

Научные результаты, полученные в 2013 г.,

в ходе выполнения проектов в рамках приоритетных направлений

Приоритетное направление VI.50. Биология развития и эволюция живых систем.

Проект VI.50.1.3 «Исследование генетических, молекулярных, эволюционных и экологических аспектов представителей царства Chromista как основных продуцентов биогенного кремнезема и участников круговорота биогенных элементов водных экосистем». **Научный руководитель:** д.б.н., проф. Е.В. Лихошвай.

Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) составляют существенную часть разнообразия автотрофных организмов в оз. Байкал. Устойчивость их сообществ является показателем стабильности среды обитания к внешним воздействиям и отражает процессы, происходящие в водной среде. Впервые с помощью электронной микроскопии проанализирована диатомовая флора пролива Малое Море озера Байкал. Обнаружено 458 видов, разновидностей и форм пеннатных диатомовых водорослей, относящихся к 2 порядкам, 13 семействам и 62 родам, в том числе три новых вида из семейства Cymbellaceae (*Encyonema mirabilis*, *Cymbella olgae* и *C. cognata*) (рис. 1).

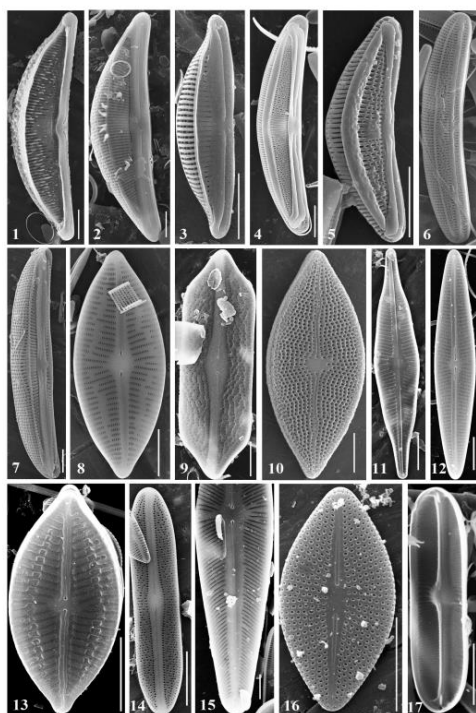


Рис. 1. Створки диатомовых водорослей из Малого Моря оз. Байкал: 1 – *Amphora serrata*; 2 – *A. cristodentata*; 3 – *Amphora* sp.; 4 – *A. mongolica*; 5 – *A. memorabilis*; 6 – *A. grammica*; 7 – *A. koshovii*; 8 – *Navicula lacus baicalii*; 9 – *N. wislouchii*; 10 – *N. werestschagini*; 11 – *N. baicalensis*; 12 – *N. ajajensis*; 13 – *N. compositestriata*; 14 – *N. dispersepunctata*; 15 – *N. ludloviana*; 16 – *Cavinula* sp., 17 – *Sellaphora* sp. Масштаб: 10 мкм.

Отличительной чертой диатомовой флоры исследованного района является преобладание редких и новых видов для озера (244), эндемичных (100), по сравнению с широко распространенными видами (116). Биоразнообразие диатомовых в Малом Море уникально, оно лишь на 23% сходно с водоемами Восточной Сибири (Генкал и др., 2011); на 26% оз. Охрид (Aleko Miho *et al.*, 2004; Levkov, Williams, 2012), в

котором эндемичных видов обитает 18%; на 37% оз. Танганьика (Caljon, Coscuyt, 1992), в котором эндемичность диатомей составляет лишь 8% (Coscuyt, 2000). Максимальное сходство диатомовой флоры Малого моря отмечено с оз. Хубсугул – 38%, однако, в этом озере низкий уровень эндемизма – 0,3% (Edlund *et al.*, 2006).

Кремнистые створки диатомей содержат длинноцепочечные полиамины (ДЦПА), включающие до 20 атомов азота. К настоящему времени ДЦПА идентифицированы в ряде морских диатомей (Sumper *et al.*, 2005). Физиологическая роль ДЦПА связана с ассимиляцией кремния диатомеями, но механизмы, в которых они участвуют, точно не установлены. Нами впервые выделены и проанализированы методом хромато-масс-спектрометрии органические соединения из створок пресноводных байкальских диатомей: *Synedra acus* subsp. *radians* (Kütz.) Skabitsch., *Stephanodiscus meyeri* Genkal *et* Popovskaya и *Aulacoseira baicalensis* (K. Meyer) Sim. В створках *S. acus* и *A. baicalensis* обнаружены ДЦПА, близкие к соединениям из морских диатомей. Эти вещества являются олигомерами, повторяющееся звено которых содержит атом азота и три метиленовых группы (рис. 2).

