A.P., Gnatovsky R.Yu., Blinov V.V., Sakirko M.V., Domysheva V.M., Stepanova O.G. The current oxygen and hydrogen isotopic status of Lake Baikal // *Water*.-2021.-V.13.-p.3476. DOI: [10.3390/w13233476](https://doi.org/10.3390/w13233476)

Впервые с суточным разрешением была измерена скорость абляции на Сыгыктинском леднике, хребет Кодар, юг Восточной Сибири (летние сезоны 2019–2021 гг.). Наиболее тесная связь скорости абляции ($|r|$ от 0,70 до 0,74) установлена с относительной влажностью, приходящей коротковолновой радиацией, температурой поверхности грунта, нижней облачностью и максимальной температурой воздуха. Определено, что основным источником энергии для таяния ледника был радиационный баланс R_{net} (89–95%), за которым следовало турбулентное тепло ($H+LE$, 5–9%) (Рис.3.).

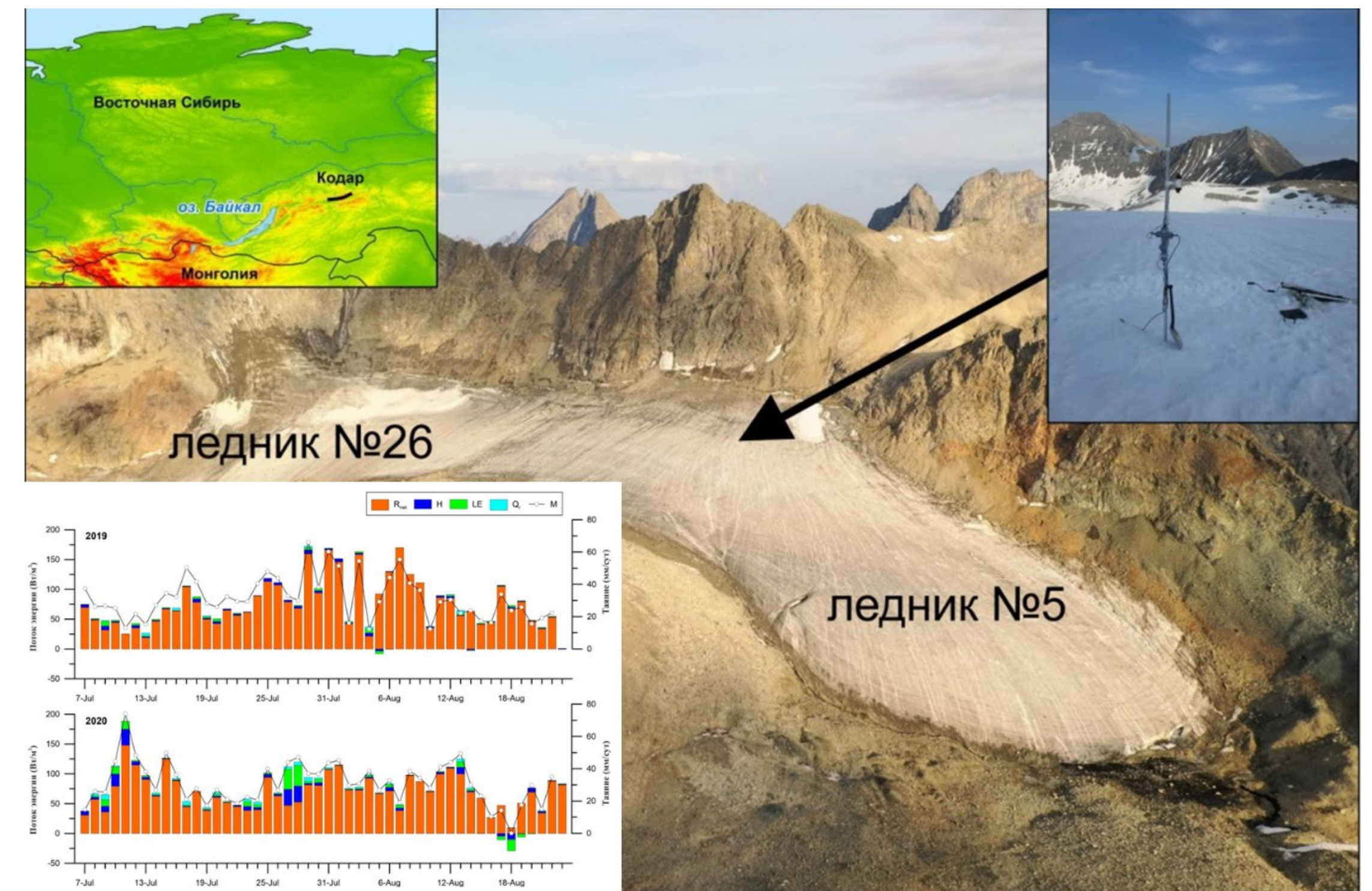


Рис.3. Составляющие теплового баланса ($\text{Вт}/\text{м}^2$) и таяние ($\text{мм}/\text{сут}$) Сыгыктинского ледника (хребет Кодар) в период с 7 июля 2019 г. по 23 августа 2020 г. R_{net} – радиационный баланс, H – явное тепло, LE – скрытое тепло, Q_r – тепло поступающее с осадками и M – суточное таяние.

Osipov E.Y., Osipova O.P. Surface energy balance of the Sygdyktinsky Glacier, south Eastern Siberia, during the ablation period and its sensitivity to meteorological fluctuations // *Scientific Reports*.-2021.-V.11.-p.21260. DOI: [10.1038/s41598-021-00749-x](https://doi.org/10.1038/s41598-021-00749-x)

Впервые протестирована гипотеза о полозависимых различиях в ответ на длительное воздействие шума у каменной широколобки *Paracottus knerii* Dybowski, 1874. Установлено, что снижение теломеразной активности слухового эпителия и сокращение длины теломер в головном мозге наблюдались после воздействия шума только у самок. Самки, по-видимому, испытывают чрезмерный стресс и нагрузку, которая может быть связана с ускоренным клеточным старением, в то время как самцы демонстрируют адаптивные перекалибровки с более низким долгосрочным риском стресса (Рис.4).



Рис.4. Эффекты акустического стресса у байкальской каменной широколобки.

Публикации:

Sapozhnikova Y.P., Koroleva A.G., Yakhnenko V.M., Khanaev I.V., Glyzina O.Y., Avezova T.N., Volkova A.A., Mushinskaya A.V., Tyagun M.L., Shagun A.N., Makarov M.M., Kirilchik S.V., Sudakov N.P., Klimenkov I.V., Sukhanova L.V. Sex associated effects of noise pollution in stone sculpin (*paracottus knerii*) as a model object in the context of human-induced rapid environmental change // *Biology*.-2021.-V.10.-№1063.-p.1-21. DOI: [10.3390/biology10101063](https://doi.org/10.3390/biology10101063)

St. John C. A., Buser T. J., Kee V. E., Kirilchik S.V., Bogdanov B.E., Neely D., Sandel M., Aguilar A. Diversification along a benthic to pelagic gradient contributes to fish diversity in the world's largest lake (Lake Baikal, Russia) // *Molecular Ecology*.-2021.-V.0.-p.1-14. DOI: [10.1111/mec.16209](https://doi.org/10.1111/mec.16209)

Проведены исследования эволюционных взаимосвязей и морфологических адаптаций на примере представителей эндемичного рода *Cottocomephorus*. Использована комбинация анализа нуклеотидных последовательностей митохондриальной ДНК и замен нуклеотидов (SNP), ассоциированных с ультраконсервативными сайтами трех видов рода *Cottocomephorus*. Анализ митохондриальных гаплотипов цитохрома b позволил выявить только две группы: *C. grewingkii* и *C. comephoroides/inermis*. Филогенетические исследования, анализ главных компонент и структура SNP в масштабе всего генома допускают выделить три линии внутри рода *Cottocomephorus*: *C. comephoroides*, *C. inermis* и *C. grewingkii*. Обнаружено недавнее расхождение между *C. comephoroides* и *C. inermis*, а также глубокое расхождение между этими двумя видами и *C. Grewingkii* (Рис.5). Цифровая морфология выявила высоко производные пелагические фенотипы, которые отражают дивергенцию по специализации к бентопелагической нише у *Cottocomephorus*.

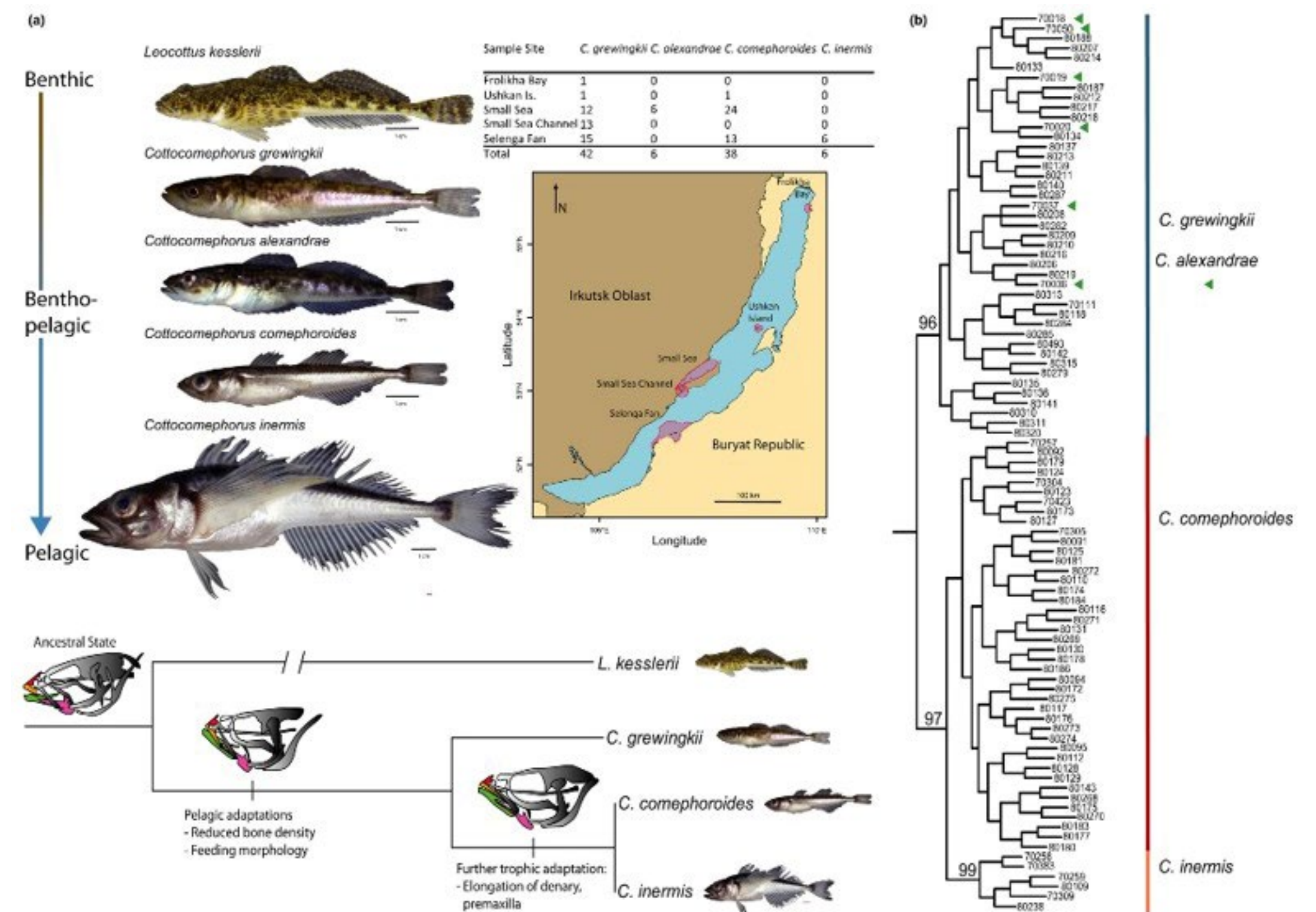


Рис.5 Сравнительная морфология костей головы (a) и филогенетический анализ (b) представителей рода *Cottocomephorus*.



ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИДРАТНЫХ, НЕФТЯНЫХ И ГАЗООБРАЗНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ, И СОПРЯЖЕННЫХ С НИМИ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

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

Получены первые экспериментальные данные о способности микробных сообществ из донных осадков нефте-метанового сипа Горевой Утес в бескислородных условиях деградировать углеводороды нефти. В анаэробных осадках в первую очередь подвергаются окислению полициклические ароматические углеводороды, степень их биodeградации составила 46% вне зависимости от присутствующих в среде акцепторов электронов. Окисление *n*-алканов происходит в основном в аэробных условиях. Микробное сообщество накопительных культур в большей части представлено последовательностями микроорганизмов, выявляемых в термальных источниках, осадках грязевых вулканов и загрязненных углеводородами сред, географически весьма отдаленных от оз. Байкал. Ключевыми участниками анаэробной деградации углеводородов нефти в оз. Байкал являются представители *Firmicutes*, *Chloroflexi*, *Caldiserica*, *Deltaproteobacteria* и *Methanomicrobia* (по NCBI Taxonomy), сходные по составу с микроорганизмами-деструкторами в других нефтяных экосистемах мира.

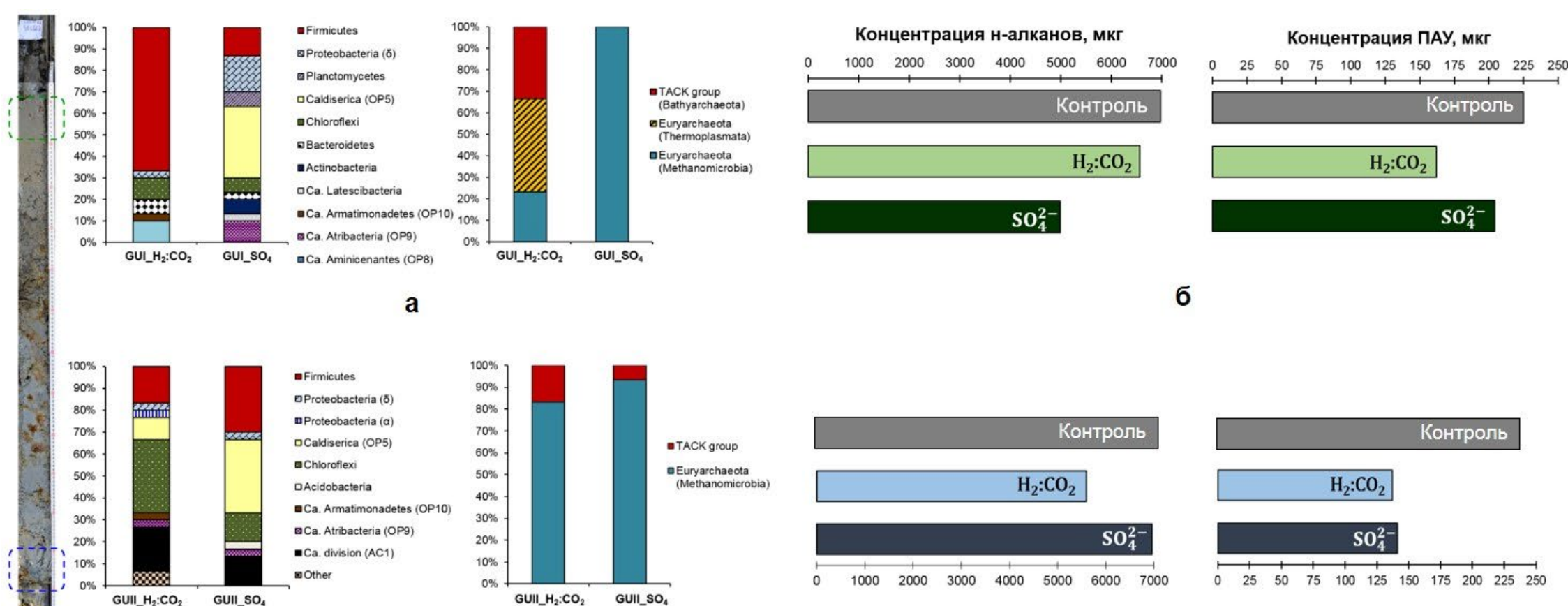


Рис.1. (а) Состав клональных библиотек генов 16S рДНК бактерий и архей (по NCBI Taxonomy) в накопительных культурах, содержащих поверхностные и глубинные осадки, обогащенные H₂:CO₂ и сульфат-ионом; (б) Убыль *n*-алканов и полициклических ароматических углеводородов в накопительных культурах.

Проанализирован большой массив данных качественного и количественного состава поровых вод в донных отложениях районов разгрузки углеводородов и интенсивность флюидопотоков в разные годы последнего столетия. Эти данные сопоставлены с сейсмической активностью в этот же период. Концентрации основных ионов в поровых водах и их пространственное распределение после землетрясения в конце 2020 года не превышали значений, характерных для одной и той же структуры в определенном районе исследования. Потоки компонентов флюидов, вычисленные по адвекционно-диффузионной модели (Aloisi et al., 2019), до и после землетрясений практически не отличались по значениям. Активизации интенсивности и изменения компонентного состава флюидопотоков в районах грязевых вулканов и сипов не наблюдалось даже после крупного землетрясения в декабре 2020 г. (7,6 баллов) (Рис.2). Это может

объясняться спецификой и частотой происходящих в Байкальской рифтовой зоне землетрясений – большим числом небольших тектонических землетрясений малой интенсивности и сейсмическим процессом роевого характера, которые не дают концентрироваться растворам на глубине, и поэтому их миграция к поверхности дна происходит постоянно.

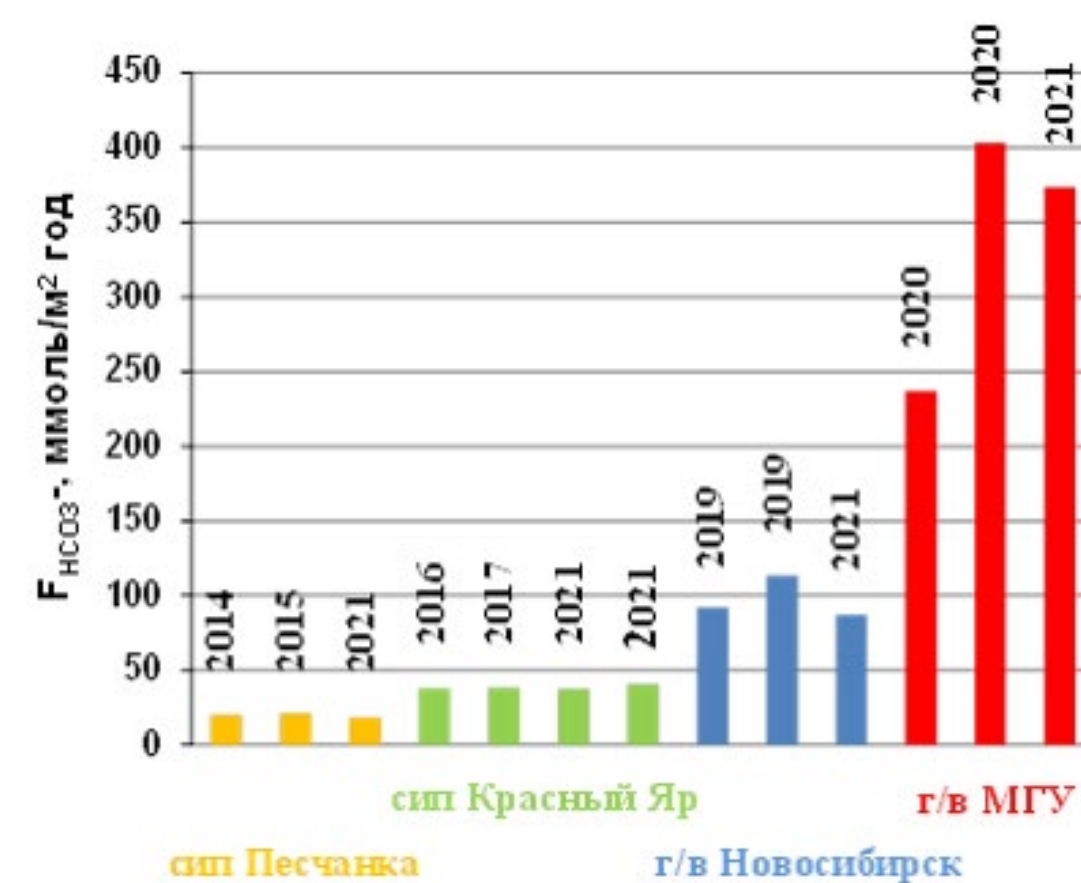


Рис.2. Потоки гидрокарбонат-ионов в донных отложениях грязевых вулканов и газовых сипов до и после землетрясения 10 декабря 2020 года.

Получены новые данные о разнообразии микробных сообществ, обитающих в зонах градиента O_2 , H_2S , Fe/Mn. Разнообразие микробных сообществ в разных типах и осадках, как правило, было сходным на уровне филумов и различалось на уровне таксонов более низкого ранга. Уменьшение разнообразия отмечалось в зонах высоких концентраций сероводорода (горячий источник Змеиный), в железо-марганцевой корке, в анаэробной зоне донных отложений. Подтверждено наличие в железо-марганцевых слоях участников процессов анаэробного окисления метана и цикла азота, которые могут вовлекаться в цепь трофических взаимодействий с анаэробными метанотрофами. Показано, что не во всех осадках возможно протекание полного цикла денитрифицирующего пути АОМ, а также использование анаэробными метанотрофами в качестве акцепторов электронов Fe^{3+} и Mn^{4+} при восстановительном растворении захороненных Fe/Mn слоев (Och et al., 2012). В зоне градиента сероводорода и температуры отмечены значительные изменения в структурах сообществ, но во всех биотопах преобладающими таксонами были активные участники серного и азотного циклов (Рис.3).

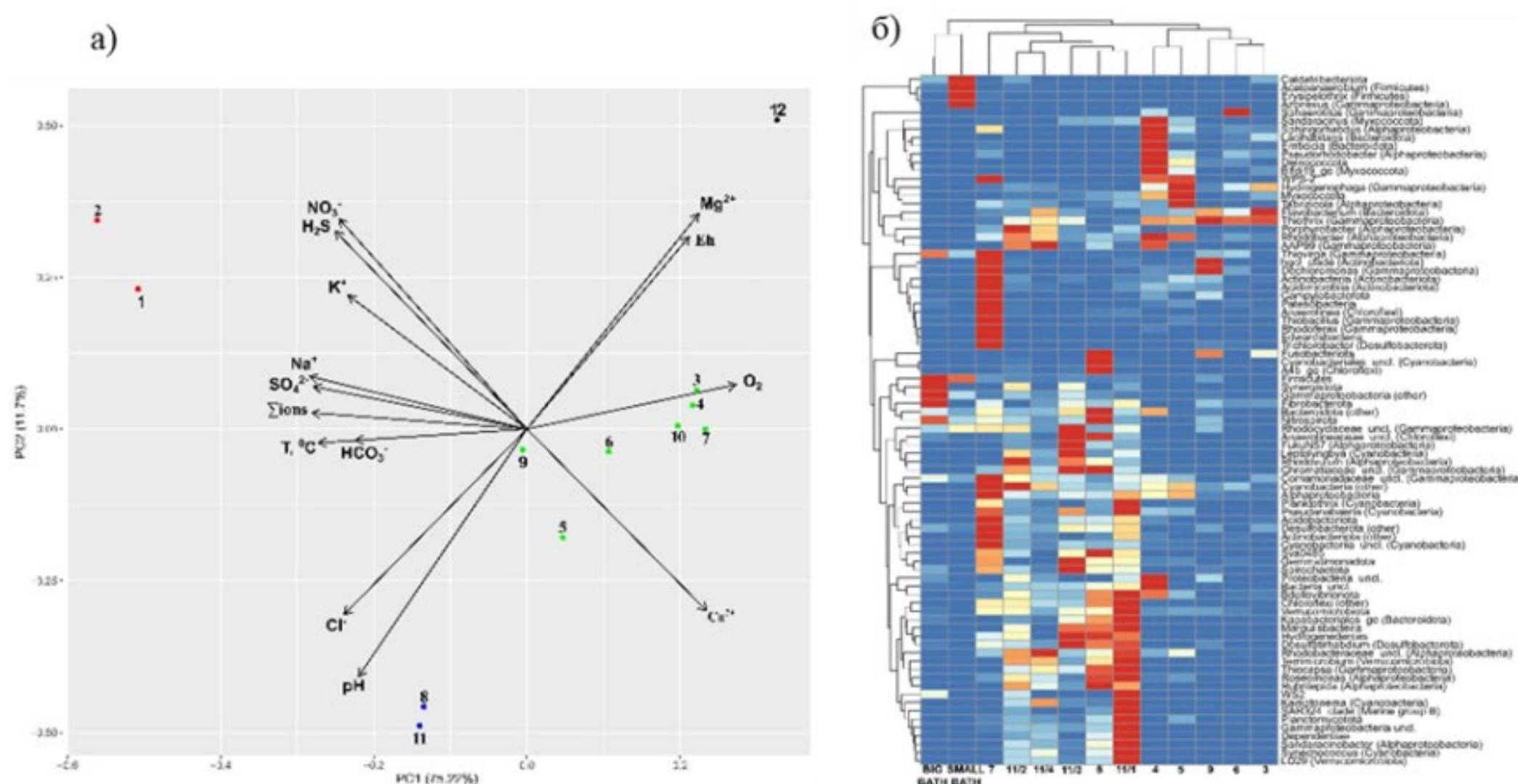


Рис.3. (а) Диаграмма рассеяния точек в пространстве первых двух главных компонент, построенная на основе физико-химических параметров в горячем источнике б. Змеиная и прилегающей акватории. Стрелками отображены векторы, направленные по градиентам изменения исследуемых показателей; (б) Тепловая карта (heatmap) состава бактериальных сообществ в разных образцах б. Змеиная. Переход цвета от синего до красного обозначает величины содержания отдельных родов и филумов (от менее представленного к более представленному в библиотеке).

В местах формирования большинства крутых поворотов долин каньонов исследована роль рельефа дна как возможных зон для образования скоплений газовых гидратов (Рис.4). Исследования позволили установить основную причину резкого изменения направления каньона, связанную с тектоническими нарушениями. В этих процессах разгрузка углеводородов имеет подчиненное значение, хотя и может со временем оказывать дальнейшее влияние на эволюцию каньона.

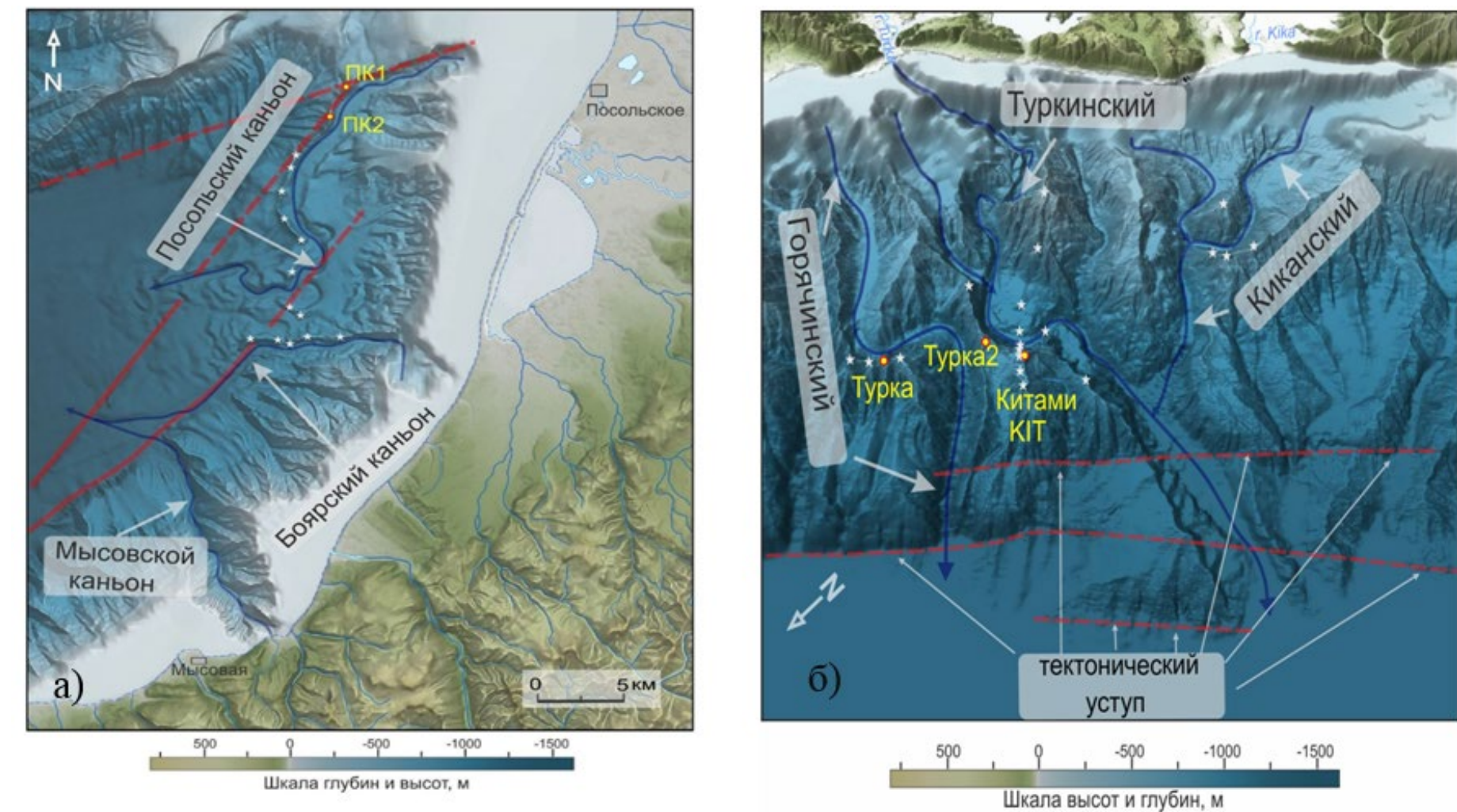


Рис.4. а) схема расположения каньонов Мысовской, Боярский и Посольский (синяя линия), разломов (красная линия), гидратоносных структур (желтые круги с красной линией: ПК1 - «Посольский каньон 1»). Белые звезды – места опробования; б) схема расположения каньонов Горячинский, Туркинский, Киканский.

Публикации:

Pavlova O.N., Izosimova O.N., Chernitsyna S.M., Ivanov V.G., Pogodaeva T.V., Khabuev A.V., Gorshkov A.G., Zemskaya T.I. Anaerobic oxidation of petroleum hydrocarbons in enrichment cultures from sediments of the Gorevoy Utes natural oil seep under methanogenic and sulfate-reducing conditions // *Microbial Ecology*. – 2021. – V. 83. – № 4. – P. 899–915. DOI: [10.1007/s00248-021-01802-y](https://doi.org/10.1007/s00248-021-01802-y)

Земская Т.И., Букин С.В., Ломакина А.В., Павлова О.Н. Микроорганизмы донных отложений Байкала – самого глубокого и древнего озера мира // *Микробиология*. – 2021. – Т. 90. – № 3. – С. 286–303. <https://doi.org/10.1134/S0026261721030140>

Vidishcheva O.N., Akhmanov G.G., Solovyeva M.A., Mazzini A., Khlystov O.M., Egoshina E.D., Kudaev A.A., Korost D.V., Poludetkina E.N., Morozov N.V., Grigorev K.A. Hydrocarbon gas seepage along the Gydratny Fault (Lake Baikal) // *Moscow University Geology Bulletin*. – 2021. – Т. 76. – № 4. – С. 353–365. <https://doi.org/10.3103/S0145875221040116>



КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ: МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СООБЩЕСТВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И БИОРАЗНООБРАЗИЕ; ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ НЕГАТИВНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

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

Диагностировано наличие частиц микро- и минимикропластика (размером от 20 мкм до 5 мм) в поверхностных водах (толщина слоя = 1 м) всех трех котловин оз. Байкал (Рис.1А). Средняя концентрация частиц в масштабах всего озера составила 291 ± 252 в 1 м^3 , при этом максимальная доля (88% от общего количества частиц) пришлось на минимикропластик, представляющий наибольшую угрозу для экологии водных организмов.

Поскольку используемый нами метод позволил количественно оценить содержание в воде самых мелких частиц, установленная нами средняя концентрация микропластика оказалась в 100–1000 раз выше той, что сообщалась ранее для Байкала. Максимальная концентрация частиц выяв-

лена в проливе Малое море, популярном среди туристов и отдыхающих. Преобладание в воде фрагментов полипропилена (Рис.1Б) подтверждает, что основным источником частиц является бытовой пластиковый мусор (Рис.1В).

Сравнение наших данных с литературными указывает на явную недооценку степени загрязнения микропластиком большинства североамериканских и европейских озер. Очевидна необходимость инвестирования инфраструктуры управления твердыми отходами и сточными водами, а также корректировка системы эколого-правового регулирования во избежание дальнейшего поступления пластика в Байкал.

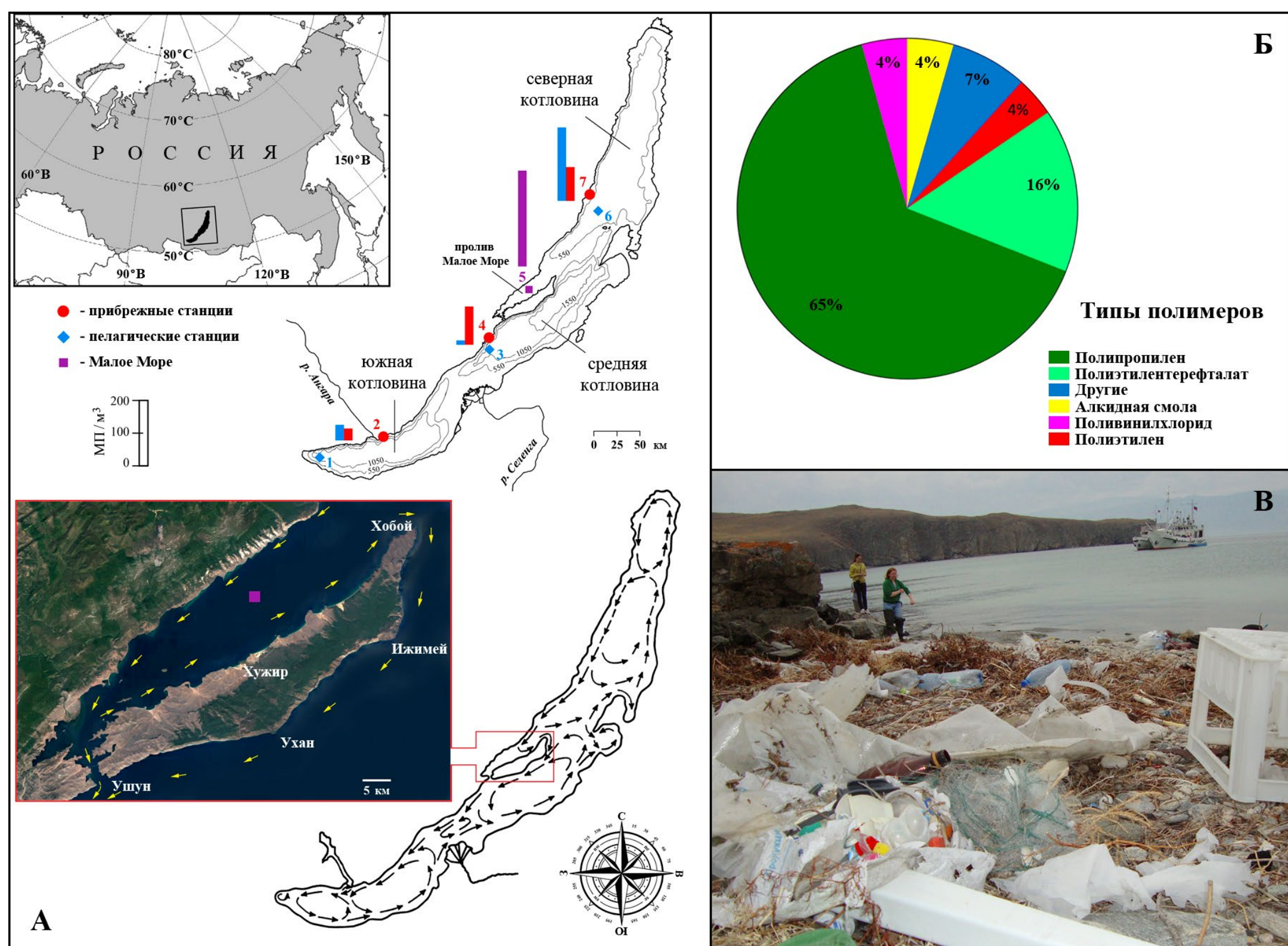


Рис.1. Содержание микропластика (МП) в поверхностных водах оз. Байкал. **А** – вертикальные прямоугольники на верхней батиметрической карте отображают концентрации МП (количество частиц/ м^3), рассчитанные в разовых пробах, взятых на семи прибрежных и пелагических станциях оз. Байкал: (1) Шарыжалгай, (2) Березовый, (3) и (4) Ая, (5) Малое море, (6) и (7) Большой Солонцовый; стрелки на нижних картах указывают направления основных поверхностных течений. **Б** – процентные доли различных типов полимеров, рассчитанные на основе суммы всех концентраций микропластика (в 1 м^3), отобранного на 7 станциях оз. Байкал. **В** – пластиковый мусор на западном побережье о-ва Ольхон (Хоргойская губа).



В местах, подвергающихся активной антропогенной нагрузке, в условиях длительной штилевой погоды, обильных дождей и повышенной температуры воды (более 17–19°C) возможно локальное массовое развитие цианопрокариот.

Подобное явление было выявлено в прибрежной зоне бухты Большие Коты в летний период, где интенсивно развивались цианопрокариоты рода *Dolichospermum* (при доминировании *D. lemmermannii*) (Рис.2А–В). Поля цветения вдоль береговой линии наблюдались на расстоянии около 2 км, ширина пятен 1–1.5 м (Рис.2А). Обилие водорослей в зоне пятен колебалось в пределах 7.2–71.9 млн кл/л, биомасса – 0.73–7.20 г/м³. Максимальная концентрация отмечена напротив биологической станции ИГУ, где в это время проходили разного уровня конференции с большим наплывом посетителей, и нет централизованной системы очистки сточных вод.

Гидрохимический анализ в месте отбора проб выявил резкое увеличение биогенной нагрузки: содержание фосфатов до 0.200 мг/л, ионов аммония до 0.29 мг/л, нитратов до 0.31 мг/л (Рис.2Г), что в 3–30 раз выше среднемноголетних данных.

Публикации:

Moore M.V., Yamamuro M., Timoshkin O.A., Shirokaya A.A., Kameda Y. Lake-wide assessment of microplastics in the surface waters of Lake Baikal, Siberia // *Limnology (Springer)*. – 2021. – № 278. – P. 265–274. DOI: [10.1007/s10201-021-00677-9](https://doi.org/10.1007/s10201-021-00677-9)

Bondarenko N.A., Tomberg I.V., Shirokaya A.A., Belykh O.I., Tikhonova I.V., Fedorova G.A., Netsvetaeva O.G., Eletskaia E.V., Timoshkin O.A. *Dolichospermum lemmermannii* (Nostocales) bloom in world's deepest Lake Baikal (East Siberia): abundance, toxicity and factors influencing growth // *Limnology and Freshwater Biology*. – 2021. – № 1. – P. 1101–1110. DOI: [10.31951/2658-3518-2021-A-1-1101](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2021-A-1-1101)

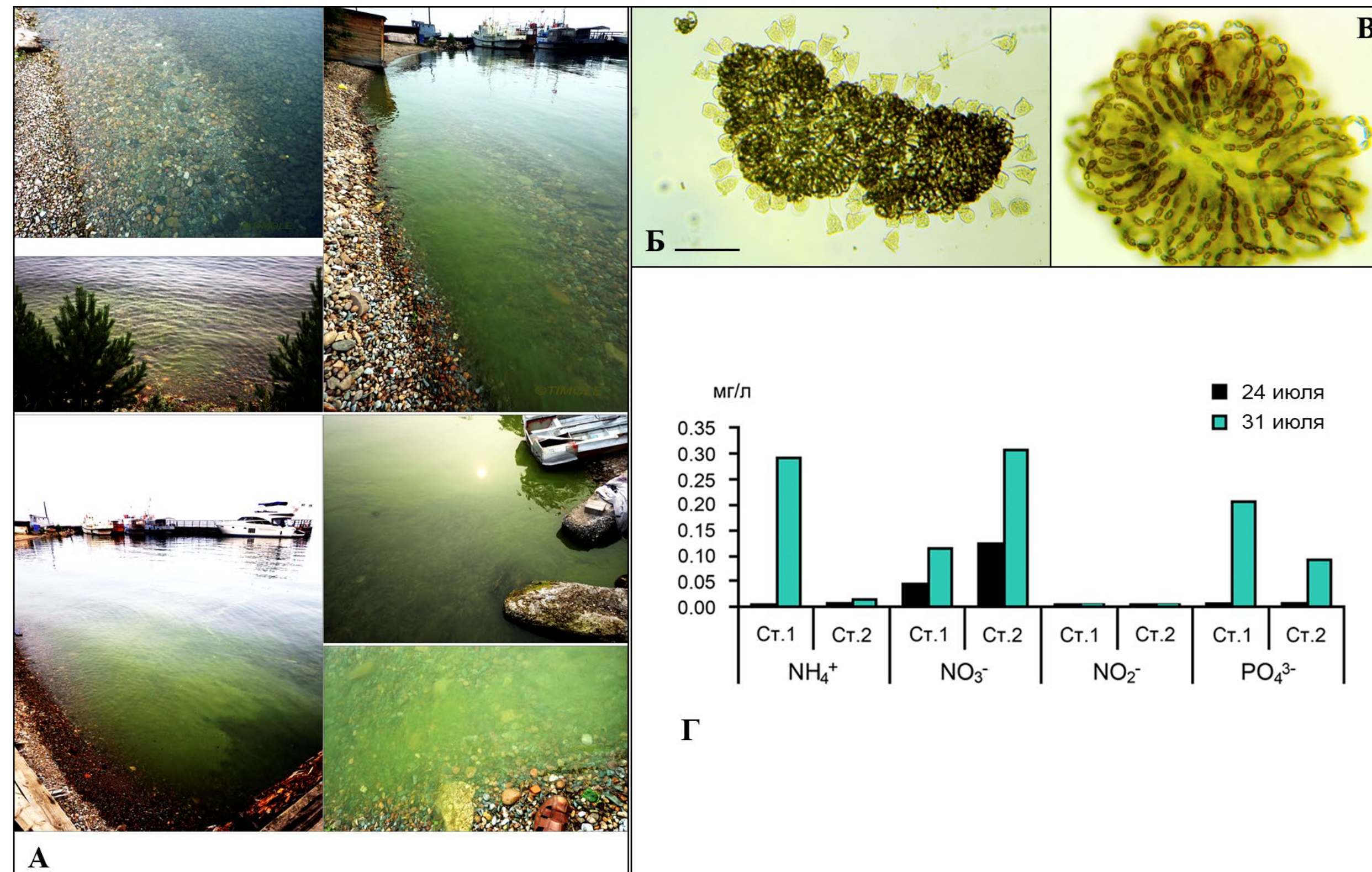


Рис.2. **А–В** – массовое развитие *D. lemmermannii* (Nostocales) в бухте Большие Коты озера Байкал: **А** – участки бухты, свободные от цианопрокариот и с полями цветения; **Б, В** – внешний вид колоний *D. lemmermannii* (масштаб: Б = 0.16 мм, В = 65.4 мкм). **Г** – концентрации биогенных элементов у уреза воды в бухте Большие Коты. (Ст. 1 – напротив биостанции ИГУ, Ст. 2 – напротив стационара ЛИИ СО РАН).



Структурные изменения клеток жаберного эпителия у *Paracottus knerii* при кратковременном воздействии суспензии микрочастиц сажи

Микрочастицы сажи являются одним из ключевых загрязнителей гидросферы, токсический эффект которых на гидробионтах практически не охарактеризован. Впервые изучено кратковременное (5 сут.) воздействие водной суспензии печной сажи (0,005 г/л) на ультраструктуру клеток жабр у эндемика Байкала *Paracottus knerii*, Dybowski, 1874. В отличие от контроля, в жабрах экспериментальных рыб выявлены случаи слияния ламелл (Рис.1А), дегенеративные изменения микровыростов внешней поверхности эпителиальных клеток (Рис.1В) и возрастание секреции слизи (Рис.1С). На поверхности эпителиальных клеток обнаружены случаи адгезии частиц сажи (Рис.1D), их дальнейшая интернализация и активация гибели клеток с морфологическими признаками некроза или апоптоза (Рис.1D, Е). В хлоридных клетках регистрируется усиление процесса макроаутофагии (Рис.1F). При этом внутри аутофагосом располагаются митохондрии с разной степенью деградации и пузырьки различного размера (Рис.1F). Одним из механизмов активации аутофагии может быть окислительный стресс, развивающийся в клетках под воздействием сажи и приводящий к повреждению мембранных органелл.

В целом, выявленные изменения в жабрах рыб после кратковременного воздействия сажи являются признаком стресса систем газообмена и осморегуляции у данных гидробионтов. Полученные данные важны для разработки методов биоиндикации данного вида загрязнений в водоемах.

Публикации:

Sudakov N.P., Klimenkov I.V., Bedoshvili Y.D., Arsent'ev K.Yu., Gorshkov A.G., Izosimova O.N., Yakhnenko V.M., Kupchinskii A.B., Didorenko S.I., Likhoshway Y.V. Early structural and functional changes in Baikal sculpin gills exposed to suspended soot microparticles in experiment // *Chemosphere*. – 2021. – DOI: [10.1016/j.chemosphere.2021.133241](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133241)

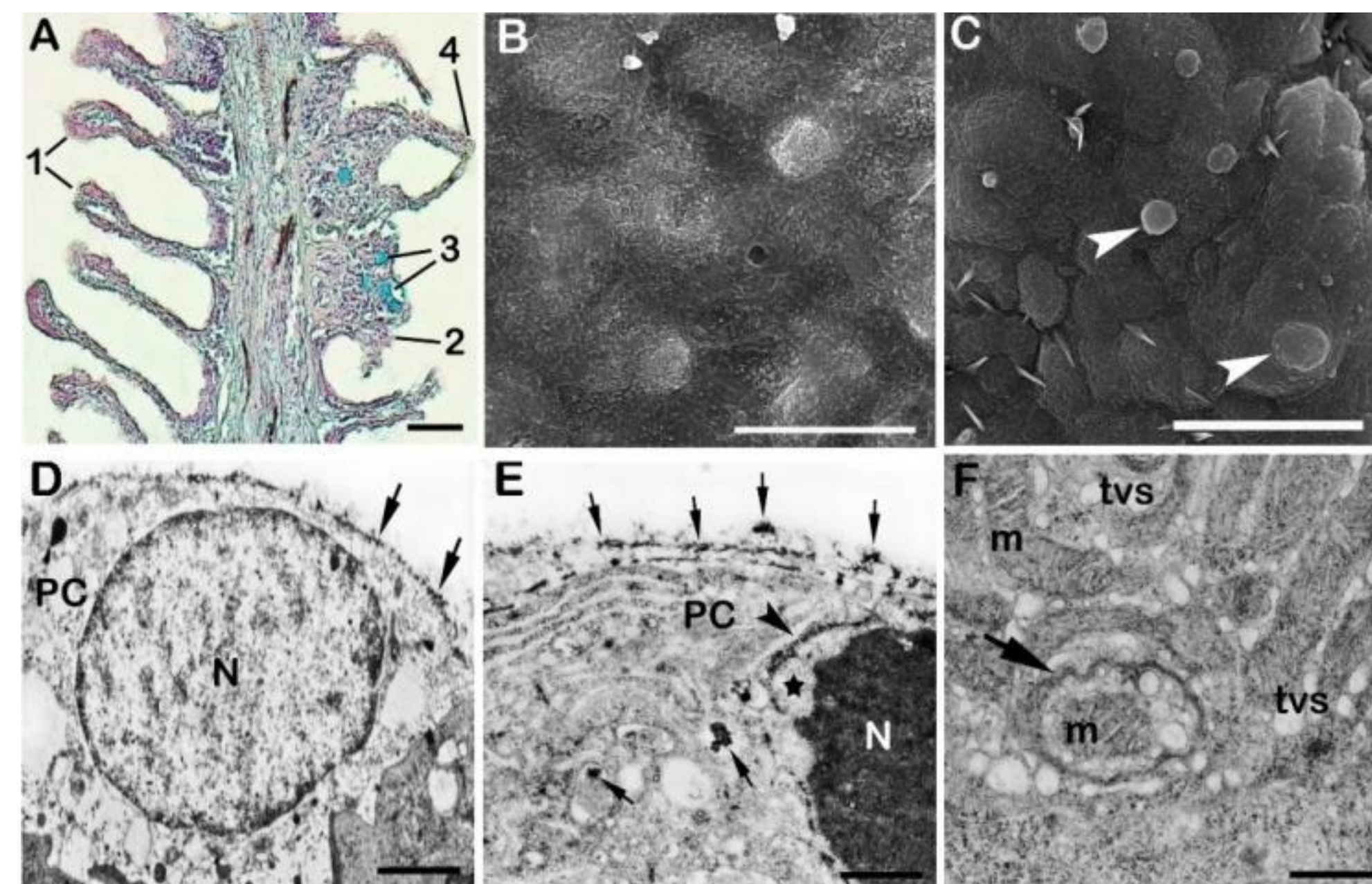


Рис. 1. Цитологические характеристики клеток жаберных пластинок *P. knerii* после кратковременного (5 сут.) воздействия микрочастиц сажи. А – СМ; В, С – СЭМ; D-F – ПЭМ. А – фрагмент жаберных пластинок, окраска альциановым синим (рН 2,5): 1 – телеангиэктазии; 2 – гиперплазия эпителия; 3 – слизистые клетки; 4 – слияние вторичных ламелл. В – дегенеративные изменения микрорельефа поверхности ламелл. С – поверхность первичной ламеллы с участками секреции (стрелки). D – дегенеративные изменения клетки респираторного эпителия с признаками некроза (стрелками показаны микрочастицы сажи, адсорбированные на поверхности мембраны). Е – гибнущая клетка респираторного эпителия с признаками апоптоза (стрелки – микрочастицы сажи на поверхности мембраны и в эндоцитозных вакуолях; короткая стрелкой – ядерная мембрана; звездочка – зона отслоения ядерного материала). F – макроаутофагия митохондрий (стрелка) и вакуолей различного размера (эксперимент). Масштаб: А – 50 мкм; В, В – 20 мкм; D, Е – 1 мкм; F – 0,5 мкм.

Особенности накопления липидов и жирных кислот у диатомовой водоросли *Entomoneis cf. paludosa* на разных стадиях роста

Диатомеи могут быть потенциальными источниками биотоплива и полиненасыщенных ω -3 и ω -6 жирных кислот, витаминов и других веществ. С целью расширения спектра исследованных видов, потенциальных источников полиненасыщенных жирных кислот был проведен сравнительный анализ морфологии и липидных включений (Рис.2, 3) и состава жирных кислот у диатомеи *Entomoneis cf. paludosa* (W. Smith) Reimer штамм 8.0727-B в разных условиях культивирования.

Лазерная сканирующая микроскопия (ЛСМ) показала двулопастную форму хлоропласта (Рис.2.Б-Г) и появление многочисленных липидных тел размером от 0,3 до 2,15 мкм в стационарной фазе роста (Рис. 2Г). ПЭМ серийных срезов показала, что хлоропласты в клетках 14-сут культуры содержали мелкие пластоглобулы (Рис.2Б; 40-50 нм), а в хлоропластах клеток 60-сут культуры обнаружены скопления крупных пластоглобул (Рис.3В, Г). Такая особенность ультраструктуры ранее не была показана ни для диатомей, ни для других микроводорослей.

На хроматограммах был идентифицирован 21 пик метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК). Общее количество жирных кислот в биомассе клеток варьировало от 16 мг/г (эксп. фаза) до 40 мг/г (стац. фаза) сухой массы. Доля полиненасыщенных жирных кислот в клетках на экспоненциальной фазе роста была выше (~ 33%), чем на стационарной (~ 10%). Этот штамм может быть рекомендован как источник гексадекановой и октодекановой жирных кислот из культуры на стационарной фазе роста, а также эйкозопентаеновой жирной кислоты из экспоненциальной фазе роста.

Публикации:

Bedoshvili Ye., Podunay Yu., Nikonova A., Marchenkov A., Bairamova E., Davidovich N., Likhoshvay Ye. *Lipid and fatty acids accumulation features of Entomoneis cf. paludosa during exponential and stationary growth phases in laboratory culture // Diversity. – 2021. – Vol. 13. – P. 459. DOI: 10.3390/d13100459.*

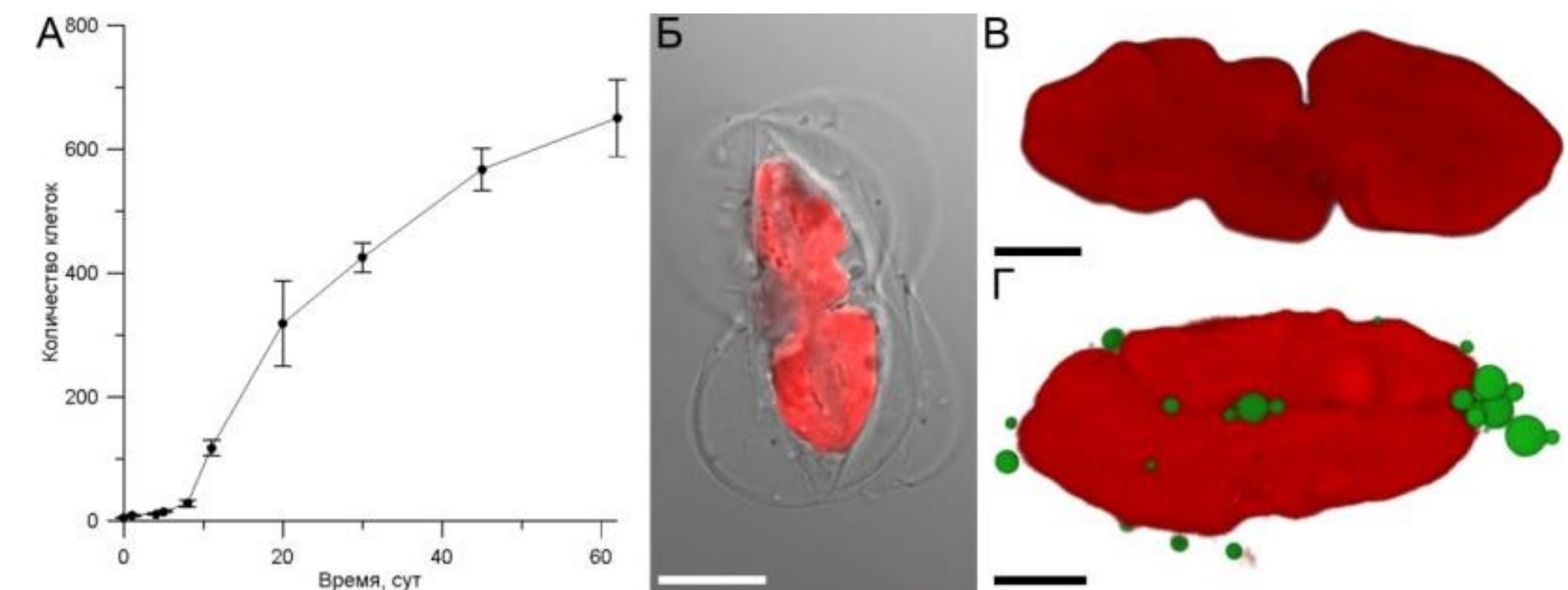


Рис.2. Рост *E. cf. paludosa* в течение 62 дней (А) и микроскопия хлоропластов (красный) и липидных капель после окраски BODIPY 505/515 (зеленый) на экспоненциальной (Б, В) и стационарной фазах роста (Г) (ЛСМ). Б – оптический срез; В, Г – 3D-реконструкция. Масштаб: Б – 10 мкм; В, Г – 5 мкм.

