

**Приоритетное направление VI.42.** Биология развития и эволюция живых систем.

**Проект VI.42.1.3.** «Геномные и протеомные исследования космополитных и эндемичных байкальских губок: проблема видообразования и формирования симбиотических отношений». **Научный руководитель:** д.б.н., проф. С.И. Беликов.

Впервые в геноме пресноводной губки найдены гены хитиназы-фермента, ответственного за синтез хитина - основного строительного компонента скелета ракообразных, насекомых и т.п. (рис. 1). Таким образом, подтверждено предположение о возможном участии хитина в образовании спикул губок.

Впервые в спикулах байкальской губки *Baikalospongia bacillifera* обнаружен новый белок с массой 62 kDa (рис. 1) прочно связывающийся с кремнеземом. С помощью масс-спектрометрического анализа доказано, что он не является изоформой известных белков силикатеинов и не имеет гомологов с другими ранее идентифицированными белками. Принимая во внимание его локализацию, можно высказать предположение об участии данного белка в процессе биосилификации при формировании спикул губок.

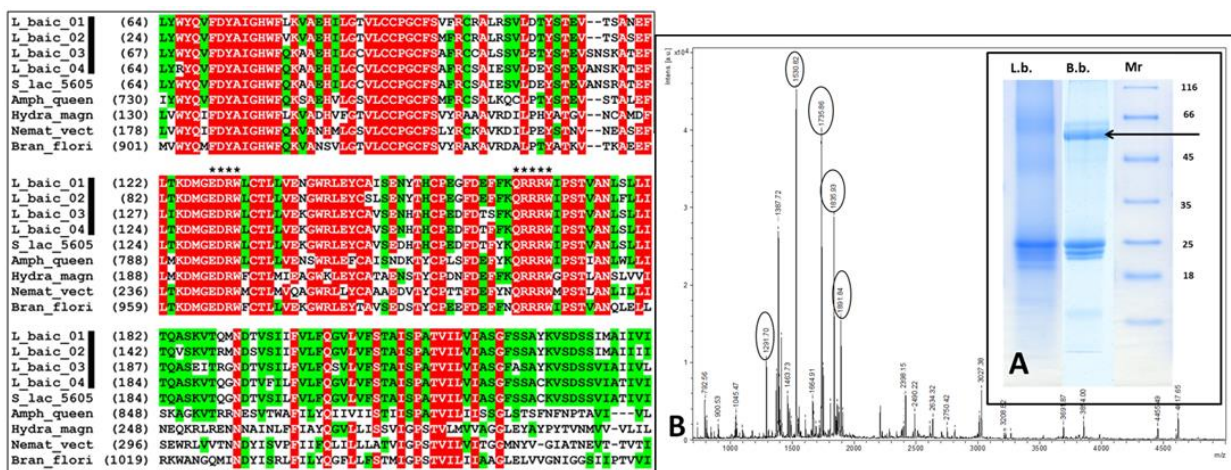


Рис.1. а – Обнаружение генов хитинсинтаз в геномах эндемичной байкальской губки *Lubomirskia baicalensis* и пресноводной космополитной губки *Spongilla lacustris*: Элаймент предсказанных аминокислотных последовательностей С-конца хитинсинтазы *L. baicalensis* с *S. lacustris*, *Amphimedon queenslandica*, *Hydra magnipapillata*, *Nematostella vectensis* и *Branchiostoma floridae*. б – Обнаружение и характеристика нового белка спикул губок: А) Электрофоретическое сравнение тотального белка спикул губок *Lubomirskia baicalensis* (L.b.) и *Baikalospongia bacillifera* (B.b.), Стрелкой указан белок с массой 62 kDa. Б) Масс-спектрограмма трипсинового гидролизата белка с массой 62 kDa. Интенсивные пики с обведенными массами анализировали фрагментацией.

**Проект VI.42.1.4.** «Исследования процессов изменения размера генома в онто- и филогенезе на примере байкальских беспозвоночных и рыб». **Научный руководитель:** к.б.н., доцент С.В. Кирильчик.

Проведены исследования возрастной динамики изменения длины теломерных районов ДНК (тДНК) видов рогатковидных и сиговых рыб оз. Байкал – малой и большой голомянок и омуля (рис. 2). Анализ проводили методом количественной ПЦР. Для голомянок в качестве молодых особей использовались личинки возрастом 1-2 месяца, для омуля – эмбрионы из оплодотворенной икры. В качестве взрослых представителей использовались половозрелые рыбы. Исследования показали, что тДНК малой голомянки и омуля укорачивается в онтогенезе. Длина тДНК большой голомянки, напротив, увеличивается с возрастом. Полученные результаты важны для исследований теломерной биологии и понимания закономерностей молекулярной эволюции.

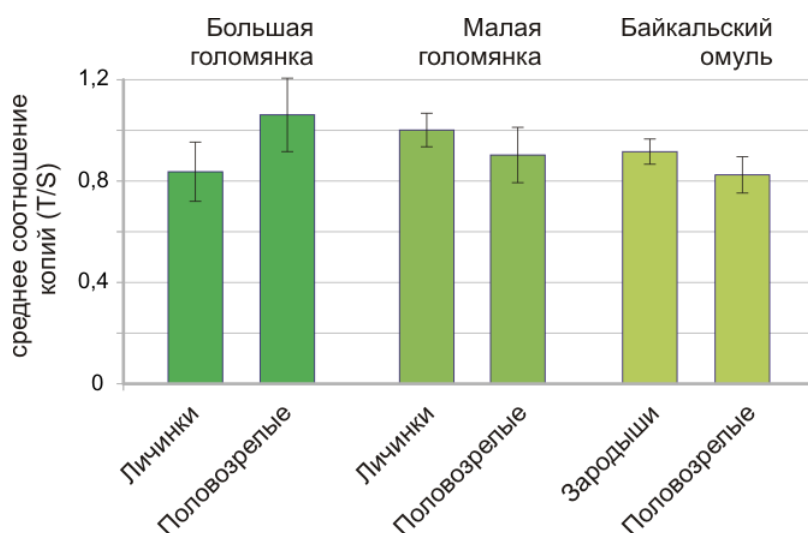


Рис. 2. Возрастные различия в длине теломерной ДНК у байкальских рыб.

**Проект VI.42.1.5.** «Исследования диатомовых водорослей методами электронной микроскопии, геномики и протеомики с целью расшифровки молекулярных механизмов формирования кремнистого экзоскелета и эволюции крупных таксонов». **Научный руководитель:** д.б.н. Е.В. Лихошвай.

В результате анализа нуклеотидных последовательностей генома диатомовой водоросли *Synedra acus* обнаружены и структурно охарактеризованы LTR- и non-LTR-ретротранспозоны и проведен филогенетический анализ ретротранспозонов диатомей.

Для поиска LTR и non-LTR ретротранспозонов был разработан алгоритм, позволяющий проводить *de novo* идентификацию таких повторов в геноме. Анализ предварительной сборки генома диатомовой водоросли *Synedra acus* показал наличие 2192 повтора длиной более 50 п.о., встречаемость в геноме которых превышает 20 кратное значение. Данные повторы образуют 19 больших кластеров, среди которых

удалось охарактеризовать 6 LTR и 8 non-LTR ретротранспозонов. Было установлено, что в исследуемом геноме содержатся семейства *Ty1/Copia* и *Ty3/Gypsy* LTR-ретротранспозонов. На основе сравнительного анализа была дополнена существующая классификация LTR ретротранспозонов диатомовых водорослей (табл. 1), проведен их филогенетический анализ, который показал наличие общего предка LTR-ретротранспозонов диатомей.

Табл. 1.

Классификация LTR ретротранспозонов диатомовых водорослей

Тип	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	<i>Thalassiosira pseudonana</i>	<i>Synedra acus</i>
Codi1	1.1		
Codi2	2.1 2.2 2.3 2.4		
Codi3	3.1		
Codi4	4.1 4.2 4.4	4.5	
Codi5	5.1 5.2 5.3	5.4 5.5 5.6	5.7
Codi6	6.4 6.5 6.6 6.7	6.1 6.2 6.3	6.8 6.9 6.10
Codi7	7.1		
Gydi1		1.1	
Gydi2		2.1	2.2 2.3
	17	9	6

**Приоритетное направление VI.50.** Биофизика. Радиобиология. Математические модели в биологии. Биоинформатика.

**Проект VI.50.1.3** «Исследование механизмов видообразования в экосистеме озера Байкал с использованием методов классической и молекулярной биологии, геномики и биоинформатики». **Научный руководитель:** д.б.н. Д.Ю. Щербаков.

На основе сравнения нуклеотидных последовательностей митохондриального гена цитохрома *B* выявлен высокий уровень генетического разнообразия байкальского вида рогатковидных рыб *Batrachocottus talievi* Sidelyova, 1999 и его четкая подразделенность в пределах озера. Показано (рис. 3), что вид распадается на две основные генетические группы, одна из которых приурочена к южной и средней котловинам, а другая – к северной котловине. Генетический разрыв между популяциями сопоставим с генетическими расстояниями между отдельными видами рогатковидных рыб Байкала, что говорит о возможном аллопатрическом видообразовании, весьма необычном для Байкала.