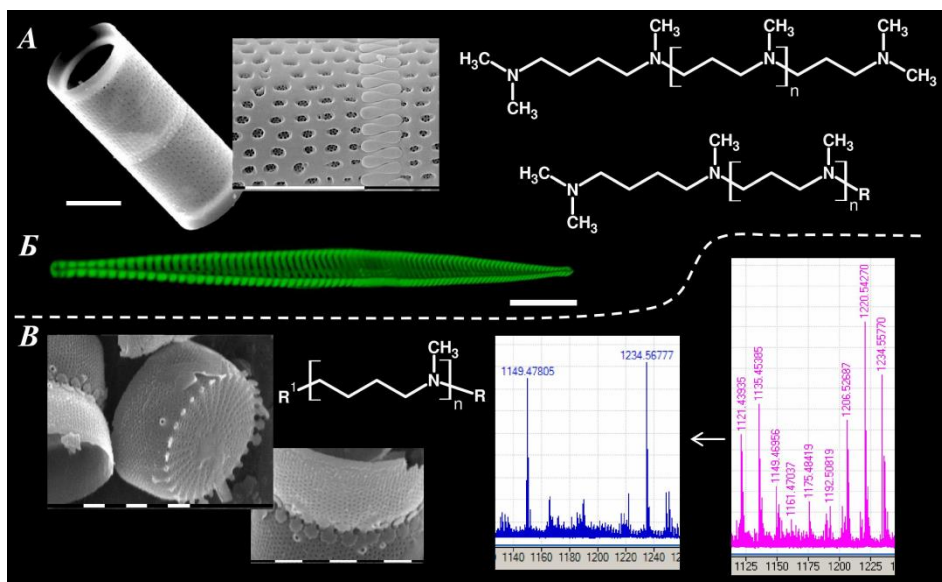


Рис. 2. Микрофотографии, структурные формулы и фрагменты масс-спектров ДЦПА, выделенных из байкальских диатомей: *Aulacoseira baicalensis* (А), *Synedra acus* subsp. *radians* (Б) и *Stephanodiscus meyeri* (В). Масштаб: А, Б - 10 мкм; В - мкм.

В случае полностью метилированных ДЦПА в масс-спектрах наблюдаются характерные сигналы с разностью масс в 71 у.е. ДЦПА, выделенные из кремнистых створок *S. meyeri*, содержат в спектре группы пиков с разницей между сигналами в 14 у.е., причем эти группы смещены на 85 у.е. относительно друг друга. Полное метилирование ДЦПА из *S. meyeri* привело к масс-спектру, основные сигналы в котором имеют разницу также в 85 у.е., что указывает на присутствие в повторяющемся звене цепочки из четырёх метиленовых групп. Короткоцепным аналогом новых ДЦПА является гомоспермидин, присутствующий в некоторых растениях и бактериях. Обнаружение в *S. meyeri* полиаминов нового типа указывает на необходимость широко изучения разнообразия ДЦПА с целью уточнения их

физиологической роли и возможного использования для биомиметического синтеза новых кремнистых материалов, а также в качестве потенциальных маркеров для хемосистематики.

Проект VI.50.1.4 «Молекулярная экология и эволюция живых систем Центральной Азии на примере рыб, губок и ассоциированной с ними микрофлоры». **Научный руководитель:** д.б.н., проф. С.И. Беликов.

Результаты филогенетической реконструкции сиговых рыб бассейна оз. Байкал (*Coregonus* sp.) с использованием генетических маркеров, имеющих разные механизмы наследования (ITS1 рибосомальной ДНК, ген цитохрома *b* мтДНК, микросателлиты) и вовлечением в анализ основных представителей рода из сопредельных и удаленных бассейнов свидетельствуют о неравномерности процессов внутривидового и межвидового обмена генетической информацией, вызванной регулярными глобальными изменениями климата в ареале обитания группы.

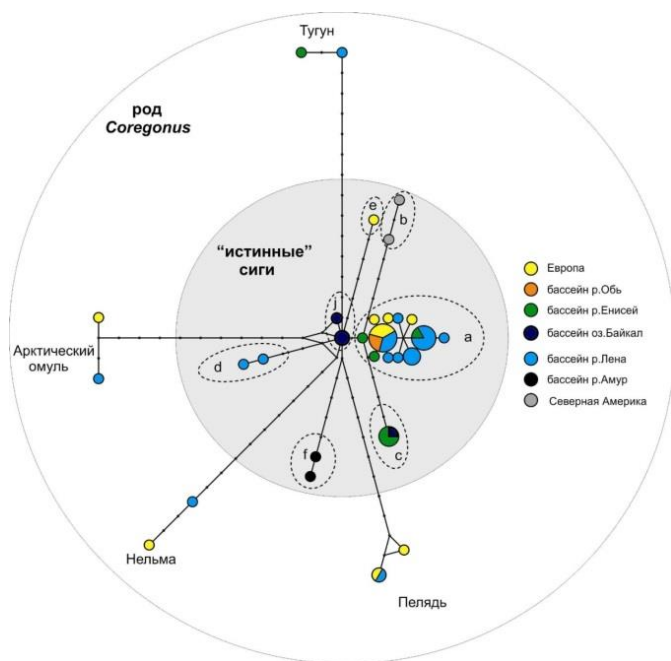


Рис. 3. Цикличность кладогенеза сиговых рыб. Медианная сеть гаплотипов мтДНК, построенная на основе нуклеотидных последовательностей фрагмента гена *Cyt b* сиговых рыб рода *Coregonus*. Диаметр мелких кружков соответствует количеству особей, представляющих данный гаплотип. Точки на линиях сетворка обозначают мутационные шаги. Прерывистые (a - j) и сплошные контуры объединяют этапы кладогенеза, совпадающие по ITS1 рДНК и *цитb* мтДНК, и соответствующие периодам глобальных изменений климата).

Приоритетное направление VI.51. Экология организмов и сообществ.

Проект VI.51.1.10 «Современное состояние, биоразнообразие и экология прибрежной зоны озера Байкал». **Научный руководитель:** д.б.н. О.А. Тимошкин.