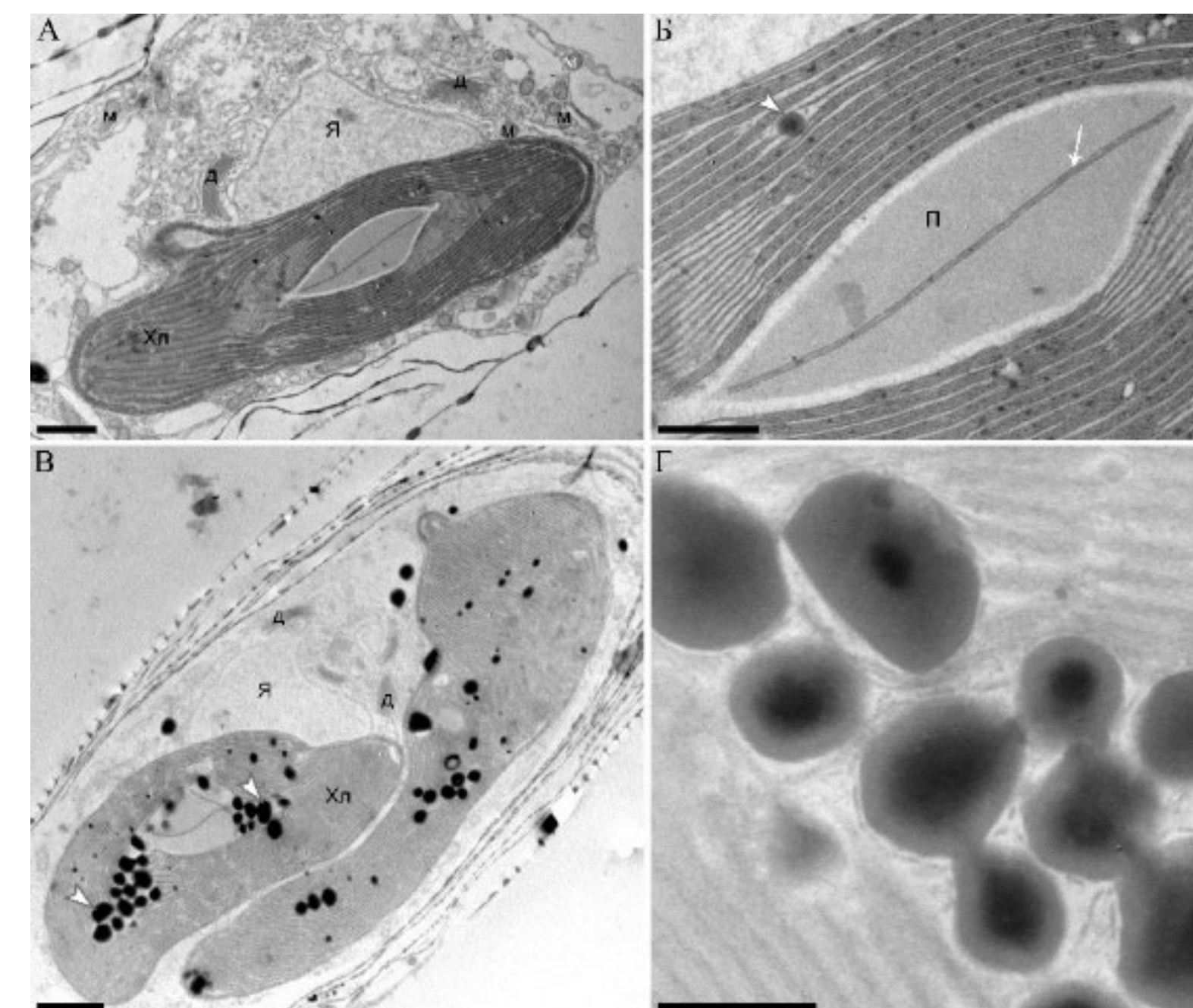


Рис.3. Ультраструктура клетки *E. cf. paludosa* (ПЭМ). Короткие стрелки – пластоглобулы на экспоненциальной (А, Б) и стационарной фазах роста (В, Г). Длинная белая стрелка – ламелла, пересекающая пиреноид. Условные обозначения: Хл – хлоропласт; д – диктиосома; м – митохондрия; Я – ядро. Масштаб: А – 1 мкм; Б, Г – 500 нм; В – 2 мкм.

Интеграционные исследования кремнистых микроэукариот Сибири

Кремнистые микроэукариоты (Рис.4А, В) являются основными компонентами и индикаторами изменений водных экосистем. По смене видового состава диатомей в осадках оз. Ворота (Полюс холода, Якутия) реконструировано состояние экосистемы в течение последних 13,2 тыс. лет. Установлено, что начало термального максимума голоцена в этом районе могло произойти на 1,3 тыс. лет раньше, чем в то же время на широте Средней Якутии. На основе анализа кремнистых хризофитовых в 193 водоемах, расположенных выше 60° с.ш., предложен сценарий их расселения по циркумполярной сети ледниково-подпрудных озер в начале голоцена (Рис.4С), этот сценарий вероятен и для других водных организмов. Впервые в крупной связанной системе Сибири – от озера Байкал до Карского моря – описано разнообразие кремнистых гетеротрофных протист, установлены таксоны с разной экологической валентностью. В устьях нескольких рек Арктического бассейна Якутии выявлено рекордное разнообразие кремнистых хризофитовых; в северных водоемах по сравнению с 80-90-ми гг. прошлого века отмечено увеличение доли бореальных видов (Рис.4Д, Е). Их продвижению на Север и закреплению в высоких широтах могут способствовать наблюдающиеся тенденции потепления климата.

Публикации:

Firsova A.D., Chebykin E.P., Kopyrina L.I., Rodionova E.V., Chensky D.A., Gubin N.A., Panov V.S., Pogodaeva T.V., Bukin Yu.S., Arsentev K.Yu., Suturin A.N., Likhoshway Ye.V. Diatom records from Lake Vorota (Eastern Yakutia, "Pole of Cold") during the last ~ 13.2 kyr // *J. Paleolimnol.* – 2021. – Vol. 66. – № 3 – P. 1–31. doi: [10.1007/s10933-021-00214-9](https://doi.org/10.1007/s10933-021-00214-9).

Bessudova A., Bukin Y., Likhoshway Y.V. Dispersal of silica-scaled chrysophytes in northern water bodies // *Diversity.* – 2021. – Vol. 13. – P. 284. DOI: [10.3390/d13070284](https://doi.org/10.3390/d13070284).

Bessudova A., Firsova A.D., Likhoshway Y.V. Silica-scaled heterotrophic protists *Ro-tosphaerida*, *Thaumatomonadida*, and *Centroplasthelida* in the large continuous eco-system connecting Lake Baikal to the Kara Sea // *Journal of Eukaryotic Microbiology.* – 2021. – P. e12871. DOI: [10.1111/jeu.12871](https://doi.org/10.1111/jeu.12871).

Bessudova A.Yu., Gabyshev V.A., Firsova A.D., Gabysheva O.I., Bukin Y.S., Likhoshway Y.V. Diversity of silica-scaled Chrysophytes and physicochemical parameters of their environment in the estuaries of rivers in the Arctic watershed of Yakutia, Russia // *Sustainability.* – 2021. – V. 132. – P. 13768. DOI: [10.3390/su132413768](https://doi.org/10.3390/su132413768)

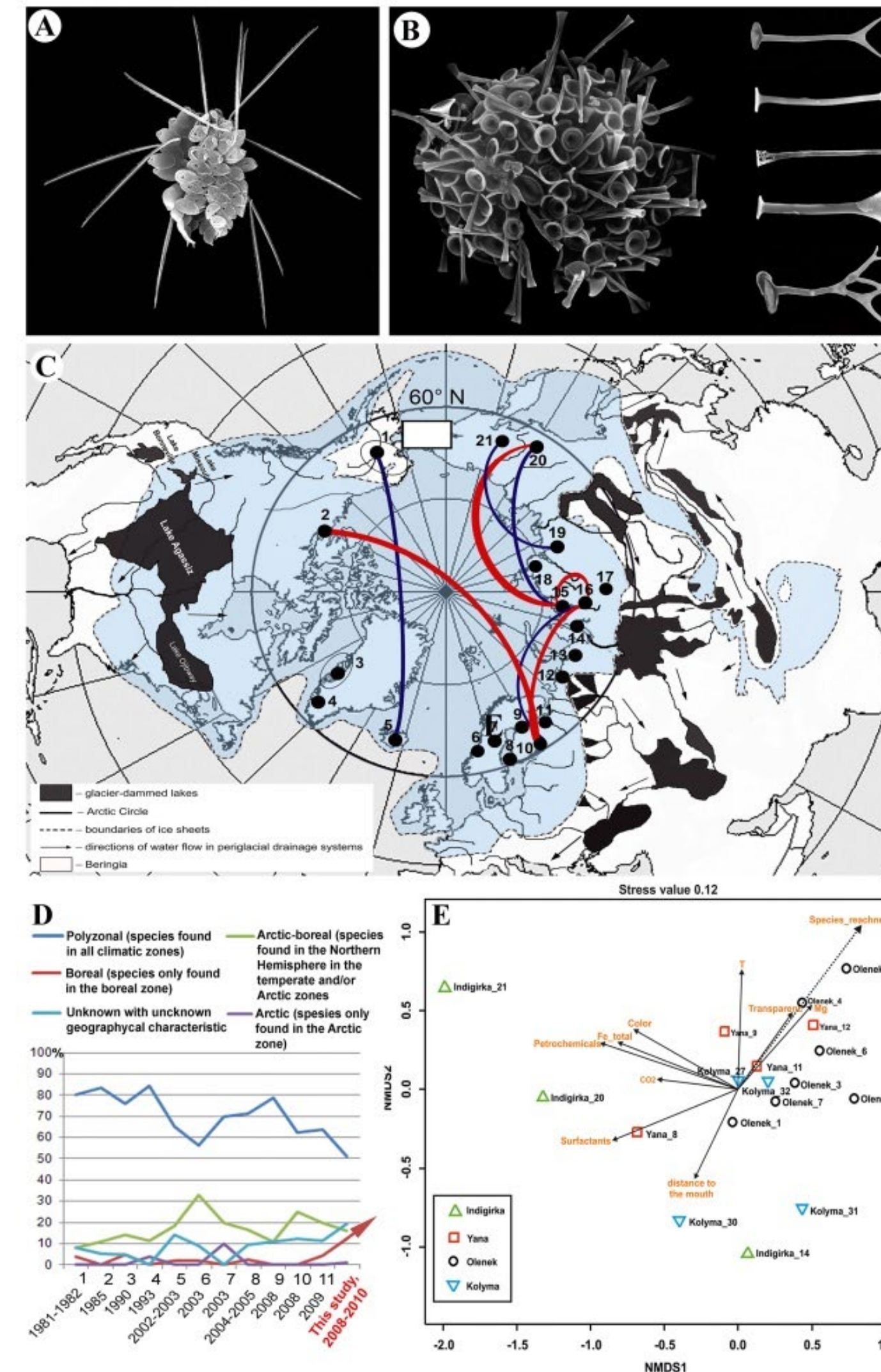


Рис.4. Кремнистые микроэукариоты в северных широтах. А, В – чешуйки кремнистых микроэукариот; С – циркумполярная пресноводная сеть; распределение ледяных щитов во время максимального оледенения и ледниково-подпрудных озер за все время их существования и миграции; красные и синие линии – регионы со сходным видовым составом чешуйчатых хризофитовых; D – биогеография чешуйчатых хризофитовых в водоемах, расположенных выше северного Полярного круга с 1981 по 2010 гг.; E – диаграмма рассеяния точек отбора проб по результатам многомерного шкалирования. Стрелки на плоте показывают градиенты количественных факторов, достоверно влияющих на видовое разнообразие чешуйчатых хризофитовых в пробах. Дополнительно пунктиром показан вектор градиента видового богатства в пробах.

Состояние прибрежных экосистем Южного Байкала в 2021 г.

Побережье Южного Байкала в наибольшей степени подвержено антропогенному воздействию. Здесь сосредоточено основное население Центральной экологической зоны (ЦЭЗ), проходят Транссибирская железная дорога и автомагистраль, сосредоточены крупные города и посёлки, горнорудные предприятия и промплощадка БЦБК.

С целью оценки качества вод в 2021 г. были отобраны пробы воды и фитопланктона в зонах локальных загрязнений - из устьев рек Медлянка, Похабиха, Утулик, Бабаха, Солзан, Поганый ручей, Бол. Осиновка, Мал. Осиновка, а также в литорали оз. Байкал в 10 м от уреза вблизи устьев этих рек. В результате химического элементного состава проб в сопоставлении с нормативами сброса очищенных стоков в оз. Байкал определено, что все исследованные реки превышают значения ПДК по Al (в 4-65 раз), S (1,2-6 раз), Cr (1,8-9 раз) и Fe (в 18-360 раз). Сходная картина загрязнений с некоторыми вариациями наблюдается также и в литорали оз. Байкал в зоне влияния рек. В литоральной зоне чаще наблюдаются нарушения по Cl и Ni. В прудах-отстойниках промплощадки БЦБК, которые дают утечки в литоральную зону озера, и в Пруде-аэраторе, через который осуществляется сброс очищенных стоков КОС г. Байкальска, наблюдаются нарушения нормативов по большинству из 17 нормируемых элементов, среди них наиболее заметны по Na, Al, P, Cl, Fe и Mo. В главном притоке оз. Байкал, р. Селенга, средневзвешенное содержание 11 растворённых химических элементов превышает установленные нормативы.

Микробиологические характеристики исследованных образцов воды показали, что наиболее загрязнённой на момент обследования оказались р. Медлянка, р. Похабиха и р. Поганый ручей. Высокое содержание фекальных микроорганизмов (энтерококки, E.coli, колиформные бактерии) свидетельствует о сильном антропогенном влиянии. Литоральная зона Байкала на момент исследования по микробиологическим характеристикам соответствовала установленным нормативам.

В результате альгологических исследований выявлено, что на всех станциях преобладали планктонные водоросли. Фитопланктон представлен 67 таксонами, входящими в девять групп: зеленые (18 видов), диатомовые (16 видов), хризифитовые (12 видов), криптофитовые (7 видов), сине-зеленые (6 видов), динофитовые (4 вида), харовые (2 вида) и по одному виду относилось к гапрофитовым и эвгленофитовым. Самые высокие количественные показатели фитопланктона были отмечены вблизи устья р. Похабиха (численность - 8531,7 тыс. кл/л, биомасса - 4,1 г /м³). Наиболее часто встречающиеся в пробах виды представлены на **Рис.5**. Преобладание среди обнаруженных индикаторных видов бета-сапробион-

тов, а также присутствовавших в достаточных количествах бета-альфа-сапробов, альфа- и альфа-бета-сапробов, говорит о смещении качества воды в сторону мезосапробности (средний уровень загрязнения).

Таким образом, в устьях рек Южного Байкала, в которые сбрасываются бытовые сточные воды, происходит изменение химического состава и микробиологических характеристик, увеличение биомассы и изменение состава видов фитопланктона.

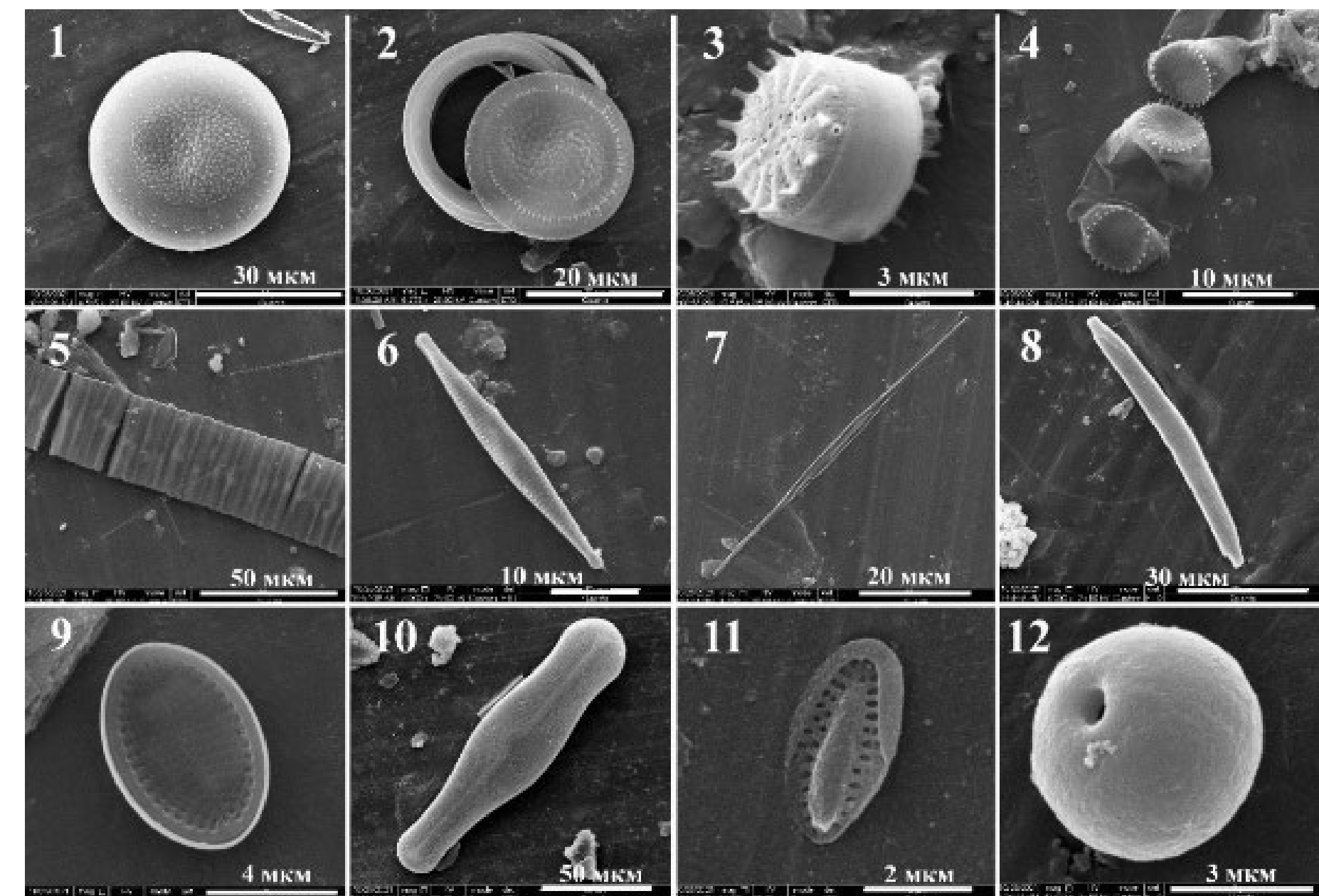


Рис.5. Микроводоросли в зонах антропогенной нагрузки Южного Байкала. СЭМ: 1 – *Lindavia baicalensis*; 2 – *Lindavia minuta*; 3 – *Stephanodiscus minutulus*; 4 – *Stephanodiscus meyeri*; 5 – колония *Fragilaria capucina*; 6 – *Fragilaria capucina*; 7 – *Nitzschia gracilliformis*; 8 – *Hannaea arcus*; 9 – *Cocconeis placentula*; 10 – *Didymosphenia geminata*; 11 – *Synura petersenii*; 12 – стоматоциста.

Публикации:

Сутурин А.Н., Гончаров А.И., Дамбинов Ю.А., Дамбинова Е.Л., Куликова Н.Н., Мальник В.В., Чебыкин Е.П. Ремедиация Солзанского полигона промотходов Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК) // Экология и промышленность России. – 2021. – Т. 25. – № 2. – С. 41–47. DOI: [10.18412/1816-0395-2021-2-41-47](https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-2-41-47).

Сутурин А.Н. Химическая бомба для Байкала: чем опасны накопленные отходы БЦБК. Колотов А. А. // Объект накопленного экологического вреда (Байкальский ЦБК). ЭПЦ «Белмона», АНО содействия охране окружающей среды «Экспертно-правовой центр «ЭкоПраво». 2021. – С. 51-76.



ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ ИЗБРАННЫХ ГЕНОВ И БЕЛКОВ БАЙКАЛЬСКИХ ДИАТОМЕЙ МЕТОДАМИ БИОИНФОРМАТИКИ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ

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

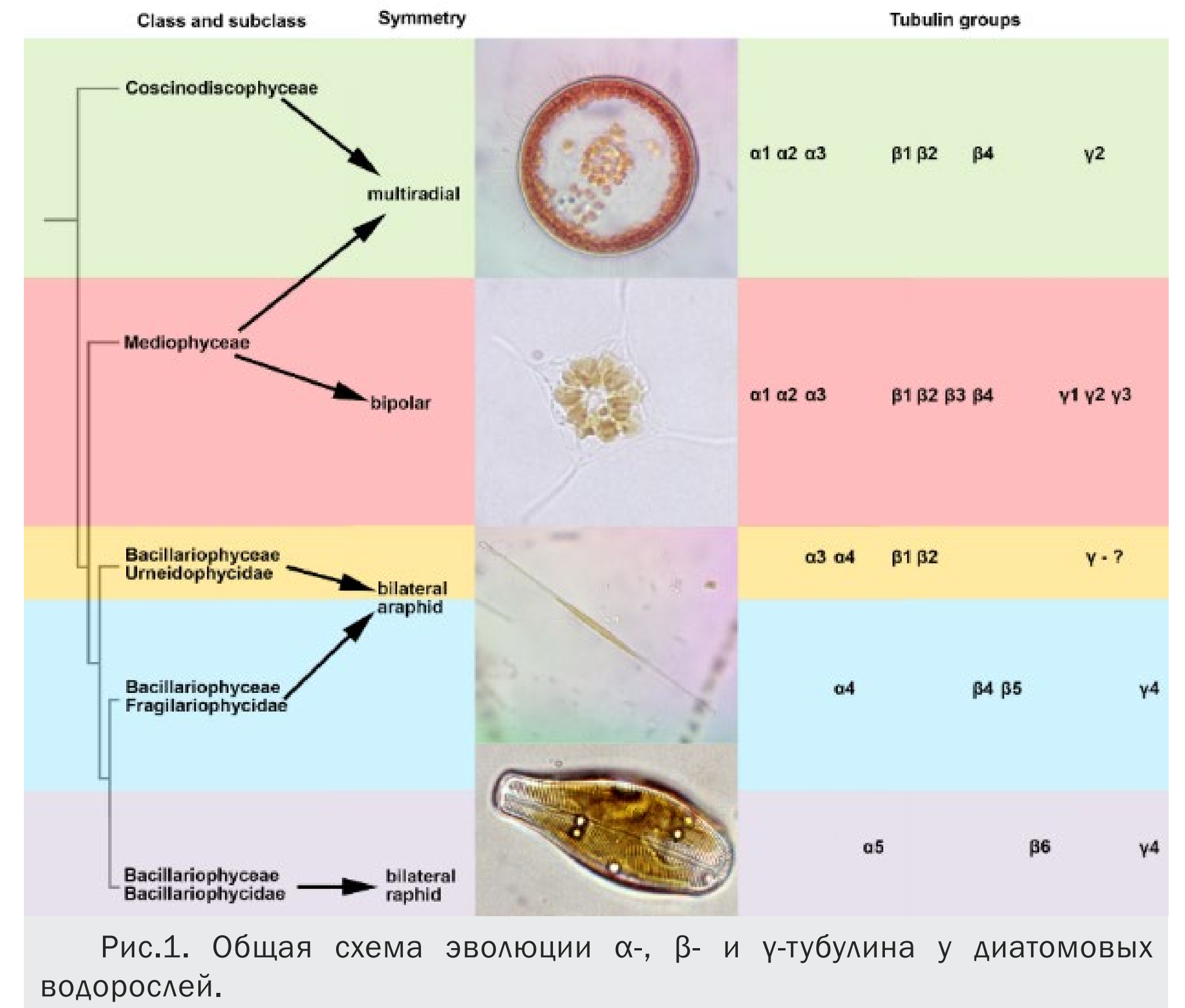
Молекулярная эволюция тубулинов диатомей

Микротрубочки (МТ) являются одним из основных компонентов цитоскелета эукариот, которые необходимы для прохождения различных клеточных процессов. МТ функционируют путем полимеризации и деполимеризации мономеров тубулина. Ранее было показано, что МТ участвуют в морфогенезе кремнистых панцирей диатомовых водорослей. Для дальнейших экспериментальных исследований необходимо проанализировать первичную структуру тубулинов диатомовых водорослей и регулирующих их работу белков.

На основании доступных геномных и транскриптомных данных был проведен филогенетический анализ предсказанных аминокислотных последовательностей α -, β - и γ -тубулинов диатомей. При филогенетической реконструкции показано разделение тубулинов между центрическими (classes *Coscinodiscophyceae* and *Mediophyceae*) и пеннатными (class *Bacillariophyceae*) диатомеями.

Было выдвинуто предположение, что в процессе эволюции тубулинов диатомовых, имеющих разное систематическое положение, сформировались консервативные аминокислотные остатки, характерные для отдельных групп. У центрических видов наблюдается разнообразие групп α -, β - и γ -тубулинов, тогда как у пеннатных выявлены строгие группы α -, β -тубулинов согласно подклассам *Bacillariophycidae* и *Fragilariophycidae* (Рис. 1). Не известно, является ли это следствием более упрощенной морфологии данного класса, либо идет ранний этап формирования разнообразия групп белков, которые еще не накопили достаточного количества мутаций.

Предложенная модель эволюции тубулинов согласуется с морфологической и молекулярно-генетической эволюцией этих организмов.



Публикации:

Khabudaev K.V., Petrova D.P., Bedoshvili Ye.D., Likhoshway Ye.V., Grachev M.A. Molecular evolution of tubulins in diatoms // International Journal of Molecular Sciences.-2022. - V. 23. - №2. - p. 618. DOI: [10.3390/ijms23020618](https://doi.org/10.3390/ijms23020618)

Биологические науки

Возможное объяснение необычного «цветения» весенней диатомей *Fragilaria radians* в летний период: апвеллинг

Массовое развитие фитопланктона в озере Байкал носит сезонный характер. Весной, начиная с подледного периода (март – апрель), и до начала июня. Численность доминирующих видов может меняться от года к году. Летом обилие диатомей невелико, в сентябре-октябре наблюдается второй пик общей численности диатомовых водорослей.

Во время экспедиционных работ в июле 2019 года на станции в 7 км от Маритуя в Южном Байкале была обнаружена аномально высокая концентрация клеток весеннего вида диатомовых водорослей *F. radians* (428×10^3 кл./л).

Для выявления причин этого явления были определены видовой состав и численность микроводорослей на 10 станциях Южного Байкала в разное время года (весна, лето и осень) в течение двух лет. Были проведены измерения длины клеток *F. radians*, определена ассимиляция кремнезема клет-

ками диатомей с использованием красителя Lysotracker Yellow НСК-123 и флуоресцентной микроскопии, были измерены профили температуры от берега до станции и до глубины 500 м, а также определена концентрация растворенных биогенных элементов.

Показано, что клетки *F. radians*, несмотря на высокую численность в июне, не делились и не ассимилировали Si. Выдвинуто предположение, что такое высокое содержание клеток в фотическом слое на станции мониторинга возникло из-за апвеллинга, в результате которого клетки *F. radians*, развивавшиеся весной предыдущего и уже осевшие на дно, поднялись в верхний слой (Рис.1).

Публикации:

Grachev M., Bukin Y., Blinov V., Khlystov O., Firsova A., Bashenkhaeva M., Kamshilo O., Titova L., Bairamova E., Bedoshvili Y., Zakharova Y.. Is a High Abundance of Spring Diatoms in the Photic Zone of Lake Baikal in July 2019 due to an Upwelling Event? // Diversity. – 2021. – Vol. 13. – P. 504. [10.3390/d13100504](https://doi.org/10.3390/d13100504)

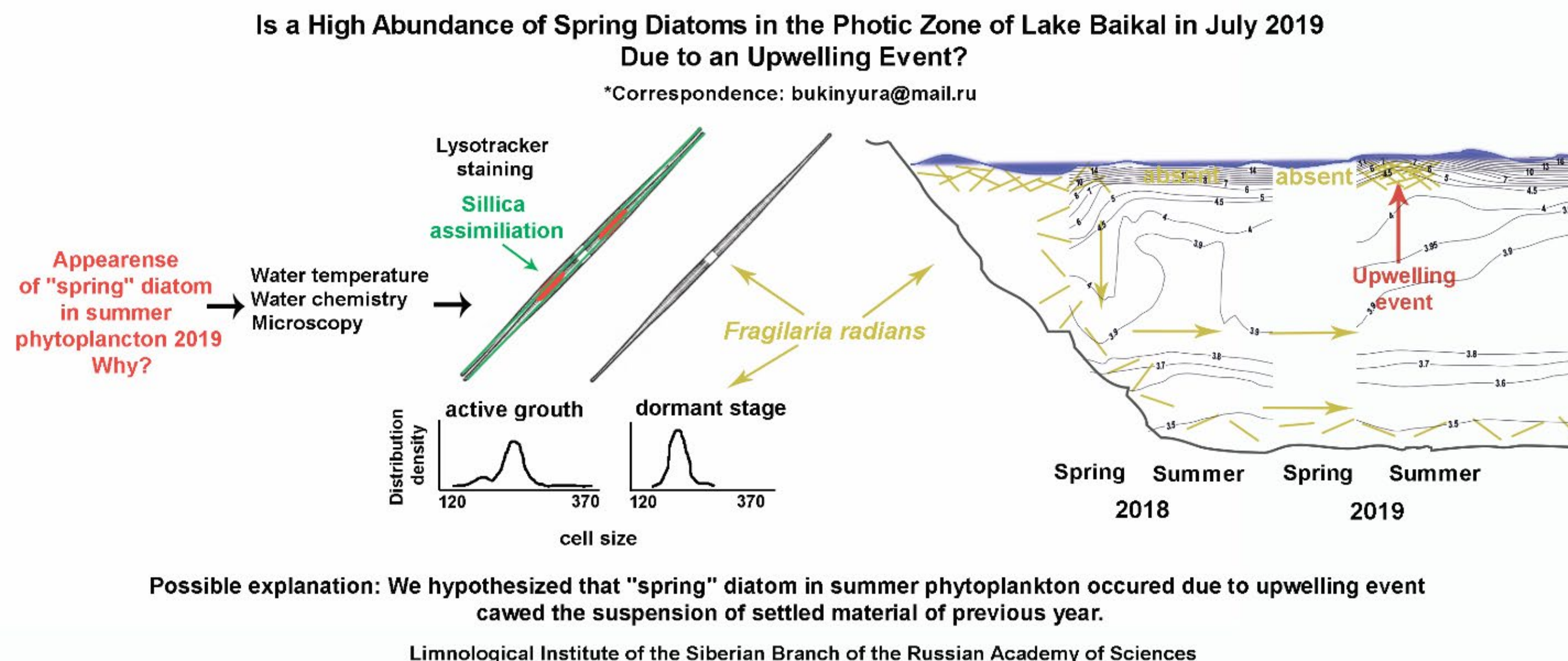


Рис.2. Общая схема исследования аномально высокой концентрации клеток *F. radians* в летнем фитопланктоне в результате апвеллинга.

Филогенетический анализ EB-белков и их структурные особенности диатомовых водорослей

Знания о детальной структуре белков, регулирующих цитоскелет, необходимы для изучения процессов, лежащих в основе морфогенеза кремнистого панциря диатомовых водорослей. EB (End-binding proteins) — семейство ассоциированных с тубулином белков, которые относятся к +TIPs (plus-end-tracking proteins) и регулируют рост и стабилизацию микротрубочек.

В ходе работы был проведен анализ аминокислотных последовательностей и доменных структур EB белков диатомовых в сравнении с белками из других организмов разного систематического положения (Рис. 3). Распределение клад диатомей на филогенетической сети показывают, что EB белки эволюционировали от центрических диатомей (клады D1, D2 и D3) к пеннатым бесшовным (клада D4), от которых он был унаследован шовными (клада D5) и канало-шовными видами диатомей (клада D6).

Таким образом, распределение EB белков диатомей на филогенетической сети на шесть клад (Рис.3) согласуется с их общей эволюцией, описанной на основе маркерных генов. Структура доменов белка сильно варьирует между кладами. Возможно, что высокая вариабельность С-концевого домена диатомовых водорослей вызвана ранее неизвестными взаимодействиями с мотивом CAP-GLY субъединицы динактина p150. Низкая идентичность аминокислотных последовательностей диатомей не влияет на структуру белка и, по всей видимости, не мешают выполнять этим белкам функцию связывания с тубулином.

Публикации:

Petrova D.P., Khabudaev K.V., Bedoshvili E.D., Likhoshvay Ye.V. Phylogeny and structural peculiarities of the end-binding proteins of diatoms // *J Struct Biol.* – 2021. – Vol. 213. – № 3. – P. 107775. [10.1016/j.jsb.2021.107775](https://doi.org/10.1016/j.jsb.2021.107775)

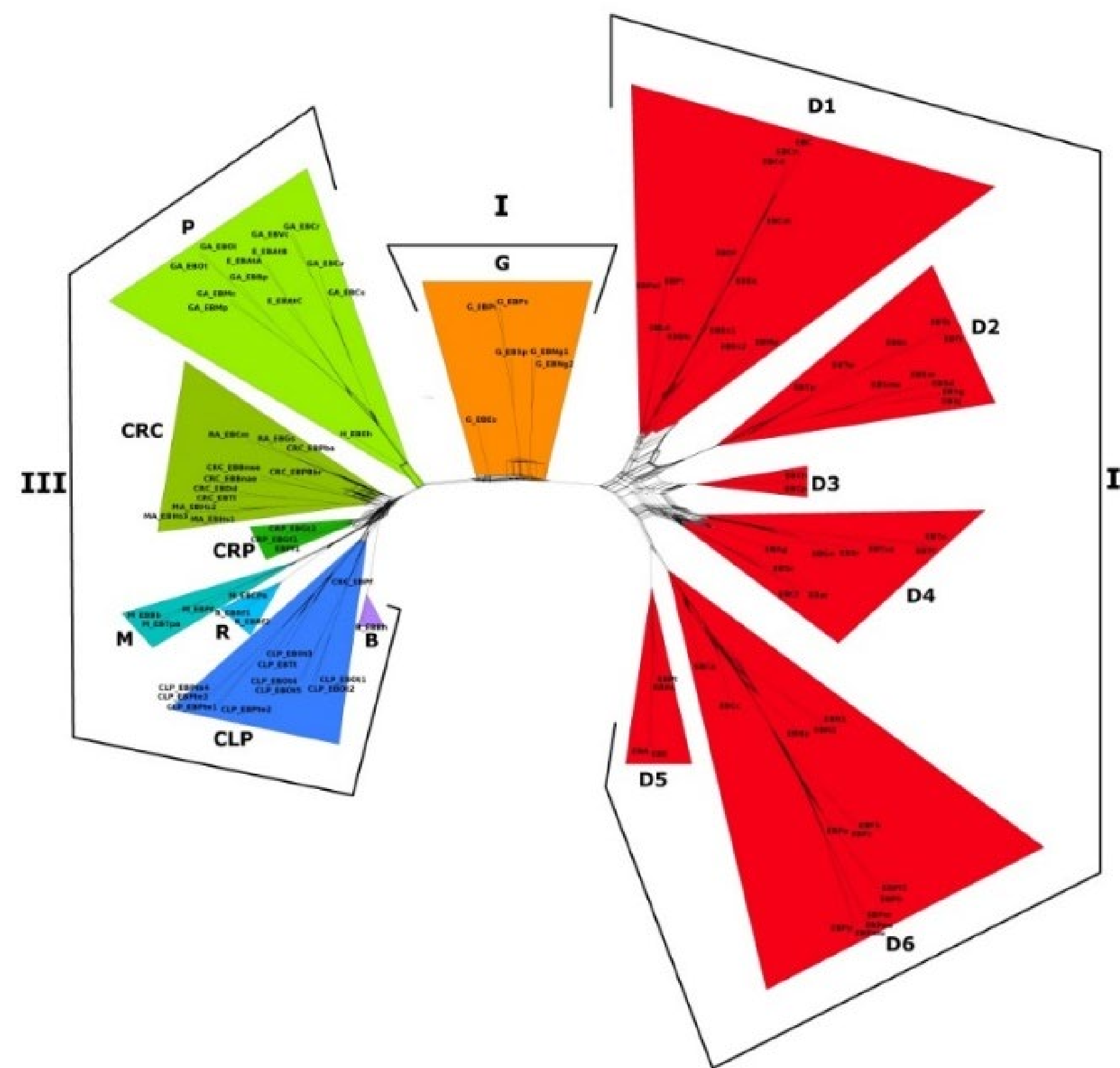


Рис.3. Филогенетическая сеть аминокислотных последовательностей EB белков. Обозначения клад: D1-D6 - диатомовые водоросли; G - тип Gyrista; P - растения; CRC - тип Cercozoa; CRP - тип Cryptophyta; M - тип Mesozoa; R - тип Retaria; CLP - тип Ciliophora; B - тип Bigyra.



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

Сверхдлинный митохондриальный геном *Macrohectopus branickii*

Актуальность проблемы состоит в использовании колоссального размаха эволюционных процессов на протяжении короткого периода геологической истории оз. Байкал. Это позволяет исследовать такие преобразования митохондриального генома как изменение порядка генов и ремоддинг тРНК. Использование искусственного ремоддинга тРНК может помочь созданию прочной генетической изоляции искусственных организмов.

Полностью расшифрована и подтверждена полная нуклеотидная последовательность митохондриального генома *Macrohectopus branickii* – эндемичной байкальской пелагической амфиподы. Показано, что этот геном имеет в длину более 42 тысяч пар оснований и, таким образом, входит в первую пятерку самых протяженных геномов многоклеточных животных.

В отличие от других сверхдлинных митогеномов, у *M. branickii* почти не наблюдается протяженных дупликаций. В остальных сверхдлинных митогеномах присутствуют полногеномные дупликации, иногда – с включением некодирующих участков. Увеличение длины генома у *M. branickii* произошло за счет некодирующих вставок, происхождение которых еще предстоит выяснить.

Также на сегодняшний день неизвестно, полиморфно ли устройство митохондриального генома *M. branickii*. Открытие настолько необычного генома открывает новые возможности исследования функциональной организации и путей эволюции генома митохондрий у многоклеточных животных.

Публикации:

Romanova E.V., Bukin Y.S., Mikhailov K.V., Logacheva M.D., Aleoshin V.V., Sherbakov D.Y. The mitochondrial genome of a freshwater pelagic amphipod *Macrohectopus branickii* is among the longest in Metazoa // Genes – 2021. – V. 12

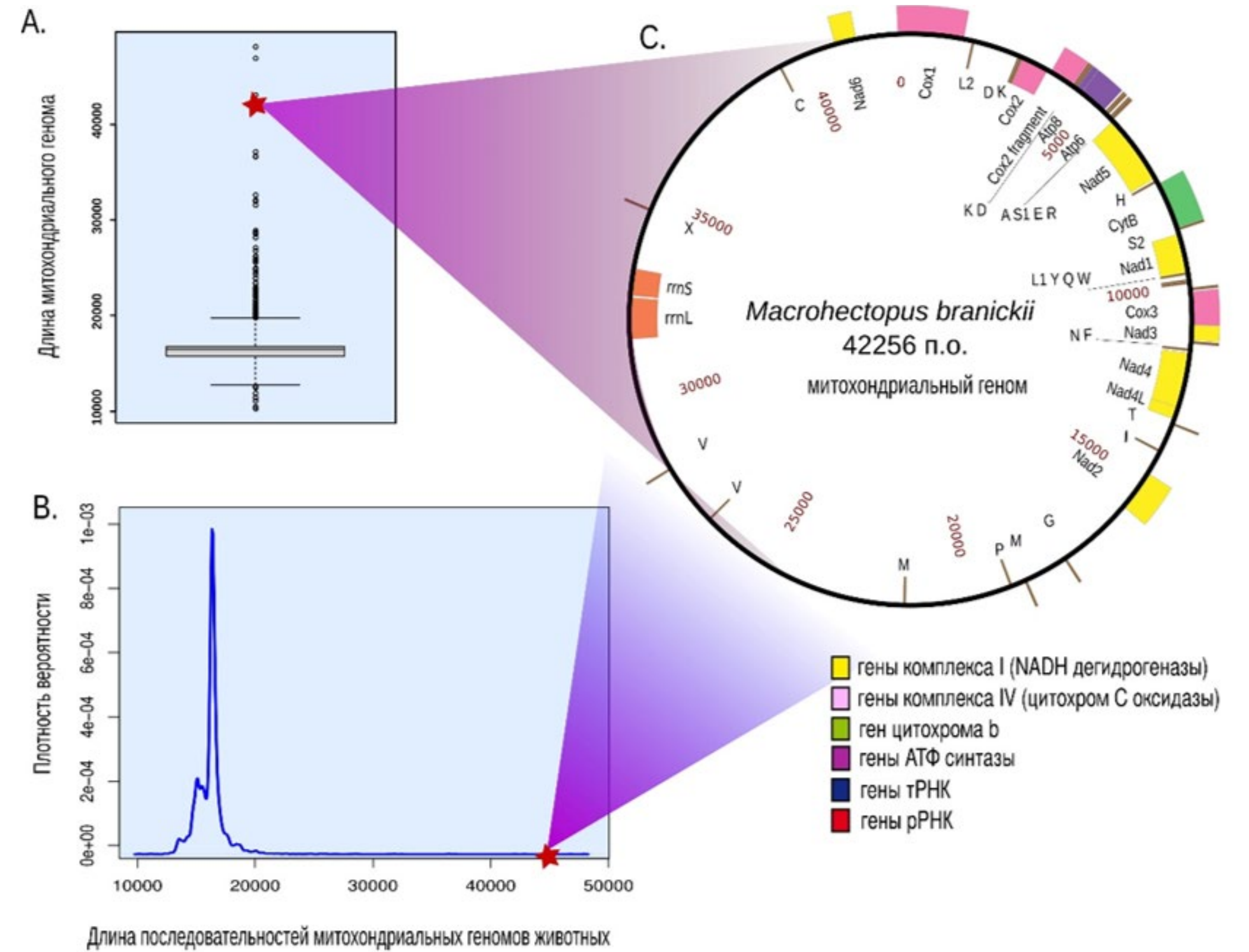


Рис.1. А) Распределение длин полных митохондриальных геномов животных в виде боксплота. В) Функция плотности вероятности для распределения длин митохондриальных геномов животных. С) Карта митохондриального генома байкальской амфиподы *M. branickii*. Гены, кодируемые «+» цепью генома, изображены на внешней стороне кольца; гены, кодируемые «-» цепью генома – на внутренней стороне. Гены тРНК обозначены в соответствии с их однобуквенным кодом. X – тРНК-псевдоген, имеющий в антикодоновой петле последовательность из четырех цитозиновых оснований (СССС).



ГЕНОМИКА СИМБИОЗА. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ МЕЖДУ ХОЗЯИНОМ И КОНСОРЦИУМАМИ МИКРООРГАНИЗМОВ И ПАРАЗИТОВ

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

Проведены метагеномные исследования ДНК-вирусов в образцах воды южной и средней котловины оз. Байкал. Анализ новых и ранее опубликованных данных (Potarov et al., 2019; Butina et al., 2019) позволил более глубоко оценить генетическое и таксономическое разнообразие вирусов, поражающих широкий спектр байкальских организмов (бактерий, архей, водорослей, простейших и др.). Выявлены вирусные гены (AMGs, auxiliary metabolic genes), участвующие в метаболизме и поддержании жизнедеятельности хозяев. Показаны существенные отличия в таксономическом составе вирусных сообществ в отдельных районах озера с различающимися гидрологическими параметрами (глубина, температурный режим и др.). Выявлена тенденция сезонных изменений состава и метаболических функций вирусных сообществ в планктоне озера (например, преобладание вирусных генов метаболизма углерода и гликанов в летний период и метаболизма аминокислот, кофакторов и витаминов в подледный и весенний периоды). Таким образом, показано влияние факторов среды на формирование вирусных сообществ и участие вирусов в регуляции разнообразия и функционирования микробиома озера. Сравнительный анализ вириопланктона различных пресноводных озер выявил наибольшее сходство байкальского вириопланктона с таковым азиатских озер Соаянг (Корея) и Бива (Япония) (Рис.1.).

Публикации:

Butina T.V., Bukin Y.S., Petrushin I.S., Tupikin A.E., Kabilov M.R., Belikov S.I. Extended evaluation of viral diversity in Lake Baikal through metagenomics // *Microorganisms*.-2021.-V.9.-№4.-p. 1-31. DOI: [10.3390/microorganisms9040760](https://doi.org/10.3390/microorganisms9040760)

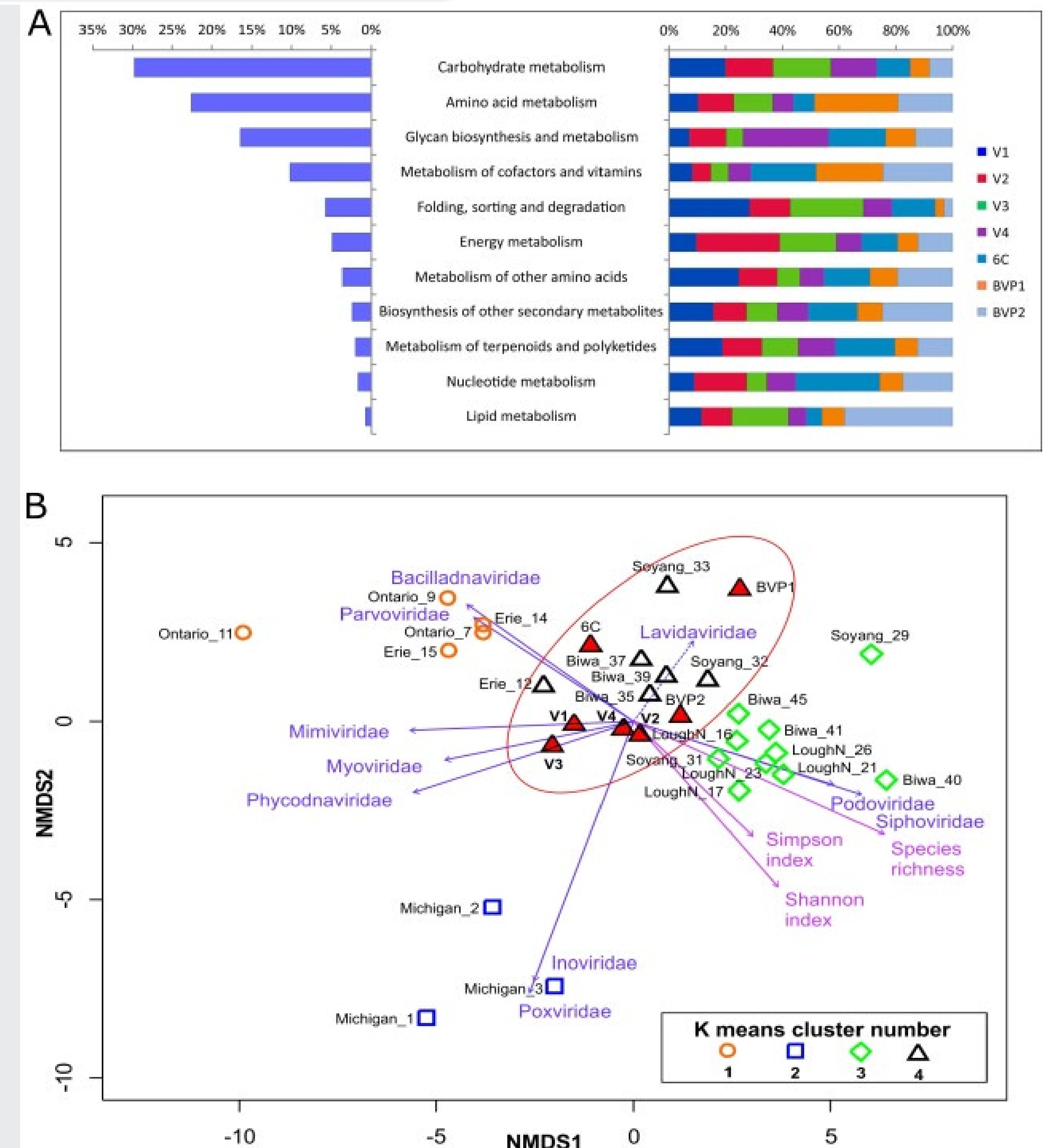


Рис.1. Результаты метагеномного анализа вирусов оз. Байкал. А – основные функциональные категории вирусных вспомогательных метаболических генов (AMGs), выявленные в виромах (слева указана общая доля вирусных генов, относящихся к разным категориям, во всех байкальских образцах; справа – представленность генов каждой категории в отдельных байкальских виромах. Обозначения образцов: V1, V2 и V4 – пробы воды пелагиали озера, глубина 0-500 м, V3 – образец воды пролива Малое Море, 0-25 м (летний отбор); 6С – поверхностная проба воды литорали озера (осенний отбор) (Butina et al., 2019); BVP1 и BVP2 - пробы воды пелагиали озера, 0-50 м, отобранные в подледный и поздневесенний периоды (Potarov et al., 2019). В – сравнительный кластерный анализ вирусных сообществ различных пресноводных озер (образцы озера Байкал выделены красным цветом, указаны вектора вирусных семейств и индексов разнообразия).



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

Анализ аэрозольно-газовых примесей на станциях мониторинга атмосферы Южного Прибайкалья

По объему выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Иркутская область занимает третье место в Сибирском федеральном округе. Для идентификации источников загрязнения атмосферы в Южном Прибайкалье осуществлялся мониторинг за физико-химическими параметрами атмосферы в разных по техногенной нагрузке районах. Мониторинг велся на трёх станциях, включенных в программу EANET: Иркутск – 52.248540 E; 104.260441 N (городская); Листвянка – 51.847129 E; 104.893475 N (сельская); Монды – 51.67266 N 100.993445 E (региональная фоновая). Станции оборудованы хемилюминесцентными, электрохимическими газоанализаторами и лазерными фотометрами для определения уровня содержания аэрозольных и газовых примесей, пробоотборниками аэрозолей, осадков. Химический анализ аэрозоля, снежного покрова проводился с помощью общепринятых мировых стандартных методов: ионная хроматография, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, газовая хромато-масс-спектрометрия.

Расчет факторных нагрузок и определение веществ-индикаторов различных групп источников проведен с помощью программного обеспечения RStudio. Геостатистическая обработка данных и визуализация пространственного распределения накопления веществ-индикаторов в снежном покрове выполнены с использованием эмпирического Байесовского кригинга (программное обеспечение ArcGIS 10.2). Результаты, получаемые на станциях, передаются Росгидромету РФ для составления Национального отчета в программу EANET, публикуются в ежегодном Обзоре «Состояние и загрязнение окружающей среды в Российской Федерации».

Анализ многолетних наблюдений химического состава аэрозоля (с 2000 по 2020 гг.) показал снижение концентраций отдельных ионов от 2 до 8 раз, что, вероятно, обусловлено изменением климата в регионе и

увеличением количества атмосферных осадков (Рис.1). В теплый период, при лесных пожарах, в атмосфере увеличивается содержание газовых примесей – оксидов углерода и азота, в аэрозоле растет количество частиц субмикронной фракции и увеличивается вклад элементов: К, В, Mn, Zn, As, Sr, Cd, Pb – маркеров дымовых шлейфов (Рис.2).

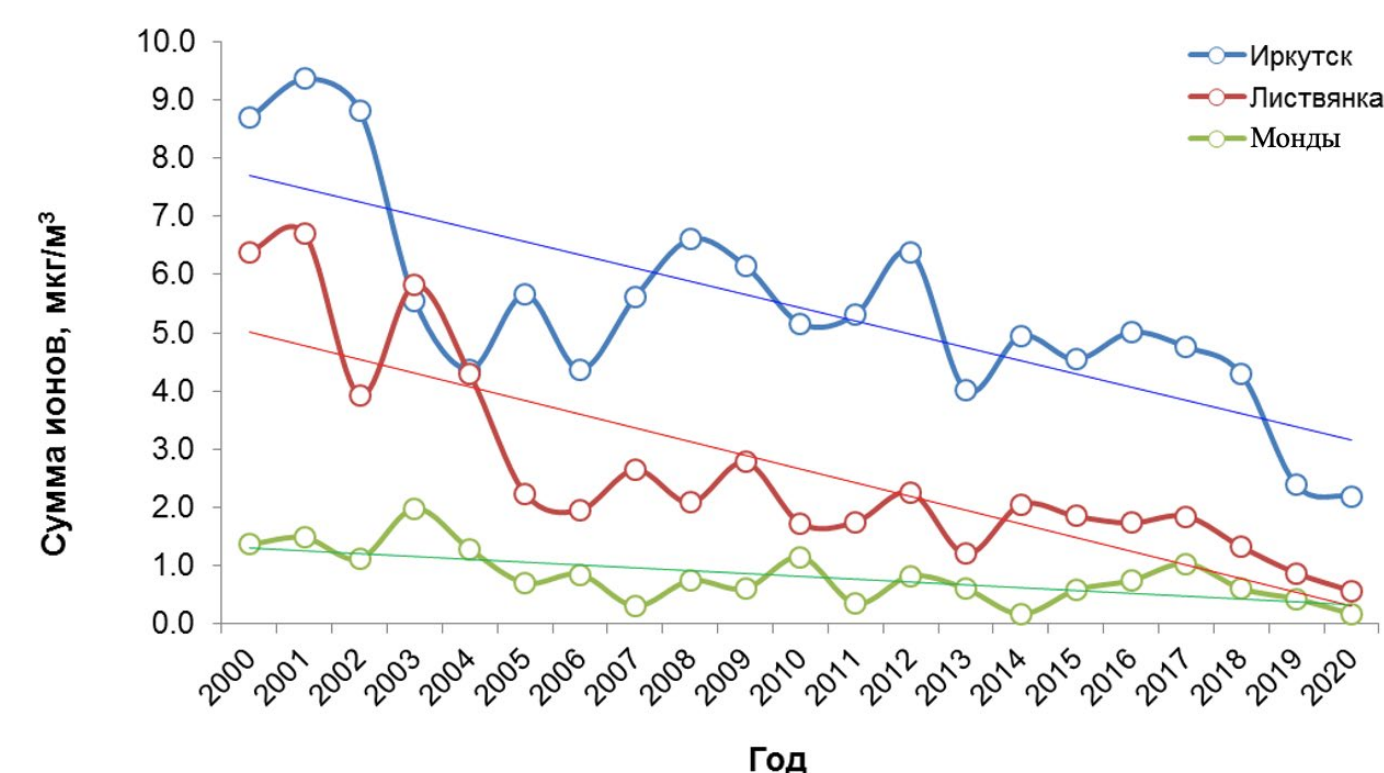


Рис.1. Межгодовая изменчивость средних концентраций суммы ионов в атмосферном аэрозоле на станциях мониторинга атмосферы: г. Иркутск, п. Листвянка, ст. Монды (2000-2020 гг.).

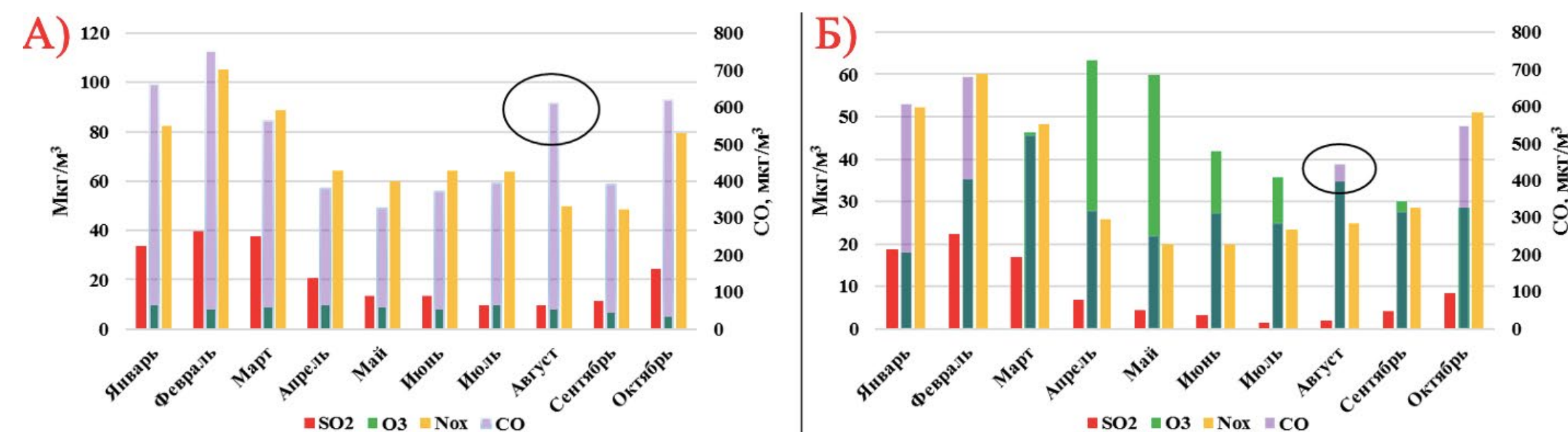


Рис.2. Годовая динамика газовых примесей SO₂, O₃, NO_x, CO на территории: **А** – Иркутской области, **Б** – Республики Бурятия по данным ежедневных данных с сайта www.feerc.ru/baikal/ru/monitoring, 2021 г.

Впервые на станциях «Иркутск» и «Листвянка» проанализирован суточный и годовой ход концентраций грубодисперсной (1-10 мкм) и субмикронной (0,1 - 1 мкм) фракций аэрозольных частиц (Рис.3-4).

Высокие массовые концентрации обеих фракций зарегистрированы в зимний период при низких температурах воздуха и антициклональном типе погоды, а также летом во время дымового смога от лесных пожаров. Среднегодовая концентрация грубодисперсной фракции частиц в атмосфере на ст. «Иркутск» составила 34,5 мкг/м³, при этом самая высокая концентрация 206 мкг/м³ зарегистрирована в январе. Концентрации субмикронной фракции частиц были наибольшими в августе (85 мкг/м³) при прохождении над Южным Прибайкальем воздушных масс из районов Якутии, охваченных пожарами.