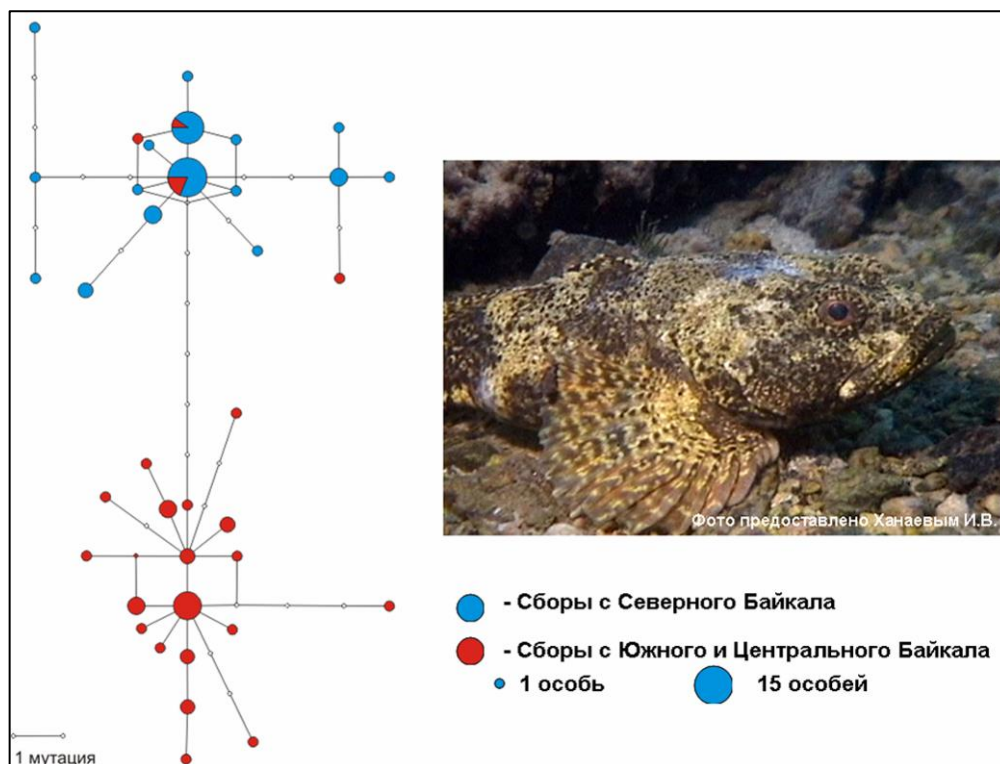


Рис. 3. Генетическая подразделенность широколобки *Batrachocottus talievi* Sidelyova, 1999 в озере Байкал.

#### Приоритетное направление VI.51. Биотехнология.

**Проект VI.51.1.9.** «Особенности формирования и жизненная стратегия микробного сообщества и вирусов в биопленках в оз. Байкал». **Научный руководитель:** к.б.н., доцент В.В. Парфенова.

С помощью пиросеквенирования было получено 30660 последовательностей со средней длиной 430 п.н. (12844, 3670, 3854, 4393 и 5899 – с мрамора, гранита, амфиболита, контрольного камня и стальной пластины, соответственно). В составе сообществ исследуемых биопленок доминируют три бактериальные филы: Cyanobacteria (8-46%), Proteobacteria (14-43%) и Bacteroidetes (10-40%). В домене Eukarya были обнаружены последовательности 10 родов диатомовых водорослей (доминирующий род *Cocconeis*), отмечены также генотипы криптофитовых и зеленых водорослей. Молекулярно-генетическим анализом по Сэнгеру определены генотипы доминирующих представителей фил Bacteroidetes, Cyanobacteria и классов Alphaproteobacteria и Betaproteobacteria (рис. 4). Отмечено большое их разнообразие уже в первый год формирования биопленки с доминированием филы Bacteroidetes. В зрелой биопленке происходит смена структуры сообщества с преобладанием представителей Cyanobacteria и Proteobacteria. По мере формирования биопленок Alphaproteobacteria вытесняют в них представителей филы Bacteroidetes. По наличию хлоропластной ДНК массовый вид фитопланктона *Synedra acus* обнаружен в молодых и зрелых биопленках.

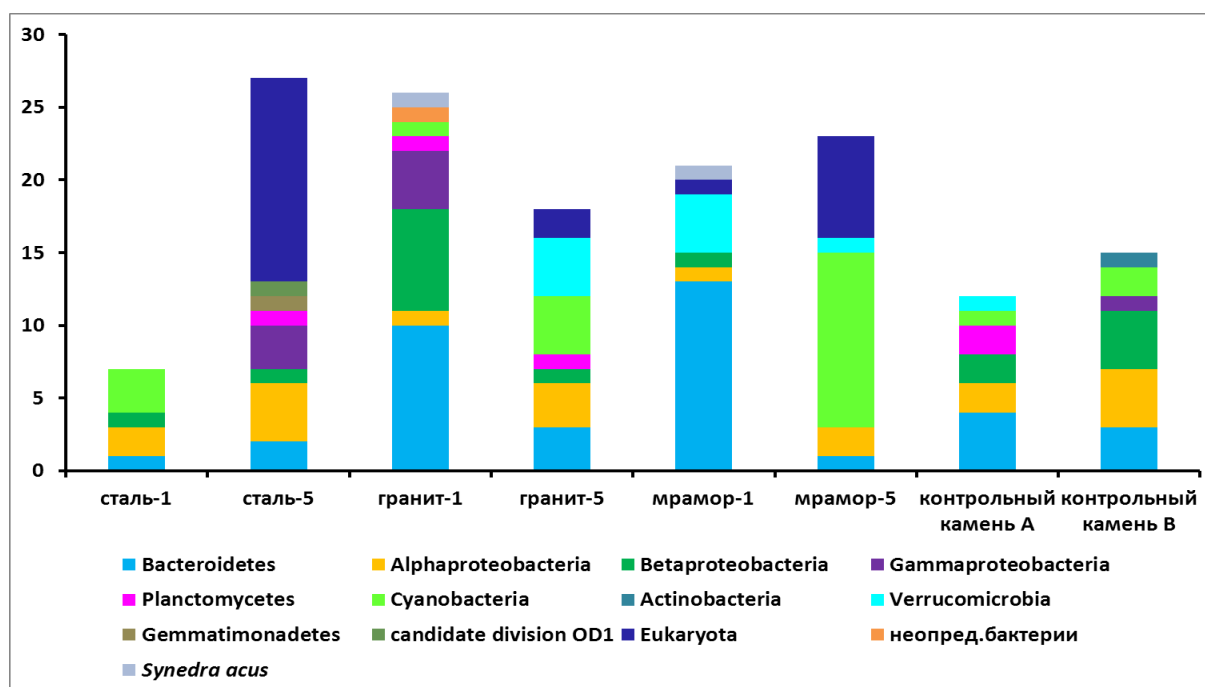


Рис. 4. Структура микробного сообщества, детектированного молекулярно-генетическим анализом по Сэнгеру (обозначения: сталь 1 и т.д. - молодая биопленка, время экспозиции 1 год; сталь 5 и др. - зрелая биопленка, время экспозиции 5 лет).

**Приоритетное направление VII.62.** Динамика и охрана подземных и поверхностных вод, ледники, проблемы водообеспечения страны.

**Проект VII.62.1.3.** «Комплексный экологический аудит Байкальской природной территории и экосистемы озера Байкал – участка мирового природного наследия». **Научные руководители:** ак. М.А. Грачев, д.г.н. Т.В. Ходжер.

Исследована сезонная динамика главных ионов, органического углерода, 52 следовых элементов в р. Селенге и ее притоках на территории России, в протоках и в барьерной зоне оз. Байкал. Максимальные и средневзвешенные концентрации большинства следовых элементов, в том числе тяжелых металлов, ниже аналогичных показателей глобального природного речного фона, установленного для более 30 рек мира, находящихся в зонах с низкой антропогенной нагрузкой (рис. 5).

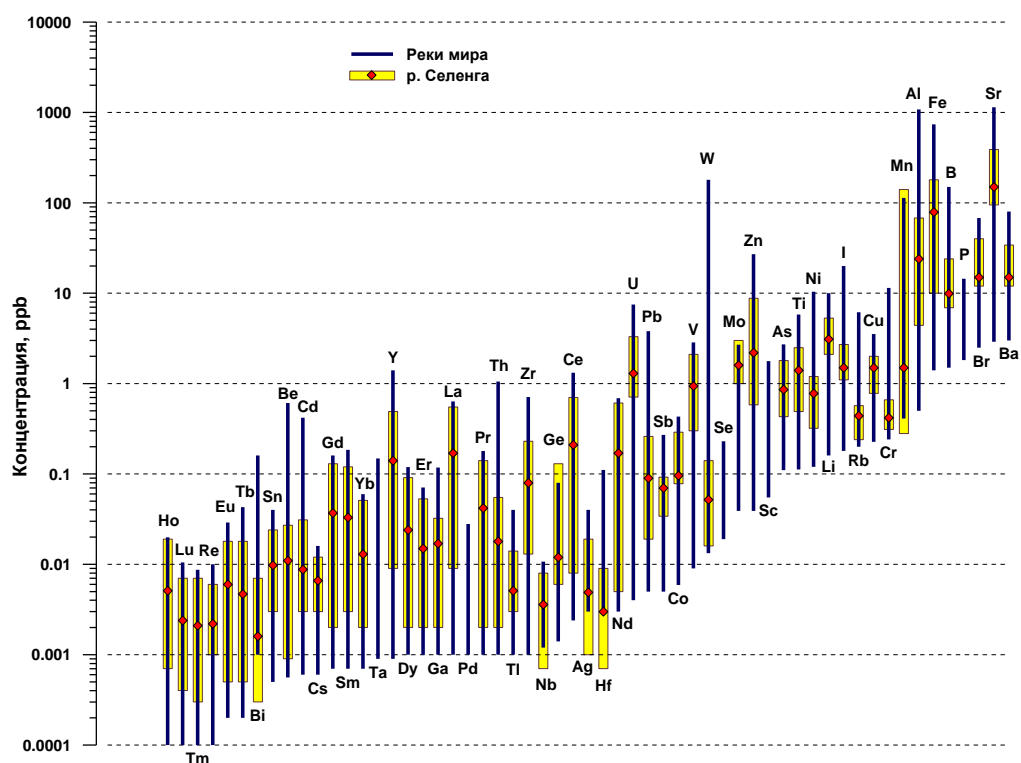


Рис. 5. Концентрации следовых элементов в р. Селенге в сравнении с показателями глобального природного речного фона – ГПРФ (более 30 крупнейших рек мира, находящихся в зонах с низкой антропогенной нагрузкой). Барами (темно-синий цвет) показаны диапазоны колебаний концентраций элементов ГПРФ, (желтый цвет) в р. Селенге. Красными кружками показаны средневзвешенные концентрации элементов в р. Селенге, 2010г.