По материалам 2007–2013 гг. обнаружено прогрессирующее внедрение в мелководную зону открытого Байкала восточно-палеарктического ручейника

Hydatophylax nigrovittatus McL. (рис. 4 а, г). Вид широко распространен в горных реках Прибайкалья, ранее не был зарегистрирован даже в заливах озера. Длительность жизненного цикла *H. nigrovittatus* 1 год. Размножение происходит с мая до конца июня. В кладках содержится от 250 до 400 яиц (рис. 4б). Личинки в популяции юго-восточного побережья Байкала имеют высокую степень агрегированности и подвижности. Их средние количественные показатели колебались в пределах: численность от 63 ± 24 до 620 ± 226 экз./м², биомасса от 5.2 ± 0.5 до 119.6 ± 43.8 г/м². В аналогичных условиях численность эндемичной *Baicalina thamastoides* Mart. сопоставима, а биомасса значительно ниже чужеродного вида. Кроме *H. nigrovittatus*, в открытом Байкале обнаружен другой вид-палеаркт *Apatania majuscula* McL., биология которого изучается. Оба вида активно расширяют свой ареал: в 2007 г. они были известны только из района пос. Култук – р. Хара-Мурин, в 2013 г. обнаружены во многих местах южного побережья озера.

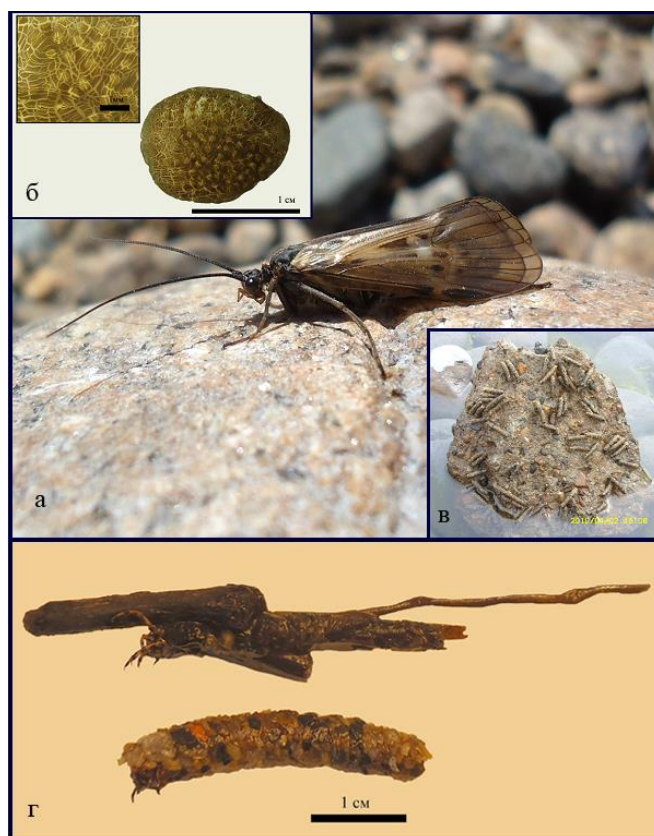


Рис. 4. Чужеродный для Байкала ручейник *Hydatophylax nigrovittatus*: а – имаго; б – кладка; в – личинки перед окукливанием на нижней стороне камня; г – личинки в домиках (верхняя из р. Ангара, нижняя из оз. Байкал). Фото А.В. Непокрытых.

Приоритетное направление VI.55. Биохимия, физиология и биосферная роль микроорганизмов.

Проект VI.55.1.3 «Структура, динамика формирования и метаболический потенциал сообщества микроорганизмов и фагов в биопленках пресноводных водоемов». **Научный руководитель:** к.б.н., доцент В.В. Парфенова.

Методом пиросеквенирования участка гена 16S рРНК изучены микробные сообщества воды и биопленки, сформировавшейся в течение 5 лет на искусственном субстрате в озере Байкал, показано таксономическое разнообразие микробных сообществ и различие в их структуре. Микробное сообщество биопленки состоит, в основном, из представителей 3 фил: Cyanobacteria, Bacteroidetes и Proteobacteria, вклад остальных групп не превышает 1%. Микробное сообщество планктона более гетерогенно по составу: наряду с доминирующими филами (Bacteroidetes, Actinobacteria и Proteobacteria), 15% от всего сообщества составляют представители других фил. По типу обмена в биопленке доминируют фотоорганотрофы, в то время как в планктоне основным является хемоорганогетеротрофный тип питания. С применением пиросеквенирования количество идентифицированных в планктоне оз. Байкал фил увеличилось до 28, некоторые филы выявлены в Байкале впервые. Кроме того, были выявлены минорные группы микроорганизмов, представленные всего несколькими последовательностями, которые ранее не удавалось выявить другими молекулярными методами (рис. 5).