Проведена оценка степени загрязнения атмосферы городских и сельских населенных пунктов частицами PM_{2.5} в соответствии с гигиеническими нормативами (ПДКсс). В г. Иркутске отмечено превышение ПДКсс

в 1,1-3,4 раза с ноября до середины мая. В п. Листвянка увеличение ПДКсс PM_{2.5} в 1,9 раза зафиксировано только в период лесных пожаров. Максимум суточного хода аэрозольных частиц определяется летом около полудня, зимой - в ночные часы.

Публикации:

Popovicheva O., Molozhnikova E., Nasonov S., Potemkin V., Penner I., Klemasheva M., Marinaite I., Golobokova L., Vratolis S., Eleftheriadis K., Khodzher T. Industrial and wildfire aerosol pollution over world heritage Lake Baikal // *Journal of Environmental Sciences*. – 2021. – V. 107. – P. 49-64. DOI: [10.1016/j.jes.2021.01.011](https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.01.011)

Golobokova L.P., Nazarova U.G., Netsvetaeva O.G., Onischuk N.A., Khuriganova O.I., Khodzher T.V. Atmospheric depositions in Irkutsk in 2019-2020 // *Proceedings of SPIE*. – 2021. – № Art. 1191672. – P. 1-6. DOI: [10.1117/12.2602063](https://doi.org/10.1117/12.2602063)

Marinaite I.I., Penner I.E., Molozhnikova Y.V., Shikhovtsev M.Yu., Obolkin V.A., Kustova O.V., Khodzher T.V. PAHs and meteorological parameters in the atmosphere of the Southern Baikal region from 2019 to 2021 // *Proceedings of SPIE*. – 2021. – № Art. 1191618. – P. 1-8. DOI: [10.1117/12.2600471](https://doi.org/10.1117/12.2600471)

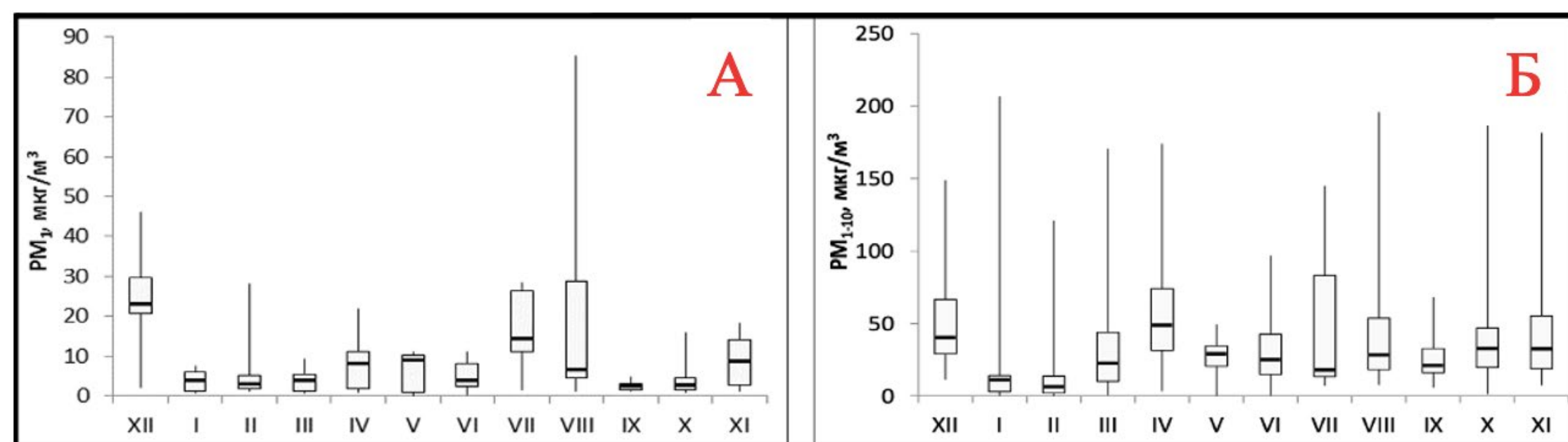


Рис.3. Годовой ход: **А** – субмикронной; **Б** – грубодисперсной фракций аэрозолей в атмосфере над г. Иркутск, 2021 г., (декабрь представлен за 2020 г.)

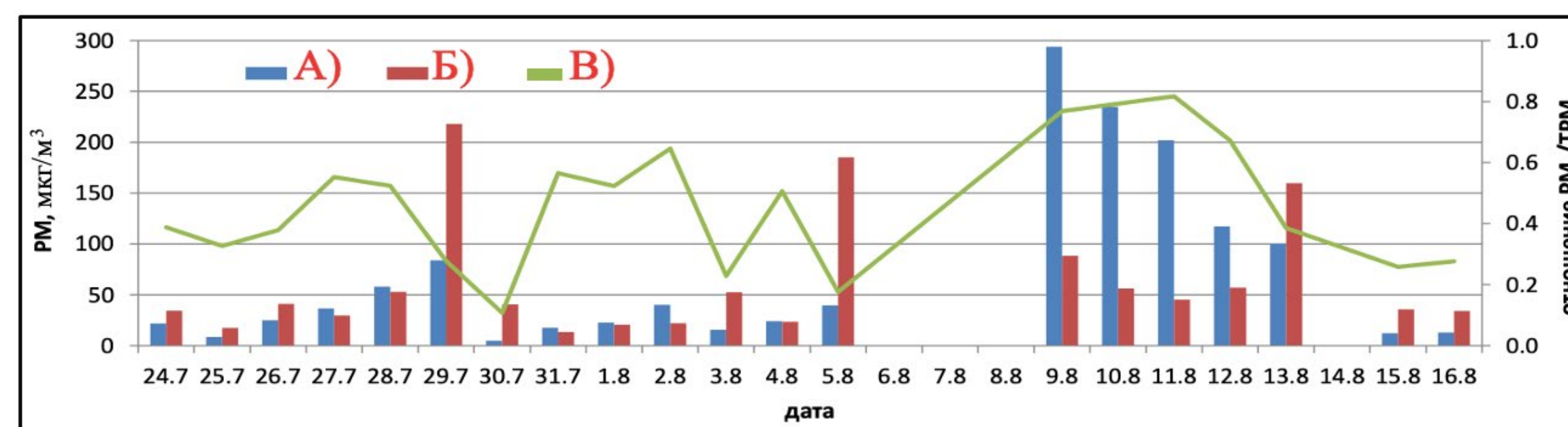


Рис.4. Суточная изменчивость: **А** – субмикронной; **Б** – грубодисперсной фракций; **В** – доли субмикронной фракции в общей массе аэрозоля над г. Иркутск в июле – августе 2021 г.

Химический состав снежного покрова в Южном Прибайкалье

В 2020-2021 гг. проведена геохимическая оценка состояния снежного покрова в трёх городах Иркутской области, отнесенных в Приоритетный список городов РФ с высоким уровнем загрязнения атмосферы (Иркутск, Ангарск, Шелехов). С помощью статистической обработки выбраны вещества-индикаторы от групп источников, вносящих наибольший вклад в формирование химического состава снежного покрова: сульфаты, кальций, натрий, фториды. Впервые проанализирована сажа. Построены картосхемы их распределения на подстилающей поверхности (Рис.5). Наиболее сильно загрязнены участки вблизи крупных ТЭЦ, объектов промышленности: ОАО Иркутский алюминиевый завод (г.Шелехов); АО «АНХК» (г. Ангарск); предместье Марата (г. Иркутск).

Публикации:

Sorokovikova L.M., Netsvetaeva O.G., Tomberg I.V., Molozhnikova Y.V. Snow cover as a factor of impact on the chemical composition of the Pereemnaya River water (South-Eastern coast of Baikal) // Proceedings of SPIE. – 2021. – № Art. 1191669. – P. 1-7. DOI: [10.1117/12.2602049](https://doi.org/10.1117/12.2602049).

Shikhovtsev M.Yu., Onishchuk N.A., Netsvetaeva O.G., Molozhnikova Y.V. Multivariate statistical analysis of the chemical composition of the snow in the industrial cities of the Southern Baikal region // Proceedings of SPIE. – 2021. – № Art. 1191616. – P. 1-7. DOI: [10.1117/12.2600456](https://doi.org/10.1117/12.2600456)

Molozhnikova Y.V., Netsvetaeva O.G., Shikhovtsev M.Yu. Determination of the main factors affecting the chemical composition of precipitation in the Southern Baikal region // Proceedings of SPIE. – 2021. – № Art. 1191615. – P. 1-6. DOI: [10.1117/12.2600443](https://doi.org/10.1117/12.2600443).

Onishchuk N.A., Shikhovtsev M.Yu., Netsvetaeva O.G., Molozhnikova Ye.V. The total index of snow cover pollution in some industrial cities of the Southern Pribaikalye // Proceedings of SPIE. 2021. – V. 11916. – № 119162F. – P. 1-5. DOI: [10.1117/12.2602012](https://doi.org/10.1117/12.2602012).

Semenov M.Yu., Semenov Yu.M., Silaev A.V., Begunova L.A. Source Apportionment of Inorganic Solutes in Surface Waters of Lake Baikal Watershed // Sustainability. 2021. – V. 13. – № 10, Art №5389. – P. 1-21. DOI: [10.3390/su13105389](https://doi.org/10.3390/su13105389) Q2

Semenov M.Yu., Onishchuk N.A., Netsvetaeva O.G., Khodzher T.V. Source Apportionment of Particulate Matter in Urban Snowpack Using End-Member Mixing Analysis and Positive Matrix Factorization Model // Sustainability. 2021. – V. 13. – № 24. – P. 1-17. DOI: [10.3390/su132413584](https://doi.org/10.3390/su132413584)

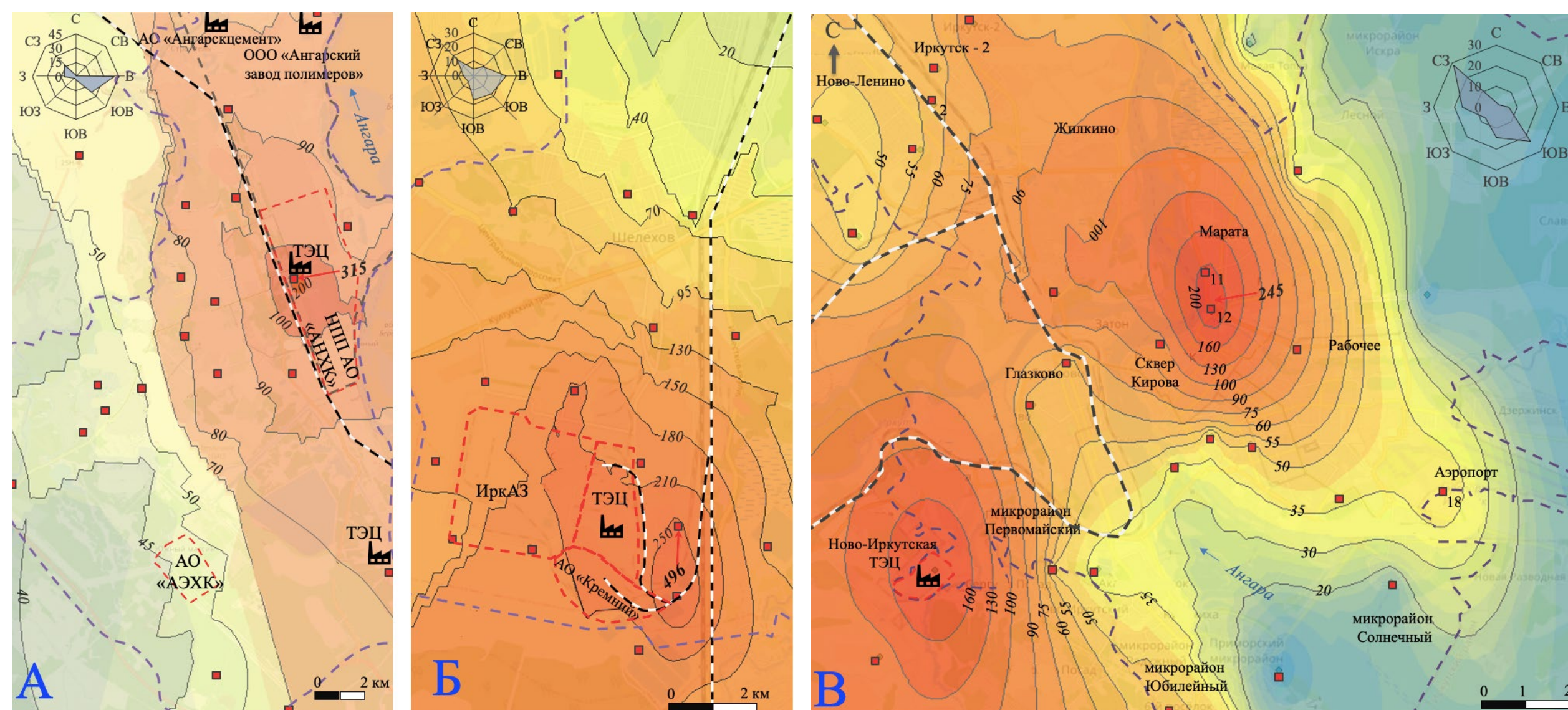


Рис. 5. Карта-схема пространственного распределения сажи в снежном покрове в 2020-2021 гг: **А** - Ангарск; **Б** - Шелехов; **В** - Иркутск.



ИССЛЕДОВАНИЯ ВИРУСНЫХ И БАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ КАК ОСНОВЫ СТАБИЛЬНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ И ЭФФЕКТИВНОГО ОТВЕТА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

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

Микроорганизмы ввиду своей многочисленности и повсеместного распространения оказывают масштабное влияние на глобальные процессы как в водоемах, так и в биосфере Земли. В настоящее время остро стоит проблема эвтрофирования водоемов, в том числе и крупнейших озер, приводящая к целому спектру негативных изменений, вплоть до деградации экосистемы. В этом отношении Байкал как самый большой резервуар пресной воды на Земле заслуживает особого внимания. Байкал вследствие своего происхождения и морфометрии характеризуется древней и разнообразной биотой, включая бактерии и вирусы, и является своеобразной лабораторией по изучению биоразнообразия в мире, отличаясь при этом невысокой продуктивностью.

Из озера Байкал выделен уникальный бактериофаг MD8, геном которого сильно отличается от уже известных фагов. По данным секвенирования нового поколения (NGS) и биоинформатического анализа установлен многоступенчатый характер формирования генома фага MD8 и модульный принцип его организации. Модуль генов терминазы и капсида фага MD8 характеризуется наибольшим сходством с белками фага F10, а ген капсидного белка кодирует три белка – скаффолдный, капсидный и протеазу. Модуль лизогении больше похож на таковой у фагов φ2 и TC7. Блок хвостовых белков фага MD8 ближе к фагу JBD68, а белки лизиса родственны гомологам фага BR133a (Рис. 1). Множественные горизонтальные переносы и мозаицизм генома MD8 и других лямбдаподобных фагов усложняют таксономическую классификацию представителей этой обширной группы. Предлагается рассматривать организацию генома фагов в качестве ключевого признака для разделения лямбдоидных фагов на уровне семейств, а таксономию инфицированных фагами хозяев – для разграничения подсемейств.

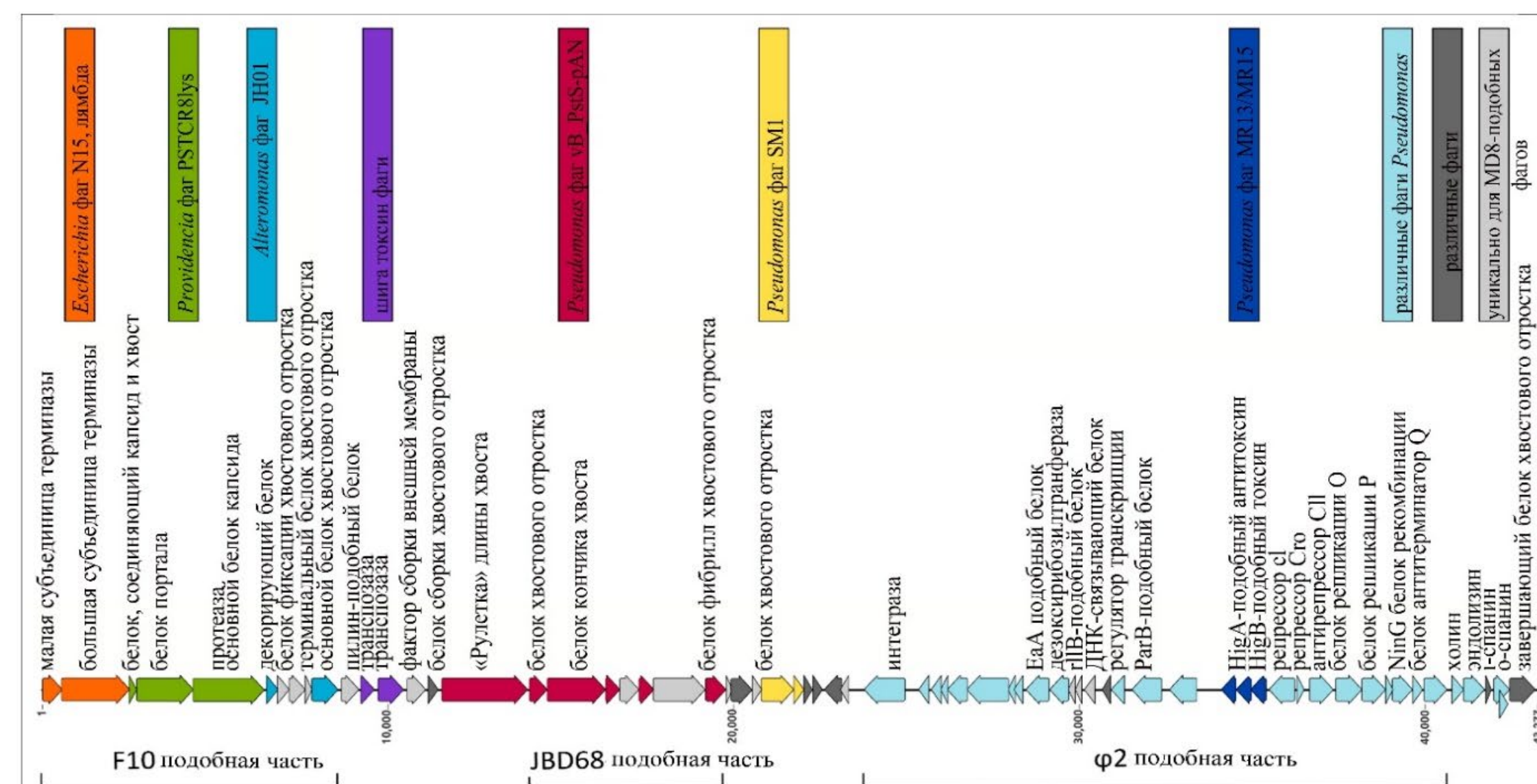


Рис.1. Генетическая карта фага *Pseudomonas* MD8 и геномных модулей, идентифицированных путем сравнения последовательностей и филогенетического анализа. Части геномов, в целом более похожие на фаги F10, JBD68 и φ, которые принадлежат к группе MD8 (показаны в скобках снизу). Гены MD8, которые окрашены в цвета прямоугольников сверху, кодируют гомологичные белки не MD8-подобных фагов, названия которых помещены в цветные прямоугольники.

Публикации:

Evseev P., Lukianova A., Sykilinda N., Gorshkova A.S., Bondar A., Shneider M., Kabilov M., Drucker V.V., Miroshnikov K. *Pseudomonas* Phage MD8: Genetic Mosaicism and Challenges of Taxonomic Classification of Lambdoid Bacteriophages // *International journal of molecular sciences*. – 2021. – Vol. 22. – № 10350. – P. 1-33. DOI: [10.3390/ijms221910350](https://doi.org/10.3390/ijms221910350)

Изучение комплексом методов обеззараженных сточных вод (ОСВ), отобранных из канализационных очистных сооружений г. Слюдянка и г. Северобайкальск, расположенных на южном и северном побережьях оз. Байкал, выявило неэффективность их обеззараживания.

Оценка численности микроорганизмов – индикаторов фекального загрязнения – показала, что количество общих и термотолерантных колиформных бактерий, энтерококков и колифагов превышает нормативы СанПиНа и рекомендаций МУК в десятки и сотни раз в ОСВ. Незначительное увеличение численности санитарно-показательных микроорганизмов зарегистрировано в некоторых участках литорали оз. Байкал.

Электронная микроскопия обнаружила морфологическое разнообразие вирусов в ОСВ, в пробах преобладали хвостатые бактериофаги, единично отмечены коронавирус-подобные вирионы. С помощью NGS опреде-

лено высокое генетическое разнообразие ДНК-содержащих виромов. В их составе доминировали хвостатые бактериофаги, хозяевами большинства фагов являлись представители филумов Bacteroidetes, Proteobacteria, Firmicutes, присутствовали фаги бактерий порядка *Enterobacterales*, семейств *Legionellaceae*, *Neisseriaceae*, *Streptococcaceae*, *Enterococcaceae*, *Staphylococcaceae*, обитающих в кишечнике человека. Всего в виромах идентифицировано 46-50 семейств вирусов.

Кроме того, обнаружены РНК-содержащие вирусы, в частности, морбилливирусы и коронавирусы. Из вирусов антропогенного происхождения выявлены белки вируса гепатита В, герпесвирусов нескольких типов, вируса папилломы человека, вируса краснухи и др. Анализ виромов крупнейших озер и водоемов мира показал наличие в них семейств вирусов, инфицирующих человека и млекопитающих, чаще всего встречались вирусы семейств *Poxviridae*, *Herpesviridae*, *Adenoviridae* (Рис.2).

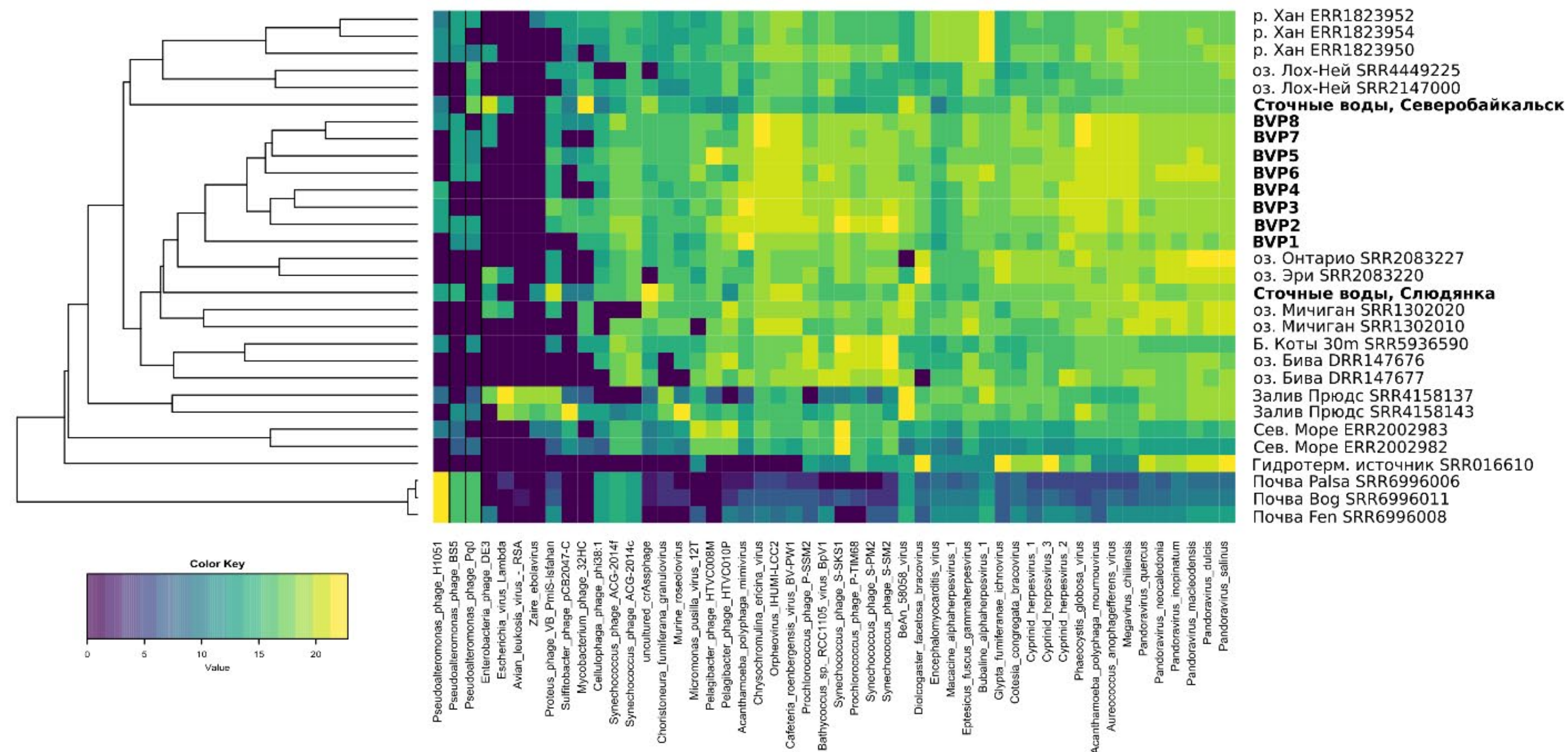


Рис.2. UPGMA-дендрограмма и тепловая карта виромов различных мест обитаний, включая ОСВ очистных сооружений гг. Слюдянка и Северобайкальск. Дендрограмма построена с использованием иерархического кластерного анализа. Виromы из оз. Байкал выделены жирным шрифтом. Количество «хитов» представлено в логарифмической шкале.

Выполнен анализ восьми образцов вирусной фракции планктона, отобранных в разные сезоны по акватории озера Байкал, с помощью NGS и биоинформатических методов. Вклад домена «Вирусы» в общее количество последовательностей составил 0,5-8,8%, домену «Бактерия» принадлежало 85-98% последовательностей. В ДНК-содержащих виромах оз. Байкал доминировали хвостатые бактериофаги порядка *Caudovirales* (89-97%). Из них самым многочисленным было семейство *Myoviridae* (52-70%), субдоминантами являлись *Siphoviridae* и *Podoviridae*. Всего определено 68 семейств вирусов. Семейства *Phycodnaviridae* и *Mimiviridae* преобладали среди вирусов эукариот. В виромах большинство хитов (видов) отнесено к цианофагам, в меньшем количестве встречались фаги протеобактерий, фирмикут.

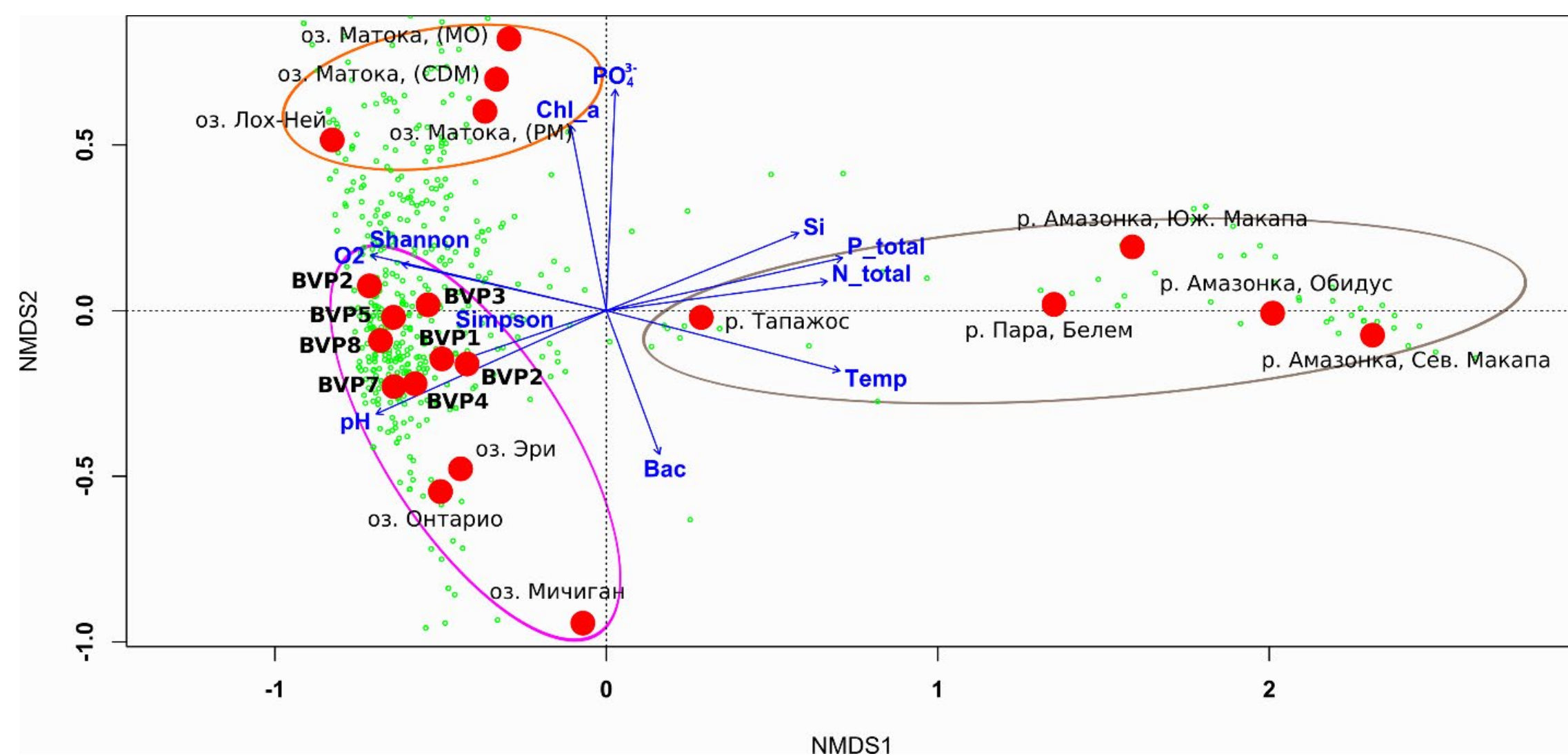


Рис.3. NMDS-анализ, проведенный на основе таксономии виромов, физико-химических и биотических параметров. Temp – температура, N_total – общий азот, P_total – общий фосфор, Si – кремний, PO_4^{3-} – фосфаты, Chl_a – хлорофилл a, Shannon – индекс разнообразия по Шеннону, O_2 – растворенный кислород, pH – показатель pH, Bac – ОЧБ.

Сравнительный анализ вирусных сообществ почвенных, морских и пресноводных экосистем показал, что «байкальские» виромы образовали собственный кластер, в котором сообщества располагаются в зависимости от сезона и географической приуроченности. Виромы из озер Байкал, Эри, Онтарио, Мичиган и древнего Бива сформировали общую кладу «крупнейших и древнейших озер мира», в которую входит подклада озер, отличающихся низкой продуктивностью. На основе анализа виромов в совокупности с абиотическими и биотическими факторами среды продемонстрировано разделение водоемов на группы в зависимости от трофности экосистем (Рис.3).

Публикации:

Galachyants A.D., Krasnopeev A.Y., Podlesnaya G.V., Potapov S.A., Sukhanova E.V., Tikhonova I.V., Zimens E.A., Kabilov M.R., Zhuchenko N.A., Gorshkova A.S., Suslova M.Y., Belykh O.I. Diversity of Aerobic Anoxygenic Phototrophs and Rhodopsin-Containing Bacteria in the Surface Microlayer, Water Column and Epilithic Biofilms of Lake Baikal // *Microorganisms*. – 2021. – Vol. 9. – № 4. – P. 842. DOI: [10.3390/microorganisms9040842](https://doi.org/10.3390/microorganisms9040842)

Trizna E., Baidamshina D., Gorshkova A.S., Drucker V.V., Bogachev M., Tikhonov A., Kayumov A. Improving the efficacy of antimicrobials against biofilm-embedded bacteria using bovine hyaluronidase azoximer (longidaza®) // *Pharmaceutics*. – 2021. – Vol. 13. – № 11. – P. 1740. DOI: [10.3390/pharmaceutics13111740](https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13111740)

Липко И.А., Белых О.И. Экологические особенности пресноводных планктонных актинобактерий // *Сибирский экологический журнал*. – 2021. – № 2. – С. 198-213. DOI: [10.15372/SEJ20210206](https://doi.org/10.15372/SEJ20210206)

Подлесная Г.В., Суслова М.Ю., Штыкова Ю.Р., Томберг И.В., Елецкая Е.В., Тимошкин О.А., Белых О.И. Сезонные и пространственные вариации численности аммонифицирующих и денитрифицирующих бактерий в сообществах планктона и эпилимниона литорали оз. Байкал // *Сибирский экологический журнал*. – 2021. – Т. 28. – № 5. – С. 641-652. DOI: [10.15372/SEJ20210512](https://doi.org/10.15372/SEJ20210512)

Adamovich B., Mikheeva T., Sorokovikova E., Belykh O., Paškauskas R., Kuzmin A., Fedorova G., Zhukava H., Karosienė J. Phytoplankton of the transboundary River Viliya (Neris): community structure and toxic cyanobacterial blooms // *Baltica*. – 2021. – V. 34. – № 2. – P. 174-184. DOI: [10.5200/baltica.2021.2.4](https://doi.org/10.5200/baltica.2021.2.4)



ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЭСНОВОДНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ, ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

Номер проекта в Минобрнауки России 0279-2019-0003
Руководитель: к.г.н. М.М. Макаров

В условиях депрессии численности популяции байкальского омуля особенно актуальной становится возможность выполнения ресурсных исследований в оз. Байкал без проведения контрольных ловов. Современный уровень гидроакустической техники позволяет с высокой точностью оценивать численность, а также и биомассу рыб при условии наличия для расчетов корректных моделей. Для повышения достоверности было проведено уточнение коэффициентов моделей для нагульной части омулевого стада.

В результате были рассчитаны зависимости с близкими значениями коэффициентов степенной функции. Существенных различий между рыбами разного пола и морфо-экологических групп выявлено не было. Предложенное уравнение $W=10,9(SL_{dm})^{3,02}$ с приемлемыми коэффициентами пригодно для выполнения ресурсных исследований байкальского омуля (Рис.1.). Прикладное значение полученных результатов заключается в повышении точности учетных работ по оценке состояния популяции байкальского омуля.

Главным тезисом опубликованных результатов является концепция перевода озера Байкал из статуса промыслового в статус туристического. В связи с вышеизложенным необходимо сформировать новую стратегию рыбохозяйственного освоения запасов омуля на Байкале и, прежде всего, в таких районах как Южный Байкал. Снятие ограничений на любительский лов должно сопровождаться мерами по его организации, позволяющими получать достоверные статистические данные по уловам. В правилах рыболовства могут быть пересмотрены запретные районы и сроки для любительского лова на основании сведений о местах нерестовых скоплений, времени и путей нерестовых миграций, нормы вылова, допустимость использования подсветки в ночное время по районам лова и т.д.

Практика взаимодействия уполномоченных органов с организованной частью рыбаков-любителей на фоне просветительской и разъяснительной работы показывает ее высокую эффективность в части борьбы с незаконным промыслом. В этом плане важно уделить внимание развитию спортивного рыболовства, организации соревнований с привлечением, по возможности, наиболее широкого представительства команд со всей России и даже из-за рубежа.

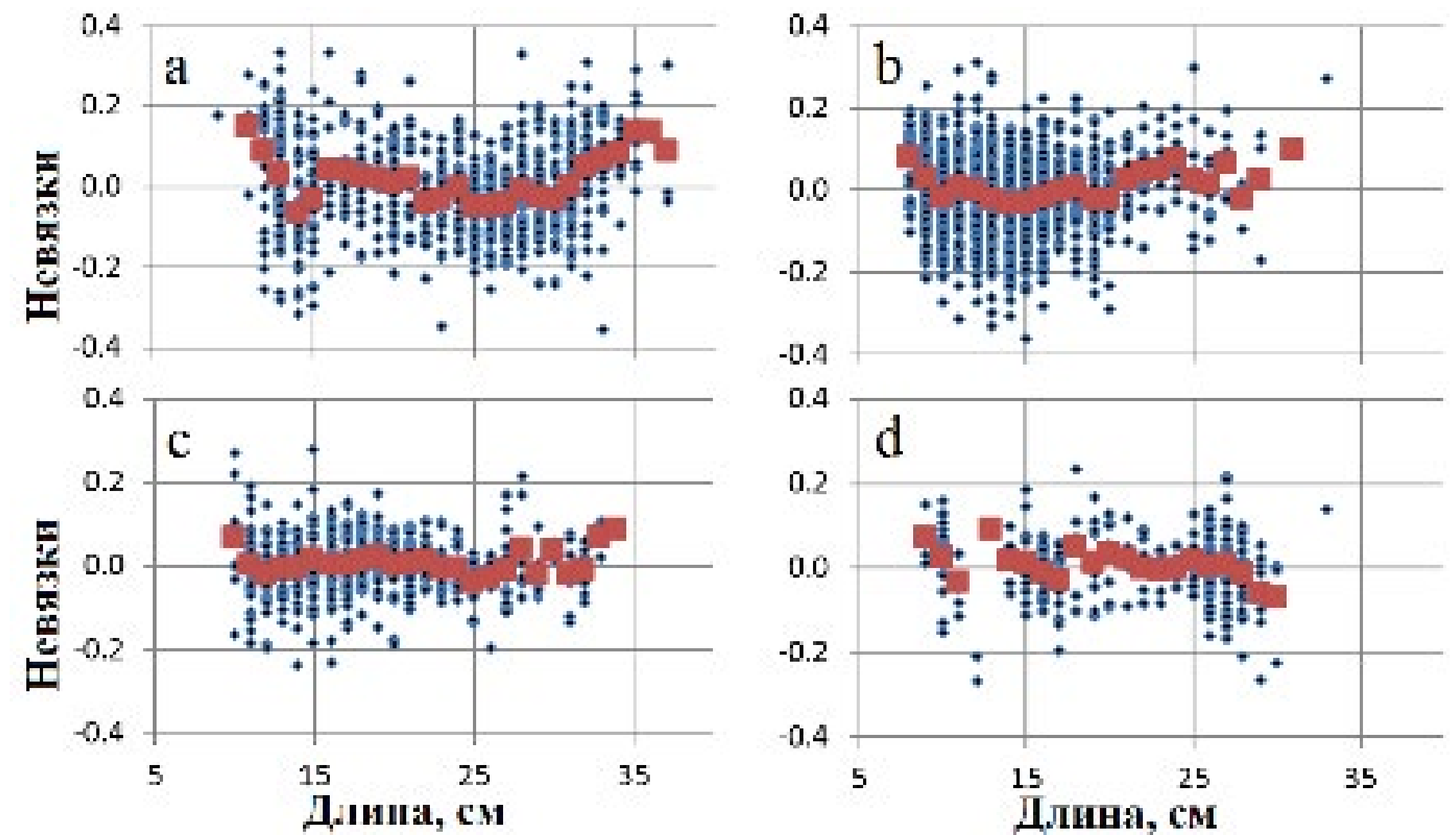


Рис.1. Невязки регрессионных моделей: а – 2003 г., б – 2004 г., с – 2006 г., d – 2007 г. ■ – усреднённые значения невязок по сантиметровым интервалам.

Исследования рельефа ложа Посольского сора позволило определить изменение его площади и объема в зависимости от его глубины и, соответственно, уровня Байкала (Рис.2, 3). Анализ математической модели ложа Посольского сора показал, что при снижении уровня на 1,0 м площадь сора уменьшается на 20%, а объем – всего на 4%. Таким образом, площадь является более динамичным показателем, который обуславливает величину первичной продукции в период весеннего прогрева прибрежных вод. Помимо увеличения площади высокий уровень инсоляции может способствовать поступлению биогенов из затопленных участков. Кроме того, меняется соотношение объема и площади мелководной и глубоководной зон. Рост личинок омуля в первые дни после ската зависит не только от наличия кормовой базы, но и от прогрева мелководной зоны, где происходит нагул на первых этапах развития. Скорость роста является результатом интенсивности пластического обмена, зависящего от температуры

среды. Большая площадь мелководной зоны в условиях высокого уровня способствует прогреву воды до оптимальных для роста молоди значений (12-18 °С) на больших площадях.

Публикации:

Аношко П.Н., Макаров М.М., Устарбекова Д.А., Дзюба Е.В. Соотношение длина-вес у байкальского омуля *Coregonus migratorius* в нагульный период в районе Селенгинского мелководья озера Байкал // Юг России: экология, развитие.-2022. - Т. 17. - №1. - С. 17-23. DOI: [10.18470/1992-1098-2022-1-17-23](https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-1-17-23)

Сорокина П.Г., Аношко П.Н., Зоркальцев В.И. Исследование зависимости массы от длины байкальского омуля // Вестник ИргСХА.-2021. - №102. - С. 84-99. DOI: [10.51215/1999-765-2021-102-84-99](https://doi.org/10.51215/1999-765-2021-102-84-99).

Сорокина П.Г., Зоркальцев В.И. Имитационная модель динамики численности байкальского омуля // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2021. – № 38. – С. 34-38.

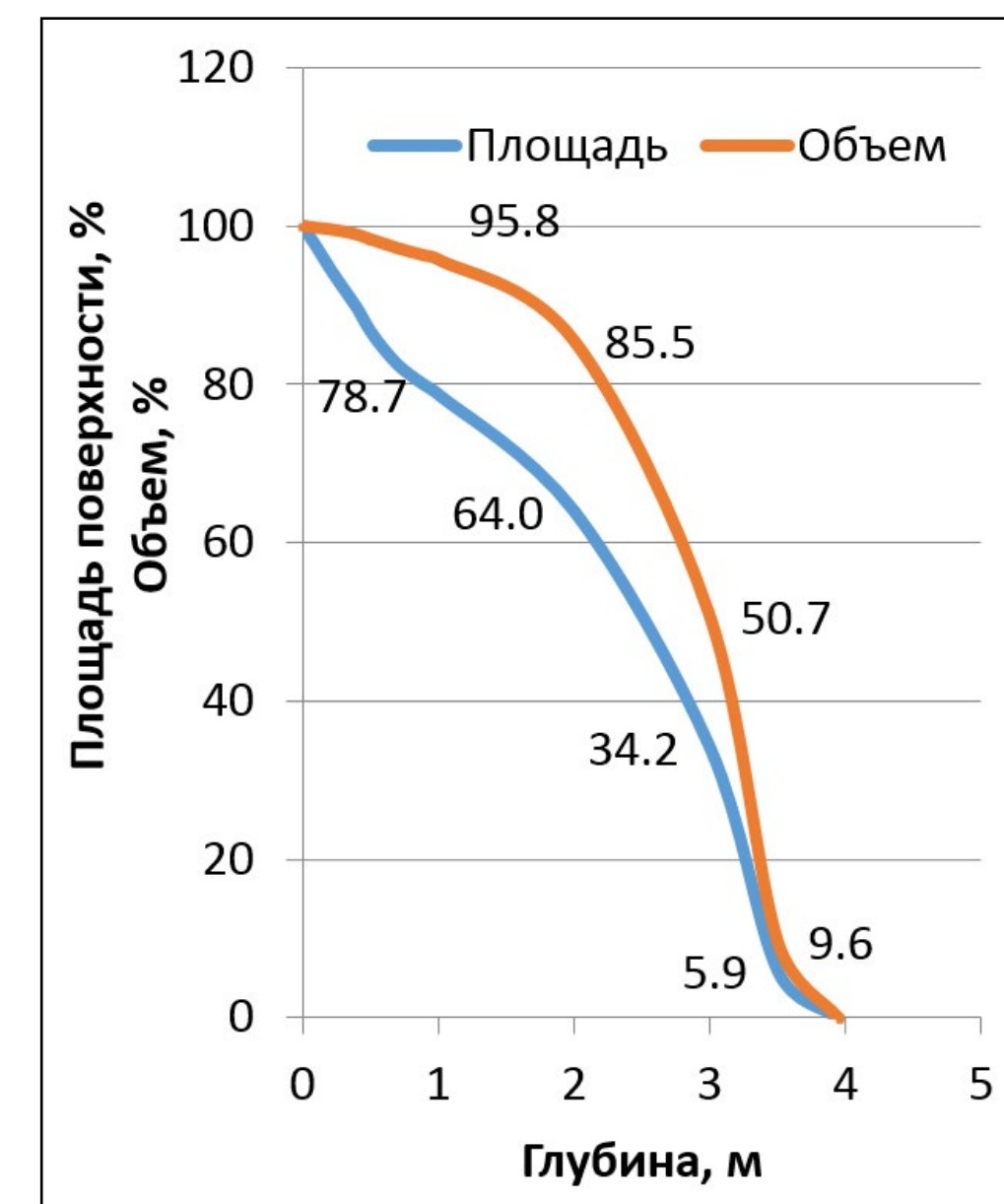
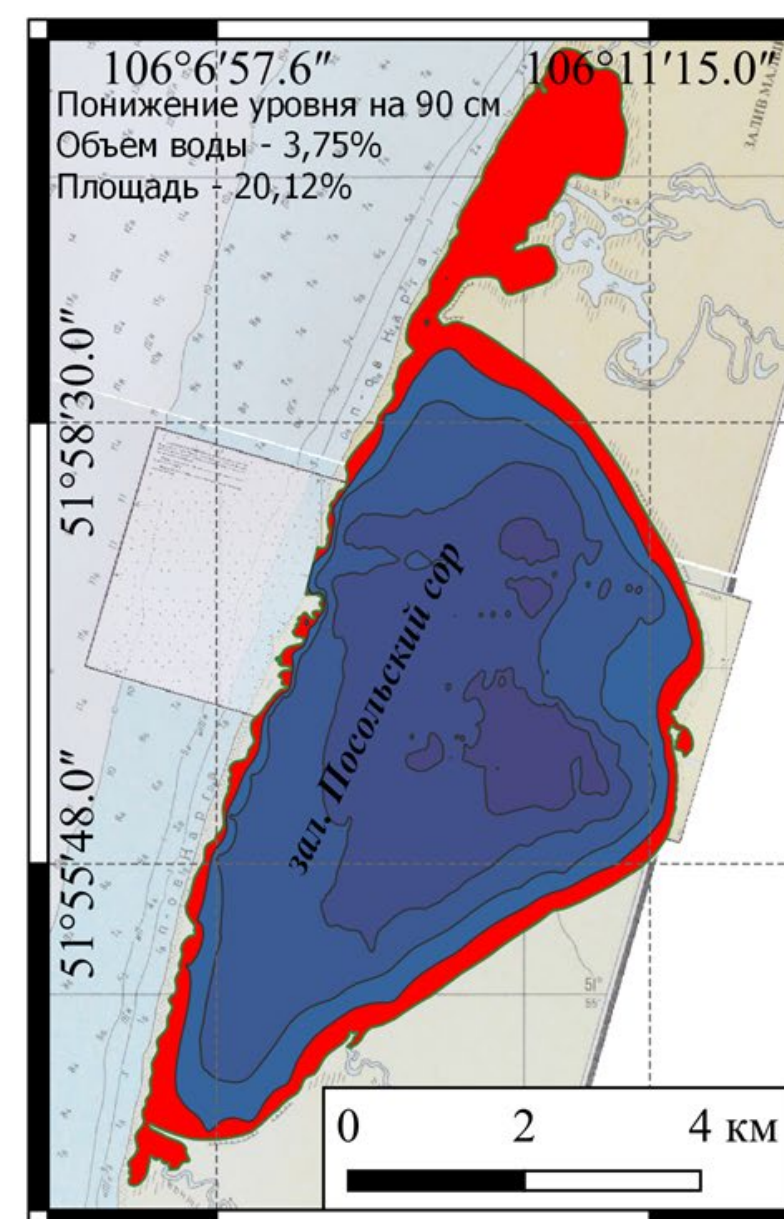
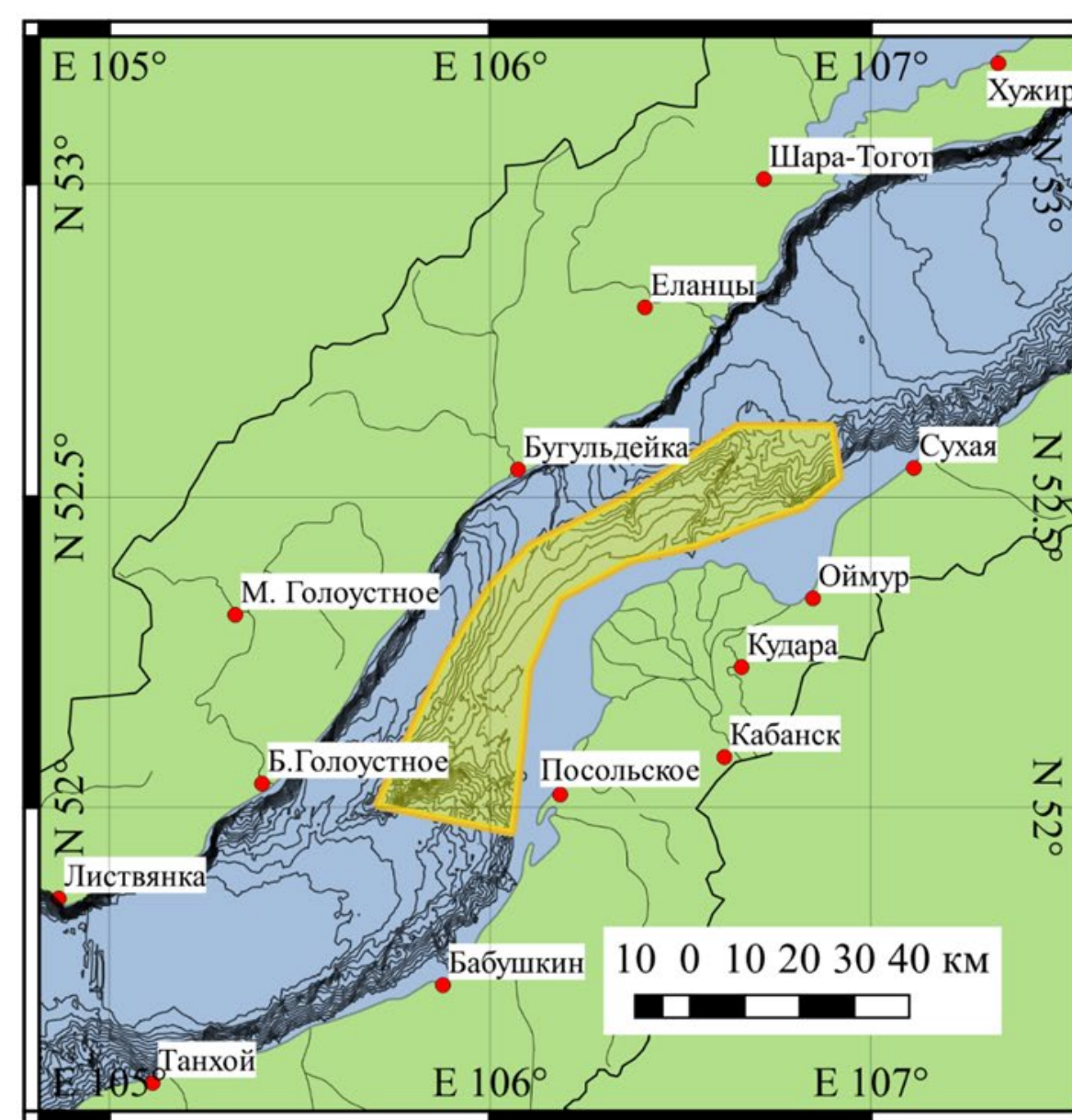


Рис.2. Границы основного промыслового района озера Байкал – слева, и батиметрическая карта залива Посольский сор – справа.

Рис. 3. Зависимость площади и объема Посольского сора от глубины.



ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ НОВЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ

Номер проекта в Минобрнауки России 0279-2019-0004
Руководитель: д.х.н., профессор В.В. Анненков

Изучение влияния изменения концентраций биогенных элементов на рост примморфов байкальской губки *Lubomirskia baicalensis* (Pallas, 1773).

Эвтрофикация прибрежной зоны оз. Байкал сопровождается существенными колебаниями концентраций биогенных элементов. Поступление нитратов и фосфатов с берега и их образование при разложении отмерших водорослей увеличивают содержание азота и фосфора в воде. Иницированное этим активное размножение водорослей и диатомей в теплое время года приводит к резкому уменьшению концентраций этих элементов и кремния.

С использованием культуры примморф кремнистой губки *L. baicalensis* показано (Рис.1), что уменьшение концентрации кремния существенно замедляет образование спикул – основы скелета губки. При повышенном содержании азота или фосфора спикулообразование ускоряется, наблюдается неравномерность распределения спикул, образование их сгустков. Отмеченные явления могут приводить к разбалансировке организма губки в естественной среде, нарушению целостности её поверхности, к облегчению проникновения болезнетворных организмов, вызывающих массовую гибель губок на оз. Байкал.

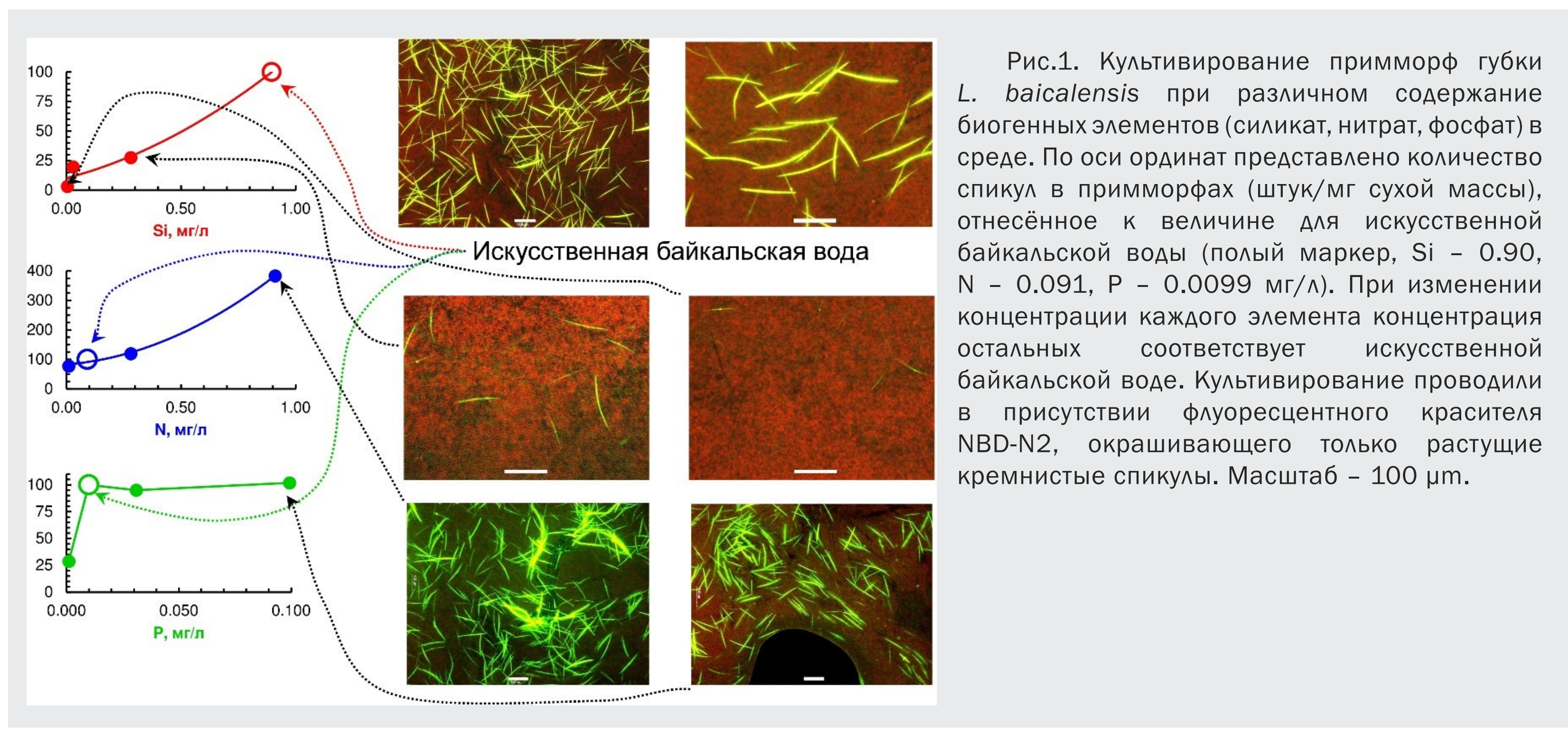
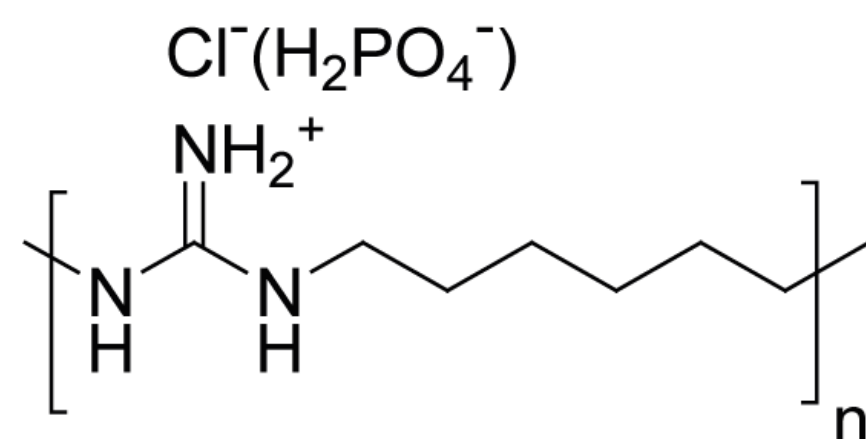


Рис.1. Культивирование примморф губки *L. baicalensis* при различном содержании биогенных элементов (силикат, нитрат, фосфат) в среде. По оси ординат представлено количество спикул в примморфах (штук/мг сухой массы), отнесённое к величине для искусственной байкальской воды (полый маркер, Si – 0.90, N – 0.0091, P – 0.0099 мг/л). При изменении концентрации каждого элемента концентрация остальных соответствует искусственной байкальской воде. Культивирование проводили в присутствии флуоресцентного красителя NBD-N2, окрашивающего только растущие кремнистые спикулы. Масштаб – 100 μm.