**Проект VII.62.1.4.** «Междисциплинарное исследование заплесковой зоны как важной составляющей литорали озера Байкал». **Научный руководитель:** д.б.н. О.А. Тимошкин.

Установлено, что элементный состав воды зоны заплеска озера Байкал связан с комплексом факторов. Максимальное количество биофильных элементов (S, P, Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Cu, Zn и др.) поступает в эту зону в период разложения береговых скоплений детрита (БСД). При этом вода обогащается не только элементами минерализации БСД, но и элементами (Al, Si, Fe, Mn, Ti, редкоземельные элементы и др.), переходящими в раствор при разрушении пляжных грунтов органическими кислотами, которые образуются при разложении БСД (рис. 6). Заметное влияние на элементный состав воды зоны заплеска оказывают растительный и почвенный покров, геологическое и геоморфологическое строение берегов, а также климатические условия. Важным фактором является развитие и отмирание прибрежных организмов.



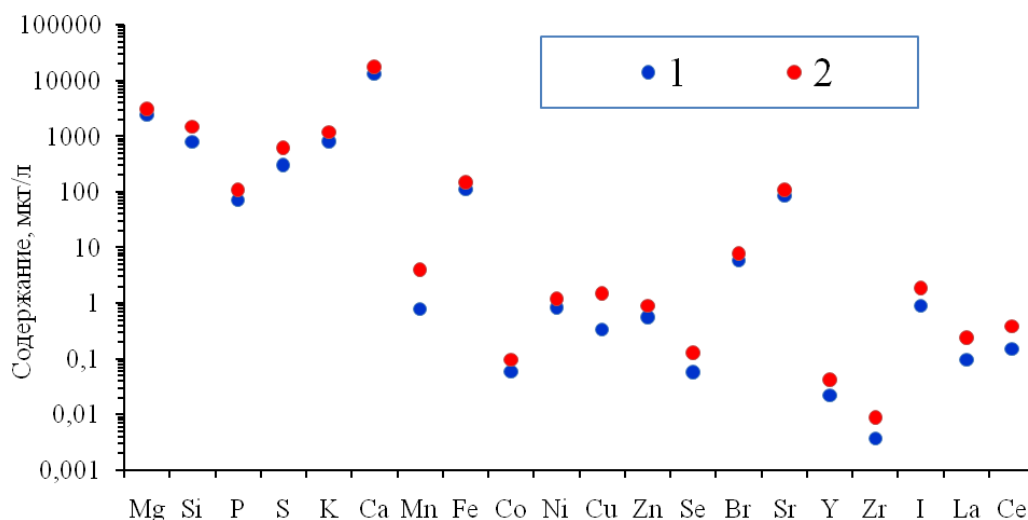


Рис. 6. Содержание химических элементов в интерстициальной воде зоны заплеска: 1 – проба воды, отобранная с участка без БСД; 2 – проба воды, отобранная под береговыми скоплениями отмерших имаго ручейников.

**Проект VII.62.1.5.** «Физическая лимнология Байкала: воздействие современных изменений климата и потоков газа из донных отложений на пространственно-временную структуру физических характеристик водной толщи (2010-2012 гг.)». **Научные руководители:** к.г.н. Н.Г. Гранин, д.г.н. М.Н. Шимараев.

В результате регистрации эхолотного сигнала в Среднем и Южном Байкале было зафиксировано 17 выходов газа (рис. 7). Впервые проведена оценка потока газа акустическим методом. Данные о потоке метана в факелах (54-110 т/год) позволили оценить поток метана для акватории Южного и Среднего Байкала, который составил 1400-2800 т/год. Поступление метана в 2002-2004 гг. для всего озера составляло 50-80 т/год. Оценки свидетельствуют о том, что в настоящее время происходит увеличение поступления метана, которое должно сопровождаться ростом его концентраций в водной толще озера.

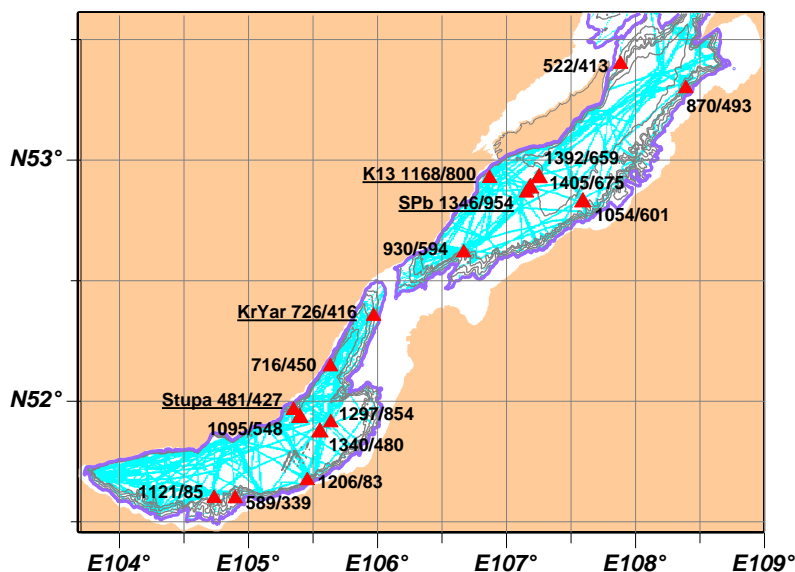


Рис. 7. Карта расположения глубоководных газовых факелов в Среднем и Южном Байкале, цифрами обозначены глубина воды / высота факела. Голубым цветом выделена исследованная площадь дна.

Тенденции изменения стока основных притоков оз. Байкал в условиях потепления климата различны. Для р. Селенги, более 80% бассейна которой испытывает дефицит влаги, потепление ведет к росту испарения и уменьшению стока (рис. 8 б). Наоборот, для рек Верх. Ангары и Баргузина (рис. 8 в, г), бассейны которых находятся в условиях умеренного увлажнения, распространения многолетней мерзлоты и устойчивого зимнего снегонакопления, потепление может способствовать вовлечению в питание рек дополнительной влаги, что объясняет рост их стока, особенно для р. Верх. Ангары. Снижение доли р. Селенги в суммарном притоке частично компенсируется ростом стока рек Верх. Ангары и Баргузина. Тренд суммарного притока в Байкал в 1966-2008 гг. был отрицательным с низким уровнем значимости. Предполагается, что при сохранении климатического фона в регионе в ближайшие 5 лет сохранится тренд незначительного снижения притока и стока при одновременном росте испарения. Однако, возможно развитие нового цикла водности со снижением испарения и ростом остальных балансовых составляющих.