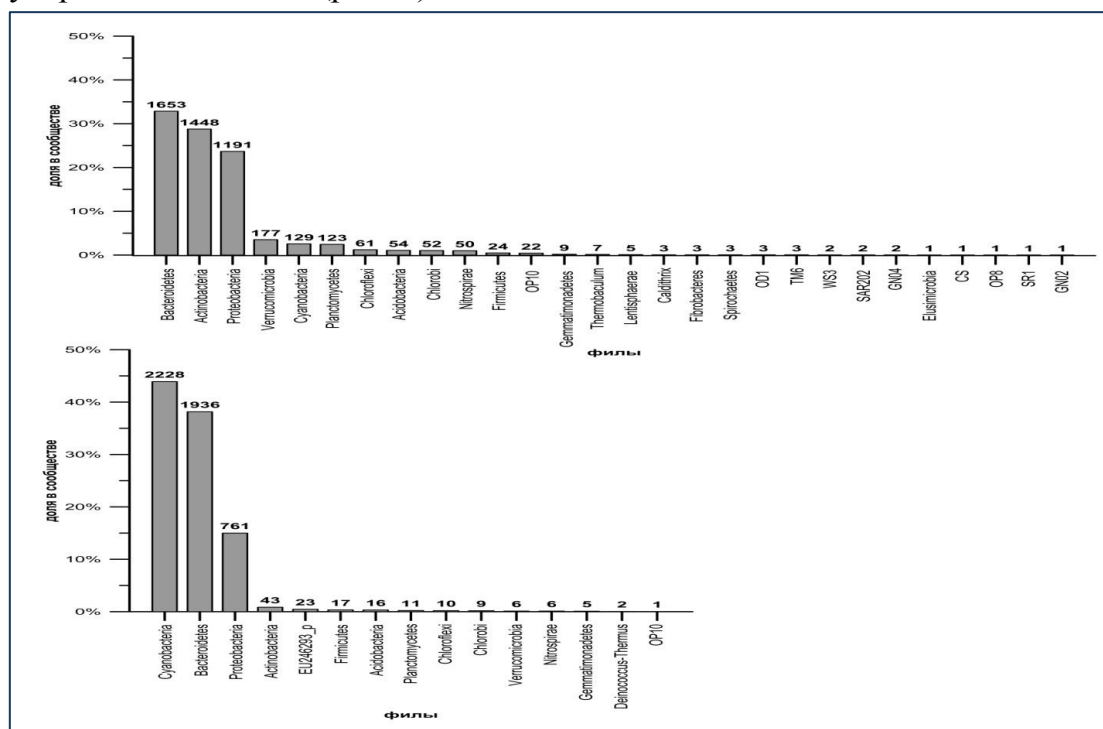


Рис. 5. Метагеномный анализ бактериального сообщества планктона (вверху) и биопленки искусственного субстрата оз. Байкал (внизу) по гену 16S рРНК. Над столбцами указано количество прочитанных последовательностей.

Получена коллекция гетеротрофных микроорганизмов из биопленок, сформированных на границе разделов фаз вода-воздух и вода-твердый субстрат. Гетеротрофные бактерии, изолированные из биопленок на границе раздела фаз вода-твердый субстрат (горные породы), активно продуцирующие широкий спектр внеклеточных ферментов и метаболитов, были протестированы на чувствительность к УФ-облучению. Показано, что чувствительными к ультрафиолету являются только

представители грамотрицательных гамма-протеобактерий *Serratia* spp. и *Pseudomonas* spp., пороговая доза облучения для которых составила 10-20 Дж/м², а летальная – 35-80 Дж/м². Высокую устойчивость показали представители Firmicutes *Bacillus* spp. и *Paenibacillus* sp. и актинобактерия *Kocuria* sp., для которых пороговая доза варьировала от 70 до 210 Дж/м², а летальная – от 370 до 1000 и выше Дж/м² (рис. 6). Особый интерес представляют два штамма рода *Paenibacillus* sp. с высокой устойчивостью к УФ-облучению, которые также проявили множественную антимикробную активность, подавляя рост *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, *Candida albicans*, *Staphylococcus aureus*. Учитывая, что байкальские микроорганизмы в естественных условиях постоянно находятся в стрессовом состоянии, их высокий адаптивный потенциал позволяет им эффективно запускать различные механизмы к выживанию, выраженные в высокой степени репарации ДНК, в способности быстро и эффективно инициировать процессы спорообразования и антагонистической активности.

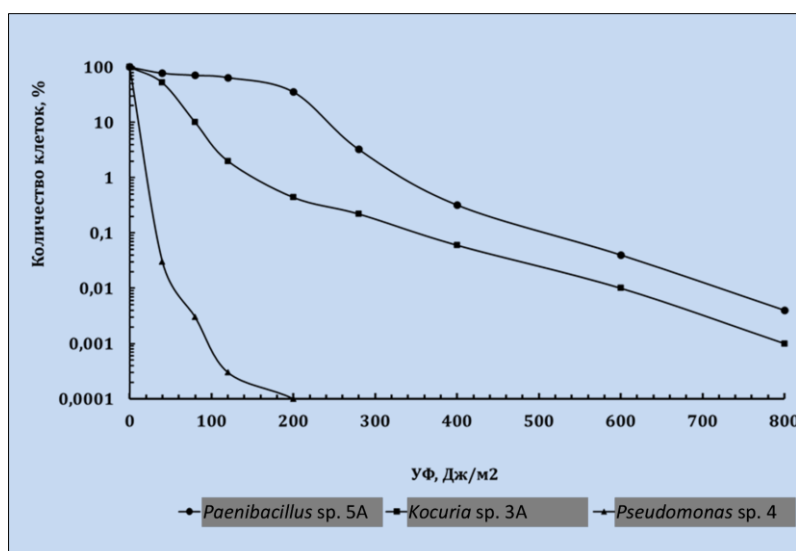


Рис. 6. Кривая численности клеток штаммов бактерий в зависимости от дозы облучения УФ.

Приоритетное направление VI.61. Биофизика, радиобиология, математические модели в биологии, биоинформатика.

Проект VI.61.1.3 «Теоретическое и экспериментальное исследование популяционной и экологической генетики байкальских эндемиков». **Научный руководитель:** д.б.н. Д.Ю. Щербаков.