Влияние полигексаметиленгуанидина на рост диатомей

Полигексаметиленгуанидин в виде гидрохлорида или фосфата (ПГМГ, Метацид, Биопаг, Анавидин, Цеприл, Дезавид и др.) в течение нескольких десятилетий используется в качестве дезинфицирующего средства для различных поверхностей и воды, включая питьевую. Его потребление значительно возросло в связи с пандемией COVID-19. Токсичность ПГМГ изучена на теплокровных животных и рыбах, но данные о его действии на планктонные организмы практически отсутствуют. ПГМГ является полимерным катионом, имеющим положительно заряженный атом азота в каждом полимерном звене. Благодаря своему строению ПГМГ способен связываться с клеточными мембранами, нарушая их проницаемость и способствуя механическим повреждениям.



Действие ПГМГ на живые клетки существенно зависит от строения мембран этих клеток. При его практической безвредности для кожи человека он активно разрушает альвеолы лёгких при вдыхании аэрозольных частиц его водных растворов, что привело к ряду смертельных случаев

при использовании ПГМГ для обеззараживания воды в бытовых увлажнителях. Попадание ПГМГ в природные водоёмы со сточными водами при дезинфекции бассейнов потенциально может представлять опасность для гидробионтов, что обуславливает актуальность изучения его токсичности для различных организмов. В данной работе впервые изучено действие препарата Анавидин на диатомовые водоросли, являющиеся одними из основных продуцентов кислорода и фотосинтезируемых органических веществ.

Полученные данные (Рис.2) указывают на полное подавление роста диатомей *Ulnaria ferefusiformis* (М. Куликовский и Х. Ланге-Берталот, 2016) в концентрации 0,5 мг/л. Более чем на 30% рост диатомей подавляется при 0,1 мг/л Анавидина, что соответствует ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Исследование клеток диатомей после действия токсической концентрации ПГМГ (0,5 мг/л Анавидина) показало (Рис.3), что хлоропласты сохраняют форму и флуоресценцию. Можно предположить, что ПГМГ не приводит к гибели клеток диатомей, а тормозит их рост и способность к делению. Таким образом, ПГМГ и его аналоги представляют серьёзную опасность для водных экосистем при неконтролируемом использовании.

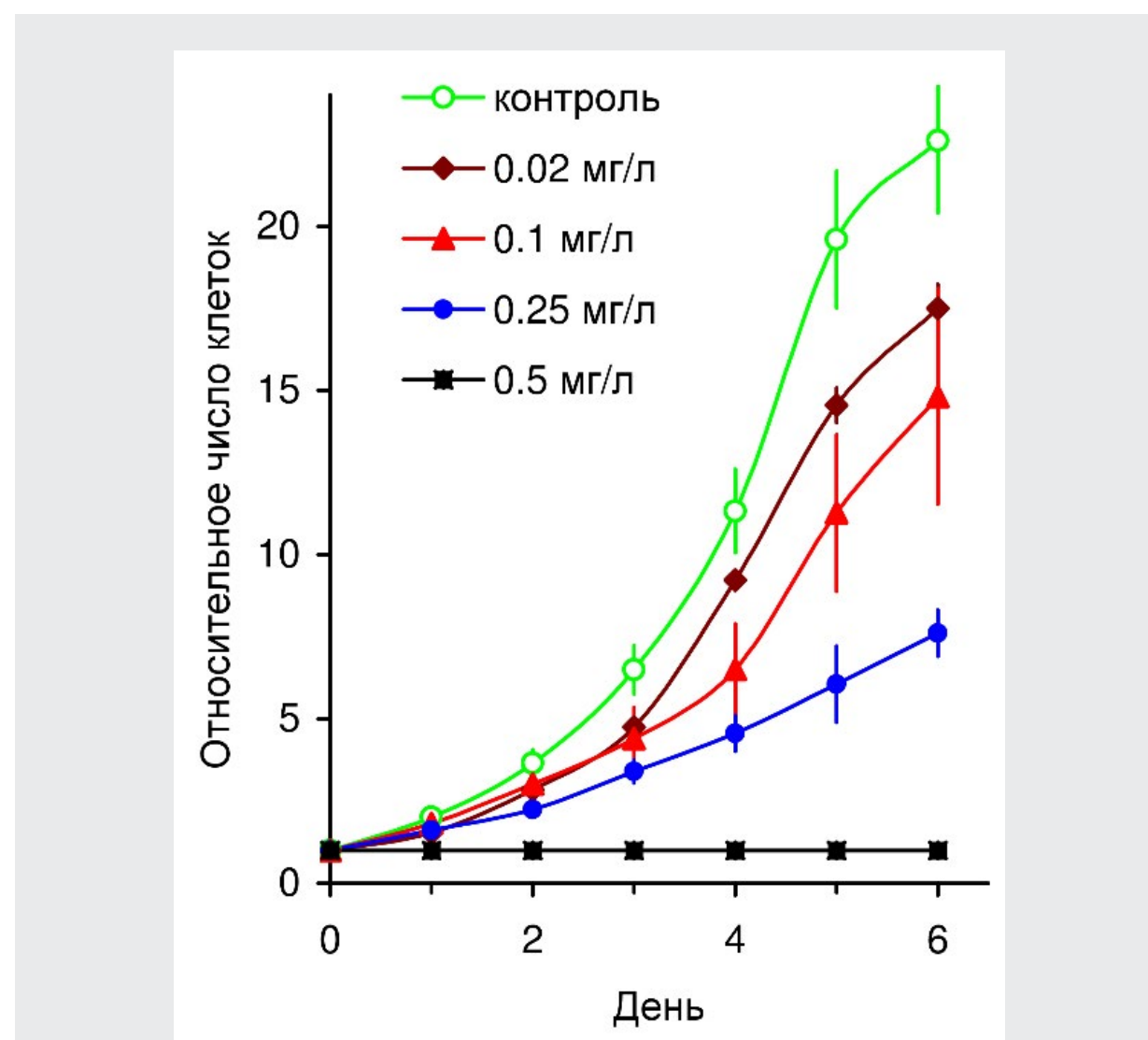


Рис.2. Результаты культивирования диатомей *U. ferefusiformis* в присутствии различных концентраций препарата Анавидин

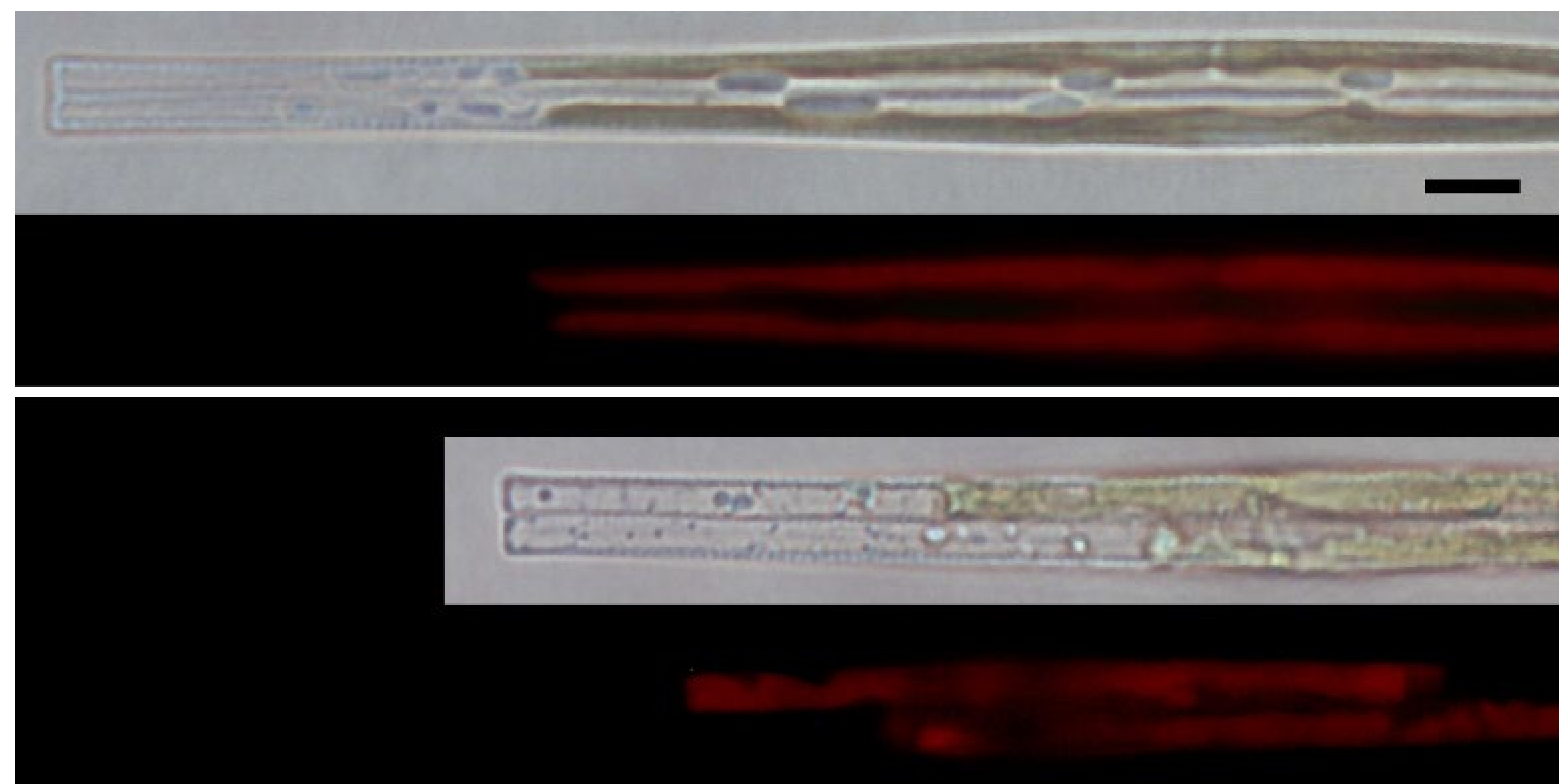


Рис.3. Световые и флуоресцентные изображения клеток *U. ferefusiformis* до (сверху) и после культивирования в присутствии 0,5 мг/л Анавидина в течение 5 суток (снизу). Красное свечение – хлоропласты. Масштаб – 5 мкм.

Изучение термо- и pH-лабильных свойств новых биоинспирированных полимерных аминов

Новые водорастворимые сополимеры метилакрилата (МА) с 1-винилимидазолом (ВИ), 1-винил-1,2,4-триазолом (N-ВТ) и 4-винил-1,2,3-триазолом (С-ВТп) получены радикальной сополимеризацией соответствующих мономеров (Рис.4, в случае 4-винил-1,2,3-триазола использовался защищенный мономер, с последующим снятием защитной группы в щелочной среде). Константы сополимеризации равны, соответственно: 0.83 ± 0.09 и 0.25 ± 0.02 для метилакрилата и 1-винилимидазола, 1.00 ± 0.04 и 0.27 ± 0.01 для метилакрилата и 1-винил-1,2,4-триазола, 0.56 ± 0.03 и 2.90 ± 0.20 для метилакрилата и (4-винил-1Н-1,2,3-триазолил)-метилпивалата. Поведение в водных растворах и термолабильные свойства изучены методами потенциометрического титрования и динамического рассеяния света. Разбавление азольных звеньев неионогенными звеньями метилакрилата приводит к изменению кривых зависимости рК от степени ионизации по сравнению с гомополимерами винилазолов. Растворы сополимеров содержат крупные ассоциаты макромолекул, доля которых увеличивается при нагревании, в некоторых случаях наблюдается образование нерастворимой фазы. Соплимеры с привитыми олигопропиламинными фрагментами, аналогичные полиаминам из кремнистых створок диатомей (Рис.5), способны взаимодействовать с ДНК-олигонуклеотидом, что дает стимул для их изучения в качестве агентов доставки нуклеиновых кислот в живые клетки (Рис.6).

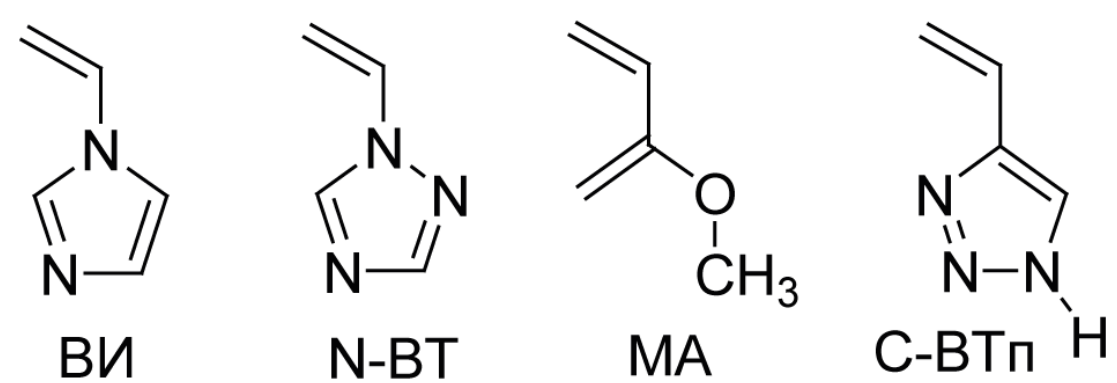


Рис.4. Формулы исходных мономеров.

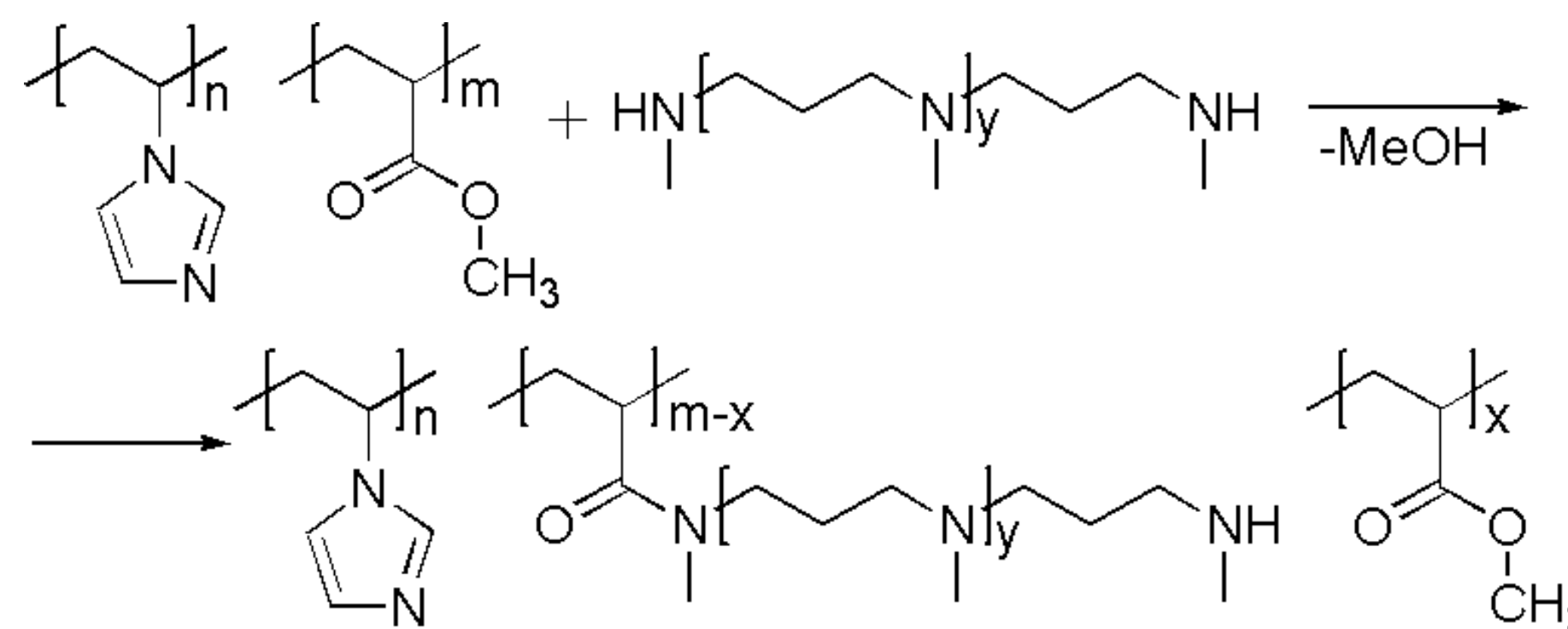


Рис.5. Схема реакции модификации на примере сополимера ВИ-МА.
 $y_{\text{сред.}} = 13.5$.

Публикации:

Annenkov V.V., Aseyev V., Zelinskiy S.N., Danilovtseva E.N. Imidazole-phosphate polymers: acid-base properties, association with oligonucleotides and oligosilicates. // *Journal of Molecular Liquids*. – 2021. – 115598. DOI: [10.1016/j.molliq.2021.115598](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115598).

Синица Л.Н., Емельянов Н.М., Луговской А.А., Щербаков А.П., Анненков В.В. Определение размера пор кремниевых материалов по ИК-спектрам адсорбированной воды. // *Оптика атмосферы и океана*. – 2021. - № 7 – С. 483-487. DOI: [10.15372/A0020210701](https://doi.org/10.15372/A0020210701).

Стрелова М.С., Даниловцева Е.Н., Анненков В.В. Соплимеры метилакрилата с винилазолами: синтез, термолабильные свойства, прививка полиаминных цепей. *Высокомолекулярные Соединения, Серия Б*. – 2021 - Т. 63. - № 1. - С. 44-5. DOI: [10.1134/S1560090421010061](https://doi.org/10.1134/S1560090421010061).

Annenkov V.V., Danilovtseva E.N., Gordon R. Steps of silicic acid transformation to siliceous frustules: main hypotheses and discoveries // *Diatom Morphogenesis*. – 2021. - P. 301–348. - V. Annenkov, J. Seckback, R. Gordon (eds.). - Scrivener Publishing LLC. DOI: [10.1002/9781119488170.ch13](https://doi.org/10.1002/9781119488170.ch13).

Annenkov V.V., Danilovtseva E.N., Pal'shin V.A., Avezova T.N. Toxic effect of poly(hexamethylene guanidine) on diatom algae // *Limnology and Freshwater Biology*. – 2020. - № 5. – P. 1076-1079. DOI: [10.31951/2658-3518-2020-A-5-1076](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2020-A-5-1076)

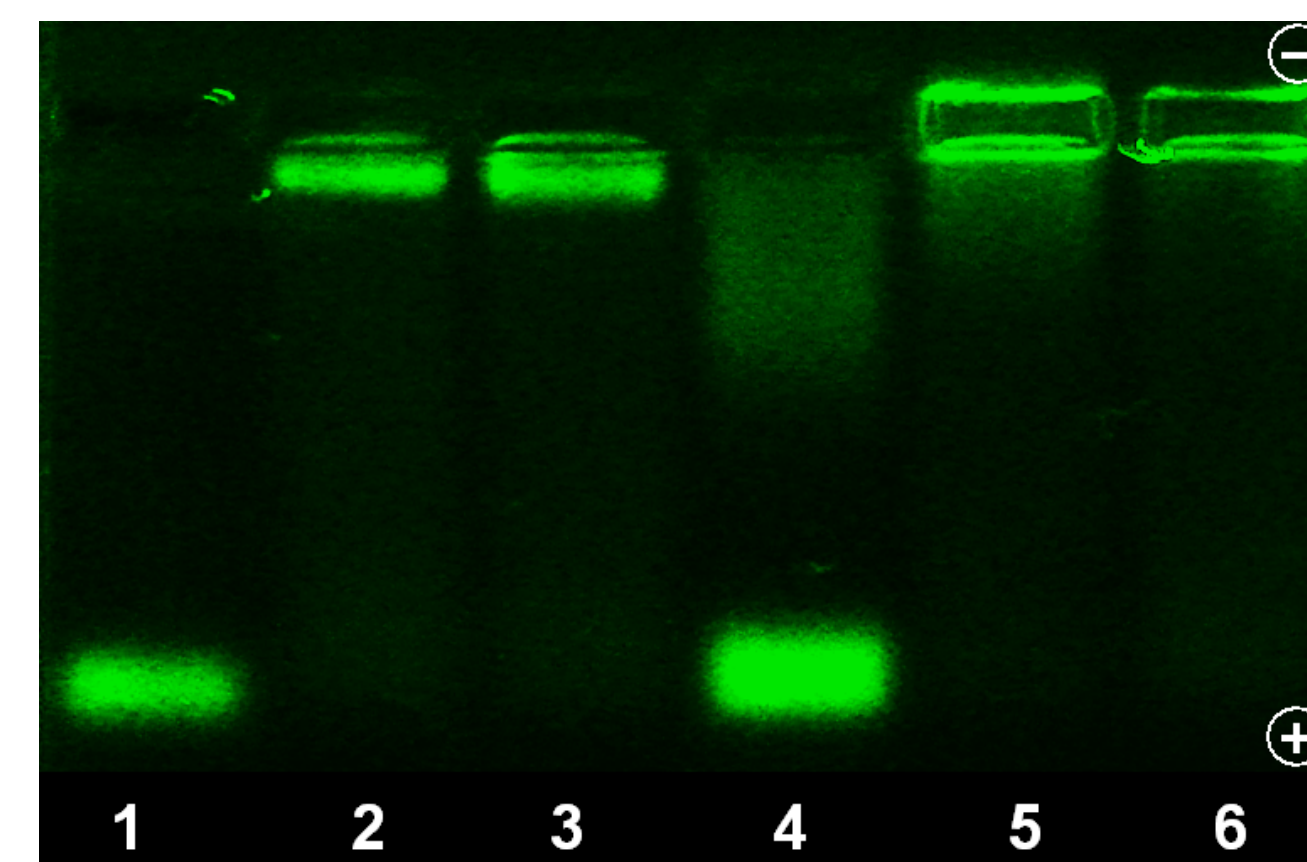


Рис.6. Результаты гель-электрофореза комплексов сополимеров с 21-мерным ДНК-олигонуклеотидом. Дорожки: 1 – стандарт (без сополимера), 2 – NBTMA16A, 3 – NBTMA19A, 4 – CVTMA6A, 5 – VIMA19A2, 6 – VIMA19A1.



КРУПНЫЙ НАУЧНЫЙ ПРОЕКТ МИНОБРНАУКИ РОССИИ





ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ, МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ

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

В 2021 г. проведено дооснащение двух опорных станций мониторинга атмосферы «Листвянка» (западное побережье Южного Байкала) и «Боярский» (восточное побережье Южного Байкала) приборами оперативного контроля качества воздуха. На станции «Листвянка» запущен в эксплуатацию газоанализатор газообразной ртути, газоанализатор оксидов азота; на станции «Боярский» – газоанализатор оксидов азота; проведена модернизация аппаратно-программного комплекса регистрации, систематизации и обработки данных мониторинга (АСККВ), объединяющая в единую базу результаты измерений концентрации аэрозольных, газовых примесей, метеопараметров.

С разрешением от нескольких минут до суток на станциях получены суточные и сезонные результаты непрерывного автоматического мониторинга газовых примесей (O_3 , SO_2 , NO_x , CO), дисперсного состава аэрозольных частиц ($PM_{1.0}$, $PM_{2.5}$, PM_{10}), метеорологических и турбулентных параметров (Рис.1,2). Наиболее сильное загрязнение атмосферы в Центральной экологической зоне (ЦЭЗ) Южного Байкала определяется при переносах воздушных масс со стороны промышленных центров Иркутской области (Иркутск, Ангарск, Шелехов), значительно реже – со стороны Бурятии. Основной вклад в загрязнение атмосферы SO_2 , NO_x , взвешенными частицами вносят выбросы высоких источников – угольные ТЭЦ. Выбросы низких источников, таких как автотранспорт и мелкие котельные, сильно загрязняют атмосферу в городах, не достигая ЦЭЗ озера.

Перенос атмосферных выбросов от Иркутского промышленного центра, содержащих оксиды азота, как показано на Рис.3, вызывает поглощение окружающего озона за счет окисления переносимых шлейфом антропогенных примесей.

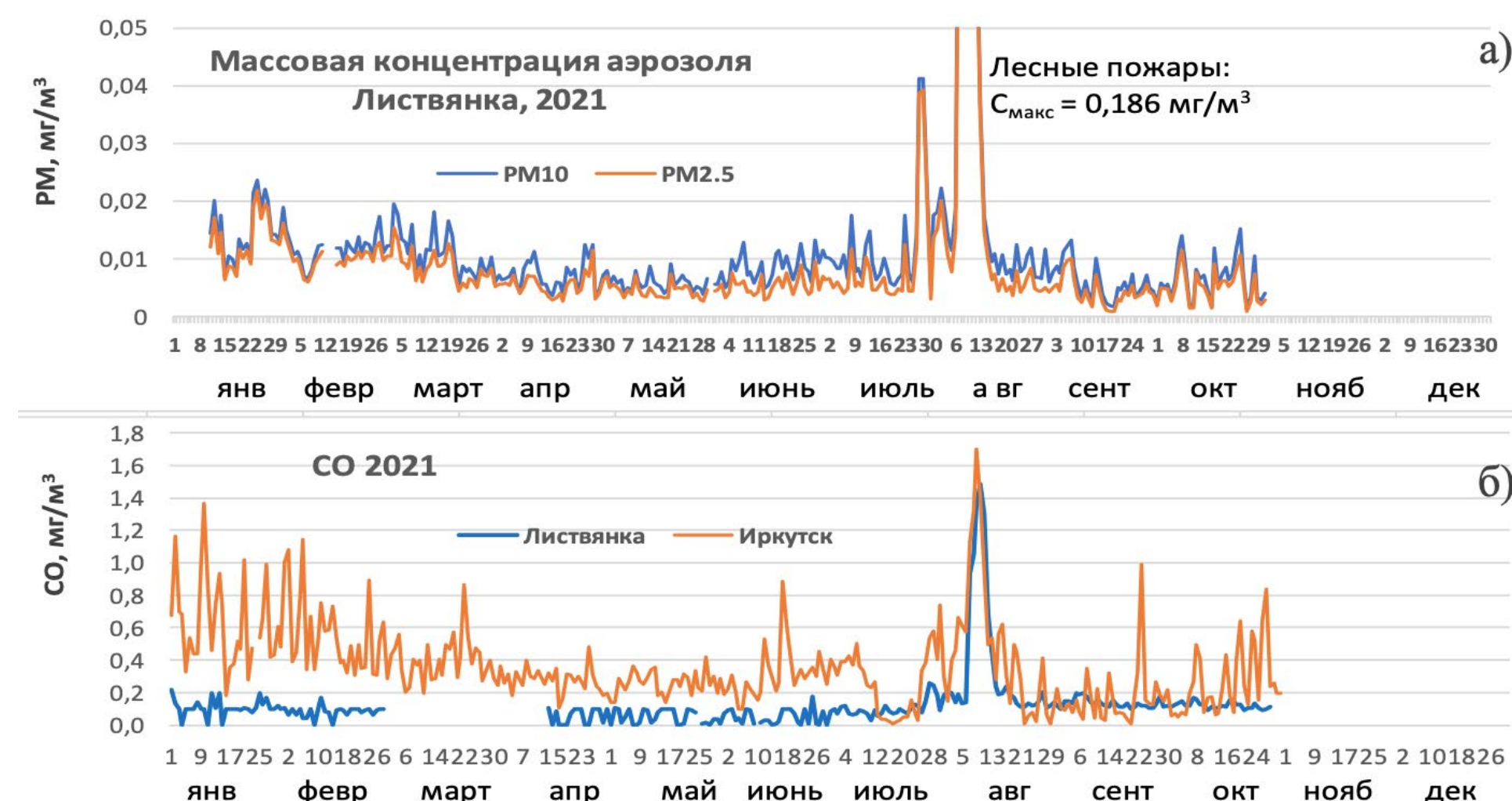


Рис.1. Средние суточные концентрации субмикронных частиц (PM_{10} и $PM_{2.5}$) аэрозолей и CO на станции «Листвянка», 2021 г.

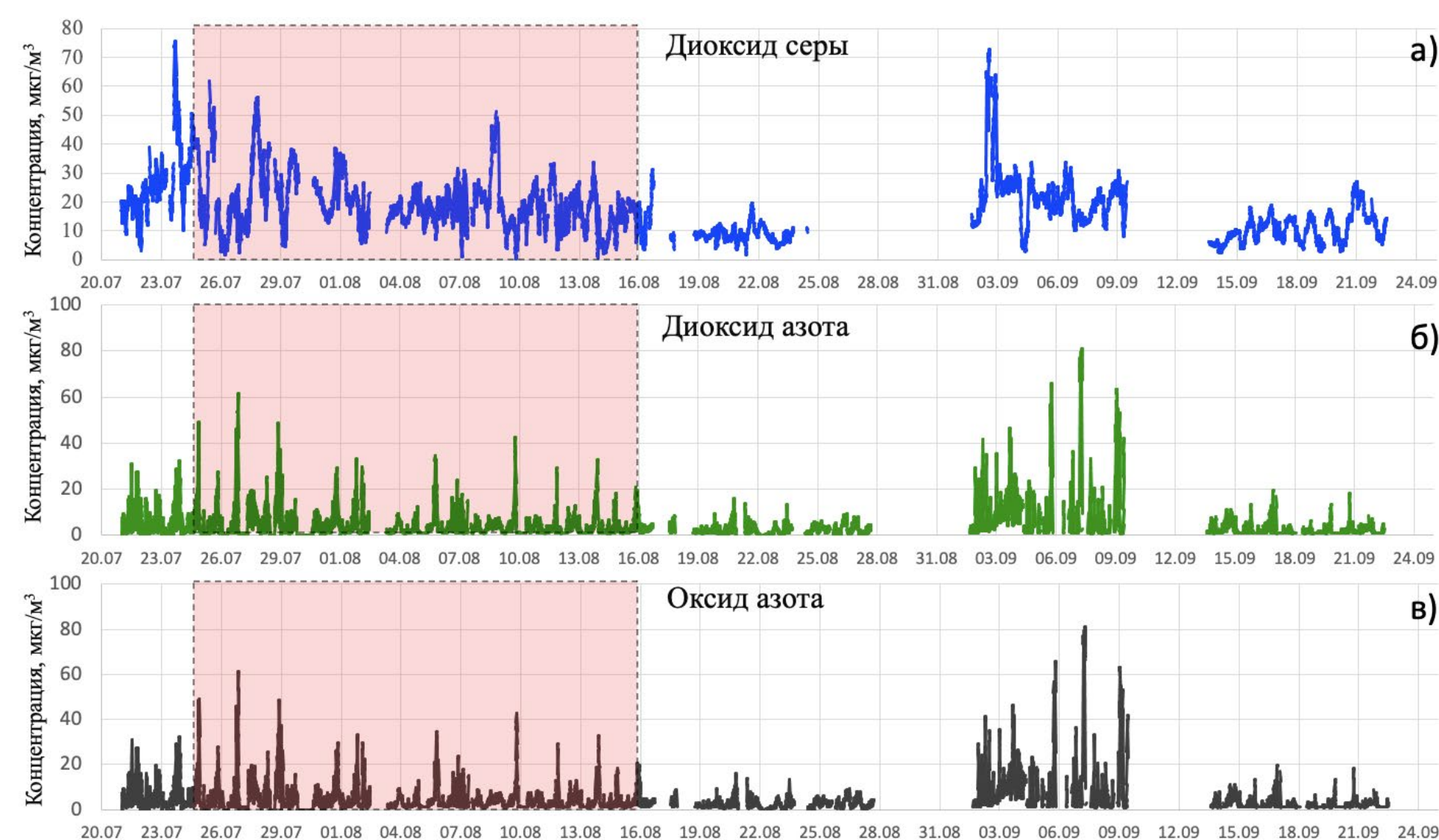


Рис.2. Средние суточные концентрации газовых примесей на станции «Боярский», 2021 г.

В летний период (июль-август) 2021 г. во время широкомасштабных лесных пожаров в Сибири определены «трассерные вещества» (оксиды углерода, азота), аэрозольные частицы фракций ($PM_{1,0}$, $PM_{2,5}$, PM_{10}) в атмосферном воздухе на станциях мониторинга. На Рис. 4 представлен временной ход за июль-сентябрь 2021 г. массовой концентрации частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ на станции «Боярский». В период сильного задымления (красный прямоугольник) максимальная концентрация PM_{10} достигала 920 мкг/м^3 , $PM_{2,5}$ – 404 мкг/м^3 , при средних значениях для PM_{10} 215 мкг/м^3 (4,3 ПДКсс), $PM_{2,5}$ – 101 мкг/м^3 (4 ПДКсс).

На Рис. 5 приведены результаты синхронных измерений газовых примесей и частиц $PM_{2.5}$, PM_{10} в период наиболее мощных дымовых выносов 8-9 августа 2021 г. на восточное побережье Южного Байкала.

Совместный анализ спутниковых данных, траекторных расчетов и данных опорных станций мониторинга подтвердил эпизоды загрязнения воздуха на Южном Байкале, обусловленные переносом дымовых шлейфов от лесных пожаров, находящихся на расстоянии 1500 – 2000 км от них.

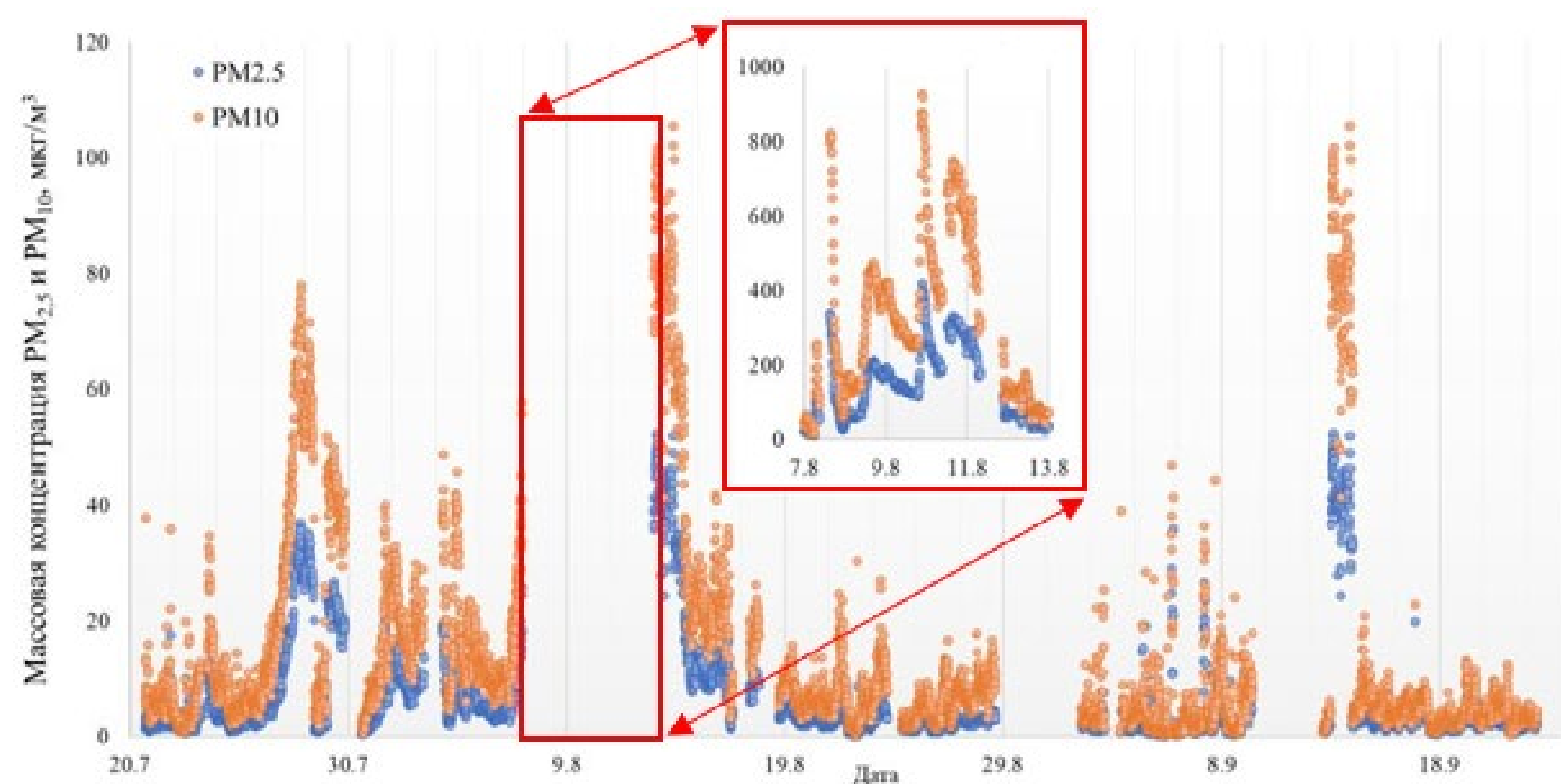


Рис.4. Концентрации частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ на станции «Боярский», 2021 г.

Публикации:

Golobokova L.P., Netsvetaeva O.G., Khodzher T.V., Obolkin V.A., Khuriganova O.I. Atmospheric deposition on the southwest coast of the southern basin of Lake Baikal // Atmosphere. – 2021. – V. 12. – № 10. – P. 1357. DOI: [10.3390/atmos12101357](https://doi.org/10.3390/atmos12101357)
 Obolkin V., Molozhnikova E., Shikhovtsev M., Netsvetaeva O., Khodzher T. Sulfur and Nitrogen Oxides in the Atmosphere of Lake Baikal: Sources, Automatic



Рис.3. Пример понижения концентрации озона на станции «Листвянка» при переносе NO_2 от ТЭЦ г. Иркутска при северо-западном ветре, 2021 г.



Рис.5. Временной ход концентрации диоксидов азота, серы, субмикронной фракции аэрозоля ($PM_{2,5}$, PM_{10}) над станцией «Боярский», 2021 г.

Monitoring, and Environmental Risks // Atmosphere. – 2021. – V. 12. – № 1348. – P. 1-10. DOI: [10.3390/atmos12101348](https://doi.org/10.3390/atmos12101348).
 Mashyanov N., Obolkin V.A., Pogarev S., Ryzhov V., Sholupov S., Potemkin V.L., Molozhnikova E.V., Khodzher T.V. Air mercury monitoring at the Baikal area // Atmosphere. – 2021. – V. 12. – № 7. – P. 807. DOI: [10.3390/atmos12070807](https://doi.org/10.3390/atmos12070807).

Формирование концептуальных основ мониторинга гидрологических режимов водоемов

В результате выполнения проекта в 2021 г. была сформирована сеть мониторинговых станций, измеряющая гидрофизические, гидрохимические и гидрооптические параметры в режиме реального времени с передачей полученной информации по беспроводным каналам связи на сервер ЛИН СО РАН. Станции установлены в литоральной зоне двух районов озера Байкал с разной степенью антропогенной нагрузки: напротив поселка Большие Коты (фоновый район) и залив Лиственничный (наиболее антропогенно-нагруженный район). На Рис.6 приведен WEB-интерфейс, посредством которого осуществляется доступ к данным мониторинговых станций. Благодаря непрерывной работе станций и высокой частоте измерения параметров удалось зафиксировать суточные вариации гидрохимических параметров, а также проследить процесс распреснения поверхностных вод и насыщения кислородом в период весеннего разрушения ледового покрова.

Выполнена разработка и изготовление двух опытных образцов станции мониторинга толщины ледового покрова. Одна станция была установлена на ледовой переправе на остров Ольхон (Иркутская область), вторая – на ледовой переправе Татаурово-Турунтаево через реку Селенга (республика Бурятия) (Рис.7). Обе станции проработали весь срок функционирования ледовых переправ, в течение которого бесперебойно измеряли толщину льда, температуру воздуха, толщи льда и подледной воды. Интерактивная WEB-страница (Рис.8) с измеренными параметрами льда позволила заинтересованным лицам (представители МЧС, дорожной службы, руководители муниципалитета) контролировать в режиме реального времени не только толщину льда на переправе, но и его качество. После официального закрытия переправ сотрудники дорожной службы отметили перспективность и полезность

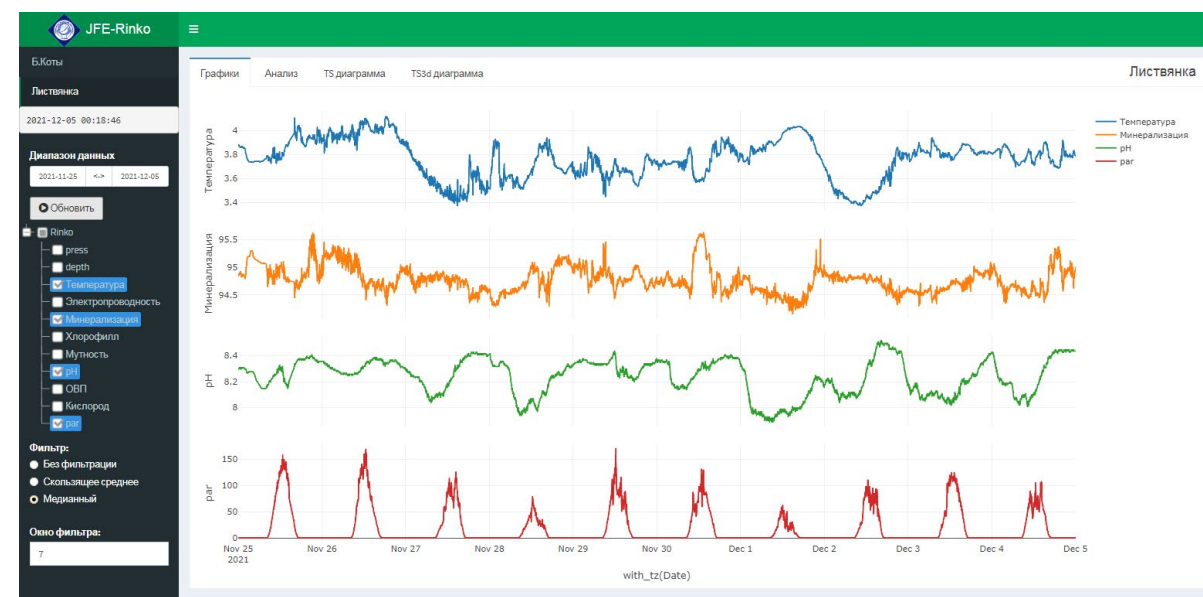


Рис.6. WEB-интерфейс доступа к данным мониторинговой станции.

установки ледового комплекса на всех ледовых переправах Иркутской области и республики Бурятия. Чтобы в дальнейшем наладить серийное производство и организовать оснащение ледовых переправ разработанным автономным ледовым комплексом, необходимо выполнить его сертификацию для включения в Госреестр средств измерений. На первом этапе был подготовлен необходимый пакет документов, проведены испытания и получен сертификат на ледовый комплекс по правилам Таможенного Союза.

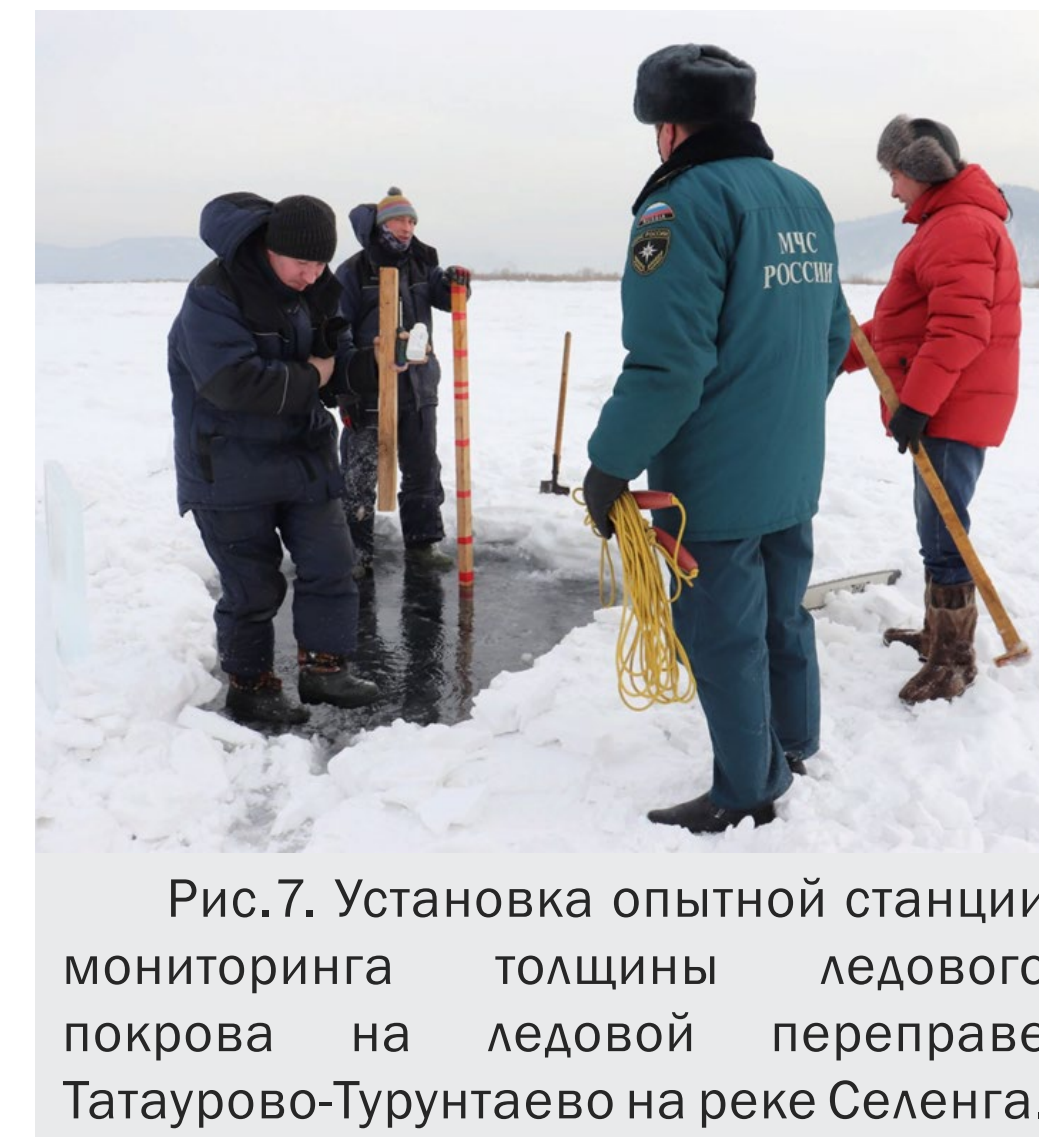


Рис.7. Установка опытной станции мониторинга толщины ледового покрова на ледовой переправе Татаурово-Турунтаево на реке Селенга.

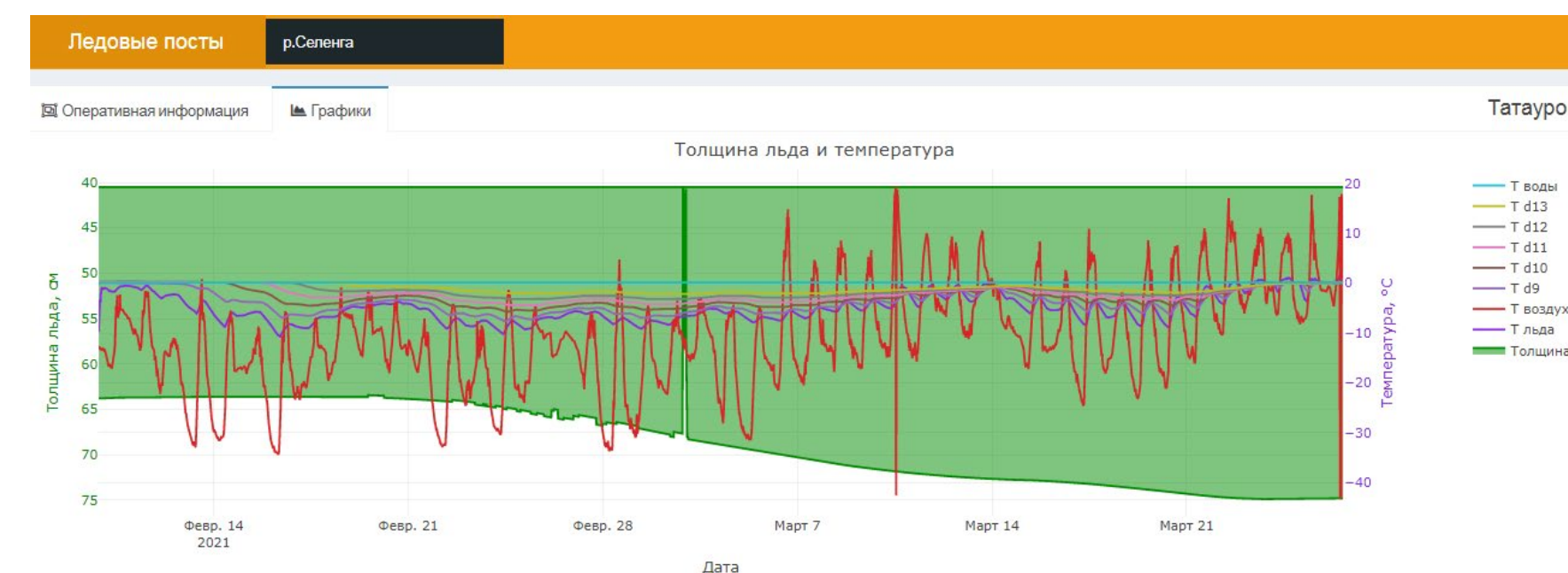


Рис.8. Интерактивная WEB-страница доступа к данным ледового комплекса.

Публикации:

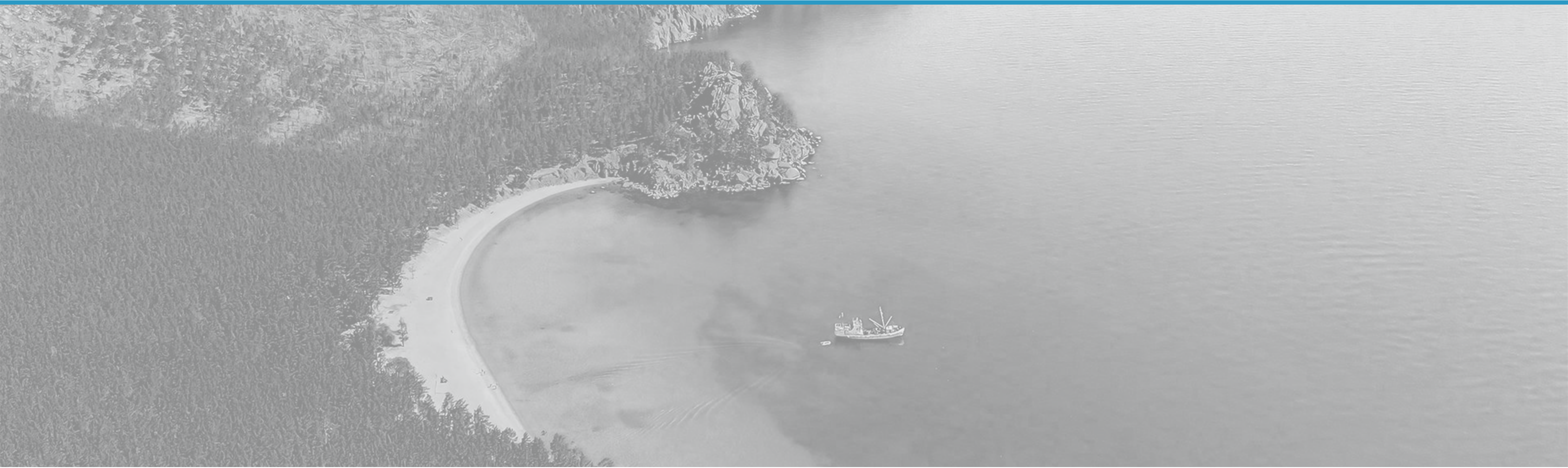
Makarov M.M., Aslamov I.A., Gnatovsky R.Yu. Environmental Monitoring of the Littoral Zone of Lake Baikal Using a Network of Automatic Hydro-Meteorological Stations: Development and Trial Run // Sensors. – 2021. – V. 21. – №22. – P. 7659. DOI: [10.3390/s21227659](https://doi.org/10.3390/s21227659)

Aslamov I., Kirillin G., Makarov M., Kucher K., Gnatovsky R., Granin N. Autonomous System for Lake Ice Monitoring // Sensors. – 2021. – V. 21. – №24. – P. 1-19. DOI: [10.3390/s21248505](https://doi.org/10.3390/s21248505)

Fedotov A.P., Gnatovsky R.Yu., Blinov V.V., Sakirko M.V., Domysheva V.M., Stepanova O.G. The current oxygen and hydrogen isotopic status of Lake Baikal // Water. – 2021. – V. 13. – №23. – P. 3476. DOI: [10.3390/w13233476](https://doi.org/10.3390/w13233476)



ПРОЕКТЫ РОССИЙСКОГО НАУЧНОГО ФОНДА





МЕТАГЕНОМНЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ В МИКРОБНОМ СООБЩЕСТВЕ БАЙКАЛЬСКИХ ГУБОК В ПЕРИОД ИХ МАССОВОЙ ГИБЕЛИ

Номер проекта РФФ 19-14-00088
Руководитель: д.б.н., профессор С.И. Беликов

Из больных губок были выделены четыре штамма бактерий, причем три из них близки описанным оппортунистическим патогенам, не способным заражать здоровые организмы хозяина. Первичным филогенетическим анализом геномов показано, что полученные штаммы близки к штаммам бактерий *Acinetobacter johnsonii*, *Bacillus paranthracis* или *Bacillus albus*, *Pseudomonas oryzae* или *Pseudomonas psychrotolerans* (Рис.1.), которые часто выделяют из воды, продуктов питания и как госпитальные инфекции. Полученные полные геномы бактериальных штаммов опубликованы вместе с исходными (сырыми) данными в NCBI GenBank в соответствующих разделах. Четвертый штамм *Janthinobacterium* sp. PLB02 был выделен из примморф, зараженных штаммом *Janthinobacterium* sp. SLB01 для определения патогенности штамма SLB01, выделенного ранее из больных губок. Повторно выделен штамм *Janthinobacteria*, который назван *Janthinobacterium* sp. PLB02. Сравнительный анализ полных геномов исходного и реизолированного штаммов показывает, что штаммы являются близкими, почти идентичными, за исключением незначительной перестройки геномов и приобретением штаммом *Janthinobacterium* sp. PLB02 полного оперона системы секреции T6SS, а также нескольких ошибок аннотации геномов.

Значительные изменения были обнаружены в составе эукариотических симбионтов губок, причем было показано, что основной симбионт здоровых губок – зеленая водоросль *Choricystis* sp. замещается различными альвеолятами. Метагеномным анализом ампликов 18S РНК в больных губках были обнаружены нуклеотидные последовательности *Thoracosphaeraceae*, *Suessiaceae*, *Gonyaulacales*, *Peridinales*, *Kareniaceae*, *Gymnodinium* clade, *Podolampadaceae*, *Incertae Sedis*, *Dinophysis*, *Exuviaella*, *Plagiodinium*, *Phytodinium*, *Pseudophalacroma* (по уменьшению количества OTU). При анализе транскриптов обилие динофлагеллят уменьшается в ряду *Dinophysis*, *Exuviaella*, *Suessiaceae* и *Plagiodinium*. Кроме того, в образцах больных губок выявлены нуклеотидные последовательности *Amoebozoa*, *Rhizaria* и *Naecrobia*. Видовой и количественный состав эукариотических симбионтов изменяется непредсказуемым образом и не зависит от видимых симптомов

заболевания, более того, их состав различается в различных ветвях одного образца губки. Для подтверждения результатов необходимо более глубокое секвенирование и культивирование видов для понимания особенностей их метаболизма.