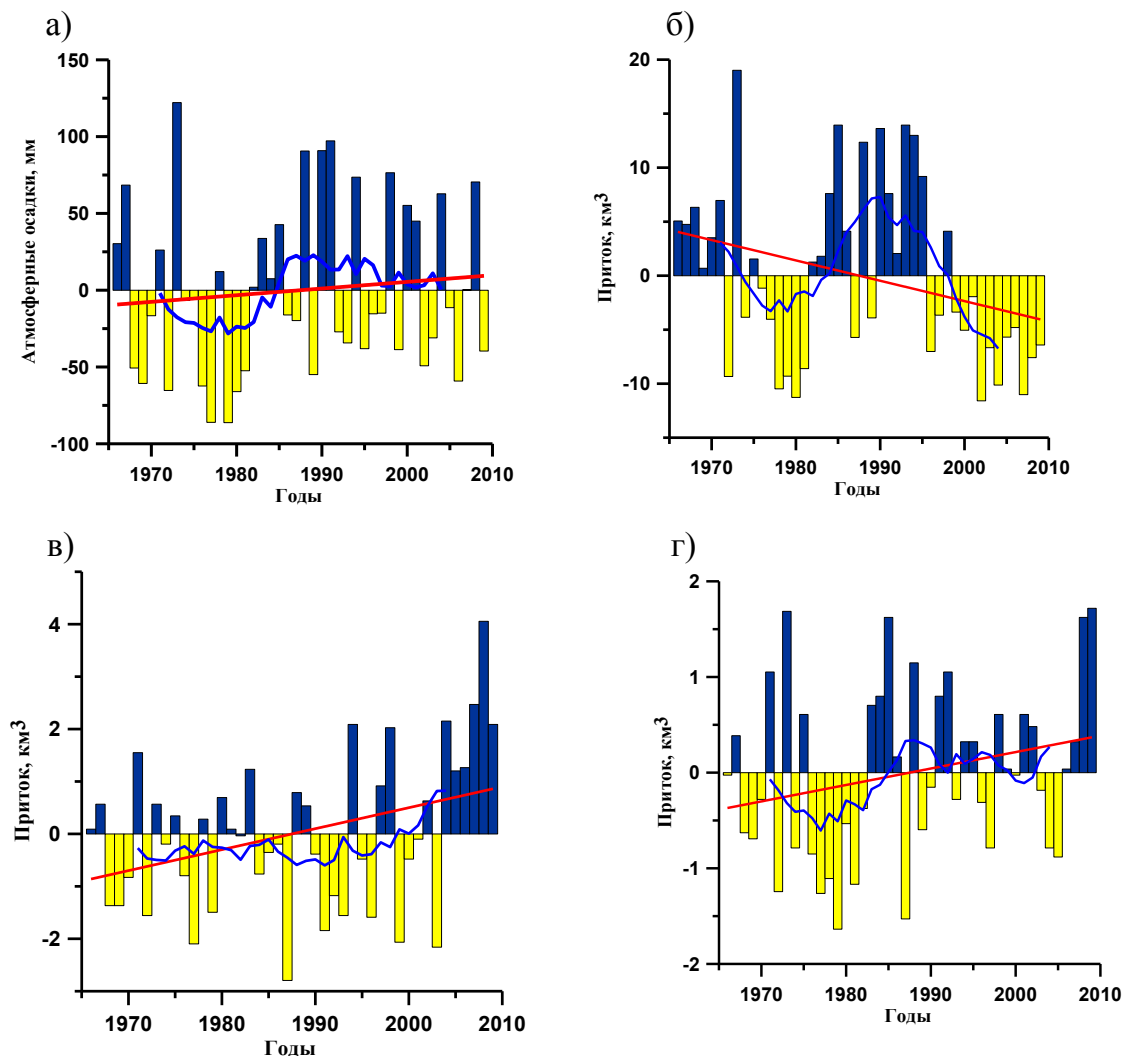


Рис. 8. Годовые аномалии количества осадков, осредненные по данным 8 байкальских станций (а) и годовые аномалии притока рек Селенги (б), Верх. Ангары (в) и Баргузина (г). Аномалии рассчитаны относительно среднего количества осадков за 1966-2008 гг. (358 мм), среднего притока за 1966-2008 гг. р. Селенги (28 км<sup>3</sup>), Верх. Ангары (9 км<sup>3</sup>) и Баргузина (4 км<sup>3</sup>). Кривая линия соответствует 11 летнему сглаживанию. Линейный тренд показан прямой линией.



**Приоритетное направление VII.65.** Эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования, использование традиционных и новых источников энергии.

**Проект VII.65.1.2.** «Реконструкция изменений природной среды и климата за последние 75 тыс. лет по результатам исследования осадков пролива Малого Моря оз. Байкал». **Научный руководитель:** к.г.н. Э.Ю. Осипов.

По результатам комплексного исследования керн донных отложений из пролива Малое Море установлено, что большинство сигналов содержат климатические отклики на события Дансгаарда-Ошгера в Гренландии, однако они имеют более сложную структуру по сравнению с гренландской изотопно-кислородной кривой (рис. 9). Сделано предположение о том, что на формирование донных осадков Малого Моря оказывало влияние несколько основных терригенных источников, заметно различающихся по элементному составу – реки Верх. Ангара, Баргузин, Селенга, твёрдый сток с северо-западного берега и «ледниковое молоко» – результат ледниковой эрозии пород в горном окружении Байкала.

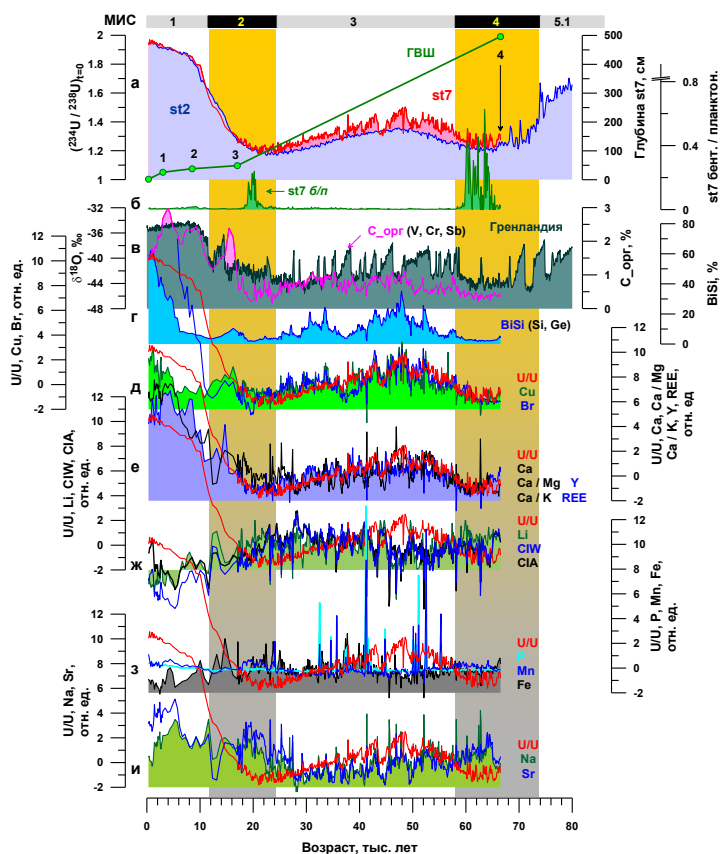


Рис. 9. Водные, биогенные и терригенные индикаторы изменения палеоклимата в осадках пролива Малое Море озера Байкал. (а) – профили изотопного состава аутигенного урана в осадках st7 (Малое Море) и st2 (Академический хребет), глубинно-возрастная шкала для st7 построена путём корреляции профилей по пяти точкам (зелёные кружки), керн st2 датирован ранее U-Th методом (Чебыкин и др., 2004); (б) – отношение бентосных видов диатомей к планктонным в осадках, маркирующее экстремально неблагоприятные условия развития диатомей; (в) – сопоставление профиля органического углерода в осадках st7 с изотопным составом кислорода в гренландских льдах (Jouzel et al., 2008); (г) – профиль содержания биогенного кремнезёма, а также сходные с ним профили отношений Si/Al и Ge/Al в осадках; (д-и) – основные типы профилей нормированных на содержание Al элементов в осадках st7 в сопоставлении с профилем изотопного состава аутигенного урана ( $U/U = ({}^{234}U/{}^{238}U)_{t=0}$ , красный)

**Проект VII.65.2.4.** «Исследование биогеохимических обстановок в зонах залегания газовых гидратов и разгрузки газообразных углеводородов на границе раздела «вода-дно» озера Байкал». **Научный руководитель:** д.б.н. Т.И. Земская.

Для района с разгрузкой маломинерализованных вод (холодный сип «Голоустное») с использованием пенетрометра впервые проведено картирование кровли газовых гидратов (ГГ). Формирование ГГ не зависит от свойств донных отложений, их приповерхностные скопления тяготеют к местам длительной пузырьковой разгрузки газа на глубинах более 363 м. С учетом данных эхолокации смоделирована нижняя граница стабильности ГГ (рис. 10). Оценена максимально возможная мощность слоев ГГ, которая составляет 35-80 м для разгрузки чистого метана и 50-100 м для смешанного газа (98,5% метана и 1,5% этана).

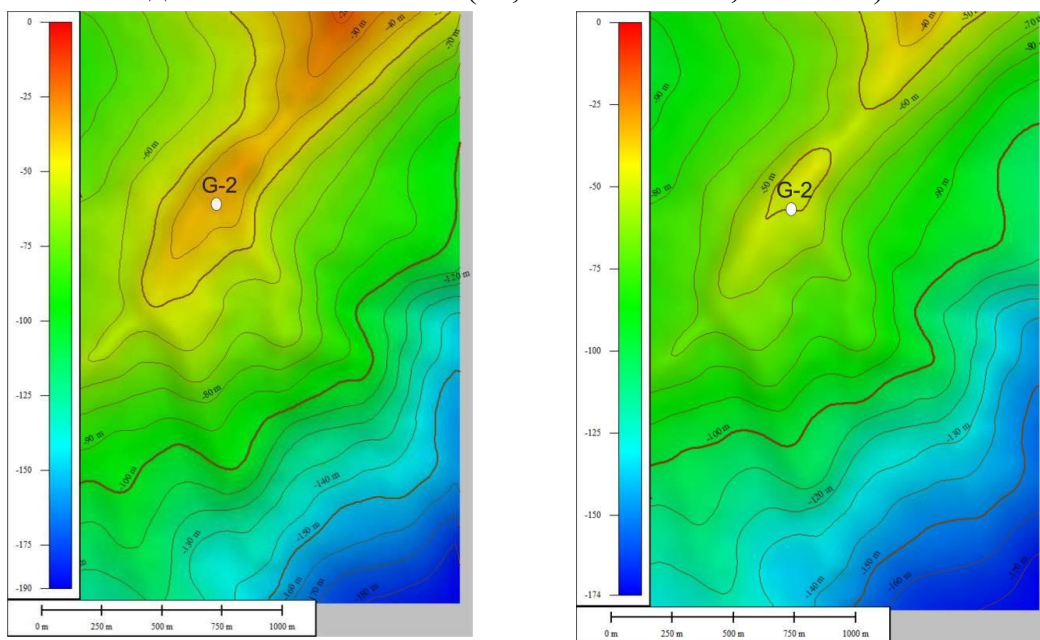


Рис. 10. Схемы глубины нижней границы стабильности газовых гидратов. Слева для чистого метана (100%), справа для метана 98,5% и этана 1,5 %.

Поровые воды осадков в районах выходов метана характеризуется широким спектром химического состава. Обогащение осадков ионами  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  и метана способствуют развитию разнообразной микрофлоры. В районе разгрузки вод с минерализацией ниже, чем в байкальской воде (холодный сип «Голоустное») в поверхностных осадках найдены аэробные метанотрофы всех известных морфотипов, а также новые филогенетические линии бактерий и архей.