С помощью анализа потока генов, где маркером служили последовательности митохондриального гена первой субъединицы цитохром оксидазы, ранее было показано, что байкальские эндемичные амфиподы *Gmelinoides fasciatus* образуют четыре не перекрывающиеся и непрерывные популяции по берегам оз. Байкал. Затем было установлено, что Юго-западная популяция, наиболее резко отличающаяся от остальных популяций (выделена красным фоном на рисунке 7) – единственная, где были обнаружены микроспоридии (простейшие – облигатные внутриклеточные

паразиты), эндемичные для Байкала и потенциально способные к вертикальной передаче по материнской линии. В результате проведенных исследований выявлено, что при использовании быстро эволюционирующего ядерного маркера – интрона бета-субъединицы АТФ-синтетазы – разделения на популяции между южными популяциями амфипод не наблюдается (синие и красные точки на правом простирающемся дереве). Таким образом, общая картина выглядит так, что в части популяции, которая заражена паразитами, произошло резкое ускорение скорости накопления замен в генах митохондрий – органелл, которые наследуются точно так же, как и вертикально передающиеся внутриклеточные паразиты. Выявленный феномен нуждается в дополнительном исследовании, однако возможная связь скорости эволюции митохондриального генома и наличия внутриклеточных паразитов обнаружена впервые и может представлять большой интерес для теории эволюции.

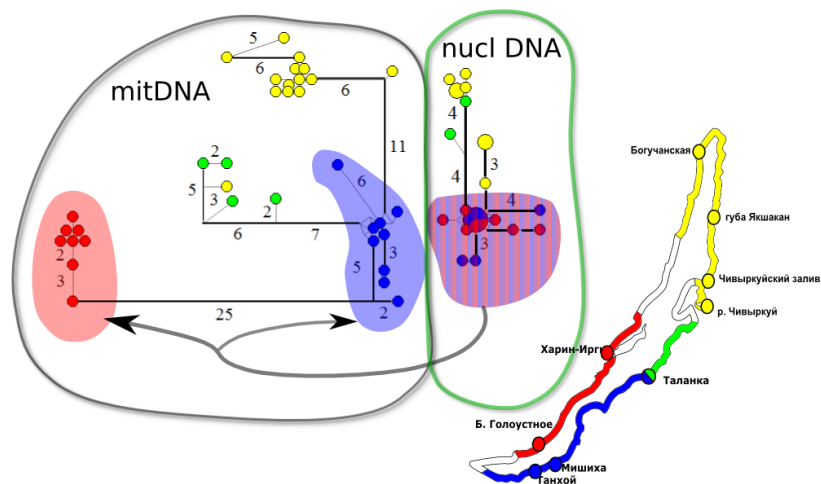


Рис. 7. Простирающиеся деревья байкальской эндемичной амфиподы *Gmelinoides fasciatus*, построенные по митохондриальным (слева) и ядерным маркерам. Карта распространения популяций *G. fasciatus*

Проект VI.61.1.4 «Экспериментальные исследования геномов и протеомов». **Научный руководитель:** ак. М.А. Грачев.

В качестве метода выделения микроцистинов из образцов фитопланктона использована препаративная ВЭЖХ с эксклюзионным механизмом удерживания (Superdex Peptide 10/300 GL, Ø10×300 мкм; сорбент: сшитая агароза и декстран; $d_p=13$ мкм, диапазон M_r от 100 до 7000). Результаты рехроматографии полученных MCYST-содержащих фракций характеризуются низким шумом базовой линии и отсутствием мешающих масс-спектрометрическому определению балластных веществ. Идентификация микроцистинов проведена методами ВЭЖХ-УФ-МСВР и MALDI-TOF/TOF. Анализ полученных образцов методом MALDI-TOF показал наличие анабенопептина В, деметилированного аналога MCYST-LR; цианопептолина 1014 и MCYST-YR в образце К-09 (респ. Бурятия, оз. Котокельское); в образце К-12

(рис. 8) обнаружен высокотоксичный MCYST-LA ($LD_{50}=50\text{мкг/кг}$) и некоторые другие биологически активные пептиды - ингибитор трипсина эругинозин 98, ингибитор сериновых протеаз микроцин SF608, ингибиторы лейциновой аминопептидазы микрогинины FR1/FR3 и FR10. В образцах К-11, М (Иркутская обл., залив Мухор пролива Малое море оз. Байкал), ММ (пролив Малое море, центр), 4 (респ. Бурятия, Чивыркуйский залив) и У.-И. (Иркутская обл., Усть-Илимское водохранилище, пос. Железнодорожный) микроцистины не обнаружены.