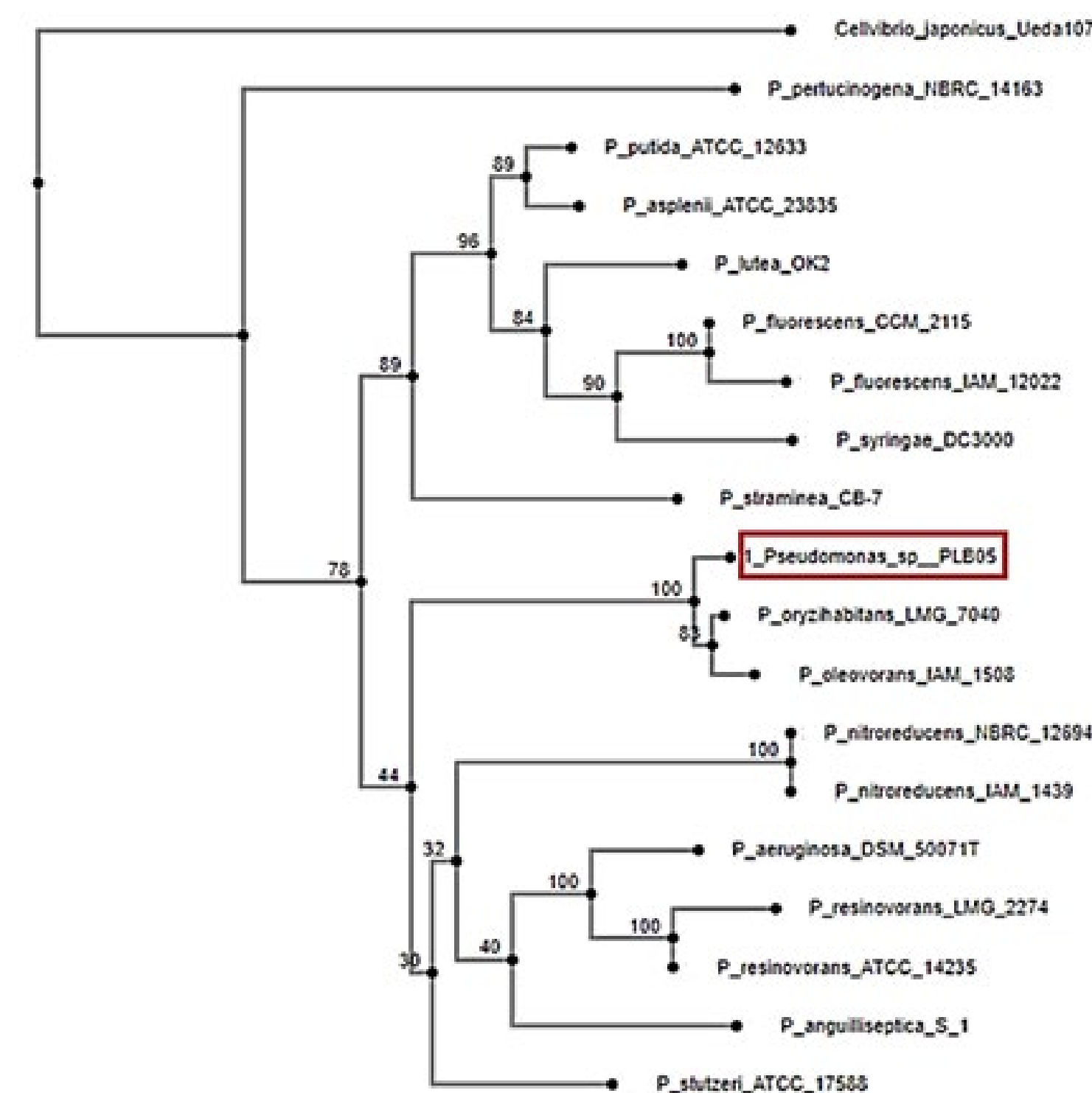


Рис. 1. Филогенетическая идентификация штамма *Pseudomonas* sp. PLB05 по гену 16S рРНК

Публикации:

Belikov S.I., Petrushin I.S., Chernogor L.I. Genome Analysis of the *Janthinobacterium* sp. Strain SLB01 from the Diseased Sponge of the *Lubomirskia baicalensis* // *Current Issues in Molecular Biology*. - 2021. - V. 43. - №3. - p. 2220-2237. DOI: [10.3390/cimb43030156](https://doi.org/10.3390/cimb43030156)

Butina T.V., Bukin Y.S., Petrushin I.S., Tupikin A.E., Kabilov M.R., Belikov S.I. Extended evaluation of viral diversity in Lake Baikal through metagenomics // *Microorganisms*. - 2021. - V. 9. - №4. - p. 1-31. DOI: [10.3390/microorganisms9040760](https://doi.org/10.3390/microorganisms9040760)



ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНО-ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ АТМОСФЕРЫ В АКВАТОРИИ ОЗ. БАЙКАЛ

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

В июле-августе 2021 г. на территории Байкальского региона наблюдались мощные выносы дымового аэрозоля с очагов лесных пожаров в Якутии и севера Иркутской области. Измерения аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы на стационаре «Боярский» выявили, что наибольшая замутненность атмосферы наблюдалась с 26 июля по 14 августа. Средние значения АОТ при дымах увеличились в 4,2 раза в области УФ (0,34 мкм), в видимом (0,5 мкм) – в 6 раз, в ИК области (1,24 мкм) – в 3,6 раза. Анализ данных вертикального распределения коэффициента аэрозольного ослабления, измеренных лидаром «CALIOP» космического базирования на спутнике «CALIPSO», показал однородное заполнение верхнего слоя тропосферы дымовым аэрозолем от 5 до 10 км в период дымовой завесы с 7 по 12 августа. На Рис.1 приведен пример пространственного разреза вертикальной толщи атмосферы в период пролета спутника над Байкалом. По данным прогностических карт NAAPS в этот же период наблюдались высокие концентрации дымового аэрозоля в приповерхностном слое атмосферы оз. Байкал, которые достигали 512 мкг/м³.

Исследованы характеристики газообменных процессов между атмосферой и подстилающей поверхностью на двух измерительных площадках стационара «Боярский». На Рис.2 представлены результаты серии измерений с 8 по 14 августа 2021 г. в условиях бризовых циркуляций. Дневной бриз соответствует направлению переноса в угловом секторе 250-360 град, ночной – 50-210 град.

Количественные оценки скорости сухого осаждения озона $V_d(O_3)$, потока F на луговой растительности и в лесной среде свидетельствуют о более высокой поглощающей способности лесов по сравнению с почвенной растительностью. Поток озона F в лесном массиве в период экспериментов в ночные и ранние утренние часы составил в среднем 0,15 мкг/м²·с, максимальные значения наблюдались в дневные часы (15-16 часов) – 0,9 мкг/м²·с, над луговой растительностью – 0,1 мкг/м²·с и 0,5 мкг/м²·с, соответственно.

В период комплексного эксперимента на НИС «Академик Коптюг» по акватории озера (1-9 сентября) заносы дымового аэрозоля не фиксировались. Применение многочастотного поляризационного аэрозольно-рамановского лидара «ЛОЗА-А2» позволило выделить условно фоновое состояние аэрозольного поля. На Рис.3А приведена пространственно-временная структура аэрозольного поля тропосферы при прохождении судна по акватории Малого моря (Средний Байкал) 2 сентября 2021 г. Пограничный слой атмосферы был размытый и слабовыраженный с точки зрения формирования отдельных аэрозольных слоев с повышенной концентрацией частиц в фоновых условиях. Лишь отдельные облака наблюдались на высоте 2-3 км при прояснении погоды. В загрязнение атмосферы озера основной вклад вносили близлежащие локальные источники с береговой зоны (Рис.3Б).

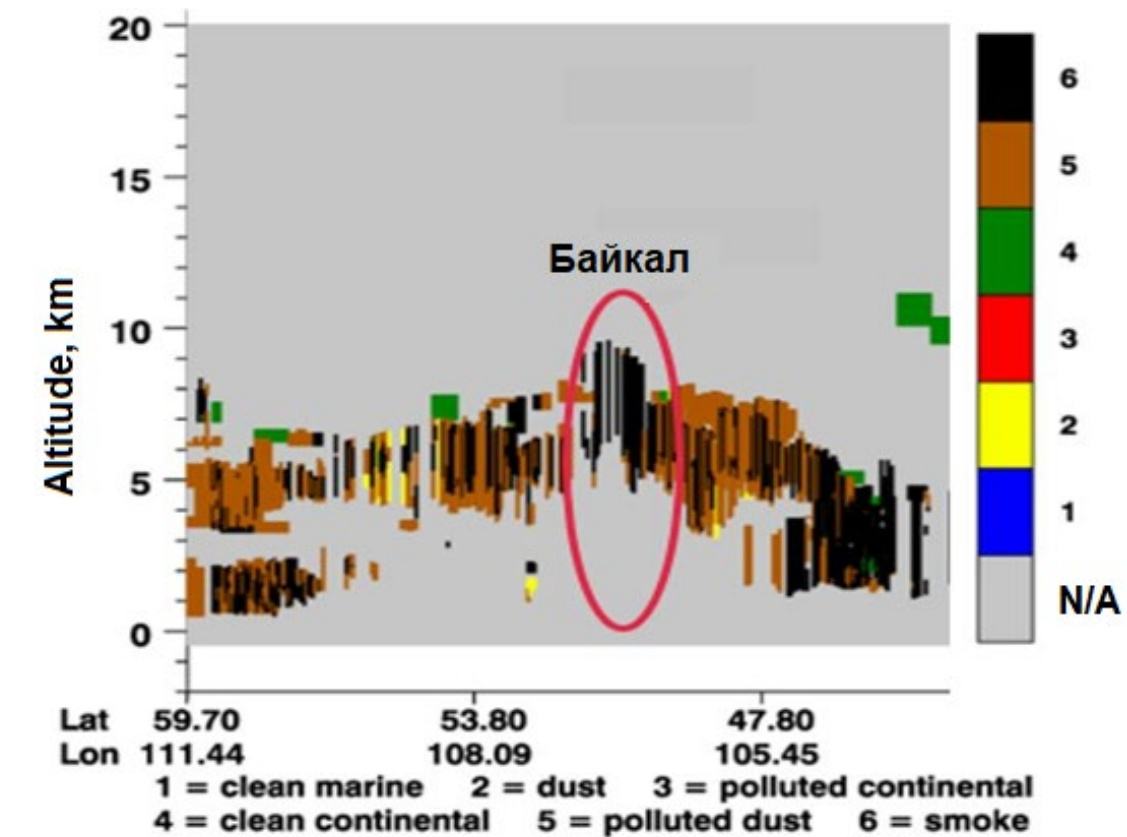


Рис.1. Пространственный разрез вертикальной толщи атмосферы с условной классификацией распределения аэрозоля по качественному типу по данным космического лидара CALIOP в регионе оз. Байкал, 09 августа 2021 г.

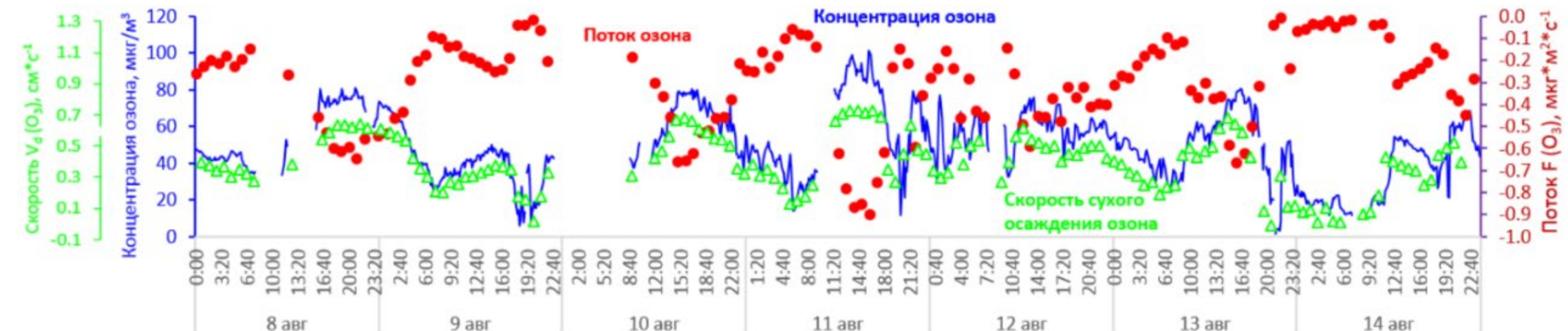


Рис.2. Суточный ход концентрации озона, скорости и потока O_3 на мачте высотой 20 м, 8-14 августа 2021 г.

Науки о Земле и окружающей среде

Из рисунка видно, как дымовой шлейф от выбросов ТЭЦ в г. Северобайкальск осаждается на водную поверхность акватории озера.

Обнаружено, что при движении судна по маршруту от Нижнеангарска до бухты Ая (северная часть Байкала) наблюдались самые низкие концентрации газовых примесей и аэрозоля за весь период измерений: O_3 (2,8 мкг/м³), NO_2 , NO (1,0 мкг/м³), SO_2 (2,9 мкг/м³), $PM_{2,5}$ (0,6 мкг/м³), PM_{10} (1,1 мкг/м³). Массовая концентрация частиц (PMTOTAL) в приводной атмосфере озера по всему маршруту следования изменялась в пределах от 1,1 до 20,1 мкг/м³. Суммарные концентрации 21 соединения ПАУ варьировали от 0.17 до 4.4 нг/м³ (Рис.4). В аэрозоле с низкими значениями суммы ПАУ преобладали нафталин > 2-метилнафталин > 1-метилнафталин > фенантрен, вблизи локальных источников – флуорантен > пирен > бенз(б)флуорантен. В фоновых районах озера доминировала группа ПАУ с 2-3 бензольными кольцами (67%), вблизи источников увеличивалась до 80-90% доля с 4, 5 и 6 бензольными кольцами.

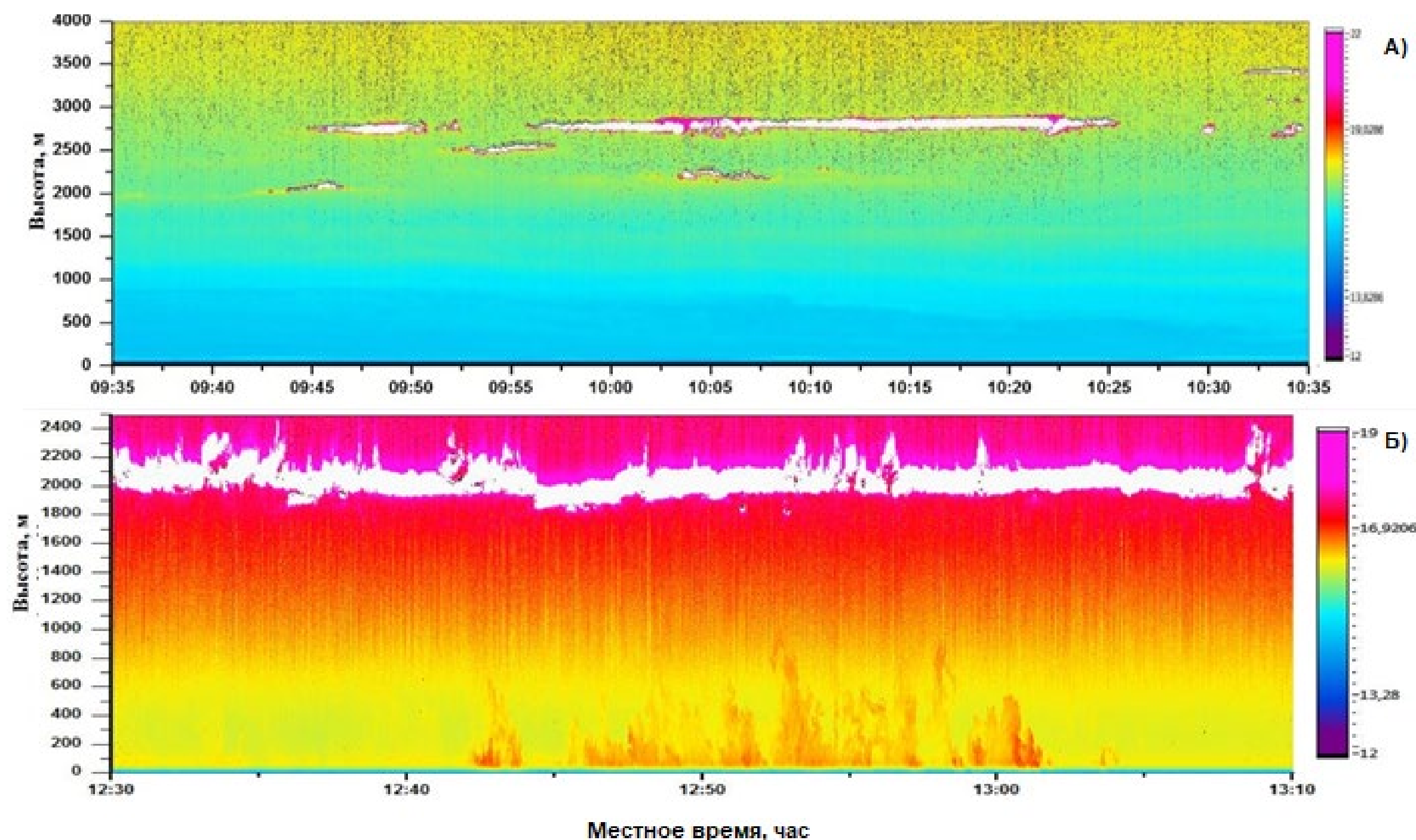


Рис.3. Пространственно-временная структура аэрозольного поля тропосферы в условиях фона (А, 2 сентября) и вблизи г. Северобайкальск (Б, 3 сентября), $\lambda=1064$ нм.

Публикации:

Zhamsueva G., Zayakhanov A., Tsydypov V., Dementeva A., Balzhanov T. Spatial-Temporal Variability of Small Gas Impurities over Lake Baikal during the Forest Fires in the Summer of 2019 // *Atmosphere*. – 2021. – №12(0020). DOI: [10.3390/atmos12010020](https://doi.org/10.3390/atmos12010020).

Zhamsueva G.S., Khodzher T.V., Zayakhanov A.S., Balzhanov T.S., Dementeva A.L., Tsydypov V.V., Balin Yu.S. Spatial distribution of aerosol and gas impurities on the waters of Lake Baikal // *Proceedings of SPIE*. – 2021. – V. 11916. – P. 1-6. DOI: [10.1117/12.2603281](https://doi.org/10.1117/12.2603281).

Marinaite I.I., Potyomkin V.L., Molozhnikova E.V., Penner I.E., Shikhovtsev M.Yu., Izosimova O.N., Khodzher T.V. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and PM10 solid particles above the water area of Lake Baikal in the summer of 2020 // *Proceedings of SPIE*. – 2021. – V. 11916. – P. 1-6. DOI: [10.1117/12.2600470](https://doi.org/10.1117/12.2600470).

Nasonov S.V., Penner I.E., Klemasheva M.G., Khodzher T.V., Zhamsueva G.S. Complex studies of the features of the spatio-temporal distribution of aerosol-gas impurities of the atmosphere over Lake Baikal in summer period // *Proceedings of SPIE*. – 2021. – V. 11916. – P. 1-4. DOI: [10.1117/12.2603468](https://doi.org/10.1117/12.2603468).

Khodzher T.V., Zagaynov V.A., Lushnikov A.A., Chausov V.D., Zhamsueva G.S., Zayakhanov A.S., Tsydypov V.V., Potemkin V.L., Marinaite I.I., Maksimenko V.V., Agranovski I.E. Study of aerosol nano- and submicron particle compositions in the atmosphere of Lake Baikal during natural fire events and their interaction with water surface // *Water, Air and Soil Pollution*. – 2021. – V. 232. – № 7. – P. 266. – DOI: [10.1007/s11270-021-05237-6](https://doi.org/10.1007/s11270-021-05237-6).

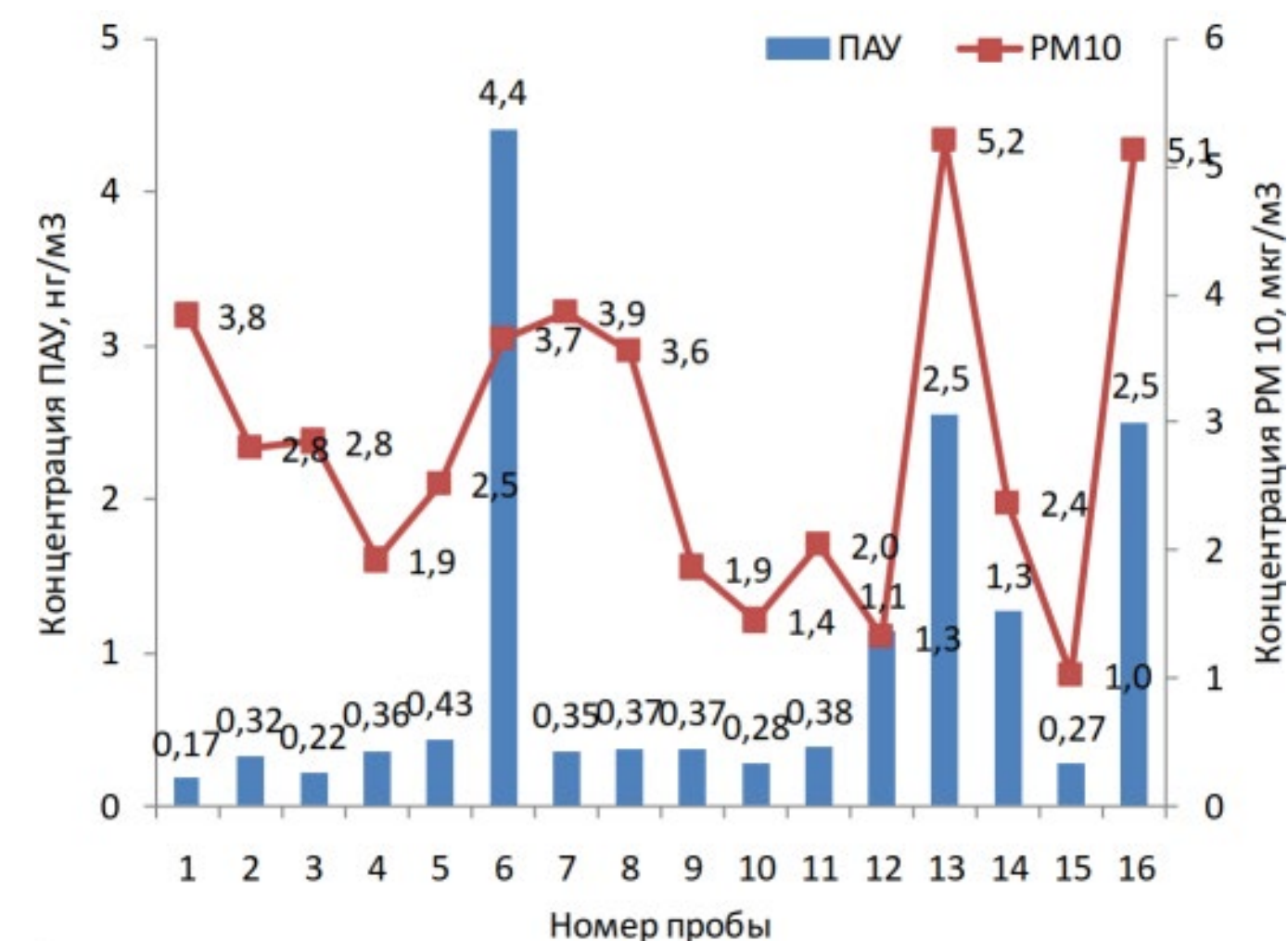
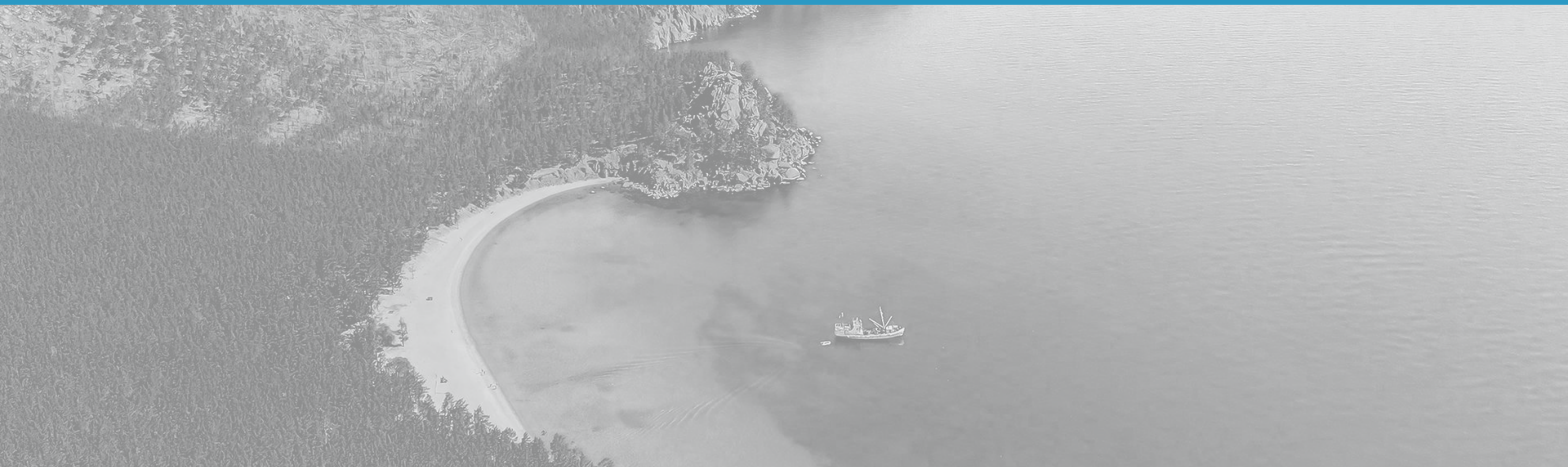


Рис.4. Массовая концентрация частиц PM10 (мкг/м³) и суммы 21 ПАУ (нг/м³) в атмосфере над оз. Байкал, 1–9 сентября 2021 г.



ПРОЕКТЫ РОССИЙСКОГО ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ





МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ЖИВЫХ ОРГАНИЗМАХ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕВРАЩЕНИЙ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ КОМПОЗИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Номер проекта РФФИ 19-04-00926
Руководитель: д.х.н., профессор В.В. Анненков

Проект посвящён синтезу и исследованию композитных наночастиц, моделирующих внутриклеточные везикулы, являющиеся начальным звеном в формировании кремнистых и кальциевых скелетов живых организмов. Основной целью являлось выявление закономерностей формирования и превращений композитных органо-неорганических наночастиц в водной среде с образованием твёрдых продуктов с различной морфологией. В результате выполнения проекта создана коллекция водорастворимых полимеров, содержащих карбоксильные, фосфатные, имидазольные и аминогруппы, способных к взаимодействию с неорганическими частицами, включая растущие наночастицы. Полученные полимерные образцы и разработанные методы их синтеза представляют интерес и вне рамок данного проекта в качестве моделей биополимеров и компонент сложных систем, включая доставку лекарственных препаратов, косметические композиции, стабилизаторы и осадители коллоидных систем. Установлены структуры полимеров, способные контролировать формирование кремнезёма, карбоната и фосфата кальция в водной среде с образованием устойчивых дисперсий композитных наночастиц или твёрдых материалов различной морфологии (Рис.1). Обнаружено явление образования метастабильных композитных кальциевых дисперсий, в течение 0.5-2 ч выделяющих неорганический материал, близкий к биогенному. Показана возможность дестабилизации устойчивых композитных дисперсий под влиянием обезвоживания и при взаимодействии с полимерами или наночастицами противоположного заряда. Определён потенциал новых полимерных и композитных систем для моделирования процессов биоминерализации и создания новых практически ценных материалов, включая хроматографические сорбенты (Рис.2), покрытия для тест-систем и культивирования клеток (Рис.3), компоненты для регенеративной медицины и 3D-печати (Рис.4 и 5).

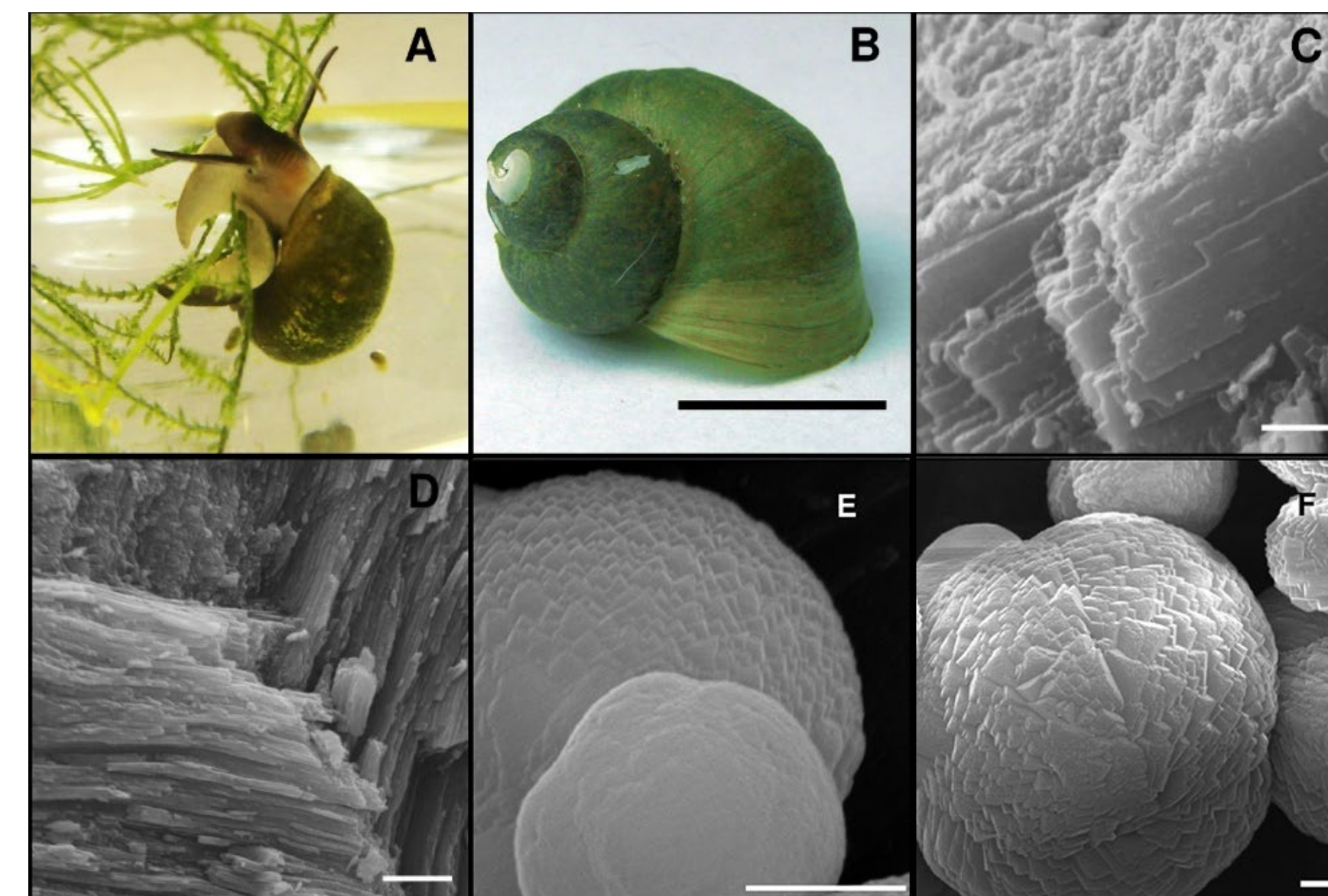
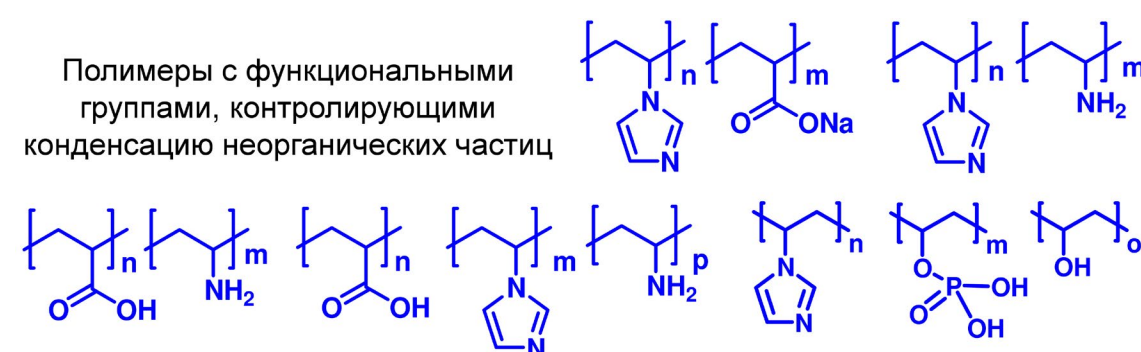
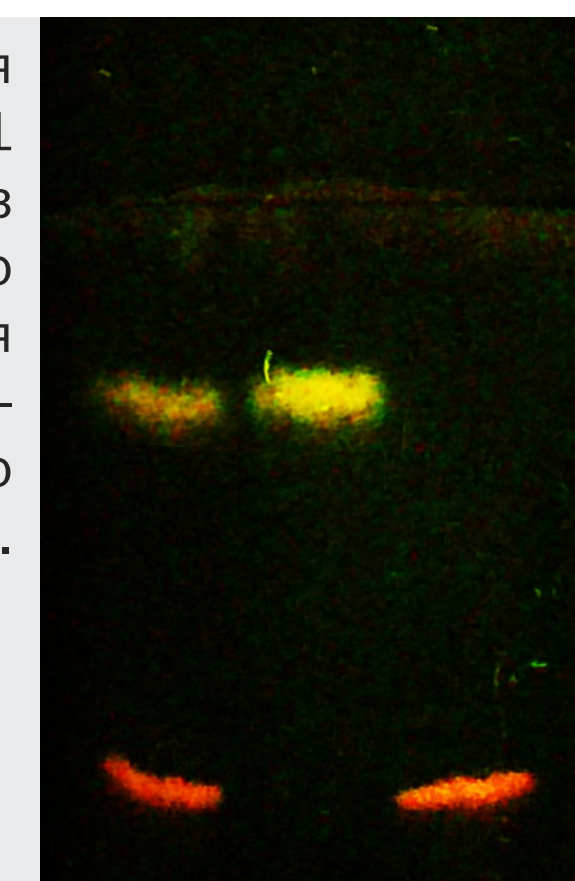


Рис.1. Фотографии моллюска *Benedictia baicalensis* (Gerstfeldt, 1859), его раковины, микрофотографии поверхностей излома раковины (A-D) и микрофотографии кальций-карбонатных материалов, полученных под контролем синтетических полимеров. Масштаб: B - 1 см, C - 1 мкм, D - 2 мкм, E и F - 10 мкм.

Рис.2. Результаты разделения смеси родаминов Б и 101 (левая дорожка) на сорбенте из композитного кальций-карбонатного осадка Ca-7 (Табл. 1). Центральная дорожка - родамин Б, правая - родамин 101. Элюировали смесью тетрахлорэтилен : метанол = 7.33: 1. Возбуждение светом 365 нм.



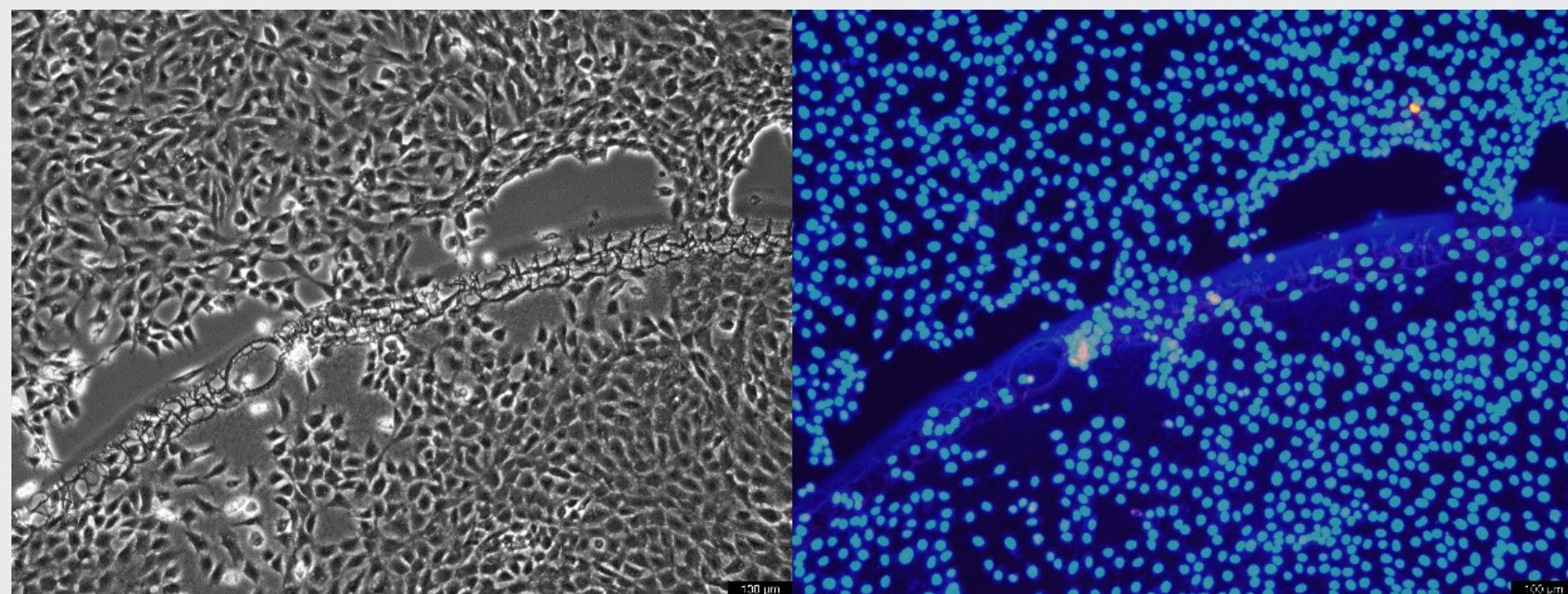


Рис.3. Культивирование иммортализованных фибробластов на стекле, модифицированном композитным покрытием. Слева – микроскопия в видимом свете, справа – флуоресцентная микроскопия при окраске прижизненным красителем клеточных ядер Hoechst (голубой) и пропидий йодидом (оранжевый), окрашивающим только мёртвые клетки. Исследования выполнены в Международном научном центре SCAMT (Solution Chemistry of Advanced Materials and Technologies) под руководством Ю.М. Пилипенко.

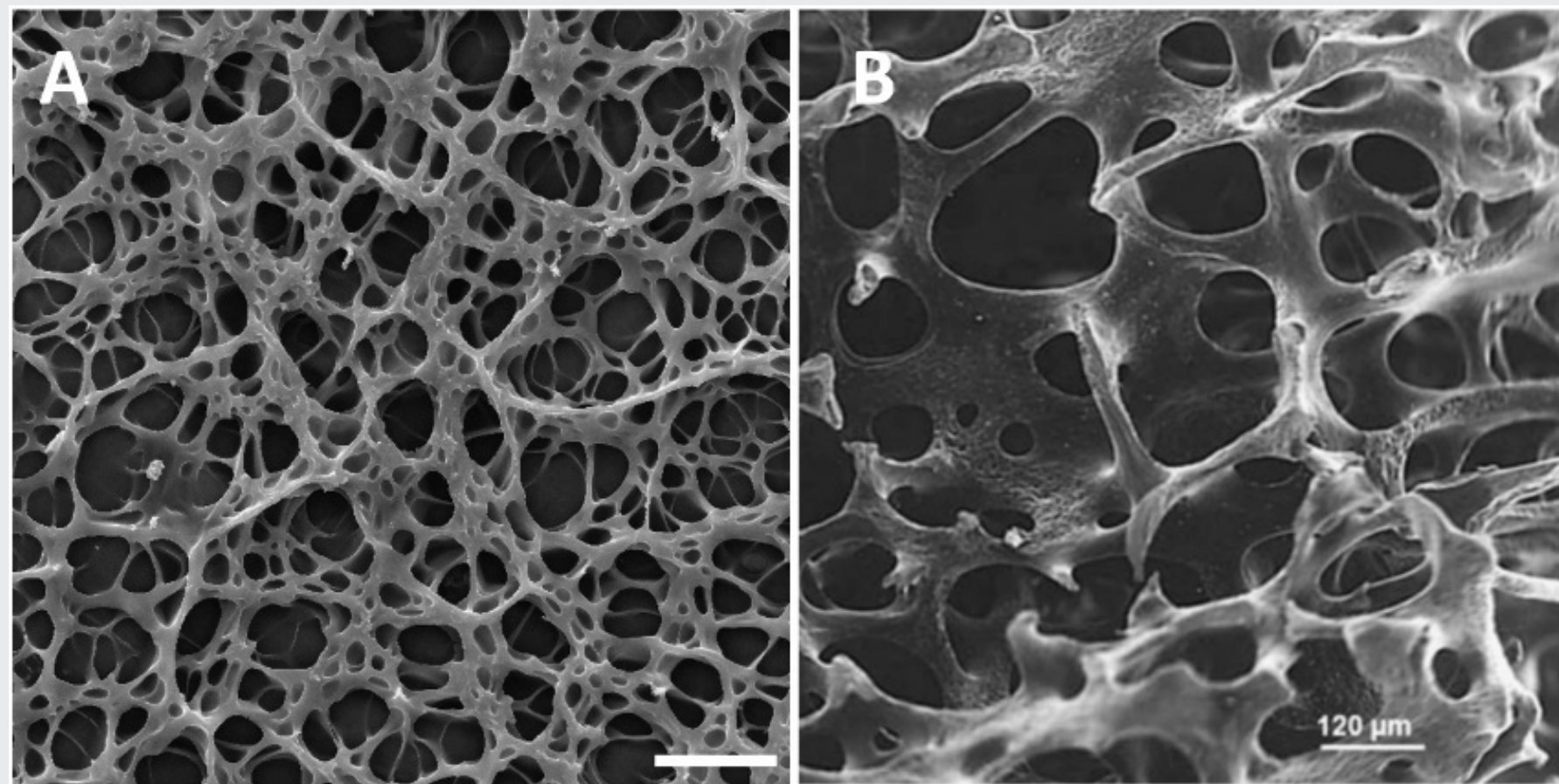


Рис. 4. Фотографии SEM (А) композита CaP103, полученного осаждением дисперсии кальций-карбонатных частиц на основе сополимера ВА-АК взаимодействием с полимером АКХ-НЗ и (В) губчатой кости [Chappard et al., 2011. <http://doi.org/10.1007/s00198-011-1573-6>].

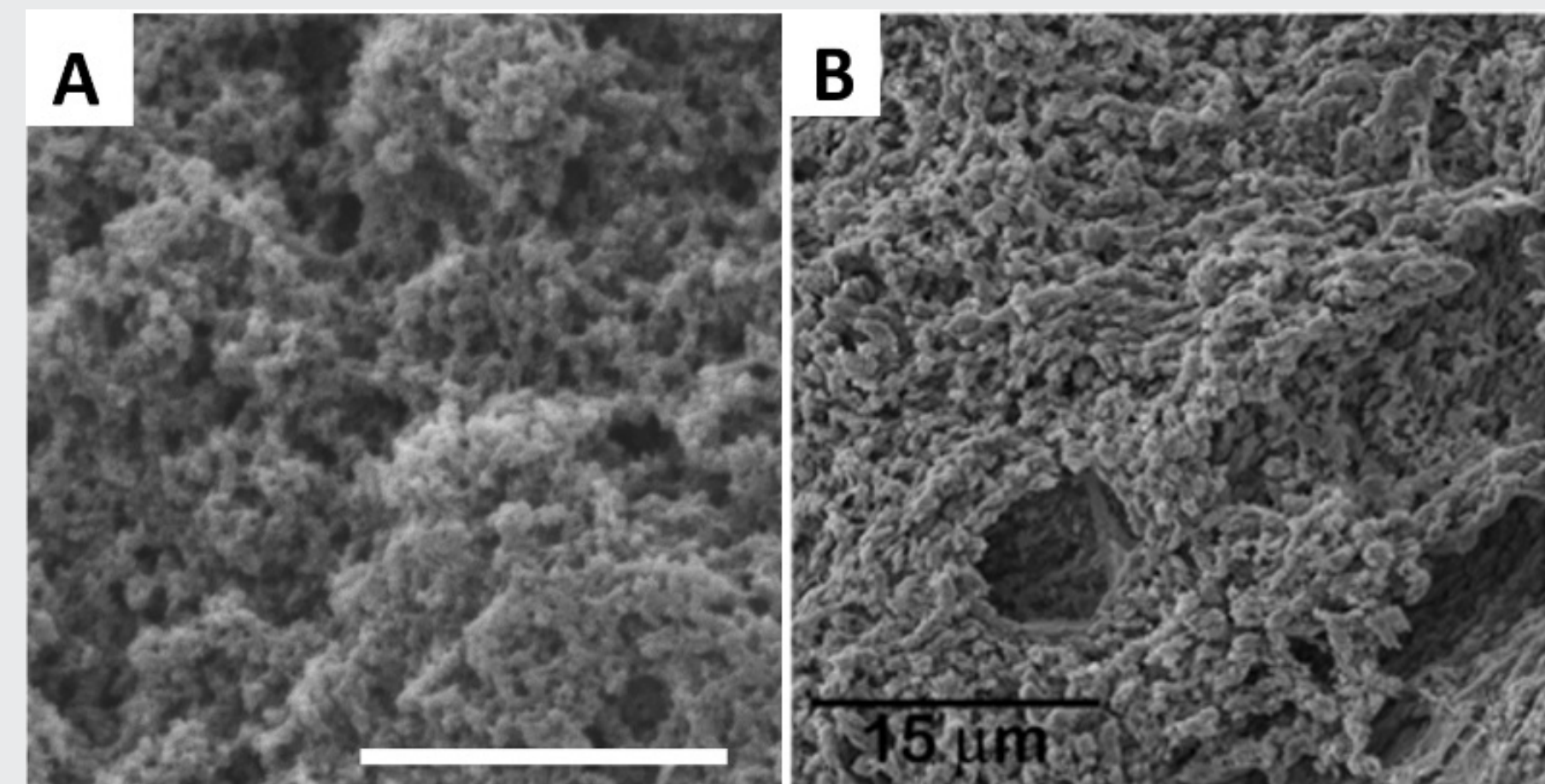


Рис. 5. Фотографии SEM (А) фосфата кальция, полученного в присутствии сополимера ВА-АК и (В) фронта минерализации кости самца крысы [Midura et al., 2007. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2007.08.036>].

Публикации:

Annenkov V.V., Aseyev V., Zelinskiy S.N., Danilovtseva E.N. Imidazole-phosphate polymers: acid-base properties, association with oligonucleotides and oligosilicates. // *Journal of Molecular Liquids*. – 2021. – V. 329. – P. 115598. DOI: [10.1016/j.molliq.2021.115598](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115598).

Danilovtseva E.N., Palshin V.A., Strelowa M.S., Lopatina I.N., Kaneva E.V., Zakharova N.V., Annenkov V.V. Functional polymers for modeling the formation of biogenic calcium carbonate and the design of new materials. // *Polymers for Advanced Technologies*. – 2022. – V 33 - Is. 9. – P. 2984-3001. DOI: [10.1002/pat.5764](https://doi.org/10.1002/pat.5764)



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

Проект посвящён изучению влияния субмикронных частиц, образующихся при разрушении бытовых пластиков (ПВХ, полистирол, полиметилметакрилат), на водные одноклеточные и многоклеточные организмы. При выполнении работы использованы модельные флуоресцентные частицы пластиков, полученные в рамках проекта.

Установлено подавление спикурообразования в примморфах губки *Lubomirskia baicalensis* под действием наночастиц поливинилхлорида (ПВХ) и полистирола (ПС) при концентрациях 0.01 мг/мл и выше (Рис.1). Частицы нанопластика детектированы в примморфах и в цельной губке.

Начаты эксперименты по изучению влияния наночастиц пластиков (1 и 10 мг/л) на брюхоногих моллюсков *Benedictia baicalensis* (Gerstfeldt, 1859) и *Baicalia turiformis* (W.Dybowski, 1875). Установлено проникновение наночастиц (Рис.2) в различные органы моллюсков (желудок, кишечник, печень, жабры, нога).

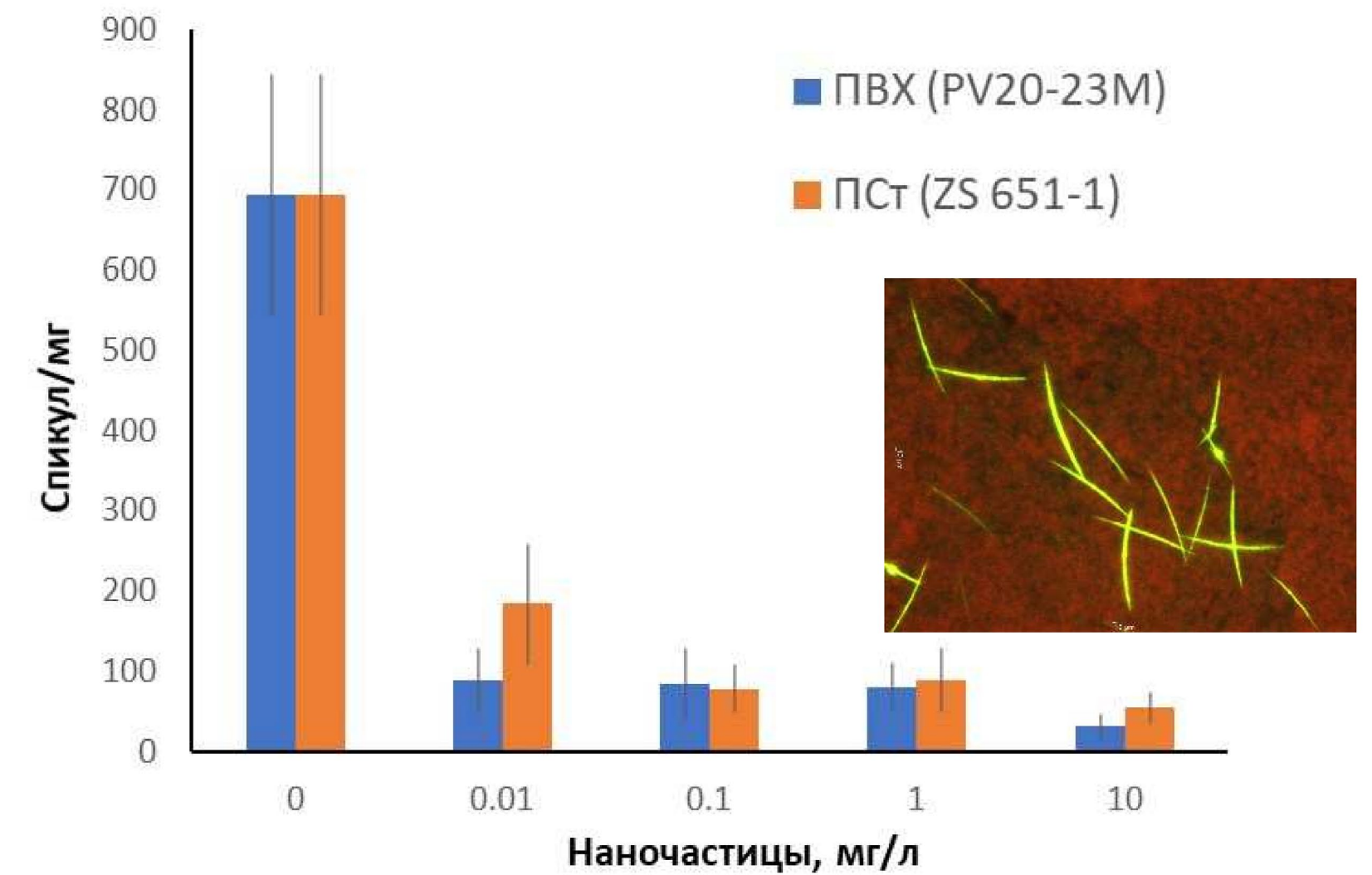


Рис. 1. Зависимость количества спикул в примморфах губки *L. baicalensis* от концентрации нанопластика при культивировании в течение 1 мес. Спикулы, растущие в ходе эксперимента окрашены оригинальным красителем NBD-N2.



Рис. 2. Флуоресценция нанопластика в печени моллюска.

Завершены эксперименты по изучению действия пластиковых наночастиц на динофлагелляты. Обнаружено, что считающийся аутотрофным фотосинтезирующим видом *Gymnodinium corollarium* (Sundström, A.Kremp & Daugbjerg, 2009) способен захватывать наночастицы пластика, вероятно, в пищевую вакуоль (Рис.3 и 4), что приводит к гибели клеток при 0.05 мг/л ПВХ и ПС и 2.5 мг/л полиметилметакрилата (ПММА). Культивирование в присутствии флуоресцентно меченных наночастиц пластика может быть использовано в качестве теста на возможность гетеротрофного питания динофлагеллят и, возможно, других организмов.

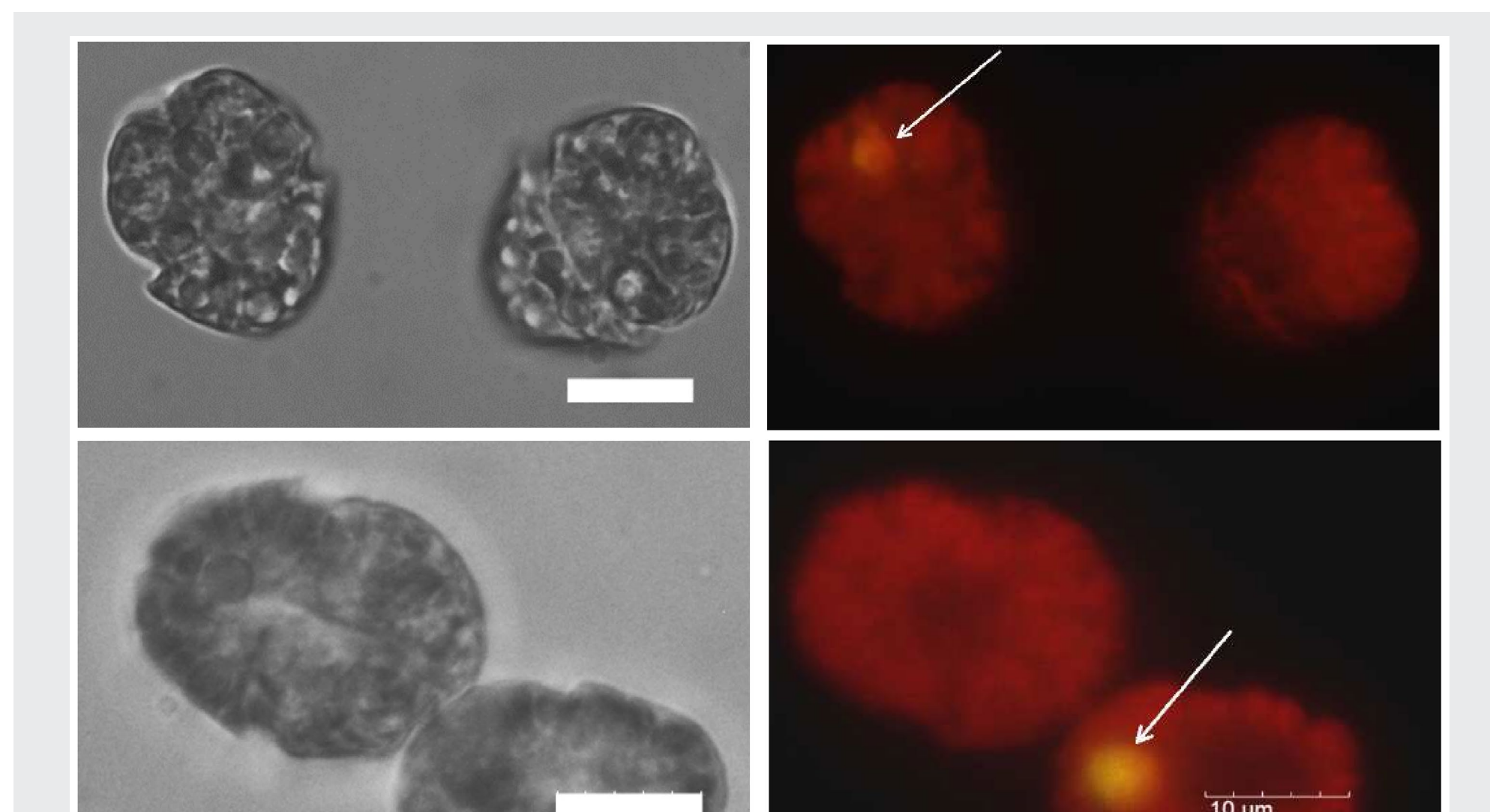


Рис. 3. Микрофотографии в видимом свете и эпифлуоресцентные (возбуждение 470 нм) клеток динофлагеллят *G. corollarium*. Красная флуоресценция – хлоропласты, стрелками указаны пищевые вакуоли. Масштаб – 10 мкм.