**Научные результаты, полученные в ходе выполнения проектов по  
Программам Президиума РАН**

**Программа Президиума РАН № 4.** Природная среда России: адаптационные процессы в условиях изменяющегося климата и развития атомной энергетики.

**Проект № 4.11.** «Реконструкция процессов опустынивания в Центральной Азии по ледникам и ледниковым комплексам». **Координатор:** к.г.н. Э.Ю. Осипов

Гляцио-геоморфологические исследования в долине р. Мугувек показали, что конечно-моренный комплекс ледника Перетолчина (высота 2700-2900 м) маркирует максимальное выдвижение ледника во время Малого ледникового периода. Реконструкция высоты границы питания (ГП) на леднике Перетолчина для последних 4 тыс. лет показала, что со времени средневекового оптимума ГП снизилась на 300 м, затем повысилась на 150 м. Наиболее низкое положение ГП наблюдалось во время малого ледникового периода (максимальная депрессия в голоцене). С того момента и до настоящего времени наблюдается резкий подъем снеговой линии и отступление ледника на 720 м (со скоростью 4,6 м/год).

**Программа Президиума РАН № 6.** Молекулярная и клеточная биология.

**Проект 6.3** «Молекулярные и клеточные механизмы синтеза кремнистых панцирей диатомей». **Координатор:** ак. М.А. Грачев.

В ходе расшифровки полного генома диатомеи *Synedra acus* методом пиросеквенирования достигнуто 20-кратное перекрытие прочтений. Выявлены гены – потенциальные участники морфогенеза кремнистой створки диатомей.

Обнаружены два новых гена белков транспорта кремниевой кислоты SIT. В дополнение к ранее расшифрованному гену транспорта кремниевой кислоты *sit1* найдены новые гены *sit2* и *sit3*. Метод секвенирования по Сэнгеру позволил установить, что гены *sit2* и *sit3* образуют тандем. Гены *sit2* и *sit3* имеют значительную гомологию с геном *sit1* на протяженных участках, но не идентичны ему. Сравнительный анализ 183 аминокислотных последовательностей белков SIT у 70 видов диатомовых и 2 видов хризофитовых водорослей показал, что у подавляющего большинства из них имеется мотив CML(I)D – предполагаемый активный центр связывания кремниевой кислоты. В геноме *Synedra acus* обнаружен ген аквапоринподобного белка (рис. 11).

Белки семейства MIP (major intrinsic proteins), или аквапорины, у всех организмов выполняют функцию пассивного транс-мембранного переноса молекул воды и других малых незаряженных полярных молекул. Ранее нами было предположено, что аквапорины участвуют в синтезе кремнистых стенок диатомей путем удаления молекул воды из везикул отложения кремнезема. Сравнительный биоинформатический анализ предсказанных аминокислотных последовательностей 15

белков MIP представителей царства *Chromista* - диатомовых и бурых водорослей с 8 429 аквапоринами других организмов позволил впервые классифицировать эти MIP белки водорослей. Пять белков хромист выделены в отдельное подсемейство, LIPs (large intrinsic proteins).

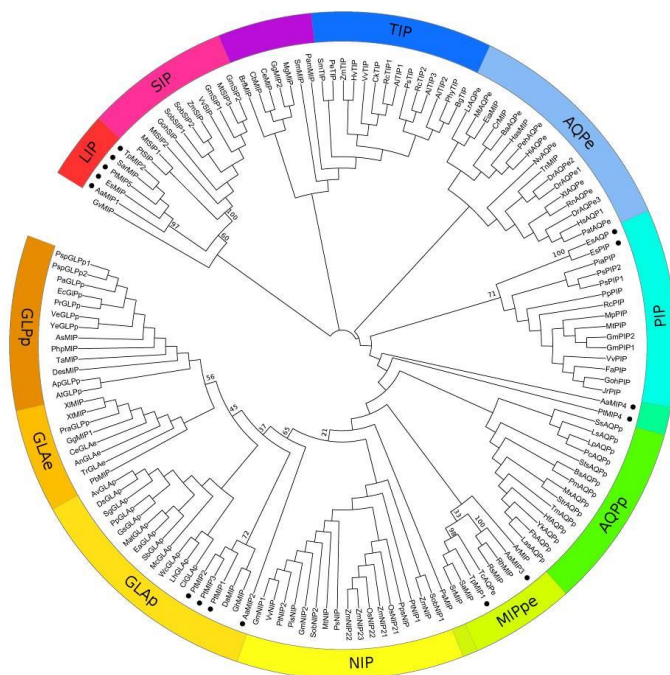


Рис. 11. Филогенетический анализ белков семейства аквапоринов (MIP) с помощью MEGA5 по модели JTT: AQP – аквапорины; GLA – акваглицеропорины; GLP – глицеропорины; MIP – главные внутримембранные белки; NIP – нодулин-26-подобные белки; PIP – плазмалемные главные белки; SIP – малые главные внутримембранные белки; LIP – большие главные внутримембранные белки; TIP – внутримембранные белки тонопластов; XIP – неклассифицированные MIP; e – эукариоты; p – прокариоты (• - белки диатомовых и бурых водорослей).

**Программа Президиума РАН № 23.** Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология. **Подпрограмма:** «Глубоководные исследования озера Байкал».

**Проект № 23.7.** «Геолого-геофизическое зондирование подводных топоструктур, обнаруженных многолучевой эхолокацией, и дополнительное высокоразрешающее картирование дна озера Байкал». **Координатор:** О.М. Хлыстов.

С помощью данных системы акустического профилографа-эхолота с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ) зондирующего сигнала Bathy-2012PC CHIRP Sub-Bottom Profiler было установлено, что исследуемые подводные топоструктуры по сейсмическому рисунку являются грязевыми вулканами (рис. 12). В ходе геологического опробования в них обнаружена грязевулканическая брекчия и, в отдельных случаях, скопления газовых гидратов. За отчетный период было обнаружено 5 новых мест скоплений газовых гидратов: три в новых грязевых вулканах, одно в уже известном районе разгрузки газа (seep), и еще одно в районе

покмарка. Это первая находка газовых гидратов в осадках покмарка в Байкале. К настоящему времени на дне озера обнаружено 26 районов с приповерхностным залеганием газовых гидратов, 15 из них были открыты за последние 3 года благодаря данным съемки 2009 г. многолучевым эхолотом, полученным в рамках предыдущего проекта Программы Президиума РАН 21.8.

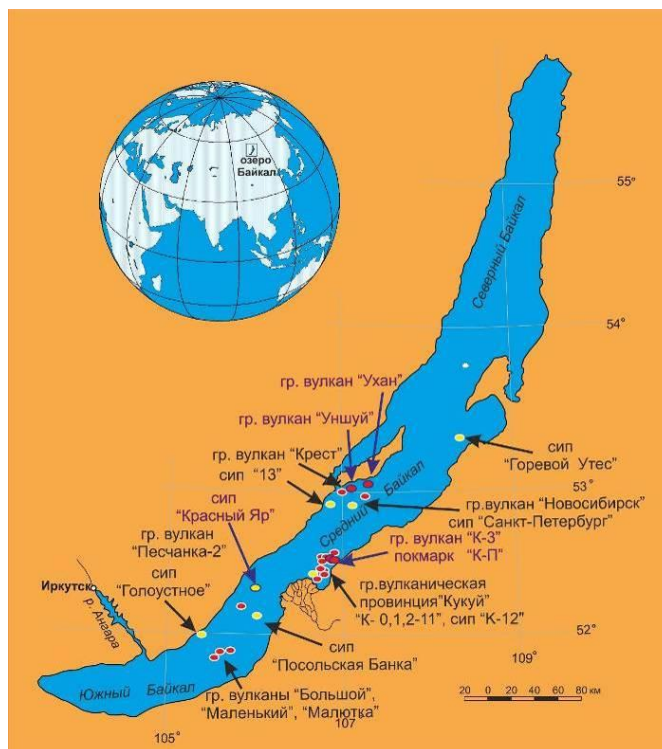


Рис. 12. Схема распределения приповерхностных гидратов. Желтые кружки – места разгрузки газа (сип), красные – грязевые вулканы. Фиолетовым цветом выделены названия мест находок газовых гидратов в 2012 г.

**Проект №23.9.** «Комплексные исследования биологических сообществ абиссали озера Байкал и их зависимость от типа разгружающегося флюида». **Научный руководитель:** д.б.н. Т.И. Земская.

Закончен анализ данных исследования макро- и мейофауны в четырех районах, отличающихся по геоморфологическим показателям и по составу разгружающихся углеводородсодержащих флюидов. Подобно морским сипам, для макрофауны из зон разгрузок отмечены разнообразные изотопные характеристики (рис. 13). Облегченные значения  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{15}\text{N}$  предполагают использование органического вещества, продуцированного в процессе хемосинтеза, и/или в процессе метанотрофии. В отличие от этого более тяжелый изотопный состав  $\delta^{13}\text{C}$  некоторых подвижных амфипод отражает потребление ими углерода, продуцированного в процессе фотосинтеза. Полученные данные, по крайней мере, частично объясняют, почему озеро Байкал имеет такую высокую степень биоразнообразия по сравнению с любым другим озером в мире при очень низкой средней температуре.