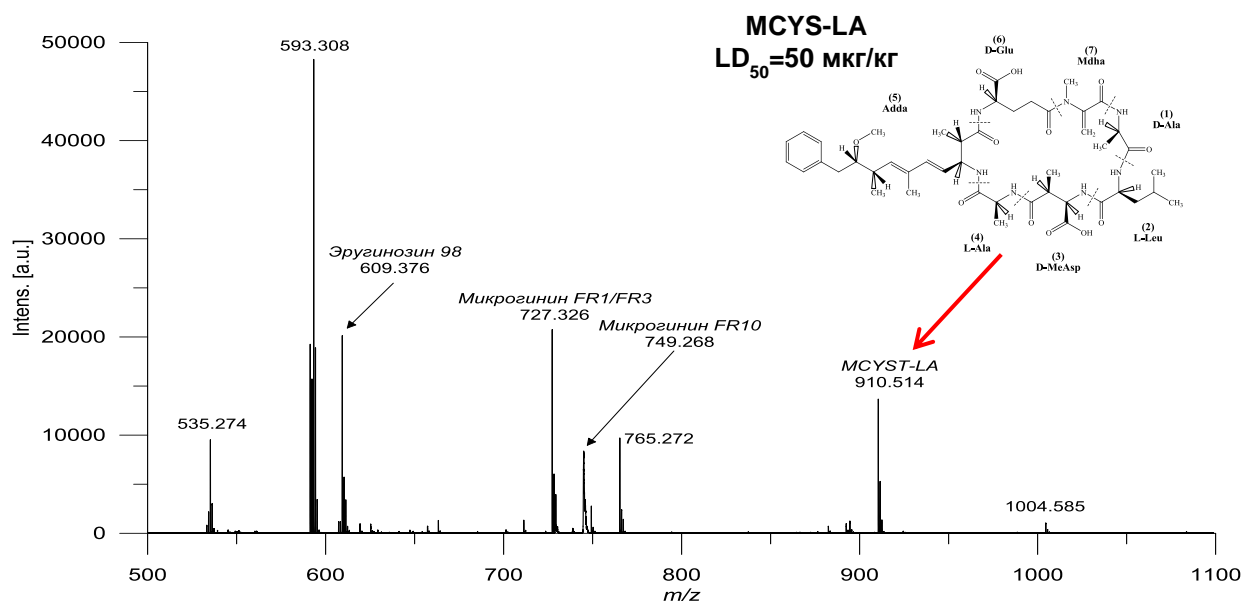


Рис. 8. Масс-спектр экстракта фитопланктона образца К-12 (оз. Котокельское, респ. Бурятия) и структурная формула высокотоксичного MCYST-LA.

Приоритетное направление VIII.76. Поверхностные и подземные воды суши – ресурсы и качество, процессы формирования, динамика и механизмы природных и антропогенных изменений; стратегия водообеспечения и водопользования страны.

Проект № VIII.76.1.5 «Изменение абиотических и биотических характеристик экосистемы озера Байкал под влиянием природных и антропогенных факторов».

Научный руководитель: д.б.н., проф. Т.В. Ходжер.

Проведена оценка значений парциальных давлений метана и углекислого газа в поверхностном слое воды и приземной атмосфере на акватории Южного Байкала в весенний период. Парциальное давление метана в воде превышает атмосферное. Парциальное давление углекислого газа в воде, напротив, значительно ниже атмосферного, т.е. в южной котловине озера в весенний период происходит преимущественно поглощение этого газа из атмосферы. Сток CO_2 на акваторию озера заметно превышает выход CH_4 в атмосферу. Таким образом, атмосферная составляющая в балансе углерода в Южном Байкале в весенний период является положительной

Проведены исследования выходов газа (факелов) по акватории Байкала. В районе всех факелов наблюдались повышенные концентрации метана. Максимальная концентрация 290000 нл/дм^3 (2050 мкатм) была зарегистрирована в районе газового факела «Ступа», на глубине 350 м (рис. 9). В придонной области существовал однородный по температуре слой от 300 до 500 м (рис. 9б), в котором регистрировалось повышение концентрации метана. Существование однородных (перемешанных) слоев вблизи факелов обусловлено вертикальным перемешиванием за счет поступления метана.

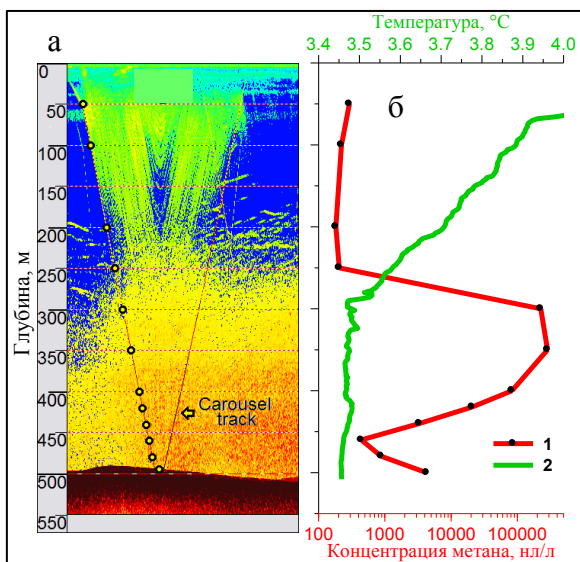


Рис. 9. Эхограмма факела «Ступа», точками на линии спуска (Carousel track) отображены горизонты отбора проб – а, вертикальное распределение концентрации метана (1) и температуры (2) – б.

Проект VIII.76.1.6 «Реконструкция изменений природной среды и аквальной биоты Восточной Сибири в голоцене». **Научный руководитель:** д.г.-м.н. А.П. Федотов.

На основе данных по распределению в донных осадках оз. Высокогорное (район Восточного Саяна) органического вещества, диатомей, хирономид, минеральной составляющей и микроэлементов (РФА-СИ, ICP-MS, ИК-спектроскопии), выполнена реконструкция условий осадконакоплений и температурного режима июля, как отклик на климатические изменения Восточной Сибири, за последние 850 лет. Проанализированные индикаторы показывают, что в исследованный промежуток времени переход от похолодания к потеплению происходил медленно, а от потепления к похолоданию наоборот очень резко, в течение десятилетия.

Проект VIII.76.1.7 «Геобиохимические исследования циклов метана и других углеводородов в зонах подводной разгрузки, их роли в формировании биологических сообществ абиссальной зоны озера Байкал». **Научный руководитель:** д.б.н. Т.И. Земская.