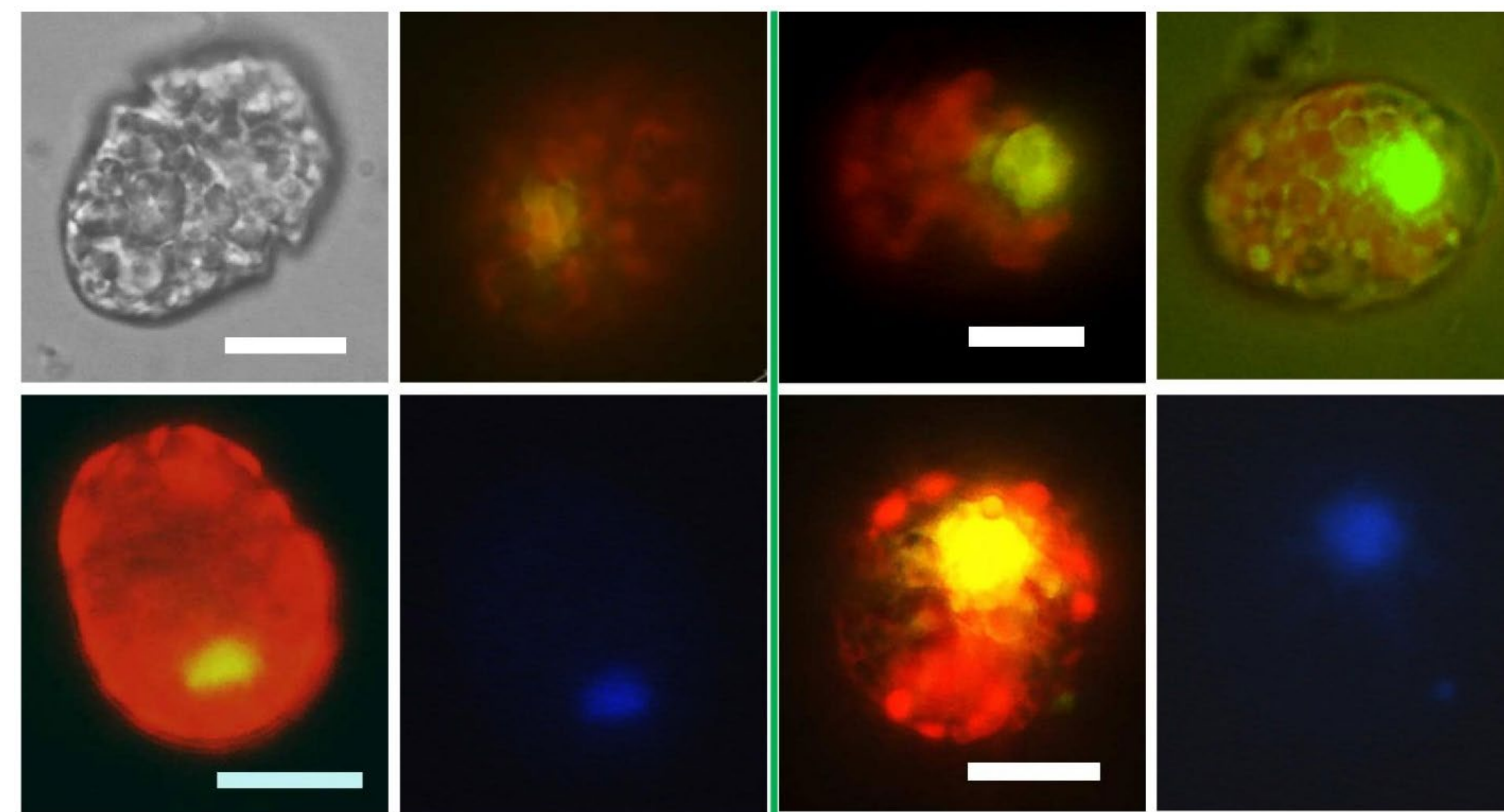


Рис. 4. Микрофотографии в видимом свете и эпифлуоресцентные (возбуждение 470 нм – красное, зелёное и жёлтое свечение, 365 нм - синее) клеток динофлагеллят *G. corollarium*, культивированных с добавлением наночастиц ПСт. Верхний ряд - образец полистирола, диаметр частиц 170 нм, нижний - образец полистирола, диаметр частиц 200 нм, окрашен красителем, светящимся в синей области. Концентрация нанопластика составляла 1 мг/л (верхний ряд и нижний ряд слева), 5 мг/л (нижний ряд справа). Красная флуоресценция – хлоропласты, зелёная и жёлтая – пищевые вакуоли, синяя – частицы нанопластика. Масштаб – 10 мкм.

Публикации:

Annenkov Vadim V., Danilovtseva Elena N., Zelinskiy Stanislav N., Pal'shin Viktor A. *Submicro- and nanoplastics: How much can be expected in water bodies?* // *Environmental Pollution*. – 2021. – V. 278. – P. 116910. DOI: [10.1016/j.envpol.2021.116910](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116910).



УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИЕ ГАЗЫ И БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ В РАЙОНАХ С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ В ПЕРИОД НАБЛЮДАЮЩИХСЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА, СНИЖЕНИЯ ВОДНОСТИ, ТРАНСФОРМАЦИИ ВИДОВОГО СОСТАВА СООБЩЕСТВ МЕЛКОВОДНОЙ ЗОНЫ

Номер проекта РФФИ 18-45-030007
 Руководитель: к.г.н. В.М. Домышева

Проведены комплексные исследования содержания парниковых газов и биогенных элементов в атмосфере и воде вдоль южной оконечности и восточного берега Байкала, в Баргузинском и Чивыркуйском заливах, проливе Малое Море в районах с априорно разной степенью и характером антропогенной нагрузки. Сопоставление разности парциальных давлений и суммарная оценка их потоков в пересчете на углерод показывает, что в литоральной зоне Байкала в летний период сток углерода из атмосферы, обусловленный потоками CO_2 , намного превышает его выход с поверхности воды за счет эвазии CH_4 (за исключением пунктов, подверженных сильному антропогенному воздействию) (Рис.1).

Вдоль побережья, где расположены поселки и турбазы, обнаружено загрязнение воды соединениями фосфора, что обуславливает развитие биоты и соответствующее усиление выхода метана. Сопоставление синхронных измерений флуоресцентных характеристик (Fd) и прямых измерений концен-

трации хлорофилла «а» в воде Байкала показали, что между ними существует тесная корреляционная связь (Рис.2). Полученные эмпирические соотношения вполне пригодны для реконструкции ранее накопленных данных и оперативной оценки содержания хлорофилла «а» по данным измерений флуоресцентных сигналов (точность порядка 20-25%).

Впервые на основе обобщения результатов уникального ряда многолетних регулярных измерений с 2004 по 2021 гг. показано, что в приводной атмосфере региона Байкала наблюдается рост концентрации CO_2 , тренд которого хорошо согласуется с глобальным, наблюдаемым в Северном полушарии. В свою очередь, анализ многолетнего ряда измерений концентрации CO_2 и биогенных элементов в воде, разности парциального давления CO_2 между водой и атмосферой, его потоков не выявил значимых трендов этих характеристик (Рис.3). Это может свидетельствовать лишь о том, что возможности экосистемы по потреблению CO_2 в процессе фотосинтеза ограничены. Ее потенциал соответствует уровню, который в каждом регионе формировался на протяжении многих лет в условиях «привычной» амплитуды межгодовой изменчивости погодных условий и собственных циклов биоты и не способен быстро приспособиться к постоянному увеличению концентрации CO_2 в атмосфере.

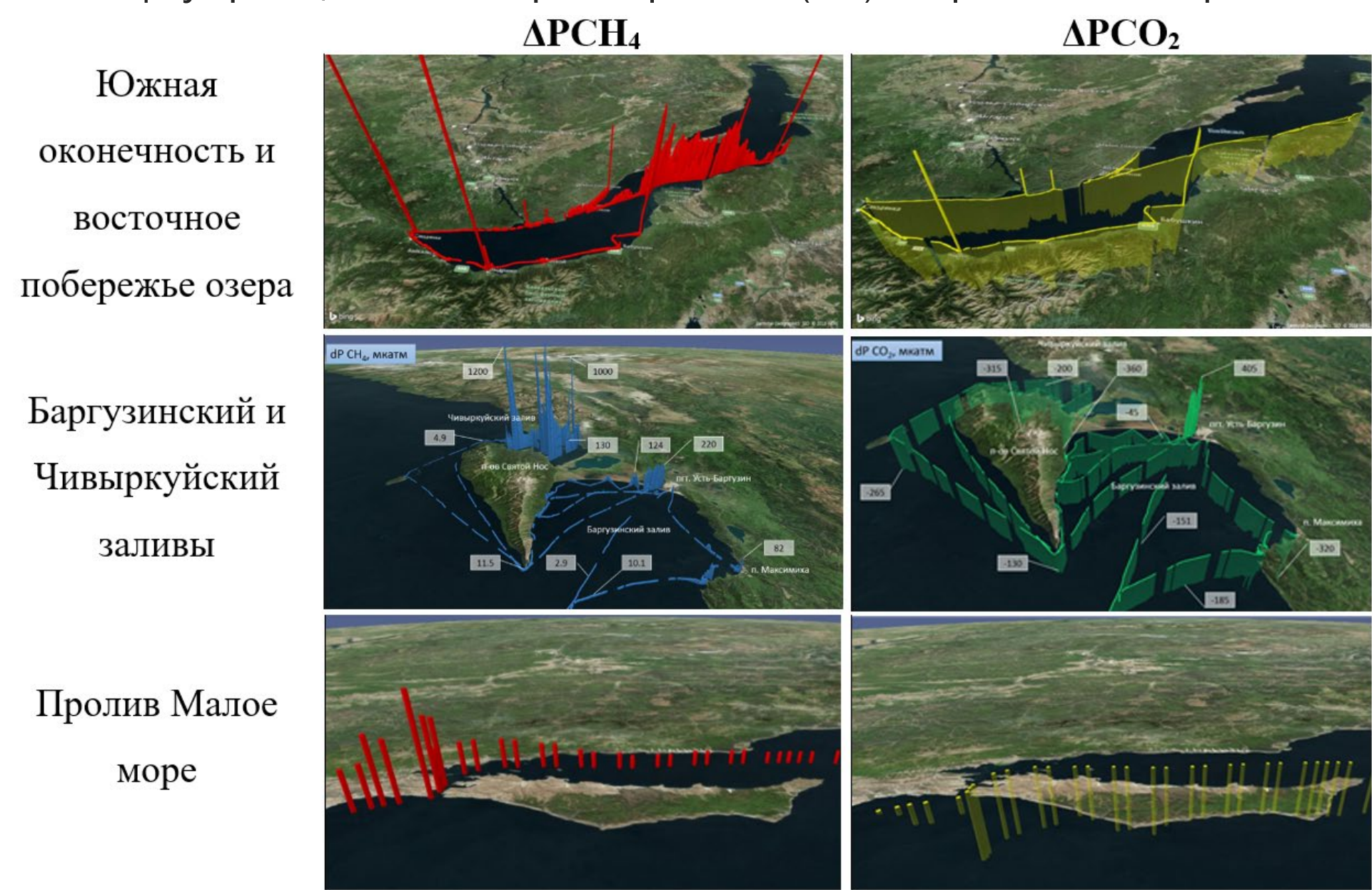


Рис.1. Разность парциальных давлений растворенного углекислого газа и метана между водой и атмосферой в прибрежной зоне оз. Байкал.

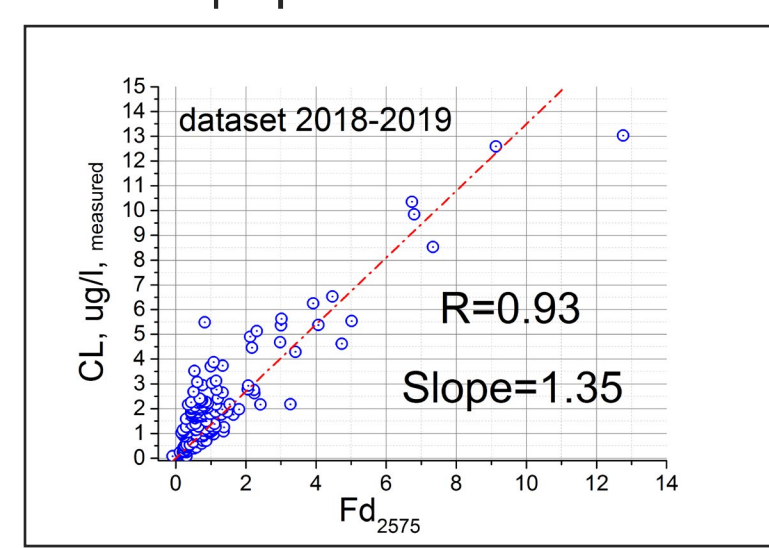


Рис.2. Корреляция между концентрацией хлорофилла «а» и сигнала флуоресценции Fd.

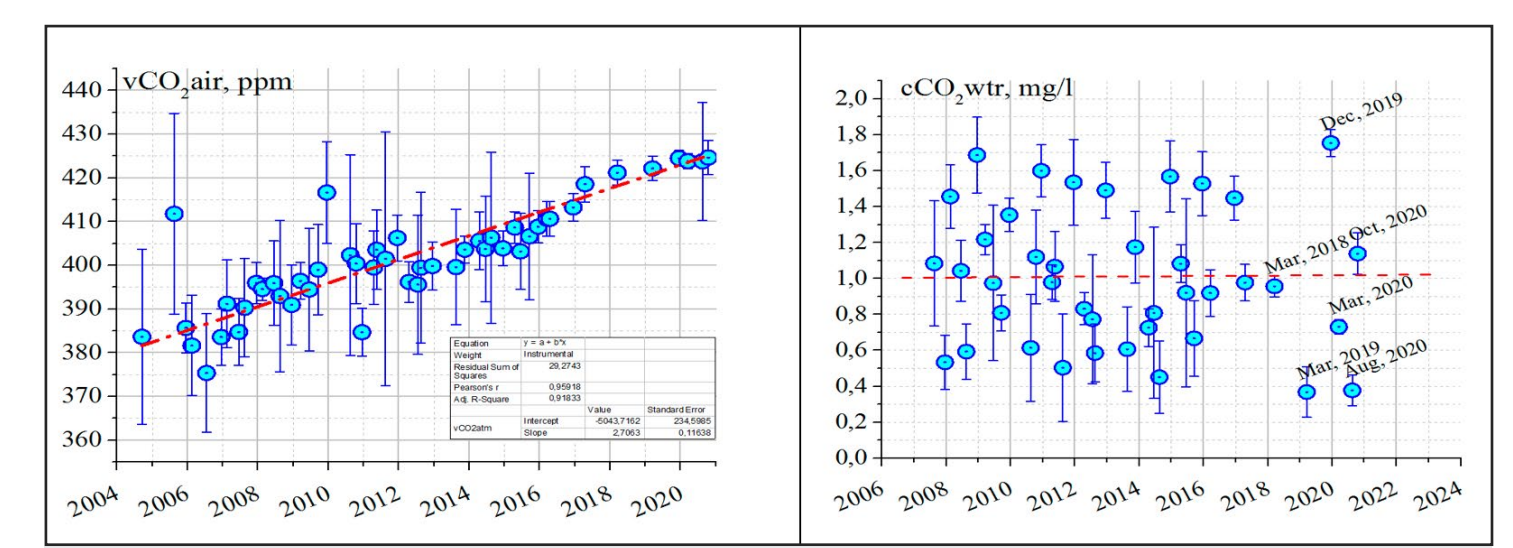


Рис.3. К оценке тренда содержания углекислого газа в приводной атмосфере и в поверхностной воде оз. Байкал

Публикации:

Pestunov D.A., Domysheva V.M., Sakirko M.V., Shamrin A.M., Panchenko M.V. Methane in the atmosphere and surface water of Lake Baikal // Proceedings of SPIE. - 2021. - V. 11916. - P. 1-7. DOI: [10.1117/12.2603722](https://doi.org/10.1117/12.2603722)

Науки о Земле и окружающей среде



ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА НА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТАКСОНОМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ОБИЛИЯ ГИДРОБИОНТОВ ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Номер проекта РФФИ 19-05-00398
Руководитель: к.г.н., доцент Л.С. Кравцова

Изменение климата прослеживается не только в глобальном, но и в региональном масштабе. Повышение температуры воздуха и воды, уменьшение количества осадков, ослабление ветровых потоков и водообменных процессов, колебание уровня, а также антропогенное воздействие отражаются на функционировании пресноводных водоемов Байкальского региона.

Исследования проведены в прибрежной зоне западного и восточного бортов южной котловины Байкала, в открытом заливе Лиственничный, полузакрытом заливе Посольский сор и в искусственно созданном водоеме – Иркутском водохранилище.

Выявлены структурные перестройки летнего планктонного сообщества Байкала в фотическом слое 0-15 м. Отмечена тенденция (с 1992 г. к 2016 г.) эвтрофирования прибрежных участков открытого Байкала на основе роста следующих показателей фитопланктона: индекса сапробности (S) – с 1,47 до 1,60; индекса β -разнообразия по Шеннону (H, бит) – с 1,5 до 2,8; увеличения соотношения биомассы мезосапробионтов (жгутиконосцев) к биомассе эндемиков в сторону первых (1:6 – в 1992 г. и 3:1 – в 2016 г.). Отмечены сдвиги в структуре планктонного сообщества на уровне высших таксонов – маркеров эвтрофикации пресных вод. В общей биомассе фитопланктона увеличилась доля Bacillariophyta, Cyanophyta и Ochrophyta, а Chlorophyta и Cryptophyta значительно снизилась по сравнению с 1992 г. В зоопланктоне наблюдается увеличение доли в общей биомассе Cladocera и Rotifera (Рис.1).

Увеличение разнообразия донной флоры на каменистых грунтах разных районов открытых побережий Байкала можно рассматривать как реакцию на потепление климата в Байкальском регионе в последнее десятилетие. В ее составе стали часто встречаться водоросли *Spirogyra*, *Oedogonium*. На фоне глобальных природно-климатических изменений антропогенная составляющая вносит дополнительный вклад в процессы эвтрофирования прибрежной зоны Байкала. Так, Лиственничный залив в начале прошлого века представлял собой типичный участок открытого Байкала олиготрофного типа, в настоящее время относится к β -мезосапробной зоне (S=1,70 – по фитопланктону; S=1,53 – по зоопланктону; S=2,17 – по бентосным мейо-макрофитам),

наблюдается замещение доминирующих по биомассе эндемичных видов на нитчаток с широким ареалом.

Обилие бентосных беспозвоночных зависит от колебания уровня, интенсивности водообмена с открытым Байкалом. Среднеголетняя биомасса макрозообентоса на открытых участках Байкала в период гидрологического режима озера, характеризующегося наибольшей амплитудой колебания уровня, низкая. Иная картина наблюдается в полузакрытом заливе Посольский сор (Рис.2).

Сработка уровня ГЭС относится к антропогенному фактору, постоянно действующему на экосистему Иркутского водохранилища. Средняя биомасса макрозообентоса в приплотинной части водохранилища – $10,7 \pm 2,8$ г/м², а в верхнем участке – $62,7 \pm 23,8$ г/м² (Рис.3). Несмотря на то, что Иркутское водохранилище прошло этап стабилизации, колебание уровня не приводит к формированию устойчивого роста обилия гидробионтов в приплотинной части водоема, биомасса беспозвоночных в заливах невысока, спустя 60 лет она не достигает показателей таковой до зарегулирования русла р. Ангары.

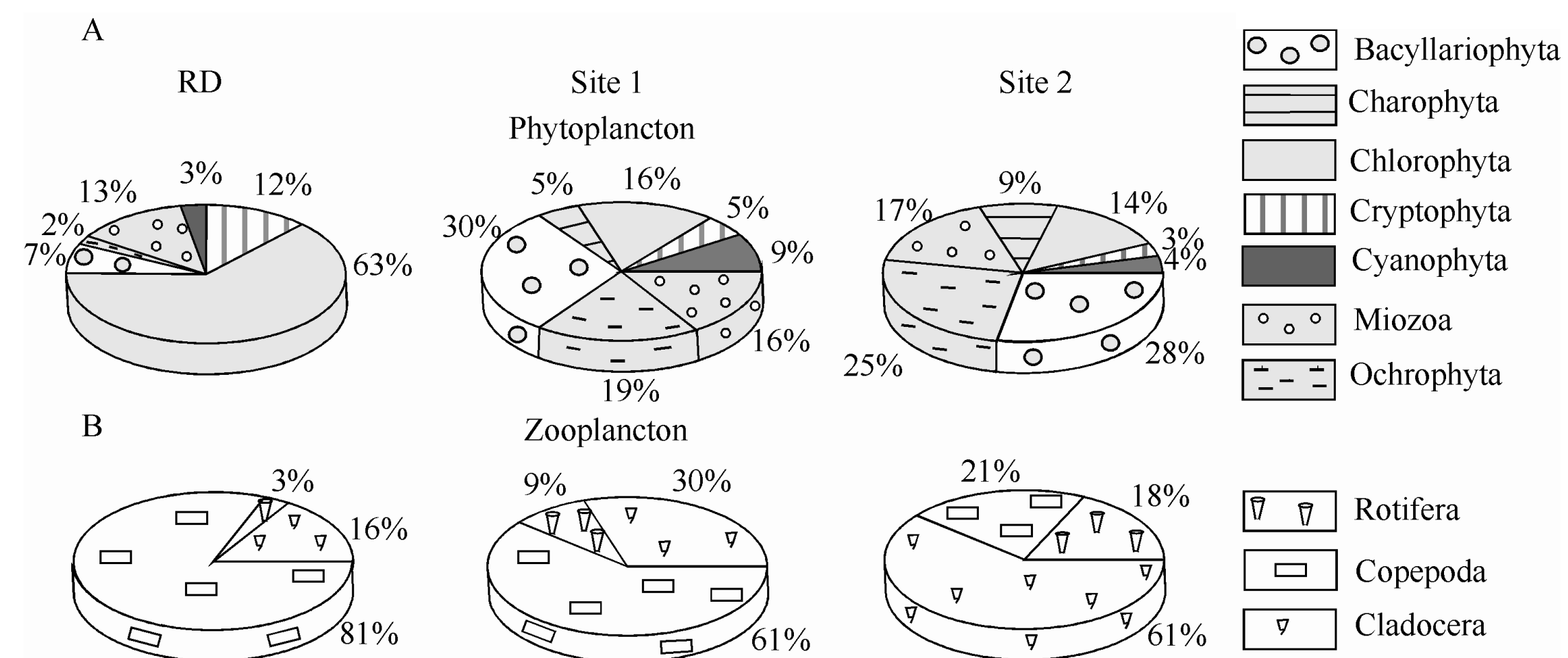


Рис.1. Изменение в общей биомассе доли высших таксонов фито- (A) и зоопланктона (B): RD – в 90-е годы, Site 1 – открытые участки прибрежной зоны Байкала (2016 г.).

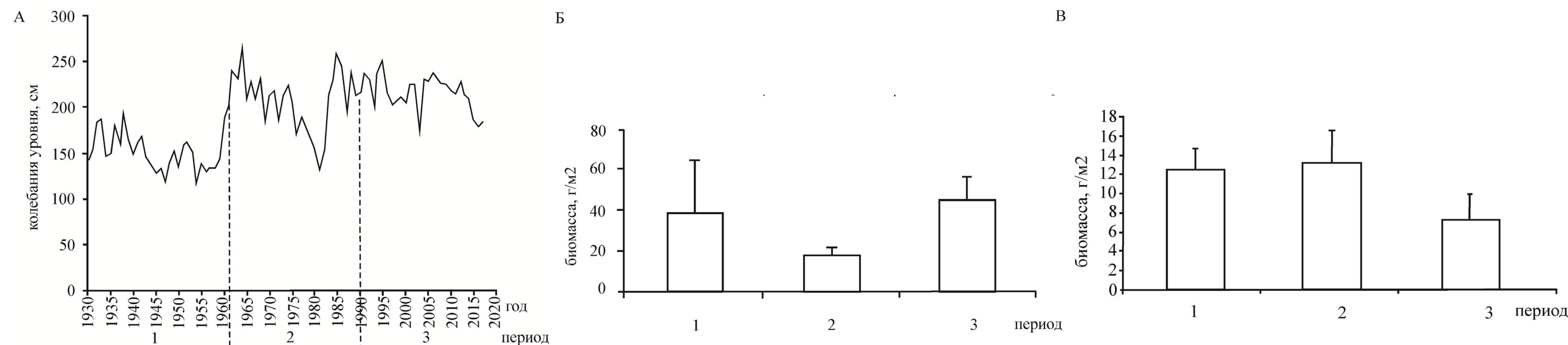


Рис.2. Показатели биомассы макрозообентоса в разные периоды гидрологического режима озера Байкал: А – колебания уровня в ключевые периоды (1 – естественного хода уровня (1901-1958 гг.), 2 – техногенно-измененного уровня (1963-2000 гг.), 3 – стабилизации уровня с 2001 г. за счет ограничений его колебаний в однометровом диапазоне (456-457 м ТО), установленном постановлениями Правительства Российской Федерации; Б – средние многолетние показатели биомассы макрозообентоса на открытых участках прибрежной зоны Байкала; В – средние многолетние показатели биомассы макрозообентоса в Посольском соре.

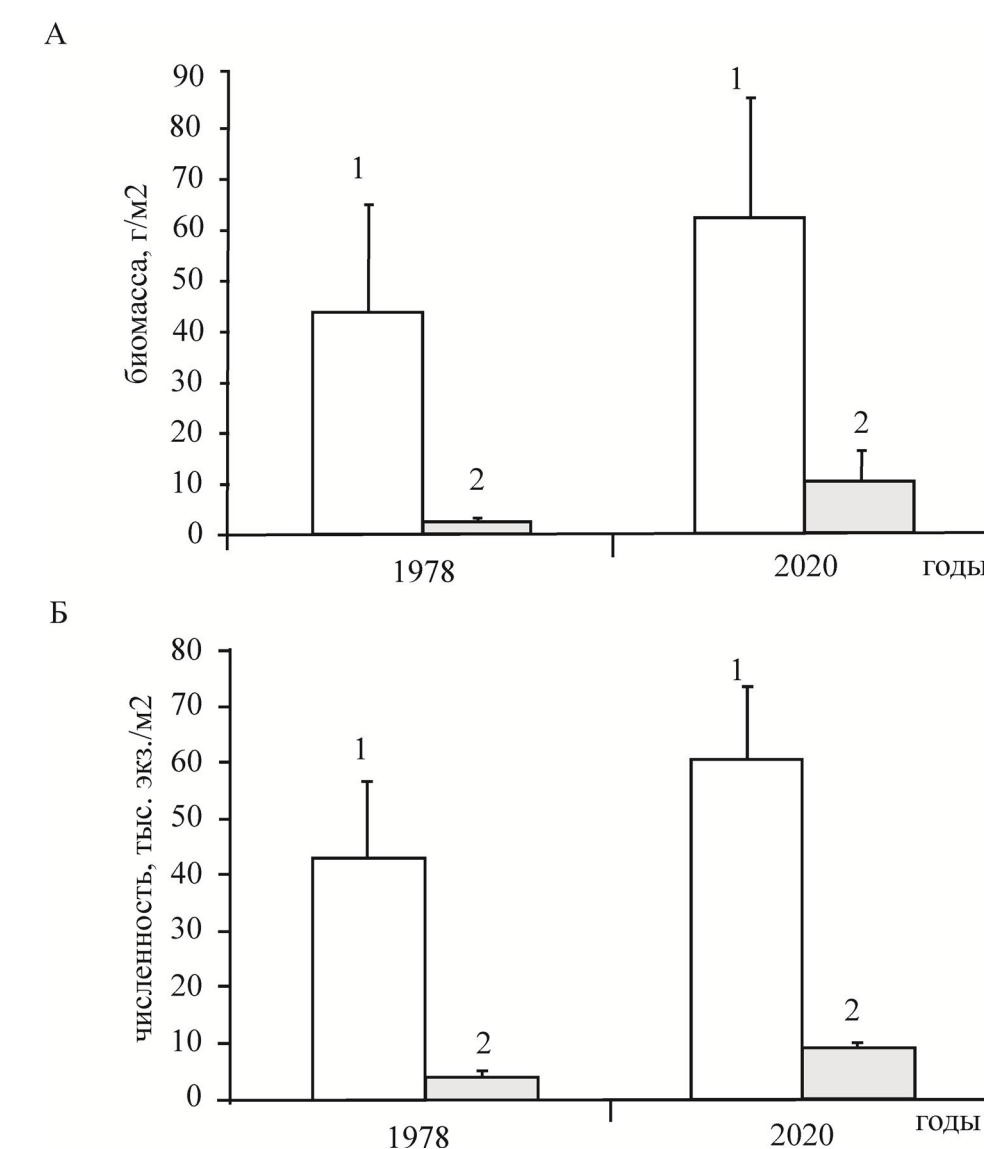


Рис.3. Биомасса и численность зообентоса в Иркутском водохранилище в разные годы

Впервые в условиях Байкала оценено таксономическое разнообразие и структура донных сообществ беспозвоночных животных с использованием подхода, основанного на синтезе гидробиологических и молекулярно-генетических методов (днк-метабаркодинга). Выявлено 129 таксонов (ОТЕ-операционных таксономических единиц) беспозвоночных животных на видовом и родовом уровне при гомологии с референсными последовательностями GenBank $\geq 97\%$ и $\geq 95\%$, соответственно. Установлена прямая зависимость между численностью представителей высших таксонов в бентосных пробах (до экстракции ДНК) и количеством прочтений (654182) (полученных с использованием ампликонов фрагмента гена CO1 мтДНК и Illumina MiSeq), коэффициент корреляции Спирмена=0,49 ($p < 0,05$). Исследованные сообщества беспозвоночных животных характеризуются разной степенью сложности (α разнообразие H: от 0,7 до 2,5 бит). Современное β -разнообразие ($H=3,0$ бит) исследованных районов сопоставимо с таковым в 80-е годы прошлого века. Полученные в ходе выполнения проекта расшифрованные последова-

тельности фрагмента гена CO1 беспозвоночных могут быть использованы как в системе мониторинга водоемов, так и для исследования связей таксономического состава и обилия гидробионтов с трендами природно-климатических факторов.

Публикации:

Kravtsova L., Vorobyeva S., Naumova E., Izboldina L., Mincheva E., Potemkina T., Pomazkina G., Rodionova E., Onishchuk N., Sakirko M., Nebesnykh I., Khanaev I. Response of Aquatic Organisms Communities to Global Climate Changes and Anthropogenic Impact: Evidence from Listvennichny Bay of Lake Baikal // *Biology*.-2021. - V. 10. - №9. - p. 1-22. DOI: [10.3390/biology10090904](https://doi.org/10.3390/biology10090904)

Кравцова Л.С., Перетолчина Т.Е., Трибой Т.И., Небесных И.А., Купчинский А.Б., Тупикин А.Е., Кабилов М.Р. Исследование разнообразия гидробионтов Лиственничного залива озера Байкал с использованием ДНК-метабаркодинга // *Генетика*. -2021. - Т. 57. - №4. - С. 445-453. DOI: [10.31857/S0016675821040056](https://doi.org/10.31857/S0016675821040056)



ИЗУЧЕНИЕ РАЗНООБРАЗИЯ ГЕНОВ БИОЛОГИЧЕСКИ-АКТИВНЫХ МЕТАБОЛИТОВ В МИКРОБИОМАХ БАЙКАЛЬСКИХ ГУБОК

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

Тридцать пять бактериальных штаммов, выделенных из пресноводной губки *L. baicalensis*, идентифицированы по последовательностям генов 16S рРНК. В коллекции выявлены представители 11 родов, принадлежащие трём бактериальным филумам (Таблица): *Firmicutes*, *Actinobacteria* и *Proteobacteria* (классы *Alphaproteobacteria*, и *Betaproteobacteria*). В таблице приводится гомология полученных последовательностей 16S рРНК с таковыми, опубликованными в базе данных NCBI (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). Большинство последовательностей проявляли 97-100% идентичности по нуклеотидным последовательностям с известными бактериальными штаммами. В результате к филуму *Actinobacteria* были отнесены 17 штаммов, идентифицированных как: *Janibacter limosus*, *Promicrospora iranensis*, *Arthrobacter sp.*, *A. aqilis*, *A. sulfonivorans*, *Pseudarthrobacter sulfonivorans*, *Rathayibacter caricis*, *R. tritici*, *Kosuria palustris*, *Rhodococcus cercidyphylli*, *R. fascians*, *Microbacterium sp.*, *Flexivirga alba*; к филуму *Proteobacteria* – 8 штаммов, отнесенных к *Methylobacterium variabile*, *Massilia aurea*, *Rhodopseudomonas sp.*, *R. palustris*, *Heminiimonas sp.*, *Tardiphaga sp.*, *T. Robiniae*; к филуму *Firmicutes* – 9 штаммов, принадлежащих *Staphylococcus hominis*, *Bacillus megaterium*, *B. axarquiensis*, *B. tequilensis*, *Paenibacillus sp.* (Таблица). По результатам ПЦР-скрининга в 16 из 35 штаммах был обнаружен продукт, соответствующий по размеру (700 bp) фрагменту кетосинтазного домена гена поликетидсинтазы. Из них 7 штаммов принадлежали филуму *Actinobacteria*; 5 штаммов – филуму *Firmicutes*; 3 штамма – филуму *Proteobacteria* (Таблица).

Эти бактериальные культуры интересны для дальнейших исследований, поскольку могут продуцировать вторичные метаболиты поликетидной природы, значимые для медицины и биотехнологии.

Публикации:

Kaluzhnaya O.V., Lipko I.A., Itskovich V.B. PCR-screening of bacterial strains isolated from the microbiome of the sponge *Lubomirskia baicalensis* for the presence of secondary metabolite synthesis genes // *Limnology and Freshwater Biology*. – 2021. – № 2. – P. 1137– 1142. DOI: [10.31951/2658-3518-2021-A-2-1137](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2021-A-2-1137)

Таблица. Бактериальные культуры, изолированные из губки *L. baicalensis* (коллекция LB11/2)

Штамм	Асс. No.	Ближайшие гомологи (Асс. No.)	Идентичность %	Филум	ПЦР-сигнал (PKS)
03-Lb11/2	MZ646072	<i>Methylobacterium variabile</i> (AB900978)	100.0	Alphaproteobacteria	+
04-Lb11/2	MZ646073	<i>Janibacter limosus</i> (MN826598)	99.0	Actinobacteria	+
05-Lb11/2	MZ646074	<i>Promicromonospora iranensis</i> (MN187291)	100.0	Actinobacteria	-
06-Lb11/2	MZ646075	<i>Arthrobacter sp.</i> (KY476520)	100.0	Actinobacteria	-
07-Lb11/2	MZ646076	<i>Arthrobacter agilis</i> (JN934384)	99.9	Actinobacteria	-
08-Lb11/2	MZ646077	<i>Rathayibacter caricis</i> (LN774722)	100.0	Actinobacteria	+
10-Lb11/2	MZ646078	<i>Staphylococcus hominis</i> (MT487620)	100.0	Firmicutes	-
11-Lb11/2	MZ646079	<i>Rathayibacter tritici</i> (KR085826)	99.8	Actinobacteria	+
12-Lb11/2	MZ646080	<i>Kocuria palustris</i> (MT534060)	100.0	Actinobacteria	-
13-Lb11/2	MZ646081	<i>Arthrobacter agilis</i> (KF924209)	99.9	Actinobacteria	-
14-Lb11/2	MZ646082	<i>Rhodococcus cercidyphylli</i> (KY056167)	100.0	Actinobacteria	+
15-Lb11/2	MZ646083	<i>Microbacterium sp.</i> (MN889292)	100.0	Actinobacteria	+
16-Lb11/2	MZ646084	<i>Bacillus aryabhatai</i> (MH041178)	100.0	Firmicutes	-
17-Lb11/2	MZ646085	<i>Massilia aurea</i> (LN880088)	99.8	Betaproteobacteria	+
18-Lb11/2	MZ646086	<i>Bacillus sp.</i> (MG470665)	100.0	Firmicutes	+
19-Lb11/2	MZ646087	<i>Microbacterium sp.</i> (KM187178)	99.8	Actinobacteria	-
20-Lb11/2	MZ646088	<i>Arthrobacter sp.</i> (KC019196)	99.9	Actinobacteria	+
21-Lb11/2	MZ646089	<i>Flexivirga alba</i> (NR_113034)	100.0	Actinobacteria	-
22-Lb11/2	MZ646090	<i>Rhodopseudomonas sp.</i> (KF974286)	99.9	Alphaproteobacteria	-
23-Lb11/2	MZ646091	<i>Rhodopseudomonas palustris</i> (CP000463)	99.5	Alphaproteobacteria	+
24-Lb11/2	MZ646092	<i>Bacillus sp.</i> (KF582892)	100.0	Firmicutes	-
26-Lb11/2	MZ646093	<i>Paenibacillus sp.</i> (MW578439)	97.0	Firmicutes	-
27-Lb11/2	MZ646094	<i>Paenibacillus sp.</i> (KX881397)	97.0	Firmicutes	+
28-Lb11/2	MZ646095	<i>Paenibacillus sp.</i> (MW578439)	98.4	Firmicutes	+
29-Lb11/2	MZ646096	<i>Paenibacillus sp.</i> (MW578439)	95.6	Firmicutes	+
30-Lb11/2	MZ646097	<i>Heminiimonas sp.</i> (GU932947)	98.9	Betaproteobacteria	-
31-Lb11/2	MZ646098	<i>Kocuria palustris</i> (LR215141)	100.0	Actinobacteria	-
32-Lb11/2	MZ646099	<i>Arthrobacter agilis</i> (KC019195)	99.9	Actinobacteria	-
33-Lb11/2	MZ646100	<i>Rhodococcus cercidyphylli</i> (KY056167)	100.0	Actinobacteria	-
35-Lb11/2	MZ646101	<i>Bacillus megaterium</i> (MK474949)	100.0	Firmicutes	-
36-Lb11/2	MZ646102	<i>Tardiphaga robiniae</i> (MW960262)	99.4	Alphaproteobacteria	-
37-Lb11/2	MZ646103	<i>Bacillus subtilis</i> (KU904288)	99.6	Firmicutes	+
38-Lb11/2	MZ646104	<i>Microbacterium sp.</i> (KM187178)	100.0	Actinobacteria	+
40-Lb11/2	MZ646105	<i>Tardiphaga robiniae</i> (KY319041)	99.4	Alphaproteobacteria	-
42-Lb11/2	MZ646106	<i>Rhodopseudomonas palustris</i> (KT873846)	98.6	Alphaproteobacteria	-



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

Здоровье общества, бесспорно, служит отражением и важнейшим интегральным показателем состояния окружающей среды. Согласно современным оценкам роль качества среды обитания в формировании здоровья людей может составлять от 20 до 50%. По оценкам специалистов ВОЗ, наибольшую угрозу для здоровья населения представляет загрязнение атмосферного воздуха. Особенно формируются очаги патологии населения в крупных городах и промышленных центрах. Не исключением является и Восточно-Сибирский регион, в частности гг. Иркутск, Шелехов, Ангарск.

В качестве индикатора атмосферного загрязнения нами был выбран снежный покров. Снег в процессе своего формирования сорбирует примеси из атмосферы и накапливает в своей толще как влажные выпадения, так и сухие пылевые выбросы от источников загрязнения атмосферы, и, как показывают исследования, содержание поллютантов в снежном покрове на 2-3 порядка выше, чем в воздухе. Используя методы многомерной статистики, проанализированы полученные в ходе реализации проекта данные химического состава снежного покрова и выделены группы антропогенных загрязнителей, способных влиять на заболеваемость населения в промышленных центрах Южного Прибайкалья (Рис.1-3). В результате было выделено 3 наиболее значимых фактора. Это позволило проследить причинно-следственные связи между химическим составом снежного покрова и заболеваемостью населения.

По результатам факторного анализа химического состава снежного покрова выявлены три фактора с разными наборами компонентов. В первый фактор с факторной нагрузкой от 1 – 0,75 определены элементы, увеличивающие вероятность развития некоторых групп заболеваний.

Выявлена зависимость между заболеваемостью населения городов и высокими концентрациями маркеров работы промышленных предприятий. Так, в г. Шелехов высокие уровни концентраций алюминия и фторидов

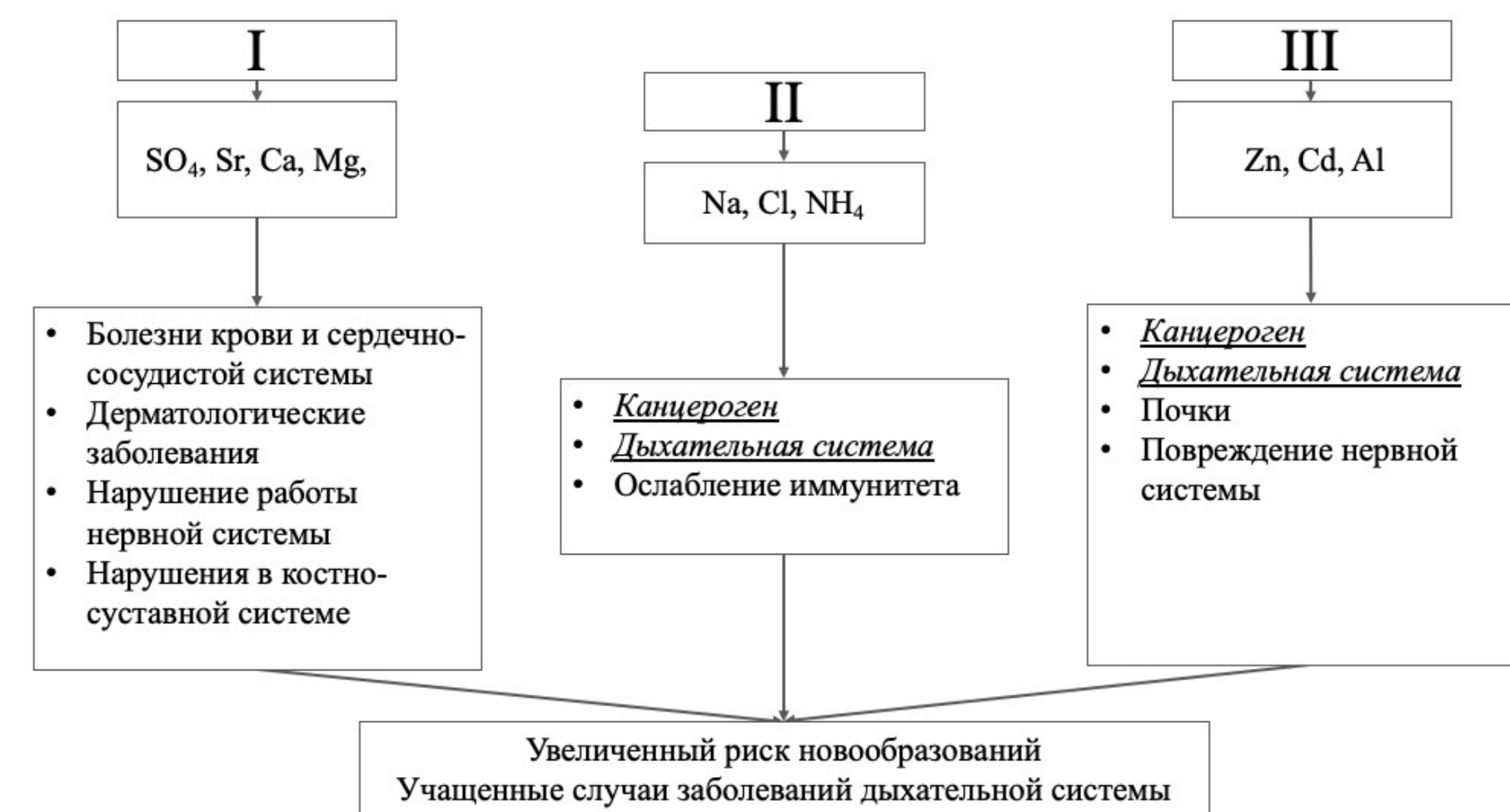


Рис.1. Элементы с коэффициентом факторной нагрузки более 0,5 и сопутствующие заболевания для факторов г. Иркутска



Рис.2. Элементы с коэффициентом факторной нагрузки более 0,5 и сопутствующие заболевания для факторов г. Ангарска

в атмосферном воздухе оказывают влияние на заболеваемость костной системы и подкожной клетчатки, количество заболевших от 1,3 до 3 раз выше, чем в гг. Ангарске и Иркутске. Высокие концентрации канцерогенных веществ, таких как кадмий, мышьяк и медь, определенных в снежном покрове Ангарска, оказывают влияние на стабильно высокий уровень заболеваемости населения онкологическими заболеваниями. В результате исследования подтверждено, что изменение концентрации фтора в снежном покрове г. Шелехов (- 15 %) повлекло за собой уменьшение числа кожных заболеваний (на 17 %).

Снижение концентрации алюминия с 5568 до 4462 мкг/дм³ (на 20 %) привело к снижению числа случаев нарушений органов дыхания (на 14 %) и расстройств нервной системы (на 35 %). Уменьшение концентраций SO₄, Mg, Ca, NO₃, Ni, F, Cu, Sr в атмосфере Иркутской агломерации способствовало сокращению числа выявленных заболеваний крови (на 14 %), кожи (на 25 %) и сердечно кровеносной системы (на 10 %).

За последнее десятилетие отмечена тенденция уменьшения выбросов от стационарных источников, что в свою очередь привело к уменьшению общего уровня загрязнения атмосферы в исследуемых городах и снижению заболеваемости населения.

Публикации:

Onishchuk N.A., Shikhovtsev M.Yu., Netsvetaeva O.G., Molozhnikova Ye.V. The total index of snow cover pollution in some industrial cities of the Southern Pribaikalye // Proceedings of SPIE.-2021. - V. 11916. - p. 1-5. DOI: [10.1117/12.2602012](https://doi.org/10.1117/12.2602012)

Shikhovtsev M.Yu., Onishchuk N.A., Netsvetaeva O.G., Molozhnikova Ye.V. Multivariate statistical analysis of the chemical composition of the snow in the industrial cities of the Southern Baikal region // Proceedings of SPIE.-2021. - V. 11916. - p. 1-8. DOI: [10.1117/12.2600456](https://doi.org/10.1117/12.2600456)

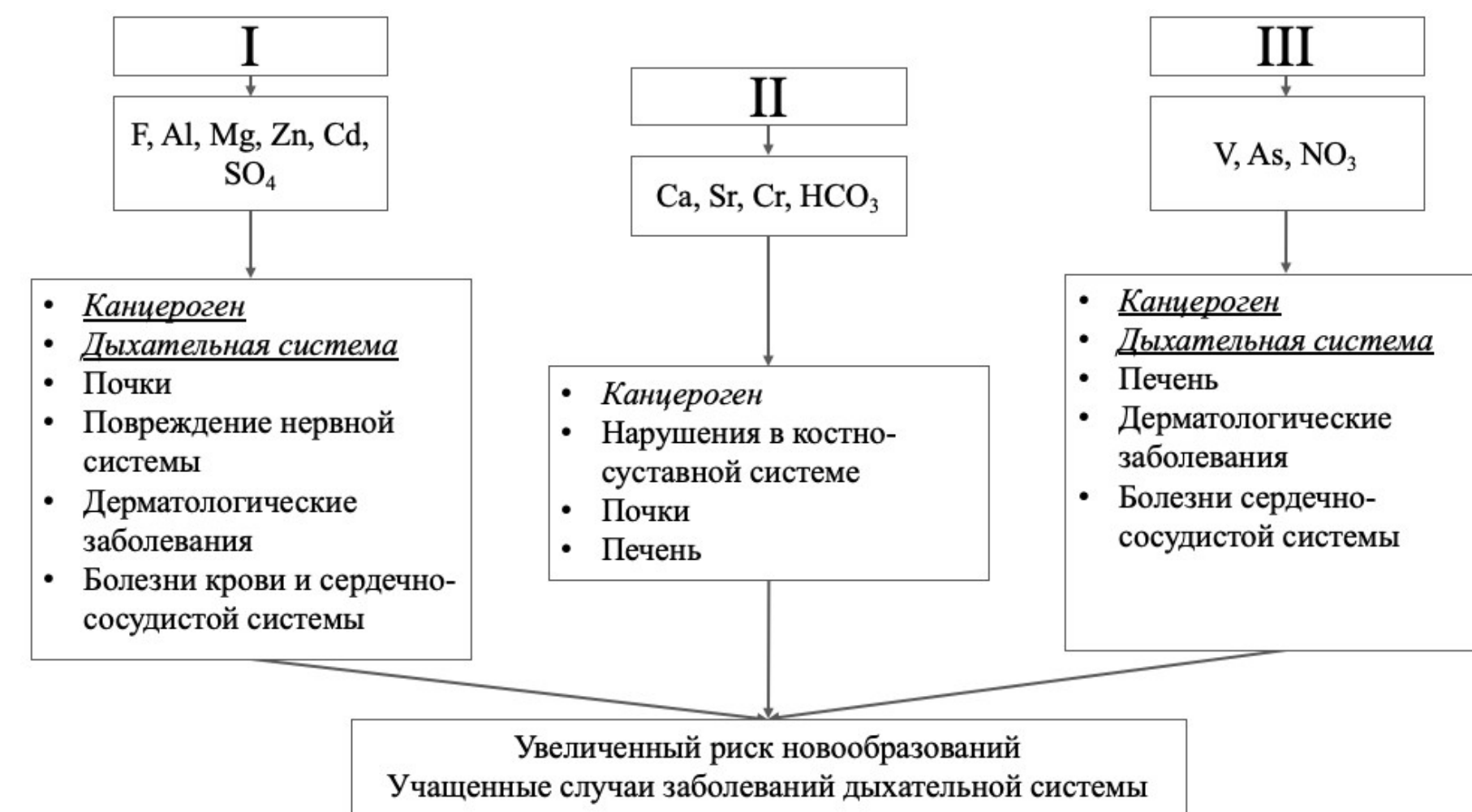


Рис. 3. Элементы с коэффициентом факторной нагрузки более 0,5 и сопутствующие заболевания для факторов г. Шелехов



РЕЖИМ И МЕТЕОРОЛОГИЯ ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ЛЕДНИКОВ КОДАРА И ВОСТОЧНОГО САЯНА В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОГО КЛИМАТА

Номер проекта РФФИ 19-05-00668
Руководитель: к.г.н. Э.Ю. Осипов

Для адекватного моделирования механизмов, связывающих климатические изменения с ледниками на разных этапах ледниковой эволюции, важно понимать процессы на границе ледниковой поверхности и атмосферы, что невозможно без использования прямых метеорологических и гляциологических данных, данных дистанционного зондирования и моделирования. Горные ледники хребта Кодар (Забайкалье) интенсивно наступали во время ледниковых максимумов, однако последние 160 лет находятся в стадии деградации, и велик риск их полного исчезновения в ближайшее столетие. Эти ледники имеют уникальное географическое положение (расположены внутри континента и на низких отметках), и их взаимодействие с различными компонентами климатической системы еще слабо изучено.

Впервые в Сибири были получены уникальные непрерывные ряды данных (десятки параметров) высокого (30 мин) разрешения о метеорологическом и радиационном режиме высокогорной ледниковой зоны (Рис.1). Работы проводились с помощью двух автоматических метеостанций, установленных в ледниковой зоне Сыгыктинского ледника (56,8° с.ш., 117,4° в.д., 2560 м, хребет Кодар). Статистический анализ данных выявил годовую, сезонную, межсуточную и суточную изменчивость, сходства и различия между метеорологическим режимом на леднике и низкогорной метеостанции Чара и в нижней тропосфере. Выполненные градиентные измерения позволили впервые количественно оценить турбулентные потоки явного и скрытого тепла в приледниковом слое воздуха в июле-августе (период абляции). С высоким разрешением были количественно оценены основные компоненты теплового баланса (ТБ) Сыгыктинского ледника в период абляции. Радиационный баланс (РБ) является основной составляющей ТБ (88–95%), за ним следуют явные (3–6%) и скрытые (2–5%) потоки турбулентного тепла. Коротковолновый баланс (КБ) является основным положительным компонентом РБ, в то время как длинноволновый баланс (ДБ) незначительный по величине и либо отрицательный (–15 Вт/м² в 2019 г. и –5 Вт/м² в 2021 г.), либо положительный (4 Вт/м² в 2020

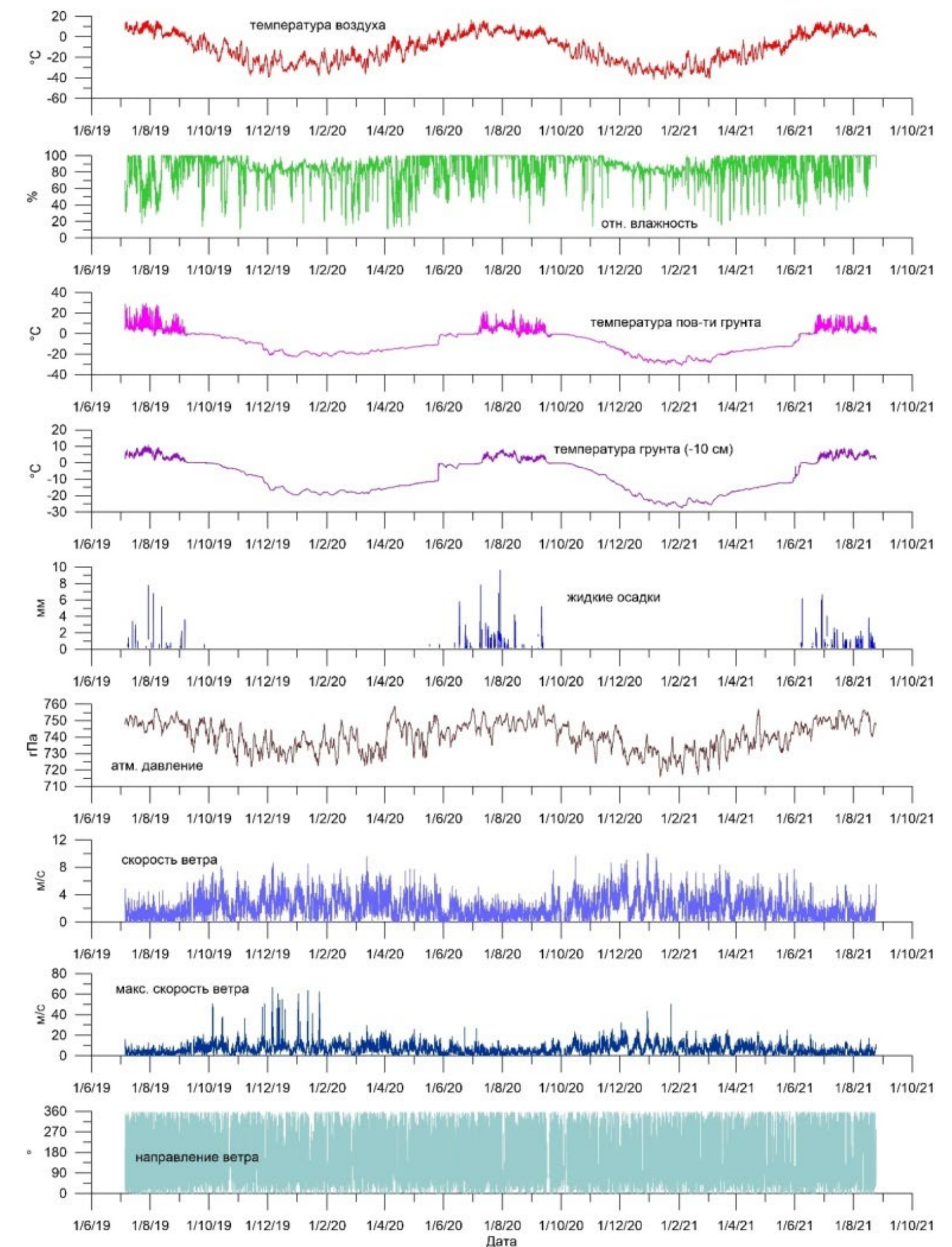


Рис.1. Метеорологические ряды высокого разрешения (30 мин), полученные в ледниковой зоне Сыгыктинского ледника.



г.), в зависимости от преобладающих погодных условий (главным образом облачности). Незначительный вклад турбулентных потоков в ТБ объясняется преобладанием стабильных (инверсионных) условий в приледниковом слое воздуха, а также низкими скоростями ветра в летний период (в среднем 1,2 м/с), что обусловлено особенностями атмосферной циркуляции в континентальной части Азии. При тестировании модели теплового баланса было установлено, что абляция ледника наиболее чувствительна к изменениям коротковолновой радиации и скорости ветра, что свидетельствует о необходимости учитывать атмосферные условия периода абляции (летние снегопады, облачность, скорость ветра) при анализе долгосрочных ледниковых изменений.

Было проведено моделирование суточной абляции Сыгыктинского ледника с помощью линейных регрессионных зависимостей от метеопараметров, оценена точность этих моделей. В качестве зависимых переменных были использованы: температура (Т) и относительная влажность

воздуха (RH), проходящая коротковолновая радиация (S_{in}) и температура поверхности грунта (T_{gr0}). В целом регрессионные модели объясняют от 78% (T_{gr0}) до 90% (Т) межсуточной изменчивости таяния ледника в период абляции, немного недооценивают среднюю скорость таяния (средние величины от 24 до 27 мм в.э./сутки) и хорошо воспроизводят ее межсуточные колебания. Согласно разным моделям, суммарное таяние в июле было в 1,2–1,8 раз выше, чем в августе.