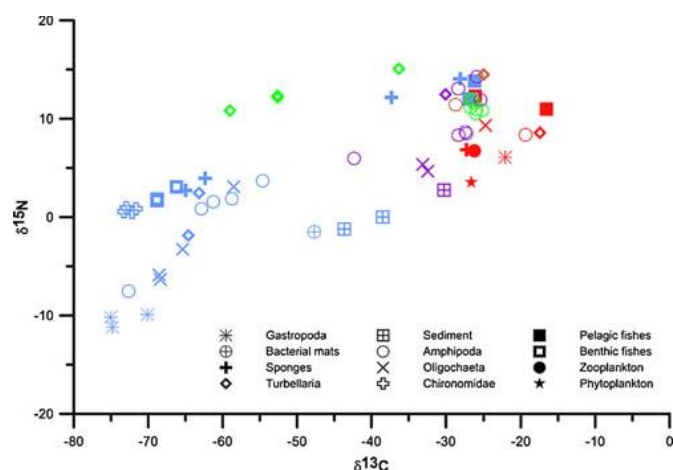


Рис. 13. График распределения значений стабильных изотопов углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ) и азота ( $\delta^{15}\text{N}$ ) в тканях животных, населяющих вент Фролиха (голубым цветом), метановый сип С.-Петербург (зеленым), грязевый вулкан Маленький (коричневым), нефтяной сип Горевой Утес (фиолетовым) в сравнении с данными Йоши (Yoshii, 1999 и Yoshii et al., 1999) для других районов оз. Байкал (красным цветом).

**Проект №23.10.** «Исследование разномасштабных гидрофизических процессов, как основных факторов обуславливающих появление кольцевых структур на ледовом покрове озера Байкал». **Координаторы:** д.ф.-м.н. Е.В. Ерманюк, к.г.н. Н.Г. Гранин.

В навигационный период исследованы донные отложения и особенности гидрофизических условий в районах проявления кольцевых структур в ледовом покрове зимой. В июле 2012 года были получены подтверждения того, что всплывающие газовые гидраты могут быть причиной локальных апвеллингов. При всплывании они начинают интенсивно разлагаться, начиная с глубины 380 м, при этом выделяется метан. Следствием этого является вертикальное перемешивание вод и повышение концентрации кислорода на глубинах 200-400 м, которое наблюдалось в центральной части кольцевых структур в разных районах Байкала (рис. 14).

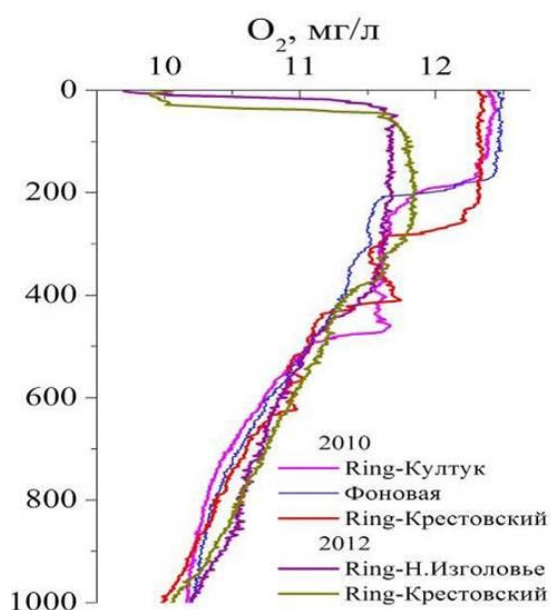


Рис. 14. Вертикальное распределение кислорода в центре кольцевых структур Култук у м. Крестовского, и у м. Ниж. Изголовье и на фоновой станции – середина разреза пос. Маритуй – р. Солзан.



**Проект №23.11.** «Исследование структуры и динамики водных масс озера Байкал и Японского моря с применением изотопных трассеров». **Научный руководитель:** д.г.н. М.Н. Шимараев.

Впервые с использованием многолетних береговых, судовых и спутниковых наблюдений проведено изучение упорядоченных вертикальных движений водных масс (апвеллинги и даунвеллинги) в Байкале. Выделяются апвеллинги (АП) при сгонных ветрах с берега, «экмановские» апвеллинги и даунвеллинги при вдольбереговых ветрах и пелагические АП в центре циклонических макроциркуляций. С использованием данных о тритии определена глубина развития ап- и даунвеллингов (200-400 м и, возможно, глубже у истока р. Ангары), а по данным об изменении температуры воды во времени оценена средняя скорость подъема ( $0,1-6,5 \cdot 10^{-2}$  см/с) и опускания вод ( $2-9 \cdot 10^{-2}$  см/с). Показано, что летом и осенью апвеллинги приводят к обострению термических и динамических (течения) фронтов у берега. Перераспределение тепла в поле пелагических апвеллингов поздней осенью объясняет более высокий теплозапас прибрежных районов и приводит к формированию в центре Байкала термобара «весеннего» типа. Ранней весной и перед ледоставом прибрежные даунвеллинги могут усиливать глубинную конвекцию и обновление глубинных вод у берегов, вызывая увеличение концентрации трития и кислорода в придонной зоне озера.

**Программа Президиума РАН № 24.** Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов.

**Проект №24.39.** «Инкорпорирование химических аналогов кремния в створки диатомей: исследование механизмов биосилификации – путь к новым наноматериалам». Координатор: д.б.н. Е.В. Лихошвай.

Установлена способность растворимых органо-кремнистых композитных наночастиц к агрегации в кремнеземные материалы (рис. 15), в том числе включающие добавки германия, олова, титана или циркония.

Обнаружено, что органо-кремнистые композитные материалы, содержащие химические аналоги кремния, обладают люминесцентными свойствами при облучении УФ и видимым светом. Показано, что на основе полученных композитов возможно изготовление люминесцентных покрытий и плёнок.

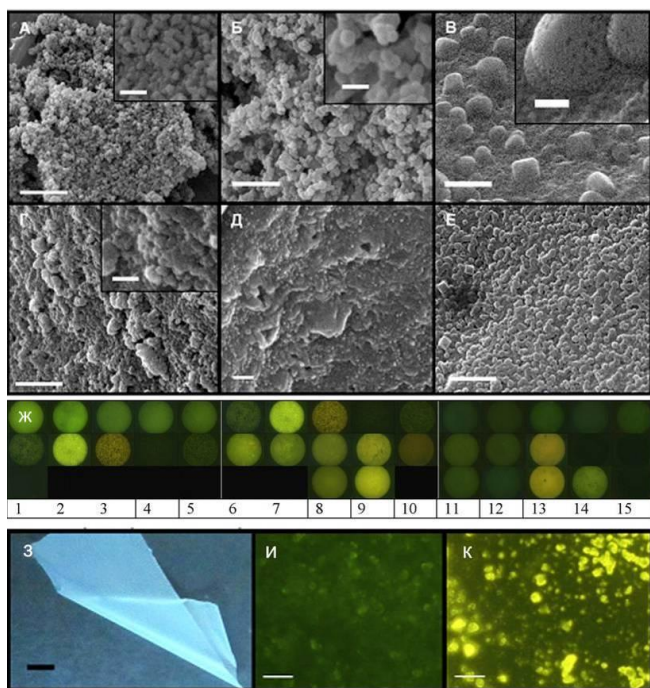
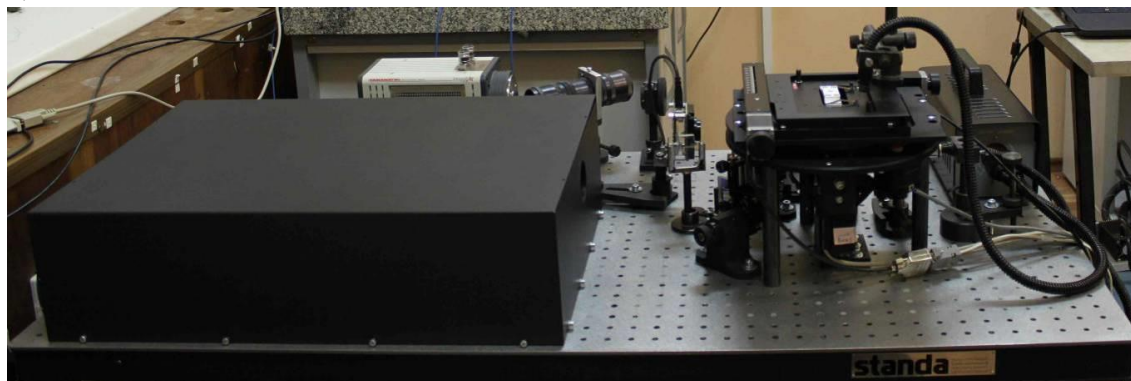


Рис. 15. Микрофотографии образцов осадков, полученных при конденсации кремниевой кислоты в присутствии: А – ПВА, Б – N3 и Ge В – сополимера ВИ-АК и Ti, Г – ПВА и Zr, Д – ВИ-АК и Sn после 30 мин прогрева при 550°C, Е – ВИ-АК и Ge после 30 мин прогрева при 550°C. Масштаб А-Г, Е – 1 мкм, Д и вставки – 200 нм. Ж – фотографии образцов при возбуждении излучением 470 нм. Номера 1-5 – с ПВА, 6-10 – с N3, 11-15 – с ВИ-АК, без металла – 1, 6, 11, Ge – 2, 7, 12, Sn – 3, 8, 13, Ti – 4, 9, 14, Zr – 5, 10, 15; первый ряд без термообработки, второй ряд – 10 мин при 550°C, третий ряд – 30 мин при 550°C. З – пленка ВИ-АК с Ti, И – пленка ВИ-АК с Ti после 15 мин прогрева при 150°C, К – пленка ВИ-АК с Ti после 10 мин прогрева при 300°C. И и К – фотографии при возбуждении 470 нм. Масштаб З – 1 см, И и К – 50 мкм.

**Проект №24.58.** «Разработка и апробация платформы для быстрого секвенирования отдельных молекул ДНК в реальном времени с использованием флуоресцентных аналогов субстратов в нанореакторах объемом 50 зептолитров». **Координатор:** ак. М.А. Грачев.