Построены геоморфологическая схема и геологический разрез через два грязевых вулкана и покмарк в районе Кукуйского каньона, исследовано влияние

грязевулканической деятельности на формирование современного рельефа в этом районе. Оценены связи между различными группами животных и конкретными биогеохимическими параметрами в районе метанового сипа Посольская банка.

Молекулярно-биологическими методами в подповерхностных осадках грязевого вулкана Песчанка и метанового сипа Посольская банка показано наличие бактерий филума *Planctomycetes*, группы ANAMMOX, ближайшие родственники которых участвуют в процессе анаэробного окисления аммония.

Проект VIII.76.1.8 «Биогеохимическое взаимодействие береговых и аквальных биогеоценозов Южного Байкала, роль природных и антропогенных факторов».

Научный руководитель: к.г.–м.н. А.Н. Сутурин.

Ландшафтно-геохимические изыскания Солзанского полигона позволили выделить элементарные ландшафты, не охваченные антропогенным влиянием. Это долинные биогеоценозы и зоны реликтовых хвойных лесов. Эти участки необходимо сохранить в процессе рекультивации. Линейные участки (дороги, линии электропередач) могут использоваться как транспортные линии при рекультивации. Воды р. Большая Осиновка не загрязнены и не несут следов влияния карт-шламонакопителей. Миграционные потоки элементов в подземных водах испытывают влияние карьера древесных отходов. Свой вклад в изменение химического состава подземных вод вносят протечки из карт, наиболее влияние оказывают карты №№ 1 и 8. Карты 4-7 опасны тем, что переполняющая их зольная пульпа дренирует в подземные горизонты и периодически попадает в р. Большая Осиновка. Состав почвогрунтов в пределах Солзанского полигона преимущественно техногенный. Технозёмы двух типов – одни формируются на древесных отходах, другие на валунно-галечном субстрате дамб карт. Характер развития последних почвогрунтов аналогичен созданию аллювиальных почв. Для анализа влияния почвенного покрова на растительность выбрана листва берёзы. Её состав отражает изменения вблизи карт, связанные с протечками. Все элементарные геохимические ландшафты на территории стабилизированы. Воздействие на окружающую среду оказывают: свалка древесных отходов, карт № 8 из-за протечек, карта № 1 из-за нарушения фильтрационного экрана и карты, в которые сбрасывается зольная пульпа (№№ 4-7). Нарушение границ элементарных геохимических ландшафтов возможны при сильных ливнях, наводнениях, аварийных переполнениях карт и катастрофических селевых потоках. В этих случаях перенос органических масс шлам-лигнина может достичь оз. Байкал. Экосистеме озера в зоне г. Байкальска будет нанесён непоправимый ущерб.