Публикации:

Осипов Э.Ю., Осипова О.П., Василенко О.В. Метеорологический режим Сыгыктинского ледника (хребет Кодар) в период абляции // Лёд и снег. – 2021. – Т. 61. – №2. – С. 179–194. DOI: [10.31857/S2076673421020079](https://doi.org/10.31857/S2076673421020079)

Osipov E.Y., Osipova O.P. Surface energy balance of the Sygktsky Glacier, south Eastern Siberia, during the ablation period and its sensitivity to meteorological fluctuations // Scientific Reports. – 2021. – Vol. 11. – P. 21260. DOI: [10.1038/s41598-021-00749-x](https://doi.org/10.1038/s41598-021-00749-x)



COREGONUS PIDSCHIAN В МОНГОЛИИ (COREGONIDAE): КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ИСТОРИИ, БИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ

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

Проблема происхождения и полиморфизма таксона сиг-пыжьян *Coregonus pidschian* (Gmelin, 1789) и его принадлежности или самостоятельности от таксона обыкновенный сиг *C. lavaretus* (Рис.1) (Linnaeus, 1758) и, в свою очередь, степени родства обоих с другими представителями группы сигов с нижним ртом, так называемыми «истинными» сигами, - одна из самых сложных и до сих пор не разрешенных проблем в исследованиях сиговой фауны рода *Coregonus*. Проблема уходит корнями в особенности и механизмы эволюции сиговых рыб.

Фактически, из аборигенных форм сиговых на территории Монголии обитают в основном представители именно *C. pidschian*. Исключение составляют сиги бассейна р. Амур. Соответственно, основное внимание в проекте уделяется детальным исследованиям биологических особенностей и родственных связей монгольских форм сига-пыжьяна по отношению к остальным представителям как данного таксона, так и группы «истинных» сигов, обитающих на соседствующих территориях в Обском, Енисейском и Амурском бассейнах и Евразии, в целом.

Исходя из обозначенного выше, проект предполагает сбор репрезентативного материала с максимальным охватом ареала на монгольской и близлежащих территориях. Это, в первую очередь, бассейн Енисея с акцентом на верховья (Дархадская котловина) и его Ангара-Байкальскую часть (р. Ангара и крупные притоки оз.Байкал).

В первый год выполнения проекта, несмотря на сложности с организацией экспедиций в период неблагоприятной эпидемической ситуации и гидрологической обстановки, благодаря совместным усилиям российской и монгольской сторон, накопленному опыту работы с сиговыми рыбами и организации экспедиционных работ на труднодоступных территориях, а также информированности монгольских коллег о потенциальных перспективных точках сбора объектов исследования, в беспрецедентно корот-

кие сроки в период нерестовых миграций собран уникальный материал в труднодоступных районах крайних точек ареала обитания *C. pidschian*. На монгольской территории это озера Дархатской котловины и р. Урр - приток р. Селенга. Реки Иркут (Тункинская долина, приток р.Ангара) и Чикой (правый приток р.Селенга), расположенные в непосредственной близости с Российско-Монгольской границей. А также самые верховья рек Верхняя Ангара и Баргузин (бассейн оз. Байкал).

Исходя из полученных предварительных филогенетических реконструкций, выполненных на основе нуклеотидной последовательности гена цитохрома b мтДНК части особей, собранных в первый год выполнения проекта (Рис.2), уже можно с большой долей вероятности утверждать, что опровергнута одна из гипотез о Дархатской котловине как о рефугиуме, давшем начало быстрорастущей форме речного сига Енисейского бассейна - сигу Исаченко, интересному для аквакультуры и, в то же время, находящемуся под жестким антропогенным прессом по всему ареалу обитания.



Рис.1. Масштабированное фото речного сига *Coregonus lavaretus pidschian natio fluviatilis* Issatschenko, 1925, отловленного в р. Иркут (Тункинская долина).

Увеличение длины анализируемого фрагмента ДНК за счет уже полученных нуклеотидных последовательностей белок-кодирующих генов ND1 и ND3 поможет определить местонахождение искомого рефугиума на территории Алтай-Саянской горной страны и Байкальской Рифтовой зоны. В случае сложности идентификации искомого рефугиума, будут проанализированы полные последовательности митохондриальных геномов отдельных представителей из собранной коллекции. Вместе с тем, уже очевиден факт сосуществования в озерах Дархатской котловины двух дивергентных групп гаплотипов мтДНК (Рис.2). Каково их происхождение выяснится при детальном анализе положения на филогенетическом древе и сопоставлении меристических и пластических признаков (морфология). Для морфологического анализа используется создаваемая участниками проекта большая коллекция полученных ранее и отснятых в ходе экспедиций масштабированных фотографий рыб (Рис.1).

Впервые для исследуемых в проекте форм сиговых рыб создается криобанк с коллекцией тканей и половых клеток (сперма, молоки, оогонии, сперматогонии), которые могут быть использованы и по завершении данного проекта для всестороннего молекулярно-биологического анализа с помощью современных -омик (геномика, транскриптомика, протеомика и т.п.), сохранения популяций, находящихся под угрозой исчезновения, для создания перспективных аквакультур.

Род *Coregonus*
COREGONIDAE
Cytb мтДНК

NJ древо,
программа
MEGA7

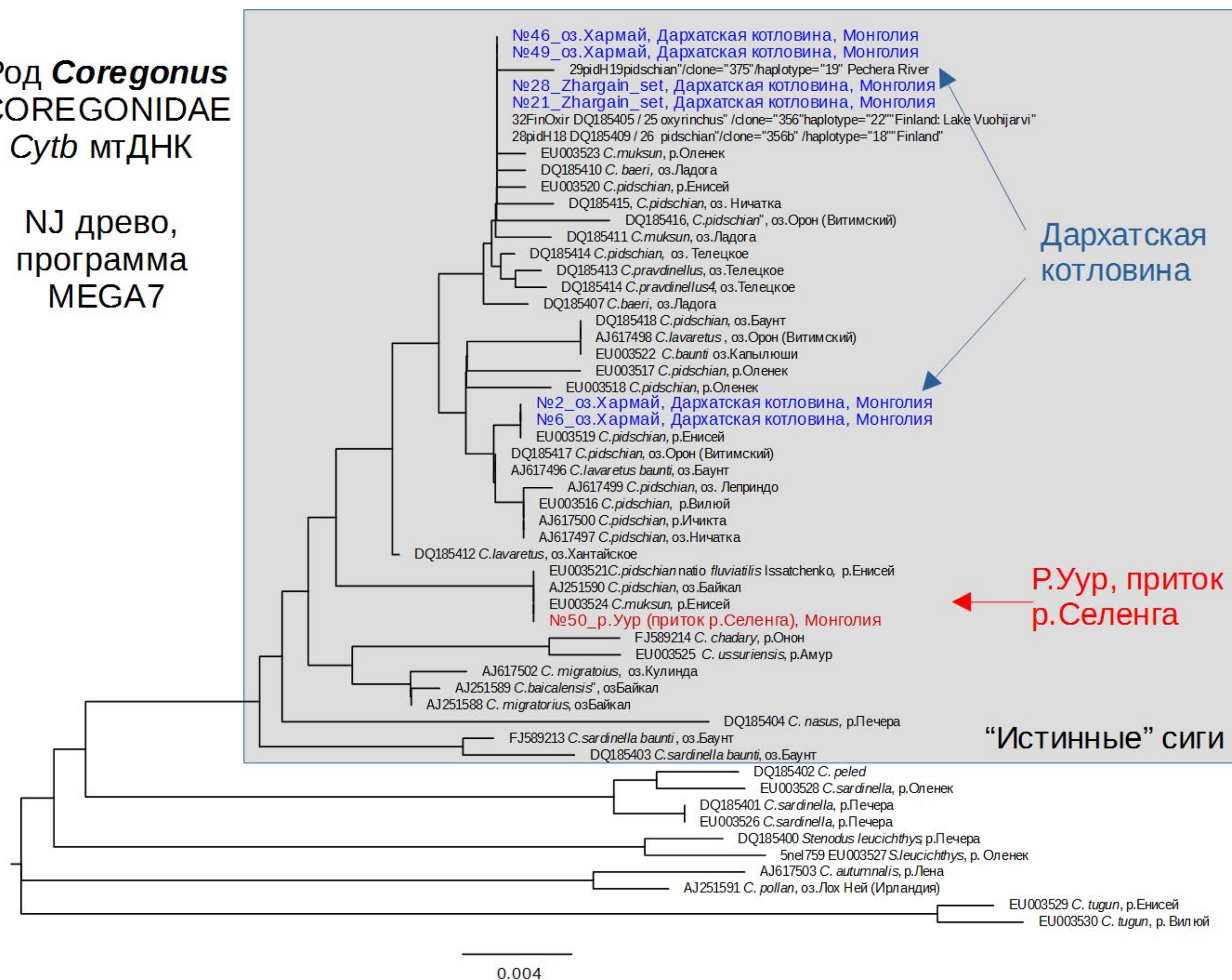


Рис.2. Древо филогенетических взаимоотношений сиговых рыб (род *Coregonus*), построенное методом объединения ближайших соседей (Neighbor Joining) в программе MEGA 7.0 на основе полиморфизма нуклеотидных последовательностей гена *cytb* мтДНК. Серым полем выделена группа «истинных» сигов, обитающих на территории Евразии (последовательности загружены из базы данных NCBI: <https://ncbi.nlm.nih.gov/>). Красным и синим цветом обозначены анализируемые особи *C. pidschian* из водоемов Монголии.



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

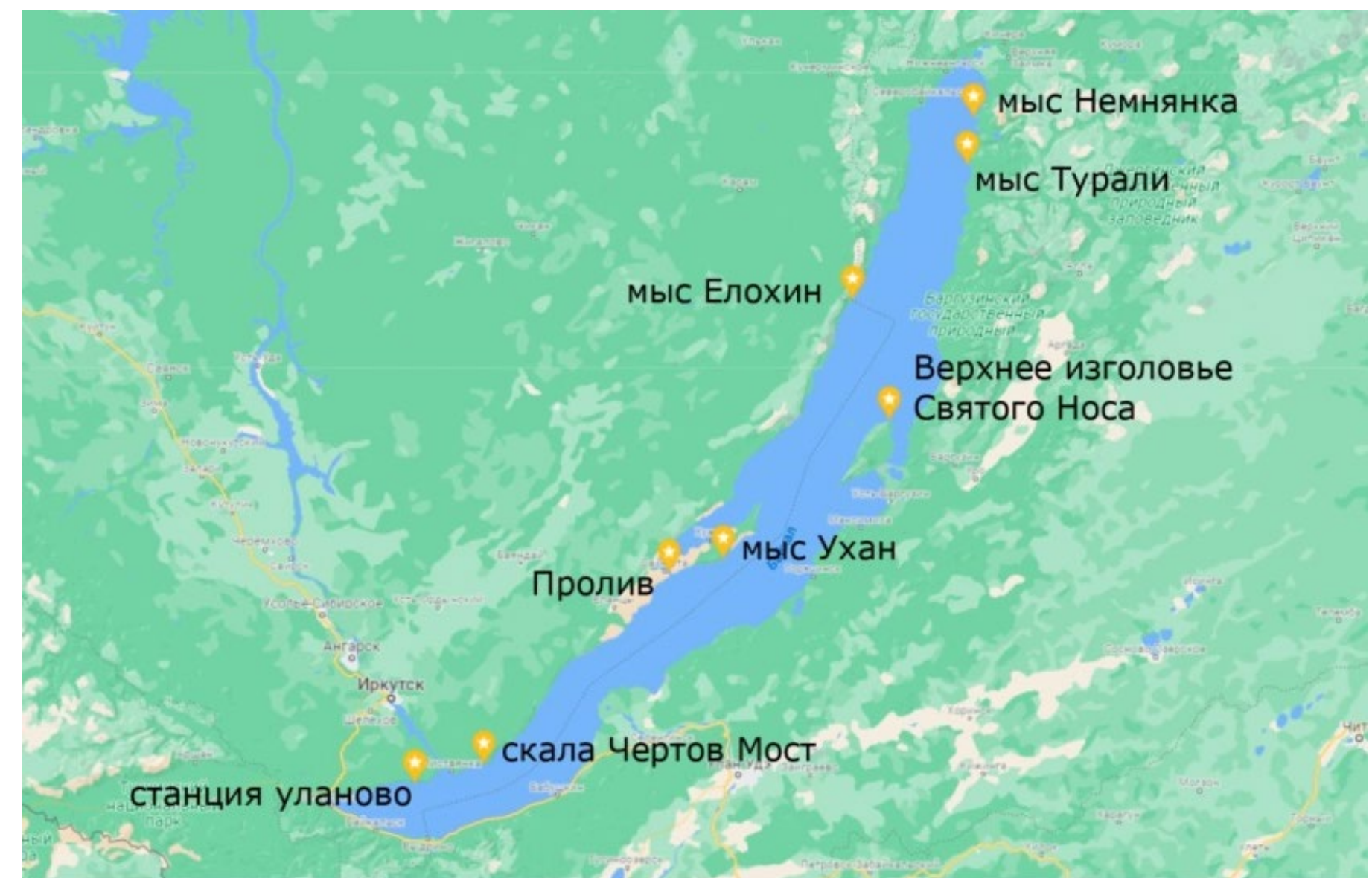
В ходе работы над проектом были проанализированы опубликованные ранее полногеномные последовательности эндемичной байкальской губки *Lubomirskia baikalensis* и космополитной губки *Ephydatia muelleri*. По результатам анализа в геноме *L. baikalensis* было выявлено 75109 микросателлитных локусов. Совершенные микросателлиты с длиной повтора от 2 до 5 и количеством повторов от 9 до 17 были отфильтрованы для последующего анализа в количестве 6900. Отфильтрованные микросателлитные локусы были выравнены на геном *E. muelleri* для поиска совпадающих микросателлитных последовательностей в геномах обоих видов. Был выявлен 251 локус, имеющий длину выравнивания не менее 300 пар нуклеотидов. Для наиболее перспективных локусов были разработаны пары праймеров и проведено тестирование в лаборатории.

В результате были впервые разработаны два набора видоспецифичных микросателлитных маркеров, содержащих 10 локусов для эндемичной байкальской губки *L. baikalensis* и 10 локусов для космополитной губки *E. muelleri* (Таблица). Оба набора были успешно опробованы на образцах, собранных в оз. Байкал, и могут с успехом применяться для проведения популяционно-генетического анализа.

Для вида *L. baikalensis* был проведен анализ популяционно-генетической структуры. В анализ был взят 251 образец из 8 районов оз. Байкал (Рис.1). В каждом районе было отобрано не менее 30 образцов. По результатам анализа локусы оказались переменными. Количество аллелей на локус варьировало от 5 (*Lba_em76*) до 20 (*Lba17*) среди всех точек отбора проб. Были получены данные по числу аллелей, числу эффективных аллелей, информационные индексы Шеннона, наблюдаемая гетерозиготность, ожидаемая гетерозиготность, объективная ожидаемая гетерозиготность и F индекс фиксации, а также данные по отклонению от равновесия Харди-Вайнберга. По результатам анализа не было выявлено эффекта прохождения через бутылочное горлышко ни для одной из популяций.

Таблица. Микросателлитные локусы для *Ephydatia muelleri*

п	Локус	Тип повтора	Прямой праймер	Обратный праймер	Tm
4	Lba_em_75	(TG)13	CATCCAATTGCACGATCTCGAG	AACCAAGCATGGAGTGGTGAC	60
4	Lba_em_241	(CT)14	GCTCACTACTCCAACCCGAC	CAAAGCATGGCGTGTGTGT	60
4	Lba_em_249	(CA)21	CATCTCTGGTGAAGTACACAGGTG	CAGAGTGCTCCAGCTGCT	60
4	Lba_em_118	(AC)9	GACTTGGACTAAAGTACACAGCAG	TCACAGCCTTGATCCTCTTCTC	60
4	Lba_em_257	(CA)23	GAGTCCGTCCTCCTGTTCAC	TGCCAGCAGAGGATATAGCATTC	60
4	Lba_em_187	(AC)18	AGCACAGCATAGCAACGATTG	ATGTGGACTTCAGGCACCTG	60
4	Lba_em_200	(CA)9	AGGACTTGGCAGTACATTGAGAG	CTCCAATCAGGATAACCACACCTAC	60
4	Lba_em_291	(TG)9	ACGTACCTCAAACCCGTAGTAC	CCCGGCTGTCTGTAAGTCAT	60
4	Lba_em_217	(AC)9	GTGTCATGGAAGACCAATGAGC	CCTTCAGGCAGGACATCAATACT	60
4	Lba_em_124	(GTG)7	ACTGCCACTCAGGCTCAAG	TTATCCTCAGCGAGAACGTAGTC	60



Картографические данные © Google, 2021 50 км

Рис.1. Карта отбора проб

На основании кластерного анализа было выявлено наличие трех кластеров, географически приуроченных к котловинам оз. Байкал, в которых были отобраны образцы. Между всеми районами отбора проб было выявлено наличие достоверной генетической дифференциации (Рис.2). Минимальное географическое расстояние между популяциями, имеющими значение F_{st} больше 0.2 и выделенными Structure в разные кластеры, составило 78 км (мыс Елохин – Верхнее изголовье Святого Носа), что значительно отличается от данных по морским губкам, где на расстоянии 100 километров не было выявлено четкой дифференциации между группами особей, хотя и наблюдались некоторые отличия. Для морских губок значения F_{st} более 0.2 между группами особей наблюдались при отборе проб на расстоянии от 1000 км. Данные различия могут объясняться разницей в поведении личинок морских и пресноводных губок, мощными постоянными океаническими течениями, позволяющими личинкам перемещаться на большие расстояния. Результаты, полученные в ходе работы по проекту, позволили впервые оценить географическую подразделенность байкальских эндемичных губок, что является важным в контексте изучения пресноводной спонгиофауны.

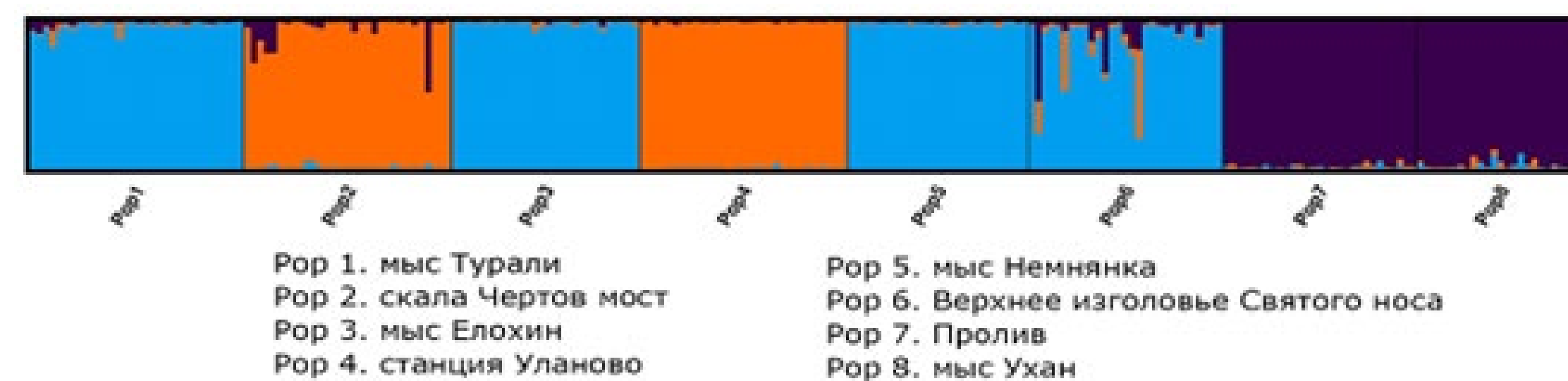


Рис.2. Популяционная структура

Публикации:

Yakhnenko A.S., Itskovich V.B. Prospects for population genetic studies of cosmopolitan freshwater sponges of the Spongillidae family in Lake Baikal // *Limnology and Freshwater Biology*.-2021. - №6. - p. 1199-1204. DOI: [10.31951/2658-3518-2021-A-6-1199](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2021-A-6-1199)



СРАВНИТЕЛЬНАЯ ГЕНОМИКА ПРЕСНОВОДНЫХ ГУБОК (PORIFERA; SPONGILLIDA)

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

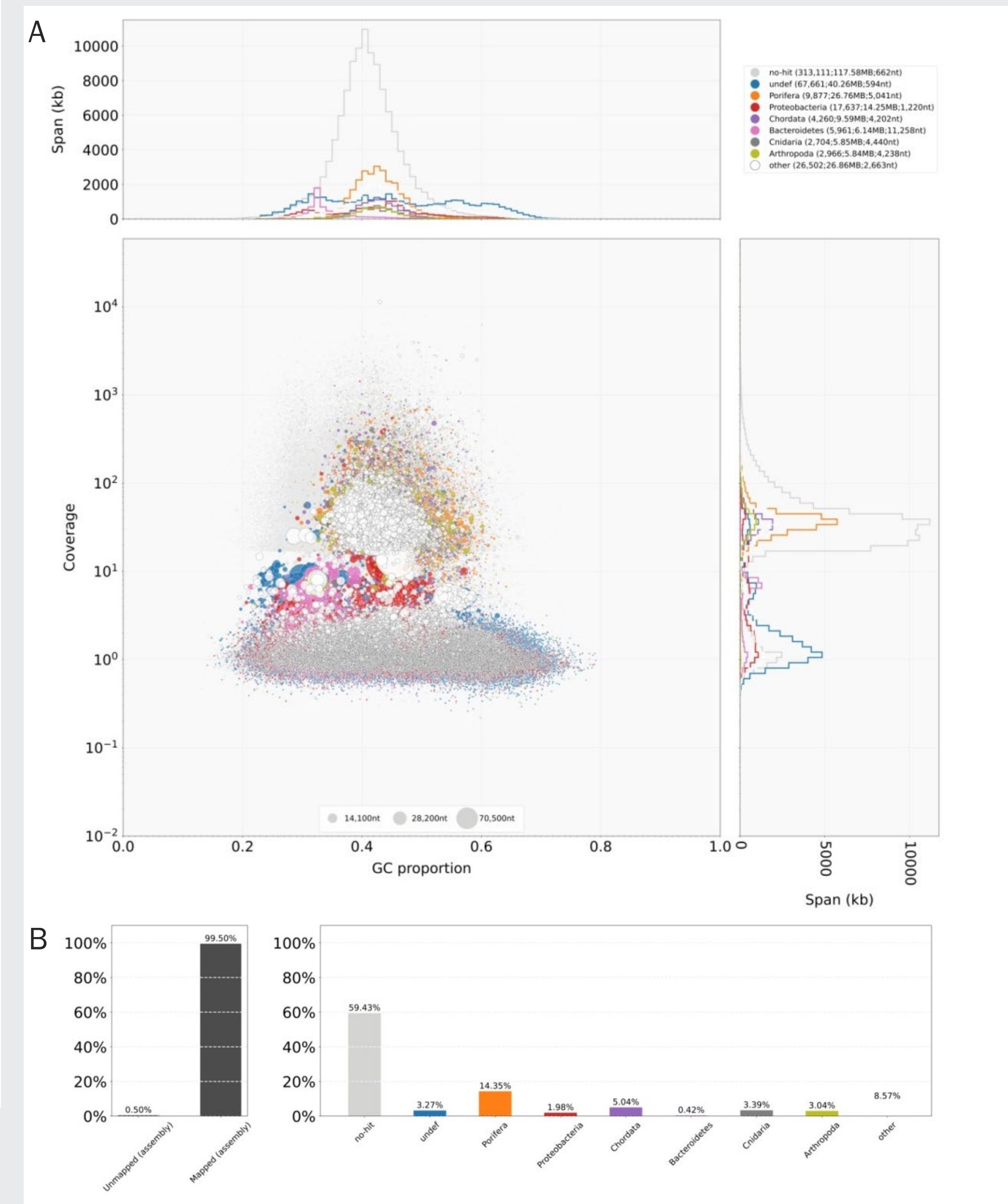
Впервые проведен анализ полного генома каспийской эндемичной губки *Meschnikovia tuberculata*. Сборка митохондриального генома *M. tuberculata* показала типичный для пресноводных губок мт геном размером 25517 пар оснований с точно таким же порядком генов, как у представителей рода *Ephydatia*. Определен размер генома *M. tuberculata*, который составил около 166 миллионов пар оснований (Рис.1). Сравнительный анализ показал, что геном каспийской губки является небольшим по размеру по сравнению с геномами других пресноводных губок (Рис.1). Таким образом, из трех проанализированных нами на сегодня геномов (*M. tuberculata*, *Lubomirskia baikalensis*, *Stratospongilla* sp.) и одного имеющегося в генбанке (*E. muelleri*) необычно большой размер генома выявлен только у байкальской губки *L. baikalensis*. Полученные данные представляют большую ценность для дальнейших исследований, поскольку являются первыми для пресноводных губок, для которых на сегодня опубликовано всего два полных генома. Отсеквенирован полный геном обитающей в солоноватых водах губки *Rosulaspongilla alba*. В ходе первого года работы эти губки были отнесены нами к новому роду *Rosulaspongilla* gen. nov. Анализ данного генома представляет также большой интерес с точки зрения адаптации к повышенной солености.

Публикации:

Sokolova A. M., Palatov D. M., Masuda Y., Itskovich V. B. Investigation of the spongillid *Spongilla alba* Carter, 1849 reveals a new group of brackish water sponges. *Systematics and Biodiversity // Systematics and Biodiversity*. – 2021. – V.19 (8). – P. 976-992. DOI: [10.1080/14772000.2021.1958948](https://doi.org/10.1080/14772000.2021.1958948)

Kenny N.J. & Itskovich V.B. Phylogenomic inference of the interrelationships of Lake Baikal sponges // *Systematics and Biodiversity*. – 2021. – V. 19. – NO. 2. – P. 209-217. DOI: [10.1080/14772000.2020.1827077](https://doi.org/10.1080/14772000.2020.1827077)

Рис.1. Идентичность последовательностей в геноме *M. tuberculata*. А) Распределение контигов по содержанию GC и охвату согласно оценке Blobplots. Б) Распределение контигов по доменам, оцененное с помощью blast по базе данных нуклеотидных последовательностей.





ГЕНОМНЫЕ И МЕТАГЕНОМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕСНОВОДНЫХ ГУБОК (PORIFERA, SPONGILLIDA) В ДВУХ ГОРЯЧИХ ТОЧКАХ ВИДООБРАЗОВАНИЯ: БАЙКАЛ (РОССИЯ) И ЗАПАДНЫЕ ГАТЫ (ИНДИЯ)

Номер проекта РФФИ 19-54-45034
Руководитель: к.б.н. В.Б. Ицкович

В ходе проекта были впервые получены молекулярные данные для пресноводной губки рода *Stratospongilla* из Индии. На филогенетическом древе рода *Stratospongilla* и *Radiospongilla* образуют одну кладу, что не согласуется с представлениями, основанными на морфологических данных. Морфологический анализ собранных образцов с помощью SEM даёт основания предполагать полифилетичность рода *Stratospongilla* ввиду наличия двух групп образцов (Рис.1). Молекулярные данные показывают необходимость пересмотра существующей таксономии всего отряда Spongillida в целом и вышеупомянутых родов в частности. Молекулярный анализ *E. fluviatilis* и *S. lacustris* из разных географических мест, в том числе Индии, подтвердил монофилию и истинный космополитизм этих видов, а также адекватность использования ITS спейсеров рДНК для видовой идентификации Spongillidae.

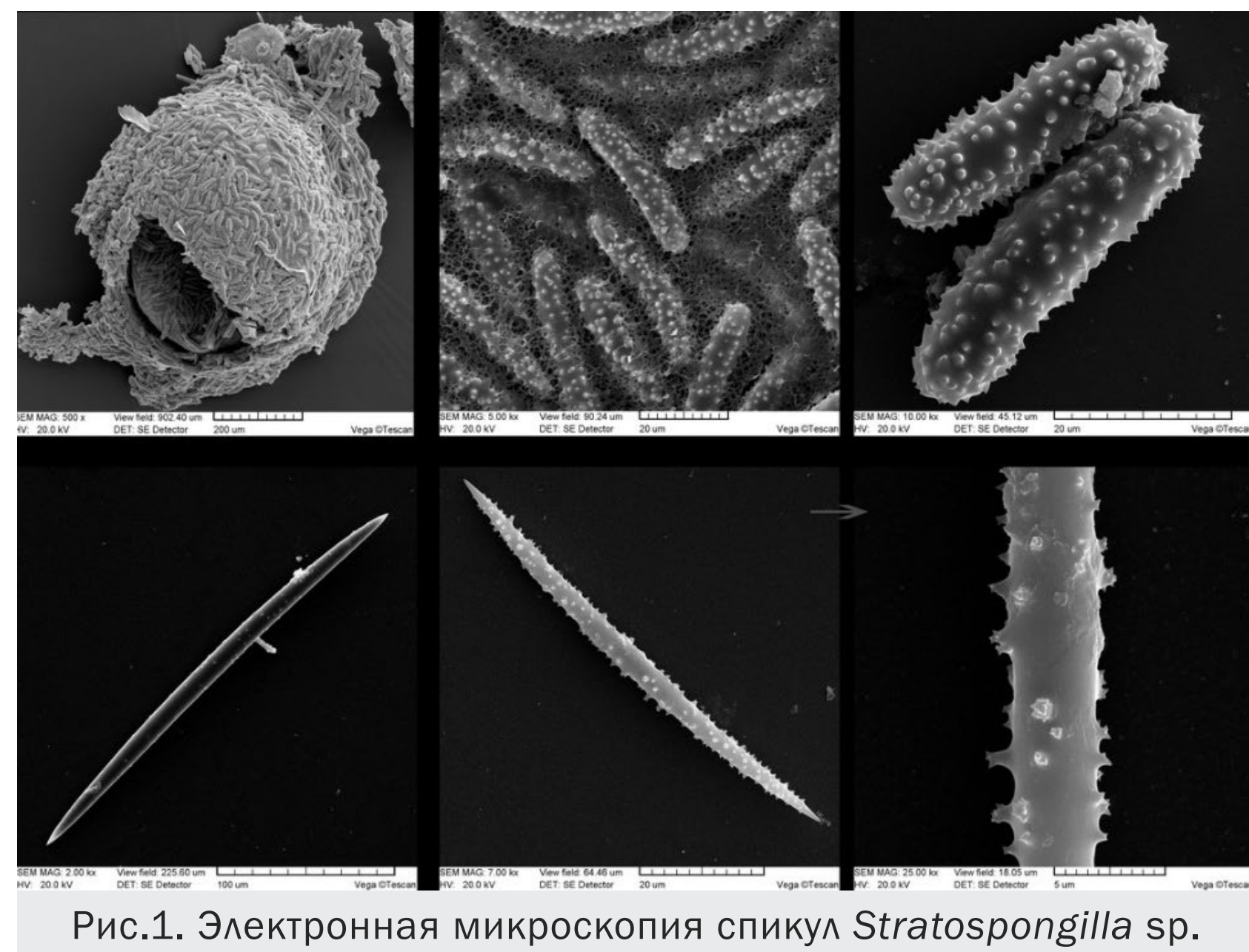


Рис.1. Электронная микроскопия спикул *Stratospongilla* sp.

Публикации:

Itskovich V., Kaluzhnaya O., Glyzina O., Prathiviraj R., Seghal Kiran G., Selvin J. *Microbiome changes of endemic Lake Baikal sponges during bleaching syndrome development // Diversity. – 2021. – V. 13 – P. 653. DOI: 10.3390/d13120653*

Впервые получены нуклеотидные последовательности полного генома индийской эндемичной губки *Stratospongilla* sp. Проведена сборка и анализ генома, определен размер генома, который составил около 150 миллионов пар оснований (Рис.2). Сравнительный анализ показал, что геном индийской губки *Stratospongilla* sp. является небольшим по размеру по сравнению с геномами других пресноводных губок.

Таким образом, мы проанализировали размеры геномов у пресноводных губок из двух горячих точек биоразнообразия (Западные Гаты и Байкал) и выявили, что значительно больший размер генома за счет некодирующей части имеется только у байкальской губки *Lubomirskia baikalensis*. Вероятно, эволюция губок в Западных Гатах на геномном уровне происходит по другой схеме, несмотря на то, что обе горячие точки отличаются большим видовым разнообразием. Полученные данные представляют большую ценность для дальнейших исследований, поскольку являются первыми для пресноводных губок, для которых на сегодня опубликовано всего два полных генома.

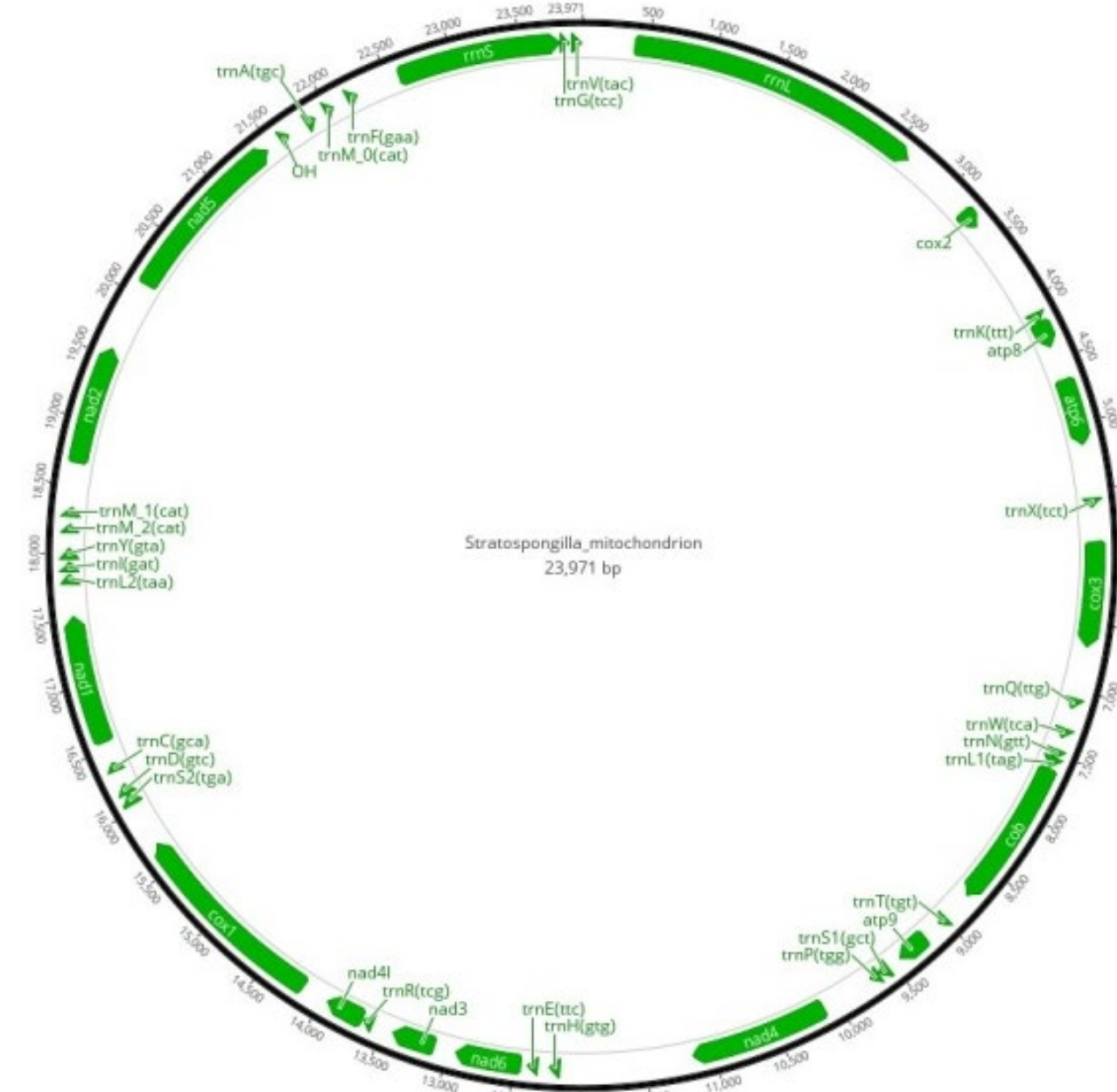


Рис.2. Результаты сборки мт генома *Stratospongilla* sp.



СТРУКТУРА И ЭВОЛЮЦИЯ МИТОХОНДРИАЛЬНОГО ГЕНОМА РЕЛИКТОВЫХ ПИЯВОК ПАЛЕАРКТИКИ

Номер проекта РФФИ 19-34-90011
Руководитель: к.б.н. И.А. Кайгородова

Получение данных о структуре митохондриальных геномов реликтовых пиявкоподобных паразитов (*Acanthobdellida*) позволило уточнить их эволюционное положение как сестринской группы истинных пиявок (*Euhirudinea*). Топология филогенетического древа, полученного на основе полных митохондриальных геномов, стабильна и практически независима от начальных параметров анализа, в отличие от деревьев на основе коротких фрагментов генов. Помимо этого, в структуре митогенома реликтового вида *Acanthobdella peledina* обнаружены уникальные участки тандемных повторов фрагментов генов *atp6* и *trnH*, отсутствующие во всех опубликованных на сегодняшний день митогеномах поясковых кольцецов (*Clitellata*). Впервые отмечено, что, несмотря на крайне консервативный набор функциональных митохондриальных генов у поясковых кольцецов, порядок их расположения имеет таксон-специфический паттерн на уровне семейств.

Изучение эволюции митохондриального генома многоклеточных животных позволяет с высокой уверенностью интерпретировать полученные результаты как истинную эволюционную историю организма в связи с консервативностью, гаплоидным характером наследования и ограниченной рекомбинацией митохондриального генома.

Реликтовые пиявкоподобные паразиты отряда *Acanthobdellida* вызывают научный интерес на протяжении столетия ввиду их предполагаемого промежуточного эволюционного положения между малощетинковыми червями (*Oligochaeta*) и пиявками (*Hirudinea*). Вопрос точного эволюционного положения и классификации организмов данной группы оказалось невозможно разрешить с использованием одних морфологических признаков, в том числе из-за неоднозначности их интерпретации. Недостаточность сведений о структуре генома акантобделлид, несовершен-

ство методик филогенетического анализа, а также «загрязнение» данных в ранних работах привели к неоднозначным оценкам эволюционного положения акантобделлид, при которых различались даже схемы, публикуемые одними и теми же авторами в разные годы.

Методом секвенирования нового поколения были впервые получены полногеномные прочтения 6 образцов *Acanthobdella peledina* из географически разобщённых районов, 2 образцов *Paracanthobdella livalowi* и 4 образцов байкальских эндемичных пиявок: *Baicaloclepsis echinulata*, *Baicaloclepsis grubei* и *Codonobdella sp.* На их основе реконструированы 12 митохондриальных последовательностей. Дополнительно были реконструированы 7 митохондриальных геномов с использованием данных из публичных источников. Установлено, что порядок генов в митохондриальном геноме имеет значение для таксономии. Реконструкция филогении по данным последовательностям показала совпадение топологии древа с современной систематикой кольчатых червей (Рис.1). Из исходного набора данных были вычленены фрагменты маркерных генов *COI* и *12S*, для которых тоже реконструированы филогенетические деревья. Результат показал снижение стабильности топологии деревьев и статистических показателей этих деревьев с уменьшением длины последовательности.

Несмотря на высокое сходство филогенетических деревьев на основе полных митохондриальных геномов с представлениями об эволюции поясковых кольцецов, применение к ним алгоритма разграничения видов GMYC показало чрезмерное дробление организмов на предполагаемые виды. Наибольшее сходство предполагаемых видов с использованными в работе морфотипами достигается при применении GMYC к деревьям на основе гена *cox1*.

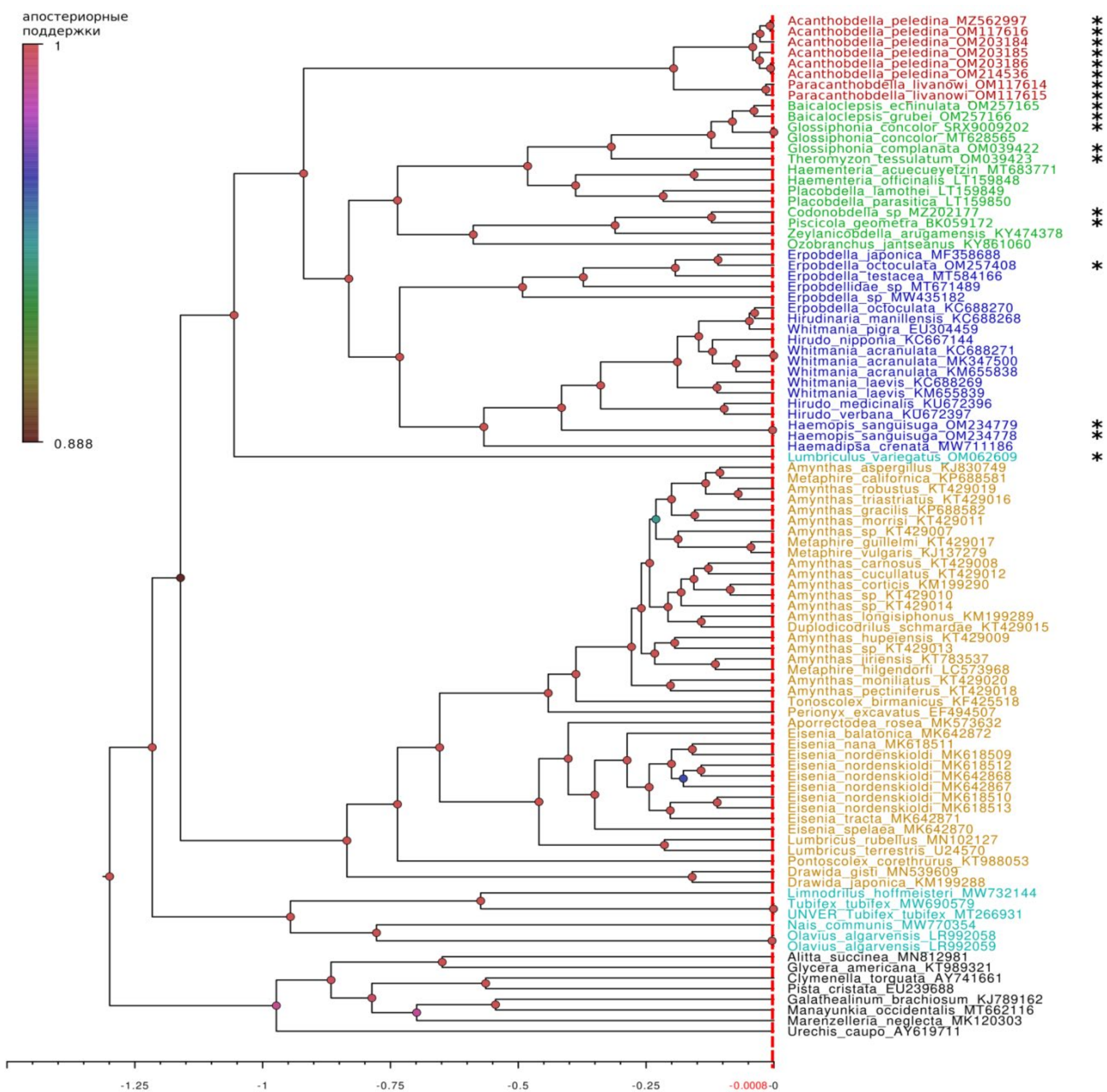


Рис.1. Байесовское древо на основе полных митогеномов. Красной линией отмечен порог внутривидовой вариабельности по GMYC. Ярлыки образцов на древе окрашены в соответствии с таксономической или экологической принадлежностью: красный – отряд Acanthobdellida, зелёный – отряд Rhynchobdellida, синий – отряд Arhynchobdellida, голубой – водные олигохеты, коричневый – почвенные олигохеты, чёрный – класс Polychaeta. Звёздочками (*) отмечены образцы, митохондриальные геномы которых были собраны в данной работе.

Публикации:

Bolbat A., Vasiliev G., Kaygorodova I. The first mitochondrial genome of the relic *Acanthobdella peledina* (Annelida, Acanthobdellida). // *Mitochondrial DNA Part B: Resources*. – 2020. – V. 5. – P. 3300-3301. DOI: [10.1080/23802359.2020.1814173](https://doi.org/10.1080/23802359.2020.1814173)

Bolbat A., Matveenko E., Dzyuba E., Kaygorodova I. The first mitochondrial genome of *Codonobdella* sp. (Hirudinea, Piscicolidae), a new endemic leech species from Lake Baikal, Russia and reassembly of the *Piscicola geometra* data from SRA. // *Mitochondrial DNA Part B: Resources*. – 2021. – V. 6. – P. 3112-3113. DOI: [10.1080/23802359.2021.1967807](https://doi.org/10.1080/23802359.2021.1967807)



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

В работе использовалась коллекция пиявок из оз. Байкал. Видовая принадлежность пиявок и хозяев (амфипод и рыб) определена согласно существующим систематическим ключам, а также отдельным описаниям видов. Техника ДНК-штрихкодирования, основанная на достоверных различиях в частотах распределения внутривидовых и межвидовых вариаций фрагмента гена COI (658 п.н.), использована для молекулярной делимитации видов. Биоинформационный анализ выполнен с использованием пакетов компьютерных программ BioEdit, BLAST и MEGA X.

Анализ биометрических, морфологических и анатомических признаков 90 особей рыбьих пиявок из оз. Байкал выявил два вида *B. torquata* и *B. cottidarum*, для которых в ходе молекулярного анализа было получено соответственно 45 и 45 нуклеотидных последовательностей баркодингового фрагмента их геномов. В качестве группы сравнения отобраны более 100 гомологичных последовательностей родственных видов из международного банка генетических данных (GenBank), сходство которых с исследуемыми образцами превышало 85%. На Рис. 1 представлено максимально правдоподобное древо (ML), которое визуализирует положение представителей рода *Baicalobdella* в системе рыбьих пиявок (Hirudinea: Piscicolidae). На древе морфологически однородные представители вида *B. torquata*, формируют две клады: «*B. torquata* I» и «*B. torquata* II», генетическое расстояние (p-distance) между которыми составляет $0,089 \pm 0,010$, что значительно выше принятого в ДНК-штрихкодировании порогового значения внутривидовой вариабельности. Генетический полиморфизм каждой из филогенетических линий *B. torquata* находится в пределах 0,0103 и 0,0174 соответственно, что вполне согласуется с теорией. Выявленный уровень генетических отличий позволяет допустить существование двух отдельных видов в пределах морфотипа, соответствующего в настоящее время диагнозу вида *Baicalobdella torquata*. Дополнительно анализ географического распределения образцов выявил четкую филогеографическую приуроченность. Все образцы пиявок, образующих на

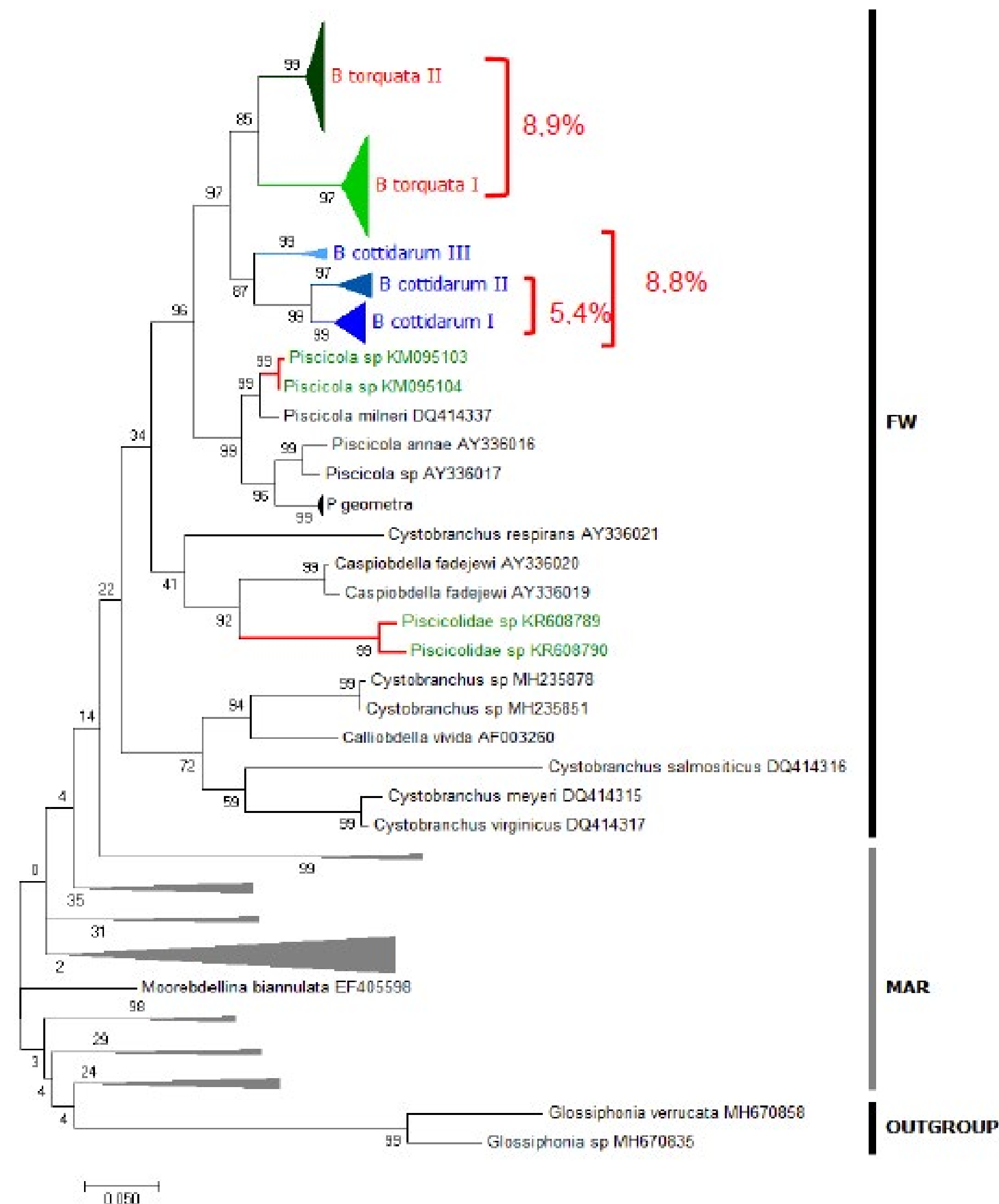


Рис. 1. Молекулярная делимитация видов: ML-TREE

Биологические науки

ML-древе ветвь I, были собраны в Северной части Байкала, тогда как ветвь II включает группу пиявок, собранных в Южной части озера и в верховьях реки Ангара. Кроме того, как показали результаты паразитологического анализа, филогенетические линии *B. torquata* демонстрируют расхождение по типу питания. Рыбьи пиявки этого вида паразитируют на амфиподах. Однако, представители «северной» линии предпочитают в качестве вида-хозяина *Acanthogammarus maculosus*, *A. godlewskii*, *A. lappaceus* и *Pallasea kesslerii*, в то время как «южные» торкаты паразитируют на *Eulimnogammarurus maackii*, *E. verrucosus* и *Pallasea cancelloides*.

В отличие от филогенетических видов группы «torquata», представители разных ветвей морфотипа, соответствующего *B. cottidarum*, не проявляют географической зональности. Однако, пиявки разных ветвей «cottidarum» паразитируют на определенном виде коттоидных рыб. *B. cottidarum* I паразитируют на *Procottus major*; *B. cottidarum* II питаются за счет бычков *Cottocomephorus grewinkii*; группа *B. cottidarum* III паразитирует на *Paracottus knerii*. Таким образом, филогенетические виды группы «cottidarum», несмотря на единообразную морфологию и равномерное распределение по озеру, демонстрируют расхождение по пищевым предпочтениям.

Применение биоинформационного анализа на основе молекулярно-генетических данных позволило значительно расширить видовой состав фауны рыбьих пиявок оз. Байкал, зарегистрировав филогенетический сигнал о наличии 5 новых видов байкалобделл. Анализ совокупных доказательств, включающих морфологические и молекулярно-генетические данные, повышает достоверность результатов по разграничению таксонов, элиминируя фактор субъективности таксономической идентификации, что упрощает определение видовой принадлежности и, следовательно, важно для представления о реальном уровне биоразнообразия в регионе.

Публикации:

Матвеев Е.Ю., Кайгородова И.А.. Генетическое разнообразие рыбьих пиявок (Hirudinea: Piscicolidae) Байкальского региона // Разнообразие почв и биоты Северной и Центральной Азии: мат-лы IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием (Улан-Удэ, 15–18 июня 2021 г.): электронный вариант. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2021. – С. 303-304.

Bolbat A., Matveenko E., Dzyuba E., Kaygorodova I. The first mitochondrial genome of *Codonobdella* sp. (Hirudinea, Piscicolidae), an endemic leech species from Lake Baikal, Russia and reassembly of the *Piscicola geometra* data from SRA // *Mitochondrial DNA Part B: Resources*. – 2021. – V. 6. – P. 3112-3113. DOI: [10.1080/23802359.2021.1967807](https://doi.org/10.1080/23802359.2021.1967807)



ПРИБОРНАЯ БАЗА



Приборный центр коллективного пользования физико-химического ультрамикрoанализа (ЦКП «Ультрамикрoанализ»)

Основные сведения о деятельности ЦКП «Ультрамикрoанализ» в 2021 г.

1. Балансовая стоимость оборудования ЦКП, млн. рублей: **212.9854**
2. Количество единиц оборудования ЦКП стоимостью от 1 млн рублей, ед.: **18**
3. Штатная численность сотрудников ЦКП (без совместителей), чел.: **7**
4. Общий объем выполненных работ (оказанных услуг), млн. рублей: **15.0806**
в том числе в интересах третьих лиц: **8.1888**
5. Фактическая загрузка оборудования ЦКП, %: **84.80**
6. Фактическая загрузка оборудования ЦКП в интересах третьих лиц, %: **30.24**
7. Количество организаций-пользователей, ед.: **21**

<https://old.ckp-rf.ru/ckp/77542/>

<http://lin.irk.ru/about/structure/ckp-ultramicroanaliz>

В 2021 г приборный парк ЦКП пополнился изотопным анализатором воды Picarro L2130-i. Изотопный анализатор обеспечивает высококачественные измерения стабильных изотопов воды для таких сложных приложений, как палеоклиматология, гидрология и океанография. Высокоточные измерения $\delta^{18}\text{O}$ и δD могут быть выполнены с образцами воды из жидкостей, паров и твердых тел с использованием различных периферийных устройств Picarro.

Минимальный дрейф: калибровка один раз в день.

Точность измерения жидких образцов гарантируется на уровне 0,025/0,1‰ для $\delta^{18}\text{O}/\delta\text{D}$, а дрейф в течение 24 часов гарантируется на уровне 0,2/0,8‰ для $\delta^{18}\text{O}/\delta\text{D}$. Характеристики паров включают диапазон измерений от 1 000 до 50 000 ppm, с гарантированной точностью при 2 500 ppm 0,250/0,080‰ для $\delta^{18}\text{O}$ (в течение 10/100 секунд) и 1,600/0,500‰ для δD (в течение 10/100 секунд), и гарантированной точностью при 12 500 ppm 0,120/0,040‰ для $\delta^{18}\text{O}$ (в течение 10/100 секунд) и 0,300/0,100‰ для δD (в течение 10/100 секунд).



Изотопный анализатор воды Picarro L2130-i

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

В 2021 г. на базе УНУ ПАК выполнялись работы по семи темам государственного задания ЛИН СО РАН. Были проведены совместные работы с внешними пользователями (12 соглашений). Выполнялись квалификационные работы бакалавров и аспирантов, проводились экскурсионные мероприятия для учащихся школ и ВУЗов.

В работах по получению гибридных особей сиговых рыб в 2021 г. были использованы различные современные биотехнологические подходы:

- культивирование в установках замкнутого цикла;
- получение гибридов F1, F2 как рыбопосадочного материала для товарной аквакультуры;
- криоконсервация спермы, первичных половых клеток (организация криобанка);
- гормональная стимуляция, прижизненное УЗИ в онтогенезе;
- трансплантация первичных половых клеток, в том числе и криосохраненных.

В результате было выявлено, что гибрид первого поколения байкальских сиговых рыб (сига и сига-пыжьяна) может быть быстрорастущим и устойчивым объектом аквакультуры в условиях содержания в мини установках замкнутого водоснабжения (Рис.1).



Рис.1. Мини установки замкнутого водоснабжения.

После проведенных экспериментальных работ с икрой сиговых рыб подана заявка на получение патента «Способ инкубации икры лососеобразных рыб в шестилуночных культуральных планшетах с использованием стимуляторов развития». Предложен оригинальный способ инкубации икры в экспе-

риментальных целях и для выведения селекционных и опытных партий рыб. В шестилуночных культуральных планшетах предлагается осуществлять инкубацию икры различных видов лососеобразных рыб с добавлением синтетических стимуляторов развития в низких концентрациях. Планшеты размещаются в холодильной установке. Икра в планшетах погружена в инкубационный раствор (Рис. 2, 3).

Изобретение относится к рыбоводству, а именно к способам повышения эффективности инкубации опытных партий икры лососеобразных рыб с минимальными трудозатратами. Предлагаемое изобретение может найти применение на рыбоводных предприятиях и в научных учреждениях при проведении селекционных и экспериментальных работ. Способ инкубации икры в культуральных планшетах включает оплодотворение и инкубацию икры в присутствии синтетического стимулятора развития, раскладку икры по планшетах, размещение планшетов в холодильной установке. Этот способ инкубации икры отличается тем, что икра в планшетах находится в погруженном состоянии и размещена по 1-3 икринки в каждой лунке.

При этом икру оплодотворяют и инкубируют в растворе СР – «протатрана» - арилхалькогенилацетата трис(2-гидроксиэтил) аммония.