Разработаны базовые элементы аппаратно-программной платформы для быстрого секвенирования (чтения последовательности) ДНК (рис. 16а). Создана многоканальная оптическая система для освещения объектов (матрицы нанореакторов) размером 130×130 мкм набором световых пучков и детектирования спектра флуоресцентного излучения от облучаемых объектов в режиме конфокального микроскопа.

а)



б)

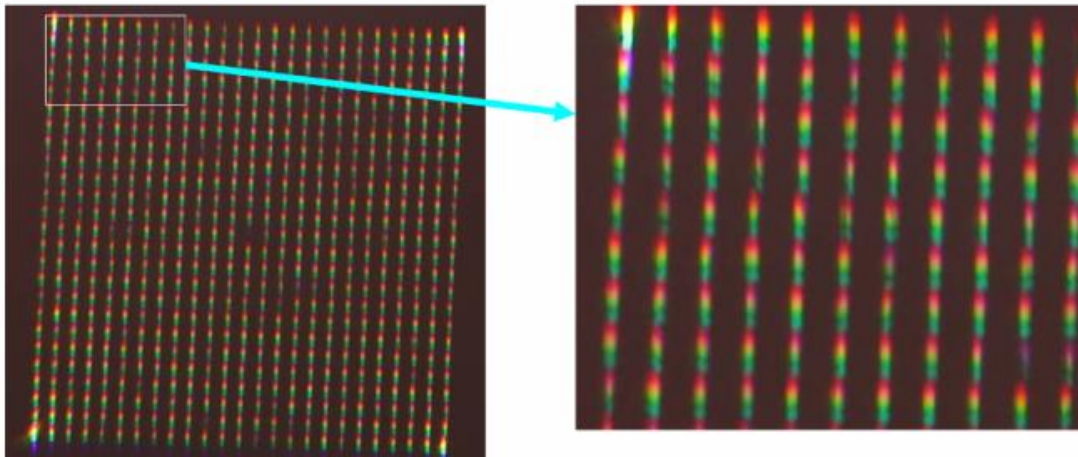


Рис. 16. а) Общий вид оптико-механических и оптико-электронных блоков секвенатора, б) Изображение матрицы нанореакторов на просвет, разложенное в спектр (световая микроскопия).

Экспериментально установлено, что созданная платформа может быть использована как для регистрации в статическом режиме световых сигналов от матрицы нанореакторов на поверхности биочипа, так и для получения изображений при последовательном сканировании поверхности тест объекта в многоканальном конфокальном режиме. Продемонстрировано, что аппаратно-программная платформа позволяет идентифицировать спектральные характеристики параллельного потока световых сигналов, регистрируемых оптической системой (рис. 16б). Кроме того, разработаны, во-первых, ряд способов синтеза новых флуорофор-содержащих полифосфатов дезоксирибонуклеозидов, необходимых для генерации сигнала при анализе ДНК, и, во-вторых, способ получения биочипов с помощью высокоразрешающей электронной литографии в виде матриц нанореакторов (диаметром 70-100 нм) в пленках Al (100 нм) на кварцевой подложке.

Работы ведутся совместно с Институтом химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Институтом автоматизации и электротехники СО РАН и Институтом физики полупроводников СО РАН.

**Программа Президиума РАН № 30.** Живая природа: современное состояние и проблемы развития.

**Проект №30.13.** «Исследование симбиотической и паразитической микрофлоры лососевидных рыб и закономерности ее формирования». **Координатор:** к.б.н. Е.В. Дзюба.

В ходе исследования биоразнообразия симбиотической и паразитической микрофлоры лососевидных рыб и закономерностей его формирования в онтогенезе в кишечниках рыб обнаружены новые для ассоциированной микрофлоры рыб Восточной Сибири виды *Mycoplasma* sp. (Bacteria; Tenericutes; Mollicutes; Mycoplasmataceae; *Mycoplasma*). Филогенетический анализ выявил их

принадлежность группе «hominis» (рис. 17А), а также определено генетическое разнообразие видов *Mycoplasma* sp. в рыбах Восточной Сибири (рис. 17Б) и проведены их культуральные и иммунологические исследования.

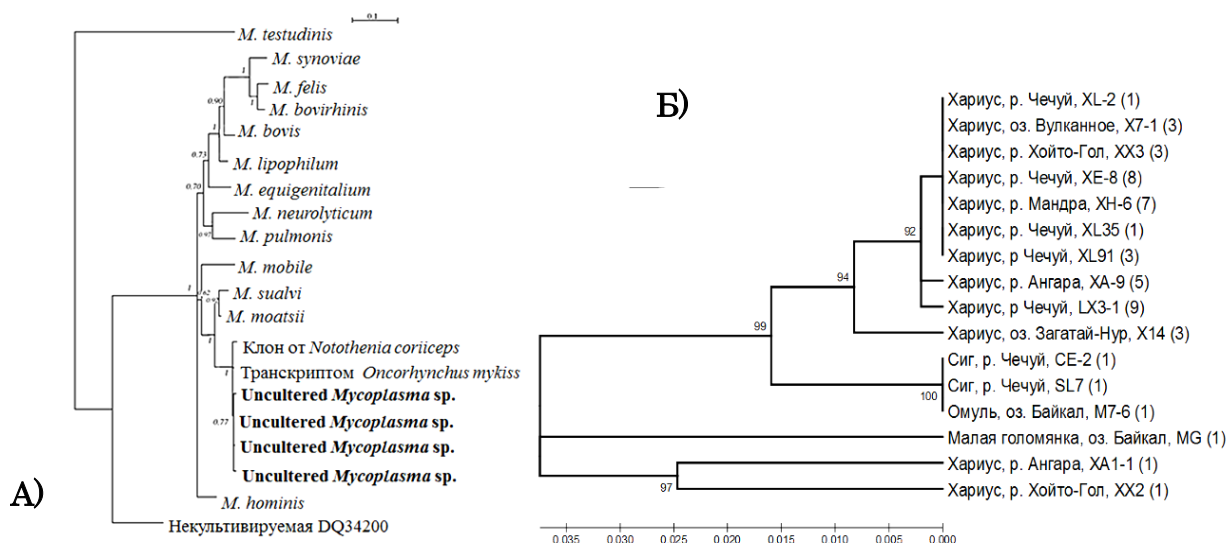


Рис. 17. А – филогенетическое древо *Mycoplasma*, построенное по фрагменту 16S РНК, Б – генетическое разнообразие *Mycoplasma* в кишечниках рыб Восточной Сибири (анализ ITS-регионов).

В желчных пузырях и кишечниках лососевидных рыб обнаружен *Spironucleus barkhanus* (Eukaryota; Diplomonadida; Hexamitidae; Hexamitinae; *Spironucleus*), проведен его филогенетический анализ, оценена степень зараженности разных видов рыб в водоемах Восточной Сибири (рис. 18 А, Б) и определено генетическое разнообразие в байкальском омуле (рис. 18 В). Для определения степени опасности *Mycoplasma* sp. для человека необходимо проведение дополнительных исследований, а *S. barkhanus* для здоровья человека, по литературным данным, не опасен.

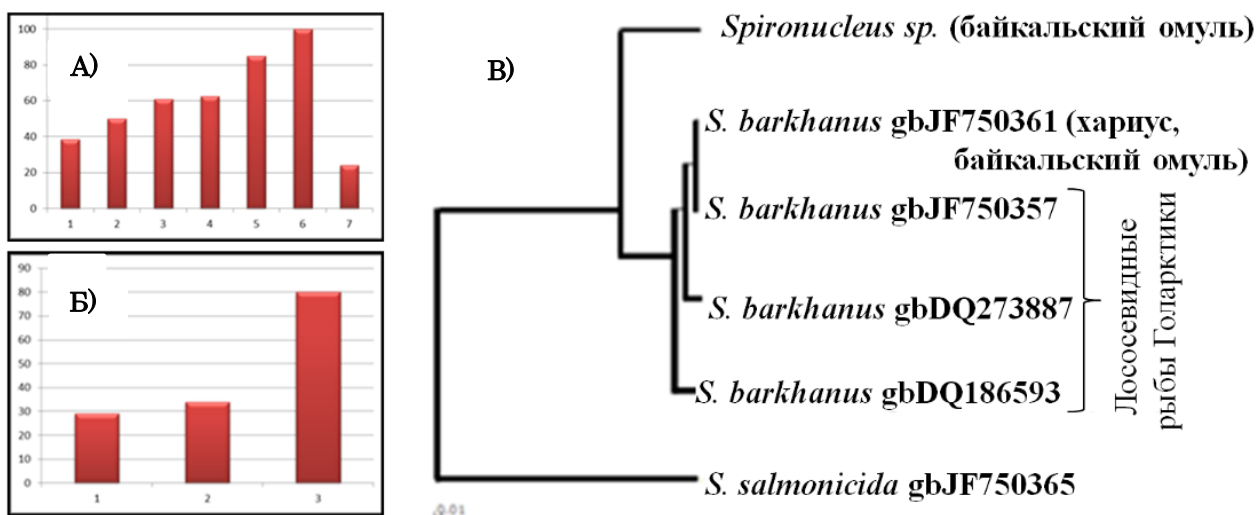


Рис. 18. А – зараженность рыб сем. Thymallidae в системе оз. Хубсугул – Загатай-Нур – Аршантай-Нур – Тухурен-Нур – Байкал – р. Ангара, контрольная группа из р. Чечуй (водосборный бассейн р. Лена), %; Б – зараженность омуля прибрежной, придонно-глубоководной и пелагической МЭГ, %; В – UPGMA – филограмма, отражающая генетическое разнообразие *Spironucleus barkhanus* в популяции байкальского омуля.