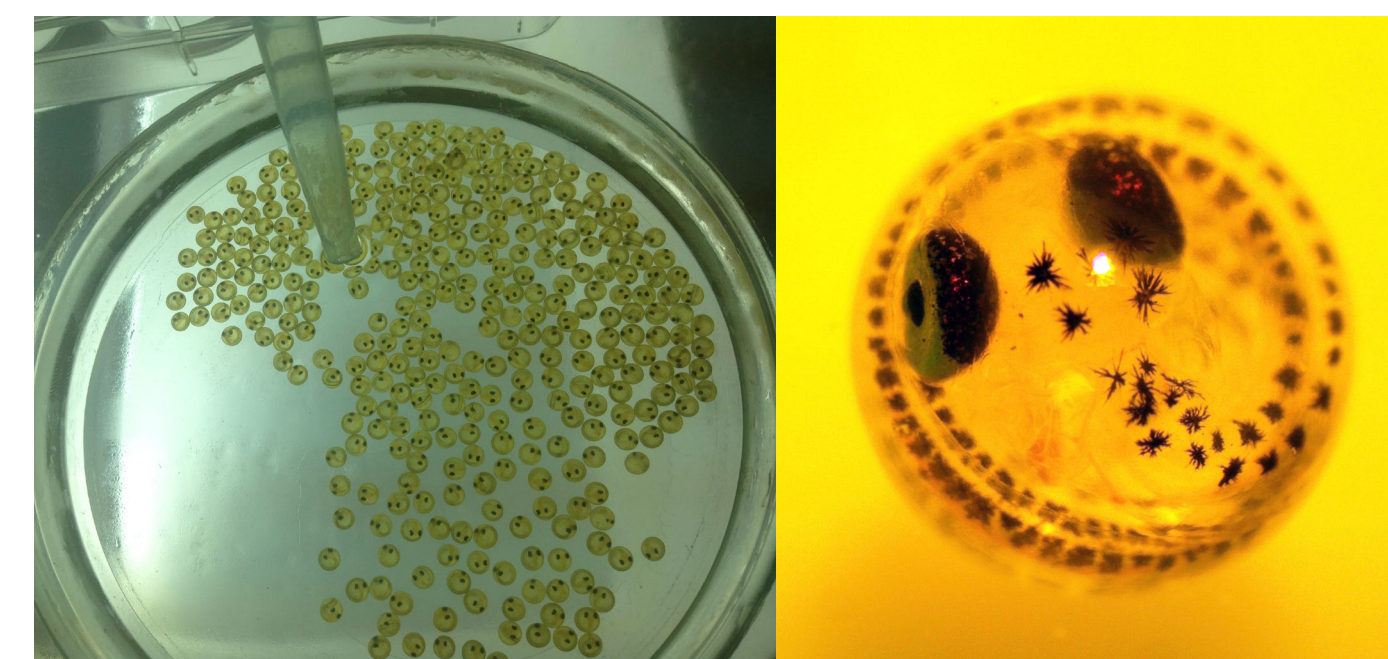


Рис.2. Икра лососеобразных рыб для экспериментальных работ.



Рис.3. Инкубация икры сиговых рыб в шестилуночных культуральных планшетах: а) модули планшетов, помещенные в холодильную установку; б) одиночный шестилуночный планшет с лунками, заполненными инкубационным раствором на этапе выклева личинок.



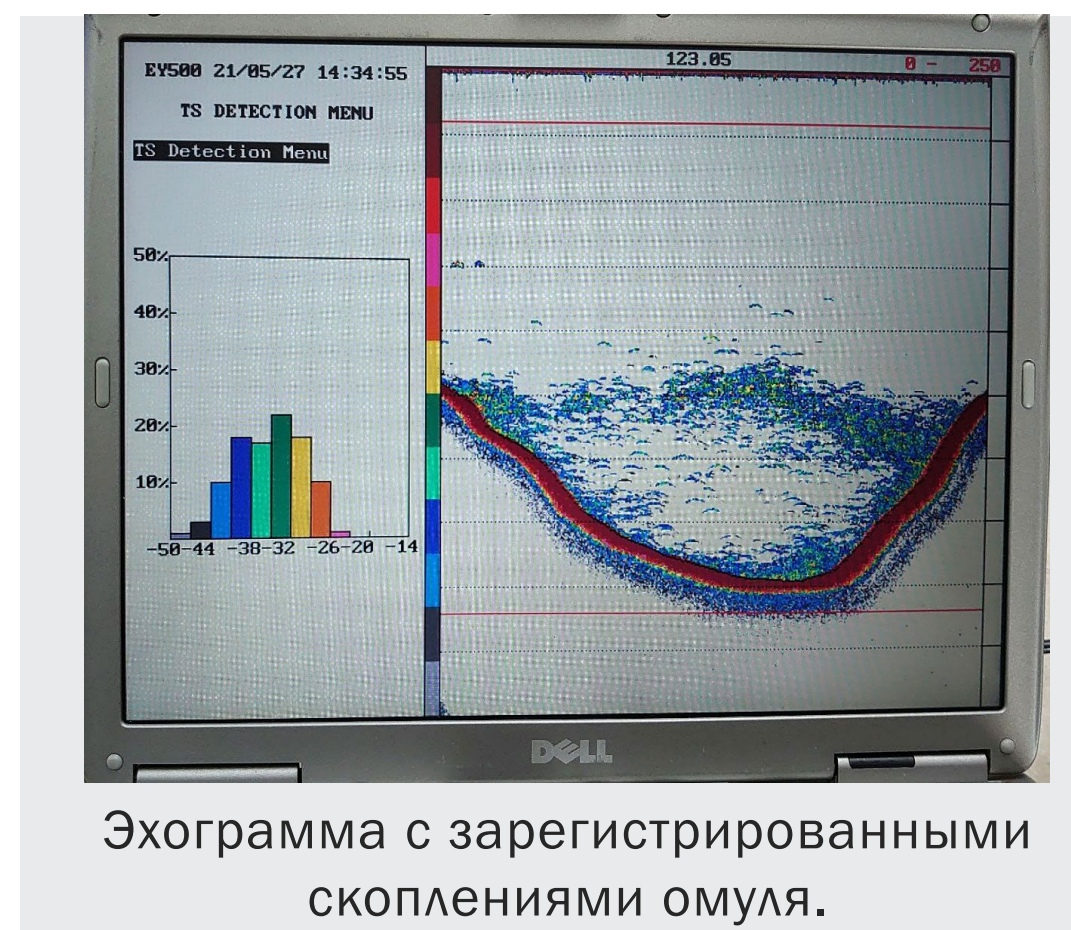
ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ РАБОТЫ



В 2021 г. проведено **30** экспедиций по оценке биотических и абиотических составляющих экосистемы оз. Байкал в современный период в рамках выполнения 10 «Базовых» проектов государственного задания и 1 гранта РФ. Общая продолжительность проведенных экспедиций составила **269** судосутков (НИС «Академик Коптюг» – 53, НИС «Г.Ю. Верещагин» – 82, НИС «Титов» – 72, НИС «Папанин» – 62).

В составе экспедиционных отрядов были ученые и студенты из **21** организации: ФГБНУ ВНИРО, БМ ИНЦ СО РАН, ВНИИ Океанология, ИБВВ РАН, ИБР РАН, ИВП РАН, ИГУ, ИМБК СО РАН, ИНХ СО РАН, ИОА СО РАН, ИОГен РАН, Иркутский ГАУ, ИЦИГ СО РАН, ИЯФ СО РАН, МГУ, НГУ, СИФИБР СО РАН, Сколтех, СПбГУ, Образовательный центр «Персей», ООО «Компания Хеликон». Численность исследователей, принявших участие в экспедициях – **85** человек (из них **28** человек в возрасте до 39 лет), студентов и аспирантов – **26** человек.

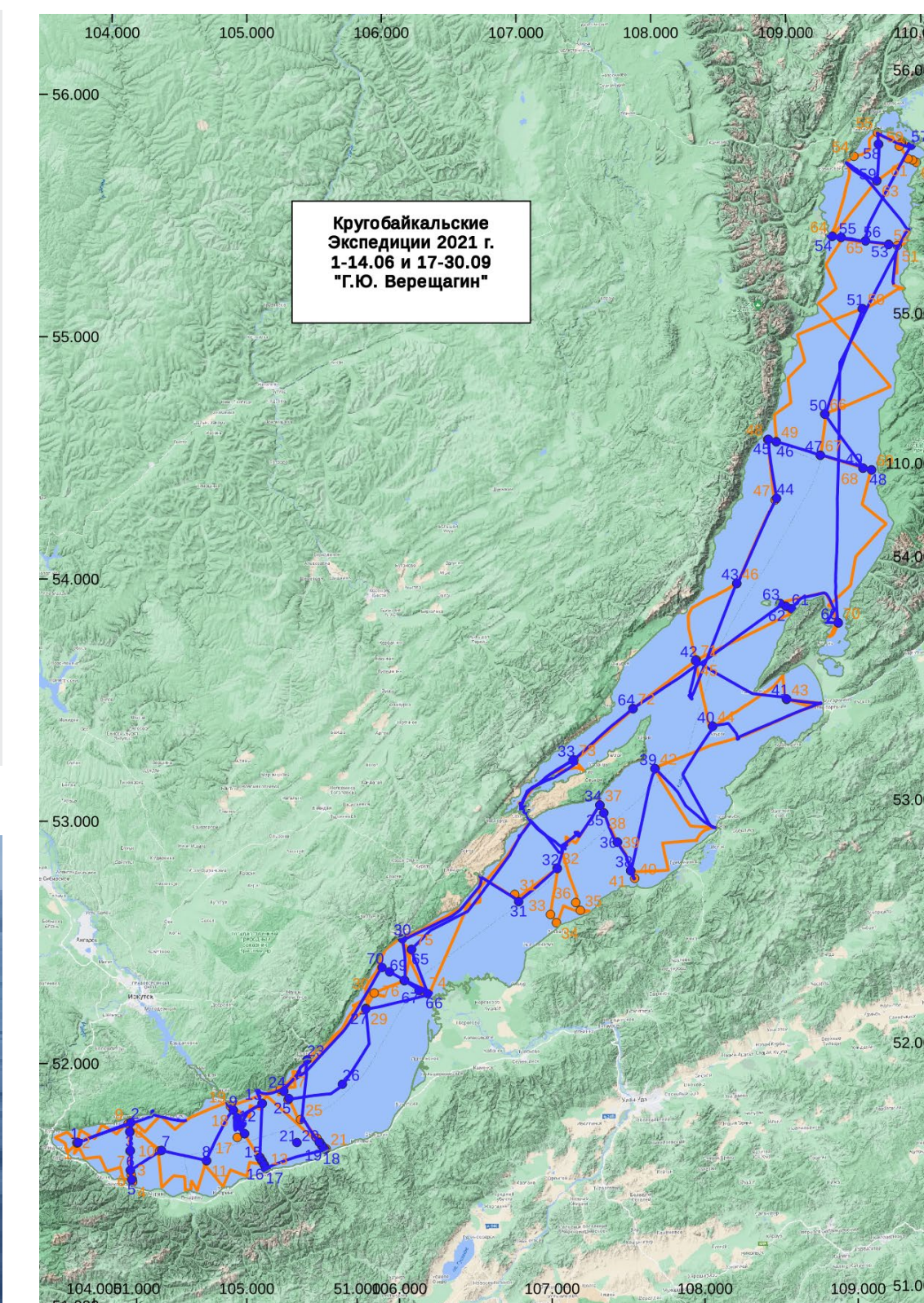
По результатам экспедиций предыдущих лет за отчетный период опубликовано **16** статей в изданиях первого и второго кварталей, индексируемых в международной базе данных Web of Science.



Эхограмма с зарегистрированными скоплениями омуля.



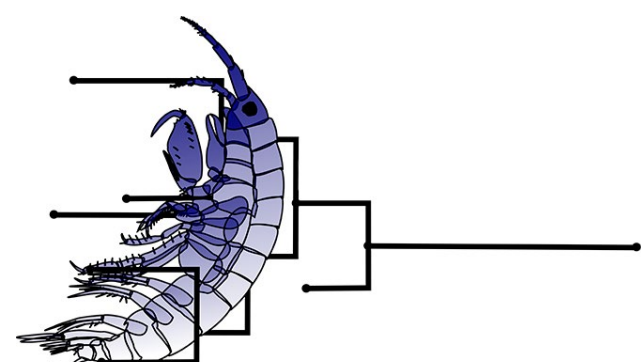
Подъем комплекса SBE 32 CAROUSEL



Маршрут кругобайкальской комплексной экспедиции.



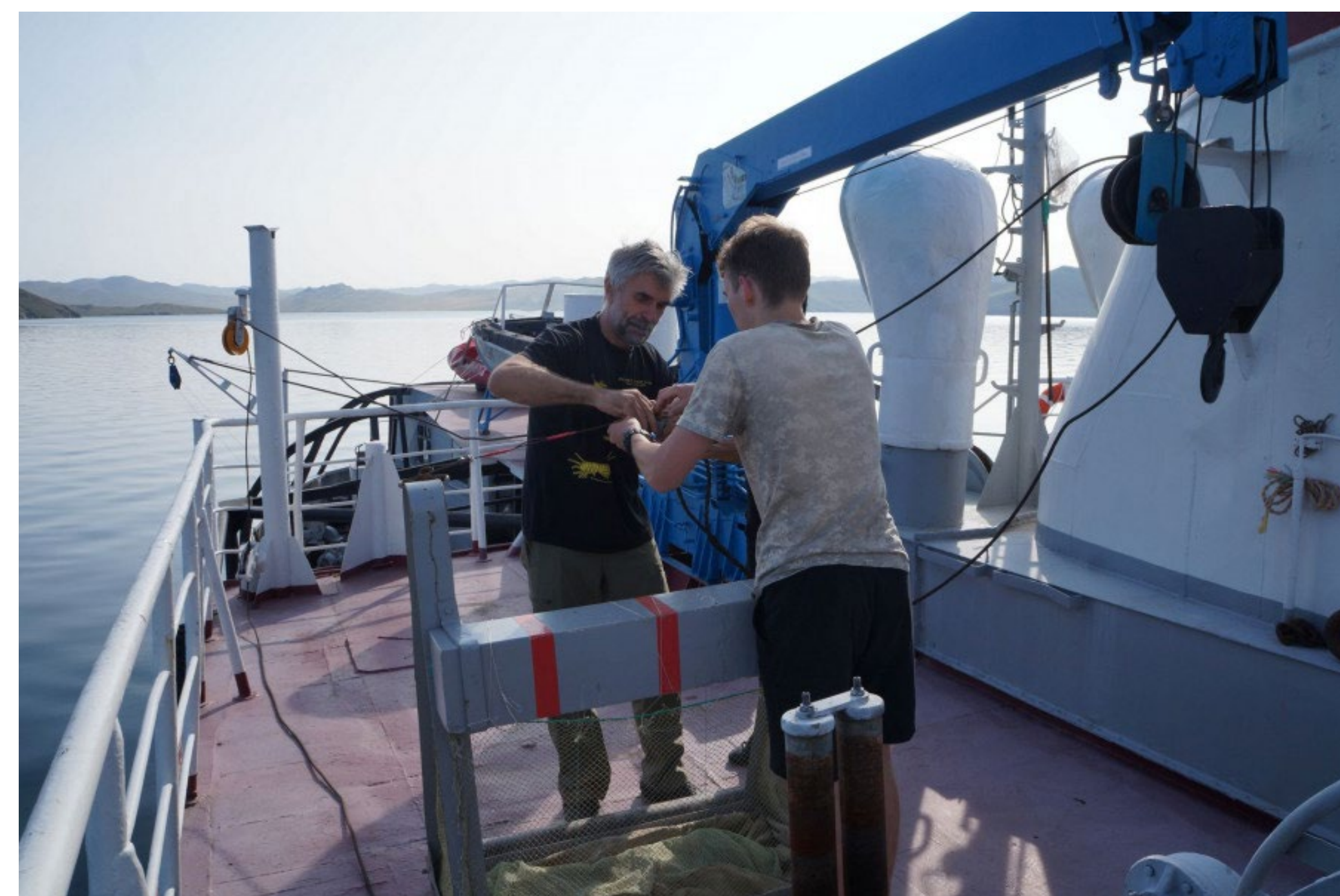
Подводные исследования



Плавучий университет
"Байкал-Эволюция"

Впервые состоялась экспедиция
Плавучий университет «Байкал-эволюция»
на борту НИС «Академик Коптюг»

В экспедиции приняли участие 8 ученых в качестве преподавателей и 10 слушателей – в основном магистрантов или аспирантов биологических специальностей. В течение всего времени работы Плавучего университета каждый день участники университета слушали по 6-8 часов лекций, знакомились с практическими аспектами работы биологов на Байкале и делали экскурсии на берег в наиболее интересных местах. Лекции каждого дня экспедиции были посвящены обсуждению одного-двух аспектов эволюционной теории. Они сопровождались живым и подробным обсуждением, в котором активно участвовали молодые ученые. Среди лекторов были сотрудники МГУ, Института общей генетики имени Н. И. Вавилова РАН, Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Института биологии развития имени Н. К. Кольцова РАН, Института цитологии и генетики СО РАН, Института молекулярной и клеточной биологии СО РАН, НГУ, Лимнологического института СО РАН и ИГУ. Из тех же учреждений были и слушатели Плавучего университета.





Впервые организована экспедиция
«Байкал – природная лаборатория» на борту
НИС «Академик Коптюг»

Организована и проведена научно-исследовательская экспедиция в рамках профильной смены при сотрудничестве ЛИН СО РАН с образовательным центром «Персей» и культурно-досуговым подростково-молодежным центром «Родник», а также при поддержке ООО «Компания Хеликон».

В экспедиции участвовало 10 школьников из разных школ Иркутской области (г. Иркутск, г. Ангарск, п. Хомутово и Осинский район), которые прошли конкурсный отбор. Образовательная программа включала ежедневные лекции и практические занятия по трем направлениям: санитарная микробиология, изучение видового разнообразия морфологическими и молекулярно-генетическими методами на примере байкальских эндемичных губок, исследование байкальского зоопланктона. Сотрудником компании Хеликон была проведена лекция и практические занятия по проточной цитометрии.



Помимо образовательной программы были проведены небольшие прогулки на смотровые площадки в поселке Большие Коты и в районе бухты Песчаная, по тропе из бухты Песчаная до бухты Бабушка. Также были вечерние мероприятия у костра, игры, песни, конкурс фотографий. В завершающий день участники экспедиции представили свои научные отчеты в виде стендов по всем трем направлениям научно-образовательной деятельности.





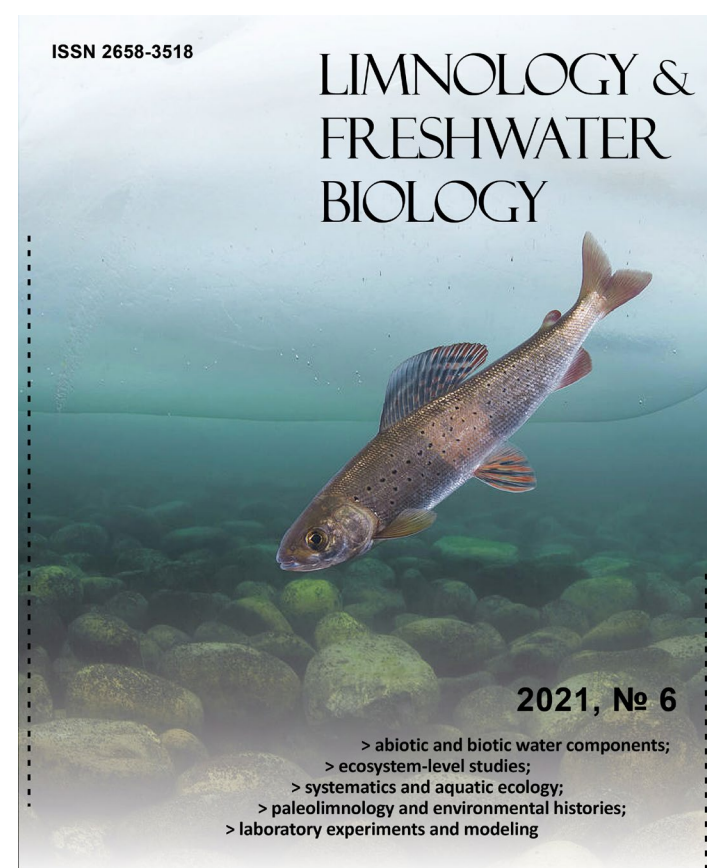
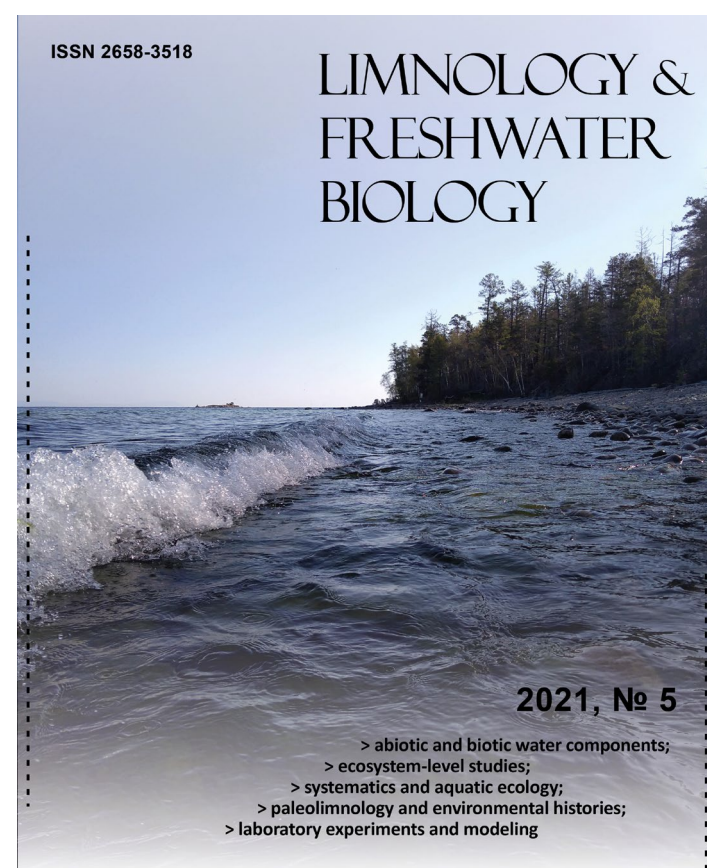
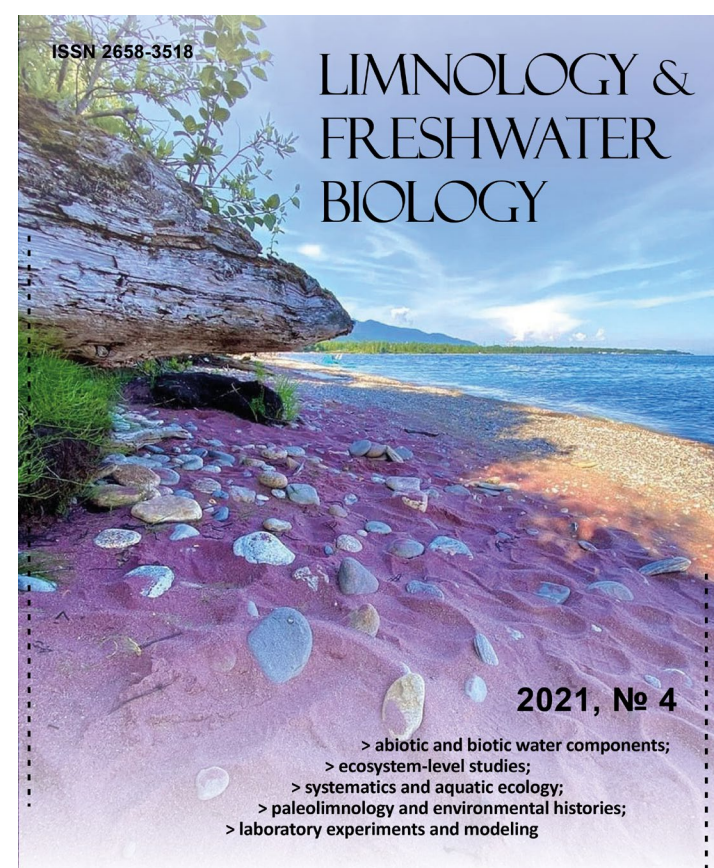
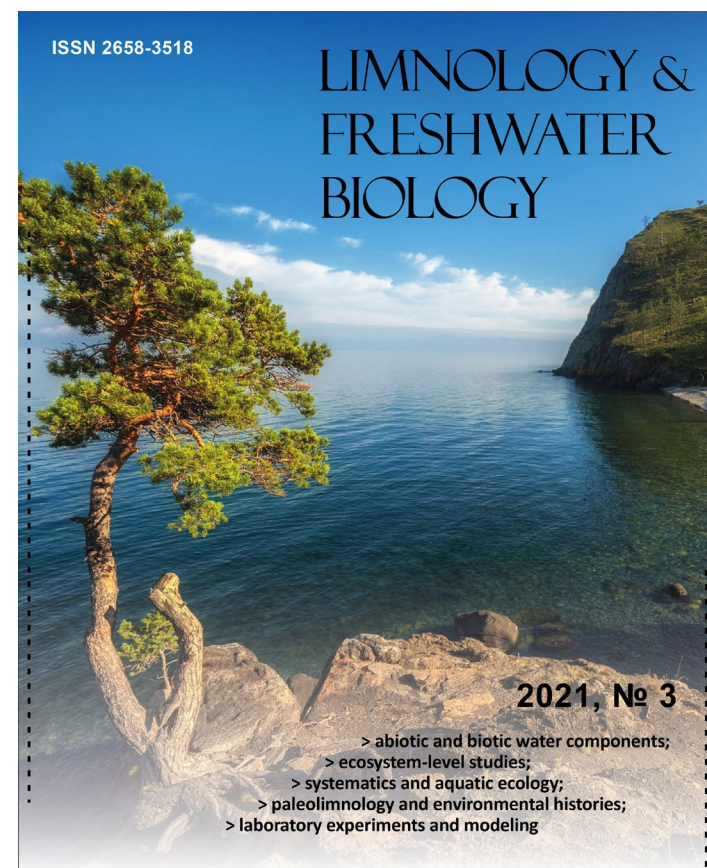
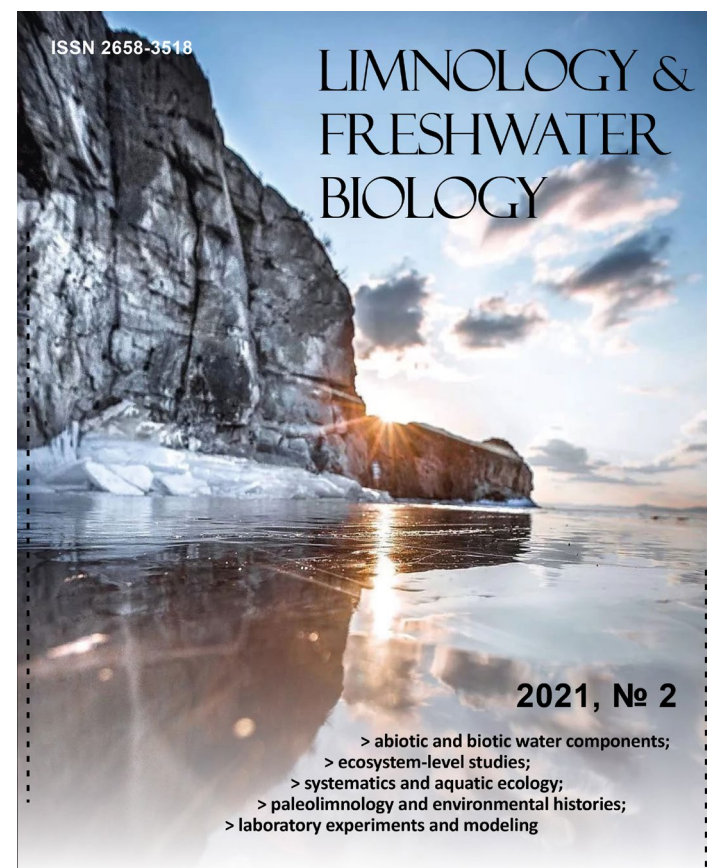
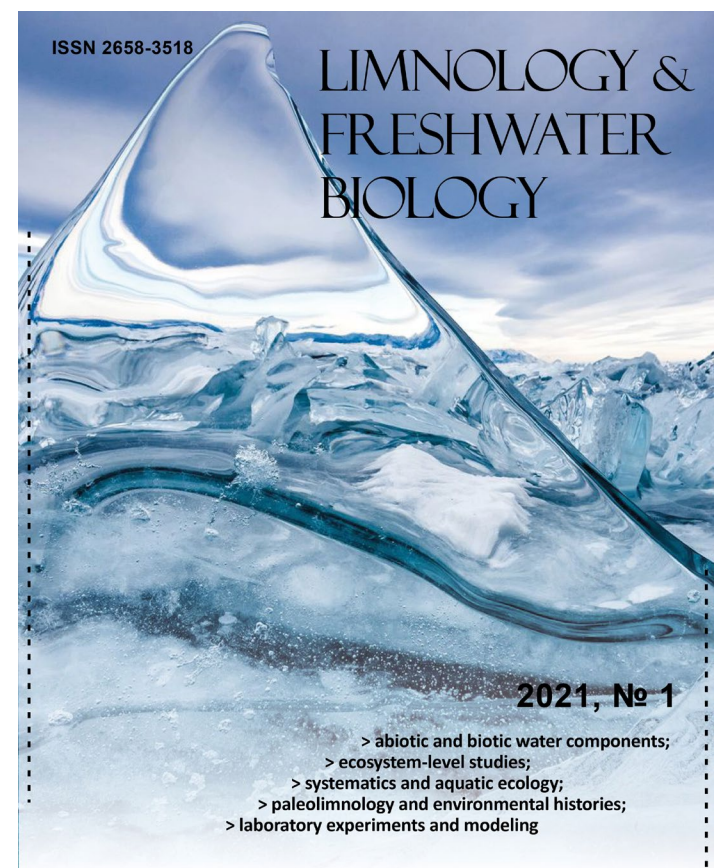
ПУБЛИКАЦИОННАЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ



За отчетный период опубликовано **112** статей в журналах, индексируемых в международных информационно-аналитических системах научного цитирования Web of Science и Scopus, в том числе **37** в изданиях первого и второго квартиля (Q1 и Q2).

Комплексный балл публикационной результативности составил **490**, совокупный импакт фактор журналов – **222,4**.

Вышло **6** номеров нашего журнала **Limnology and Freshwater Biology**.
<http://limnolfwbiol.com/>



Монография

Помазкина Г.В., Родионова Е.В., Щербакова Т.А. // Бентосные диатомовые водоросли рода *Neidium* озера Байкал : Атлас-определитель. отв. ред. Е.В. Лихошвай - Новосибирск : СО РАН. 2021. - 206 с. ISBN: 978-5-6046428-4-9



В условиях быстрых экологических изменений, наблюдаемых в литоральной зоне озера с 2011 г., бентосные диатомовые комплексы в силу крайне высокого уровня эндемизма являются наиболее уязвимым звеном. Монография основана на материалах коллекции микрофитобентоса «Дарвиновская инициатива», основанной в Лимнологическом институте в 1997-1998 г. и открыла значительный пласт неизвестного ранее разнообразия донной диатомовой флоры древнего водоема. Полученные сведения характеризуют состояние диатомового сообщества в благополучный для экосистемы Байкала период и могут служить точкой отсчета в наблюдениях за судьбой диатомовых альгоценозов в условиях экологического кризиса в литоральной зоне озера.



МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО



Зарубежные партнеры

Институт биологии (Монголия), Технологический институт Китами (Япония), Университет им. Эрнандеса (Испания), Азиатский центр исследования кислотных выпадений (Япония), Университет Тромсё – Арктический университет Норвегии, Центр эволюции и динамики Земли Отделения наук о Земле Университета Осло (Норвегия), Университет Сорбонны (Франция), Институт биофизической химии общества Макса Планка (Германия), Глобальная система мониторинга ртути (GOS⁴M).



Международная сеть мониторинга выпадения кислотных осадений (Acid Deposition Monitoring Network in East Asia - EANET), входящая в международную программу ЮНЕП (UNEP) в рамках ООН по окружающей среде, была организована на основе межгосударственной инициативы 13 стран Восточной Азии в начале 21 века для получения информации о переносе

кислотных выпадений на большие расстояния и их воздействию на состояние природных экосистем в восточной части азиатского континента и архипелагов в западной части Тихого океана. В России на правительственном уровне программу координирует Росгидромет РФ.

На базе ЛИН СО РАН в Байкальском регионе организованы и работают три станции мониторинга: Иркутск (городская), Листвянка (сельская), Монды (фоновая), на которых ведутся наблюдения за атмосферой, поверхностными водами, почвой. Сбор и анализ проб по всем природным средам, обработка данных, контроль качества получаемых результатов, участие в межлабораторных сличительных испытаниях проводится на базе аккредитованной в РОСС RU.0001.513855 лаборатории гидрохимии и химии атмосферы ЛИН СО РАН.

На основе 20 летнего периода наблюдений установлено снижение общей суммы и концентраций отдельных ионов в составе аэрозоля, определены изменения в их соотношении, причинами которых вероятно стали климатические изменения (рост количества осадков, очищающих атмосферу), а также уменьшение объемов выбросов от ТЭЦ в связи с ростом температуры воздуха особенно в холодный период года (Рис.1).

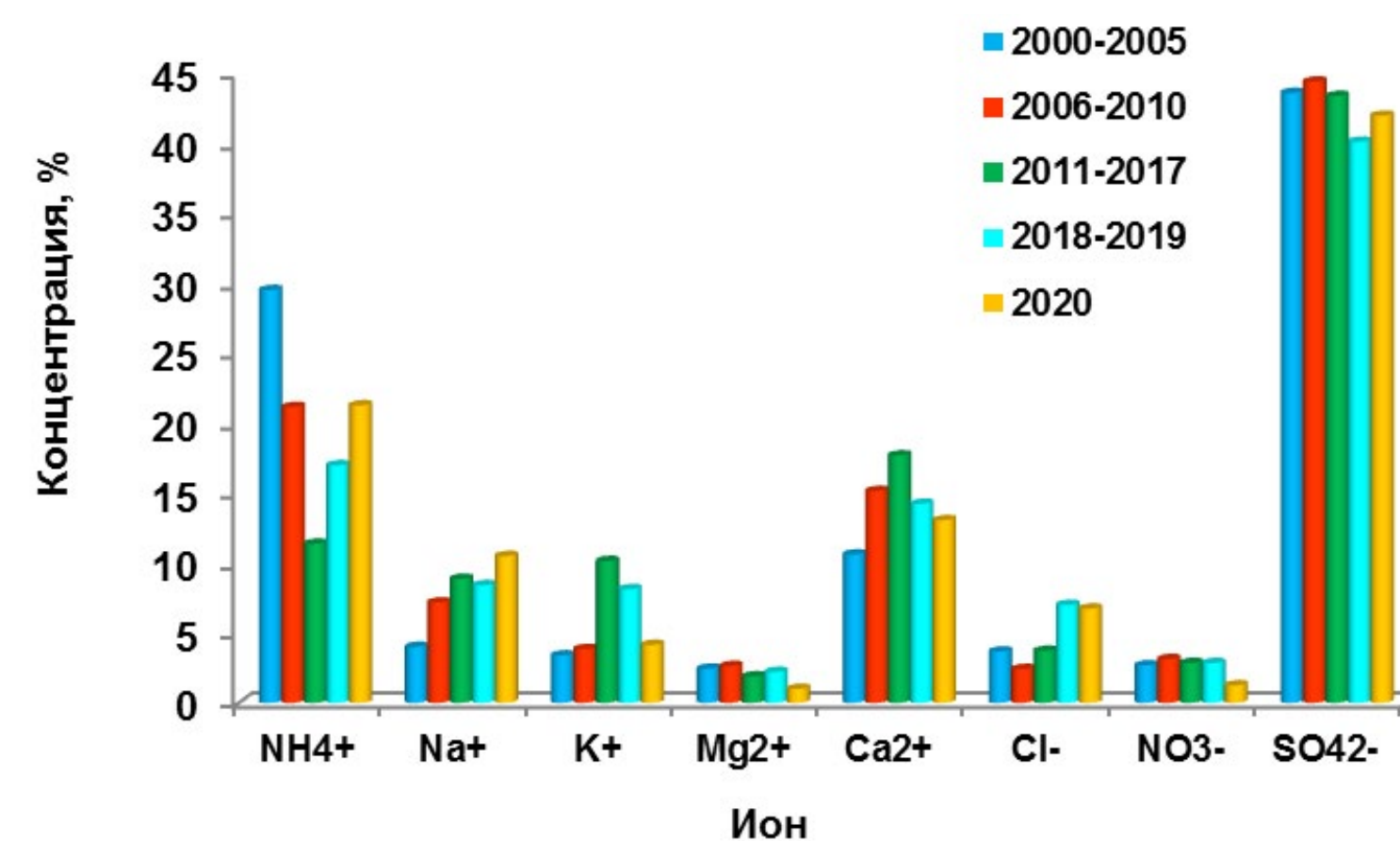


Рис.1. Долевой вклад ионов в формирование химического состава атмосферного аэрозоля в разные периоды наблюдений: А) Иркутск, Б) Листвянка, В) Монды.

Одним из критериев экологической обстановки для Байкальского региона является выпадение кислотных осадков на анализируемой территории. На станции «Листвянка» в течение многих лет в 50-60% осадков величина рН фиксируется ниже 5,0, что характеризует их как кислотные. На станции «Иркутск» среднее значение выше ($5,71 \pm 0,91$), на станции «Монды» выпадение кислотных осадков не зарегистрировано (Рис.2).

Оценено поступление кислотных компонентов (серы и азота) из атмосферы на подстилающую поверхность с осадками. С осадками серы поступает от 20 до 30%, азота – от 25 до 40 % (Рис. 3).

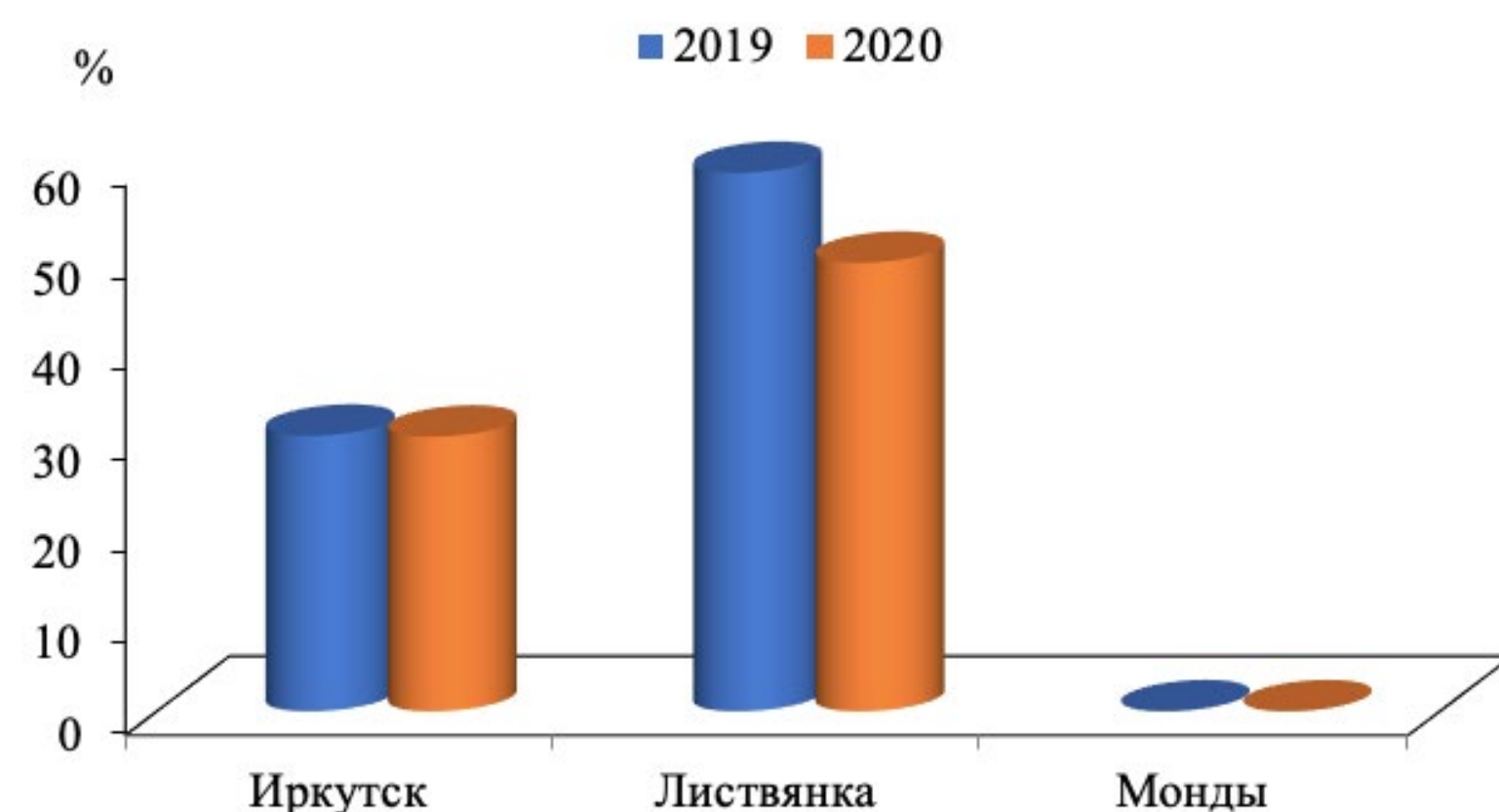


Рис.2. Межгодовая изменчивость (2019-2020 гг.) количества атмосферных осадков с величиной рН < 5,0 на станциях мониторинга Байкальского региона.

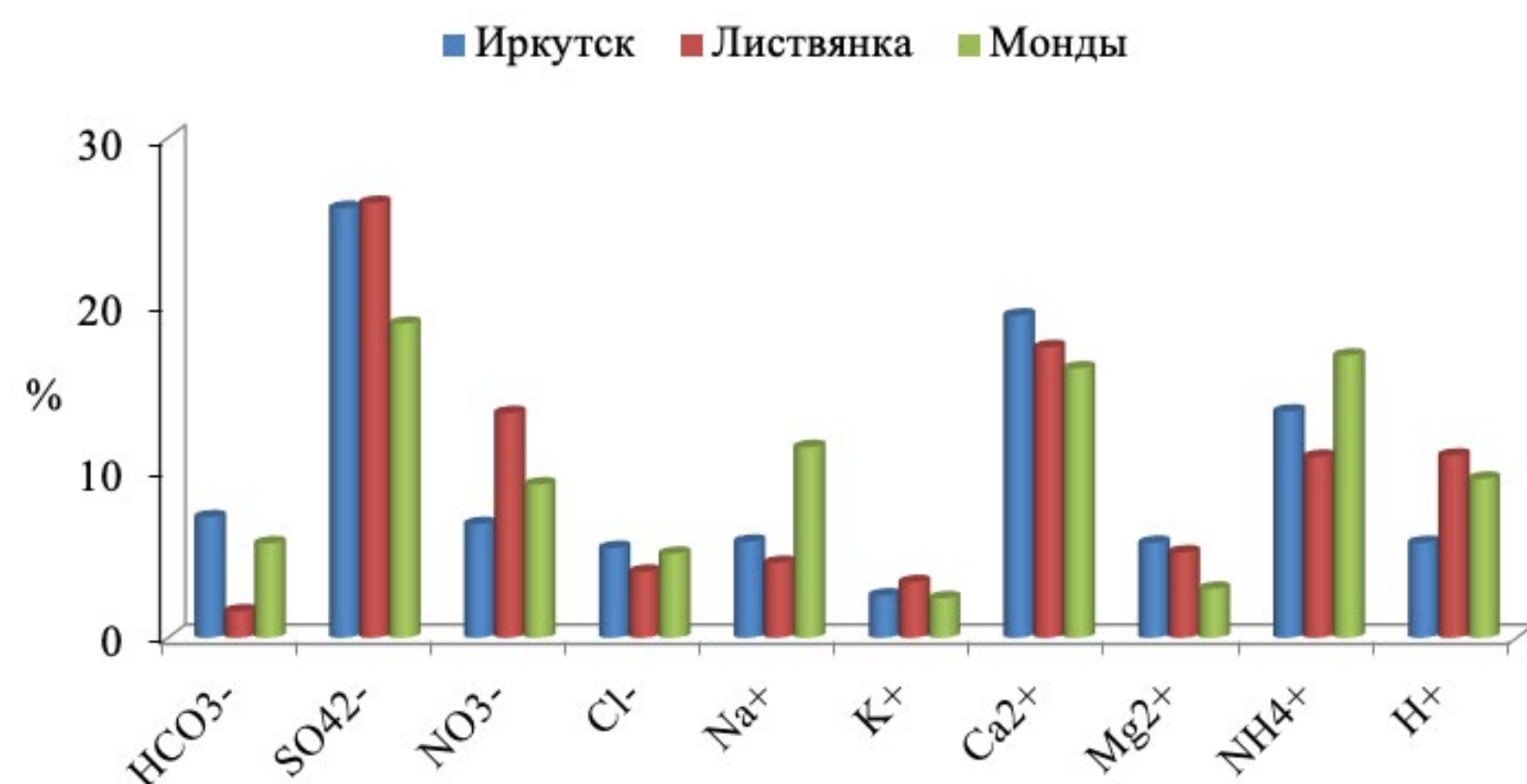


Рис.3. Среднемноголетняя динамика (2014-2020 гг.) потока ионов с атмосферными осадками на станциях мониторинга Байкальского региона, $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$

Неблагоприятным последствием переноса кислотных компонентов на Байкал с осадками стало закисление притоков восточного побережья Южного Байкала, основное питание которых осуществляется через атмосферу. В современный период отмечается сдвиг баланса основных ионов, низкая буферная емкость речных вод, что предопределяет неустойчивость их к закислению. Мониторинг р. Переемная показал, что в доиндустриальный период Южного Прибайкалья (1950-1955 гг.) основными компонентами состава воды были гидрокарбонаты и кальций. В настоящее время при увеличении поступления в водосборный бассейн реки серы и азота с осадками, при сухом осаднении наблюдается сдвиг величины рН в кислую сторону, изменение относительного состава ионов, рост концентраций сульфатов и нитратов, меняется класс воды с гидрокарбонатного на сульфатный (Рис.4).

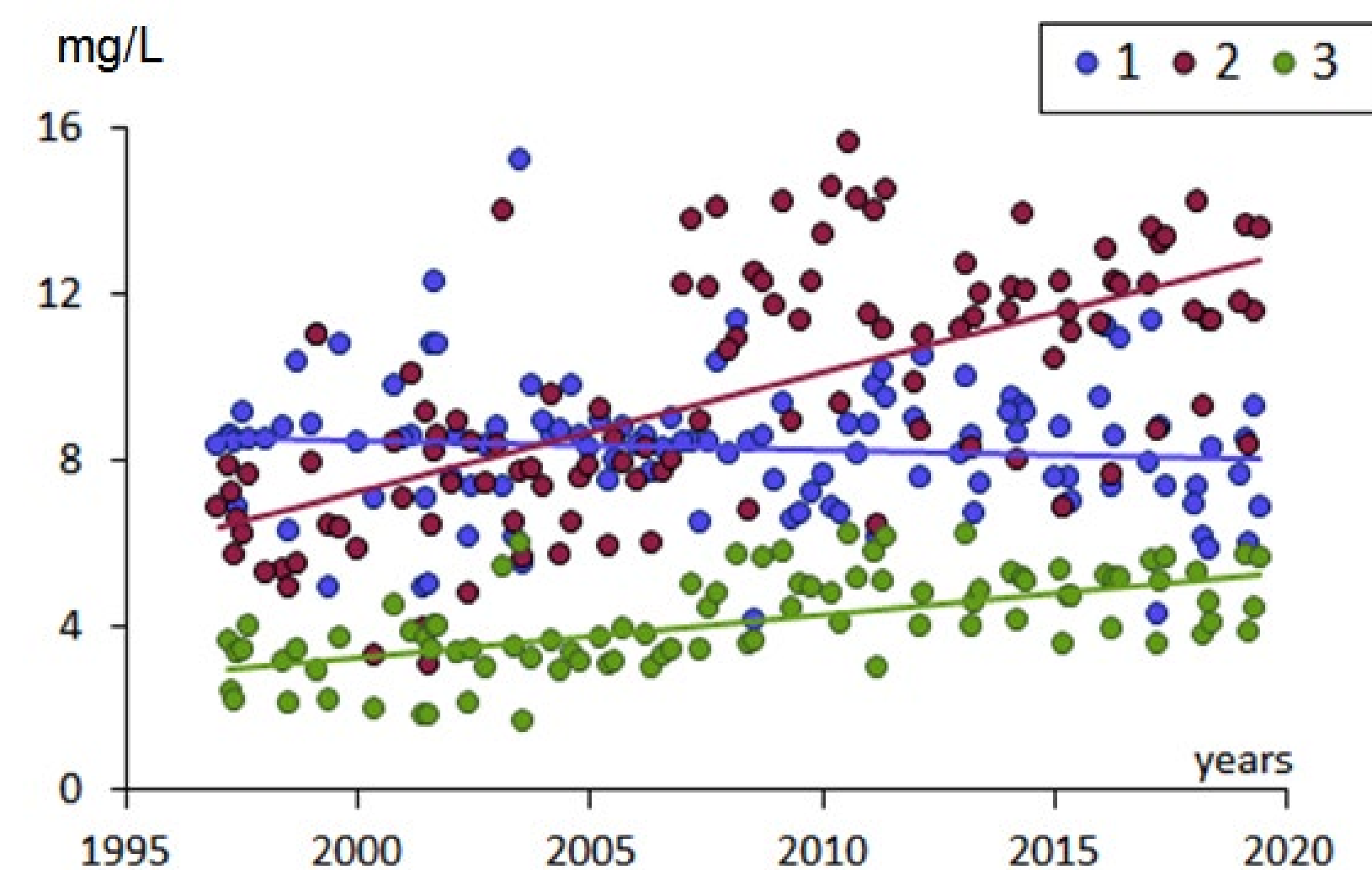


Рис.4. Тенденции изменения концентрации основных ионов в воде р. Переемная за 1995- 2020 гг.: 1 – гидрокарбонаты, 2 – сульфаты, 3 – кальций.



МОЛОДЕЖЬ ЛИН СО РАН



Аспирантура

В рамках реализации образовательных программ высшего образования – программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре в 2021 г. **13** человек проходили очное обучение по трем направлениям:

- Химия (специальность 02.00.02 – аналитическая химия);
- Науки о Земле (специальности 03.02.08 – экология (по отраслям); 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых);
- Биологические науки (специальности 03.01.03 – молекулярная биология; 03.02.03 – микробиология; 03.02.07 – генетика; 03.02.08 – экология (по отраслям)).



Аспиранты: Андрей Краснопеев, Юйсян Ван, Екатерина Матвеевко, Мария Стрелова, Виктория Тархова, Эльвира Байрамова, Алена Яхненко, Наталья Жученко

Аспирант Андрей Краснопеев стал лауреатом стипендии Президента Российской Федерации на 2021/22 учебный год для аспирантов, осваивающих образовательные программы высшего образования в организациях, осуществляющих образовательную деятельность (Приказ Минобрнауки России от 27.07.2021 г. № 685).



Валерия Черезова



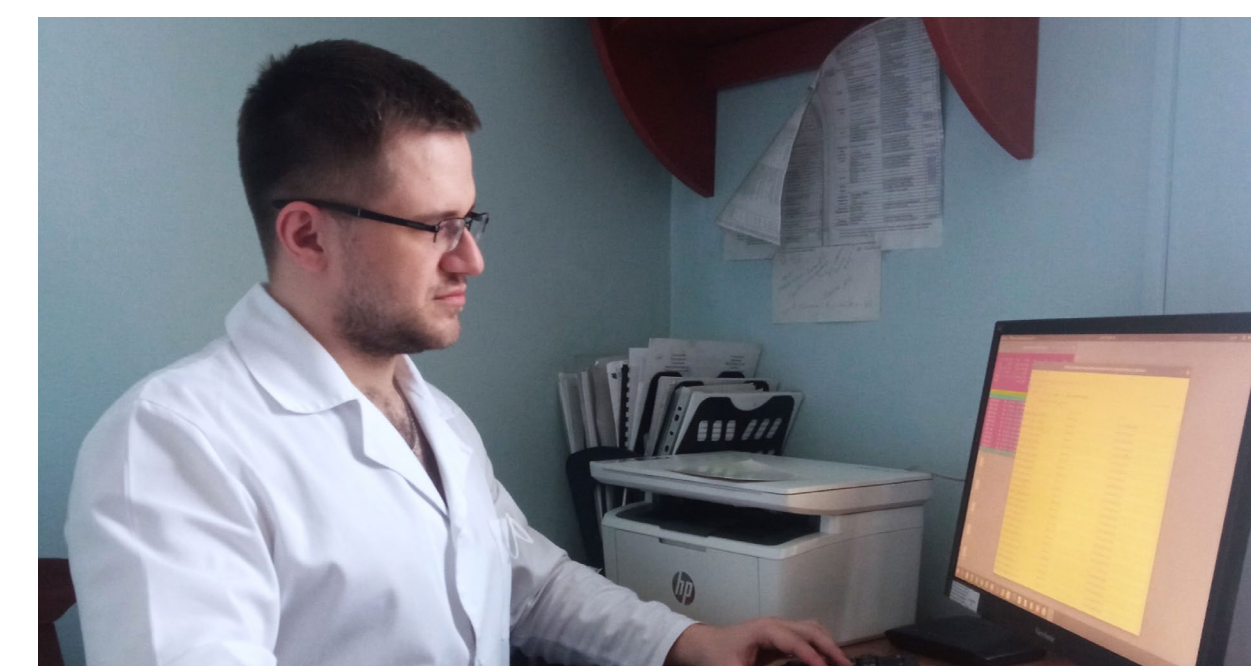
Максим Шиховцев



Анастасия Порошина



Анжелика Юдинцева



Артём Бондарюк

Совет научной молодежи

Одно из постоянных направлений деятельности ЛИН СО РАН – это поддержка интереса к науке среди молодежи. Для этого ведется активное взаимодействие на разных уровнях: начиная со школьников и студентов, которые только задумываются о выборе будущей профессии, заканчивая молодыми учеными, которые сами являются инициаторами научных исследований и авторами многочисленных научных работ.

С целью представления интересов молодых сотрудников и координации их разнообразной деятельности в институте функционирует **Совет Научной Молодежи (СНМ)**. В составе Совета 9 сотрудников в возрасте до 35 лет, трое из них входят в объединенный СНМ СО РАН.

Всего в институте работает более 80 молодых ученых. Каждый год они становятся лауреатами и победителями разных конкурсов и грантов на проведение научных исследований. В 2021 г. Мария Башенхаева выиграла Конкурс РФ «Проведение инициативных исследований молодыми учеными» с проектом «Анализ метаболического потенциала микробных сообществ озера Байкал методами метагеномики и метатранскриптомики» (№ 21-74-00147). Сергей Потапов получил грант РФ «Характеристика РНК-вирионов озера Байкал» (№ 22-24-00612).



Мария Башенхаева



Сергей Потапов

В 2021 г. по инициативе Администрации института и СНМ был впервые запущен Конкурс проектов молодых учёных ЛИН СО РАН. Данный Конкурс был учрежден с целью поддержки пилотных проектов молодых ученых, которые могут в дальнейшем стать основой полноценных грантов. Таким образом, любой молодой сотрудник института мог подать заявку и получить на реализацию своего проекта финансирование в размере до 500 тыс. руб. Данный конкурс – это отличная возможность получить опыт реального руководства научным проектом для тех, кто только начинает свою научную карьеру. Организационным комитетом конкурса в 2021 г. было получено 13 заявок, из которых 5 лучших проектов получили поддержку.

Основное направление деятельности СНМ – это поддержка академической мобильности и публикационной активности среди молодежи ЛИН СО РАН. Однако поддержка совета не ограничивается лишь научным аспектом: совместно с администрацией института оказывается помощь в решении жилищных и социальных вопросов, а также молодежь активно вовлекается в образовательную и спортивную жизнь. В 2021 г. молодые сотрудники института выступили активными участниками научно-исследовательской экспедиции совместно с Образовательным центром «Персей».



Научно-исследовательская экспедиция «Байкал – природная лаборатория»

Участвовали в качестве экспертов в V региональном фестивале «Планета Интеллект» – школьном конкурсе научно-исследовательских проектов.

Также в 2021 г. молодые ученые нашего института принимали участие в разнообразных соревнованиях: 32-ая эстафета СИФИБР, посвященная Дню Победы (III место в общем зачете и II место среди ИНЦ СО РАН); Лыжные гонки (II место); Легкоатлетический кросс в мае (II место).



В декабре 2021 г. представители СММ в лице Андрея Краснопеева и Алены Яхненко участвовали в Конгрессе молодых ученых – финальном мероприятии года науки и технологий. Конгресс проходил в Сочи на площадке парка науки и искусства «Сириус». Это мероприятие посетили свыше 3000 молодых ученых со всей страны, представители органов власти, лидеры ведущих научных школ и главы научных и образовательных организаций.



Конгресс молодых ученых