**Программа фундаментальных исследований ОНЗ-12.** Процессы в атмосфере и криосфере как фактор изменений природной среды. **Подпрограмма** «Криогенные и гляциальные системы: вопросы реконструкции, динамики, прогноза».

**Проект №12.10.** «Комплексное исследование снежно-фирнового покрова в Восточной Антарктиде». **Координатор:** д.г.н. Т.В. Ходжер.

Проанализирован морфологический, ионный и элементный состав образцов снежно-фирновой толщи 4 снежных шурфов и 2 скважин, вскрытых при ручном и механическом бурении в ходе сезонных работ российских экспедиций в Восточной Антарктиде. Химический состав поверхностных слоев снега по профилю от ст. Прогресс, Комсомольская до ст. Восток (Восточная Антарктида) характеризует глобальный фон приземной атмосферы. Среднее содержание главных ионов в снеге находится на экстремально низком уровне: сульфаты 50-100 мкг/л, хлориды 40-60 мкг/л, натрий 10-30 мкг/л. В районах с высокими скоростями аккумуляции снега, трассерами его сезонной динамики могут служить ионы натрия. Временная изменчивость этого иона в поверхностных слоях снега проявляется наиболее значимо. В снежно-фирновых кернах вблизи ст. Восток определены следы захоронения выбросов из вулканов Пинатубо (1991 г.) на глубинах 130-140 см, Агунг на глубинах 280-290 см (1963 г.), Кракатау (1883 г.) на глубинах 710-715 см, которые маркируются повышенными концентрациями неморских сульфатов, низкими значениями рН снеговой воды, составом и формой захороненных частиц.

**Проект №12.11.** «Эволюция горного оледенения на юге Восточной Сибири в современную климатическую эпоху». **Координатор:** к.г.н. Э.Ю. Осипов.

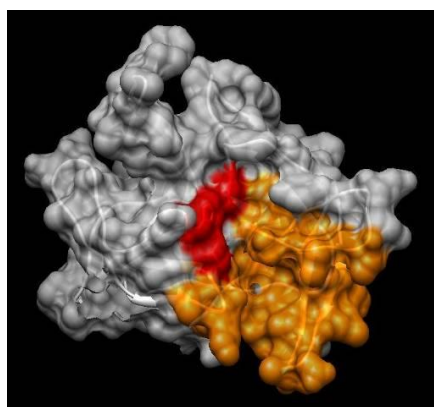
В ходе выполнения проекта была проведена новая инвентаризация и ГИС-картографирование 13 ледников в юго-восточной части Восточного Саяна (5,19 км<sup>2</sup>) и 34 ледников Кодара (8,9 км<sup>2</sup>). Установлено, что с конца Малого ледникового периода (МЛП) площадь ледников Восточного Саяна сократилась на 47%, а ледников Кодара – на 58%. Наиболее быстрые темпы дегляциации наблюдались после 1960-х гг., что хорошо коррелирует с изменениями летней температуры. На одном из ледников Кодара в сезон абляции 2012 г. проведены измерения объема ледникового стока и температурного режима. Было исследовано строение разреза снежного покрова в фирновой зоне ледника и установлено наличие фирново-ледяной зоны льдообразования с возрастом фирна 1-2 года. Химический состав снега, фирна и льда отражает первичный состав твердых атмосферных осадков, измененный процессами таяния и инфильтрации.



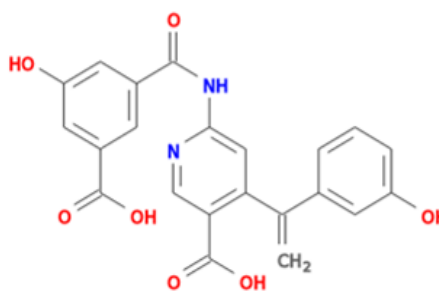
**Научные результаты, полученные в ходе выполнения междисциплинарных интеграционных проектов фундаментальных исследований СО РАН**

**Проект №22, выполняемый совместно с НАН Беларуси «Конструирование высокоспецифичных низкомолекулярных ингибиторов репликации вируса клещевого энцефалита с использованием специализированной вычислительной инфраструктуры и скрининга активности *in vitro*».** Научный руководитель: д.б.н. С.И. Беликов.

Основываясь на результатах междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 63, для поиска потенциальных противовирусных лекарственных средств была выбрана мишень для лиганда – вирусная протеаза NS3/NS2B – конформация которой различается у патогенных и инаппарантных штаммов вируса клещевого энцефалита (КЭ). В ходе исследования пространственной структуры протеазы вируса КЭ (рис. 19) были получены 3 верифицированные консервативные пространственные структуры молекулярных мишеней (участков протеазы), пригодные для конструирования лигандов *in vitro*. Расчеты выполнены на аппаратной платформе — ускорителе Tesla 2050. Использован программный пакет LigBuilder версия 2.0. На один из участков получен набор лигандов, проходящих виртуальные фильтры ADME/T и определена возможность их синтеза на основе библиотеки ZINC.



А



Б

Рис. 19. А – 3D модель протеазы вируса КЭ, желтым цветом выделен активный центр протеазы, красным – молекулярная мишень для лиганда, Б – одна из найденных структур лиганда.

**Проект №8.** «Оценка влияния антропогенных источников Прибайкалья на качество атмосферы над акваторией Байкала на основе экспериментальных наблюдений и математического моделирования». Научный руководитель: д.г.н. Т.В. Ходжер.

Проведено исследование траекторий перемещения циклонов и антициклонов на территории Байкальского региона в разные сезоны на основе анализа приземных и высотных метеорологических карт и спутниковых данных. Начато создание архива



ежедневных синоптических карт. Информация для построения карт бралась с сайтов мировых центров данных (Albany, США; Московский метеоцентр). Собран архив ежедневных приземных синоптических карт за 06 часов (по Гринвичу). С помощью программы HYSPLIT по архивным метеорологическим данным за 2012 г. (архив GDAS – National Oceanic and Atmospheric Administration, США) построены 600 траекторий движения воздушных масс, что позволило определить возможное влияние дальнего переноса на состав атмосферных выпадений в Байкальском регионе. В 2012 г. на юге Восточной Сибири преобладал западный, северо-западный (58% случаев) и юго-западный (29% случаев) переносы, реже всего встречались воздушные массы, приносимые с востока (до 13%).

**Проект № 50.** «Реконструкция годичной динамики ледников Восточной Сибири за последние тысячелетия на основе изучения донных осадков прогляциальных озер и наземных разрезов». **Координатор:** д.г.-м.н. А.П. Федотов.

В 2012 г. велось изучение палео-летописей из донных осадков озер, примыкающих к ледникам, расположенных на Кодарском и Байкальском хребтах и в Восточном Саяне, а также геоморфологические исследования нивально-гляциальных образований горного массива Мунку-Сардык (Восточный Саян). На основе полученных данных определено, что ледники Перетолчина (Восточный Саян), Преображенского (Кодарский хр.) и горы Черского (Байкальский хр.) начали интенсивно стаивать с 1970 г. При этом деградация ледников началась на фоне низких летних температур.

**Проект № 82.** «Глубинная биота осадочной толщи Байкала в зонах разгрузок углеводородов». **Научный руководитель:** д.б.н. Т.И. Земская.

Доказано наличие в поверхностных слоях байкальских осадков холодного сипа «Голоустное» жизнеспособных термофильных микроорганизмов, появление которых может быть следствием их миграции по зонам разломов на поверхность дна озера вместе с газосодержащим флюидом. В термобарических условиях катагенеза ( $t + 80^{\circ}\text{C}$  и давлении 49,5 атм.) установлена способность природного микробного сообщества из глубинных осадков преобразовывать органическое вещество (водоросль *Synedra acis*).

**Проект № 137.** «Разработка новых подходов к применению суперкомпьютеров для решения задачи расшифровки нуклеотидных последовательностей в секвенаторах поколения NEXT». **Координатор:** ак. М.А. Грачев.

В ходе работ получены библиотеки ампликонов для фрагментов гена 16S и 18S рРНК области V3-петли образцов планктона из разных точек Байкала. Внедрен метод для получения библиотек ампликонов с использованием слитых олигонуклеотидов.

Апробирован метод очистки и контроля качества библиотек ампликонов. Библиотеки проанализированы на пиросеквенаторе Roche GS FLX. Получено несколько тысяч прочтений фрагментов последовательностей рРНК для каждого образца. Проведен компьютерный анализ данных, полученных в результате пиросеквенирования библиотек ампликонов для фрагментов гена 16S и 18S рРНК образцов фитопланктона из разных точек Байкала. Схема компьютерного анализа логически разделена на три блока: 1) препроцессинг исходных данных; 2) кластеризация последовательностей; 3) характеристика таксономического состава и генетического разнообразия бактериальных сообществ.

**Проект № 141.** «Разработка потенциальных терапевтических средств для лечения клещевого энцефалита». **Научный руководитель:** д.б.н. С.И. Беликов.

Разработан метод получения и очистки рекомбинантного неструктурного белка NS1 вируса клещевого энцефалита, пригодного для проведения отбора ДНК-аптамеров. Получен очищенный и рефолдированный белок NS1 в количествах, достаточных для получения аптамеров. Проведено 14 стадий отбора аптамеров методом SELEX, основанным на повторяющихся стадиях сорбции вырожденного 80-звенного олигонуклеотида с белком, с последующим удалением слабо связывающихся олигонуклеотидов и обогащением специфично связывающихся аптамеров. Проводится оценка константы связывания пула аптамеров с рекомбинантным белком.