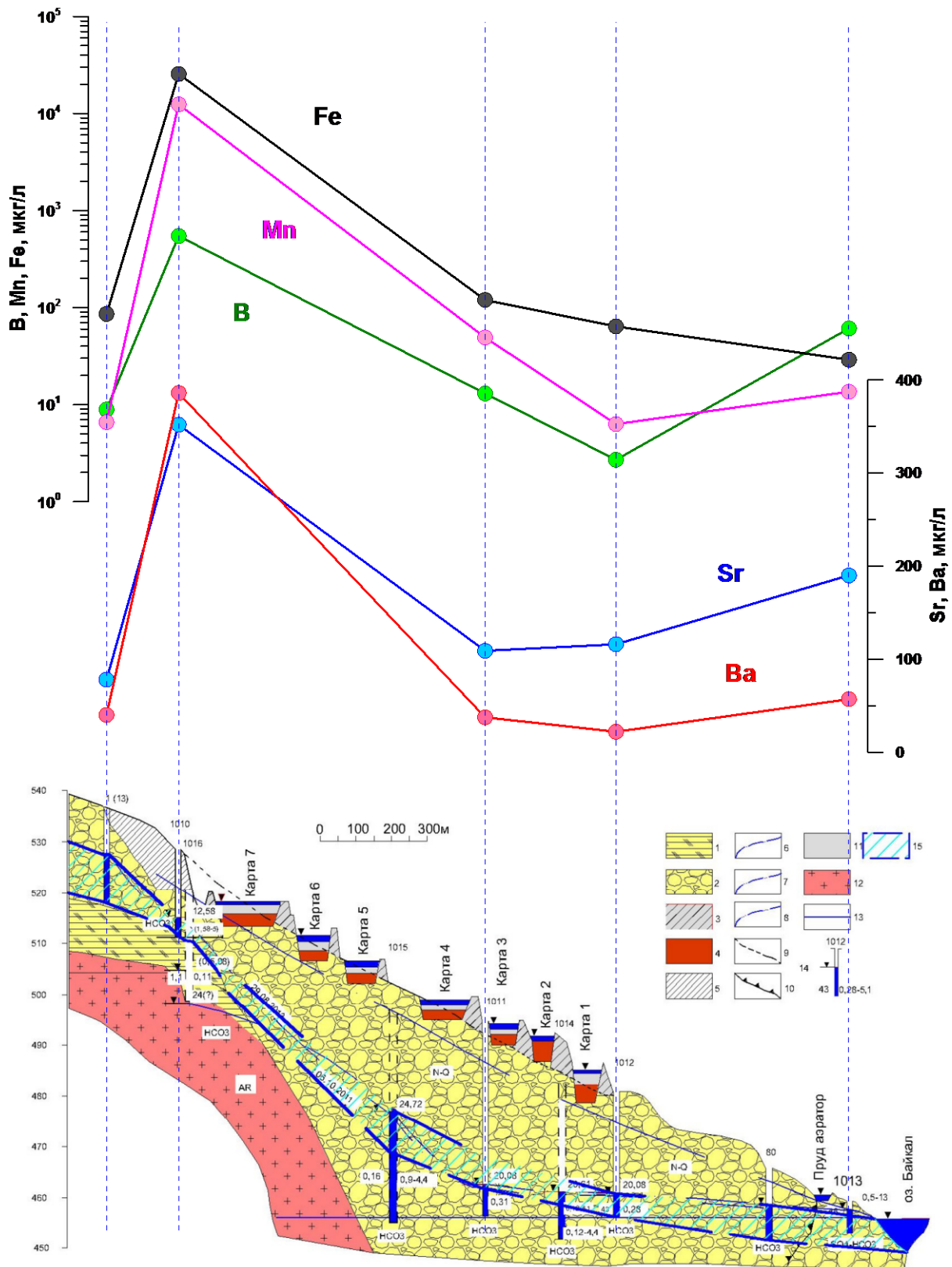


Рис. 10. Характер распределения элементов по разрезу Солзанского полигона: 1 - щебенистые грунты коры выветривания; 2 - валунно-галечниковые с песчаным заполнителем; 3-техногенные грунты: ограждающих дамб; 4 - шлам-лигнин, 11 - зола; 5 - песчано-глинистый с отходами лесопиления; 6 - уровень грунтовых вод на 06.10.2011; 7 - горизонтальная проекция русла р. Бол. Осиновка; 8- уровень грунтовых вод на 29.08.2013; 12 - породы архея; 13 - уровень оз. Байкал; 14 - контрольно-наблюдательная скважина; 15 - уровень грунтовых вод по данным геофизического зондирования.

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

Программа Президиума РАН № 6. Молекулярная и клеточная биология.

Проект № 6.9. «Исследование механизмов ассимиляции, трансмембранного и внутриклеточного переноса кремния и морфогенеза генетически запрограммированных кремнистых ультраструктур». **Научный руководитель:** ак. М.А. Грачев.

Пресноводная пеннатная бесшовная диатомеи *S. acus* является третьей диатомовой водорослью, для которой расшифровывается ядерный геном. Известны последовательности двух геномов морских диатомей (Armbrust *et al.*, 2004; Bowler *et al.*, 2008).

В течение 2013 г. получена серия библиотек парных фрагментов с различной длиной вставки (3-4, 4-6, 6-8, 8-10 и более 10 т.п.н.), которые были проанализированы на приборе MiSeq. Данные, полученные в 2013 году использовали вместе с ранее полученными данными анализа фрагментных библиотек на приборе Roche GS FLX (7 запусков) и MiSeq (1 запуск, прочтения по 100 н.о. с двух сторон) в сборке ядерного генома *S. acus*. Включение в сборку результатов секвенирования библиотек парных фрагментов с длинной вставкой привело к значительному увеличению связности контигов ядерного генома (рис. 11).

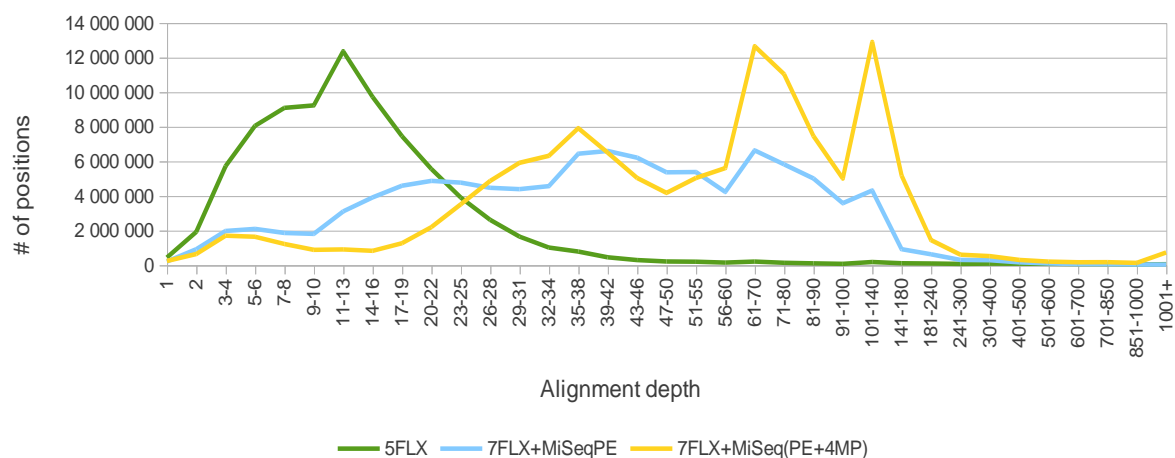


Рис. 11. Покрываемость геномных сборок с разным количеством прочтений. 5FLX – сборка прочтений, полученных при анализе фрагментных библиотек в пяти запусках Roche GS FLX; 7FLX+MiSeqPE – сборка прочтений, полученных при анализе фрагментных библиотек в семи запусках Roche GS FLX и 1 запуске MiSeq (100 п.н. с двух сторон); 7FLX+MiSeq(PE+4MP) – предыдущие данные и результаты анализа на MiSeq четырех библиотек парных фрагментов с длинной вставкой.

Получена сборка генома со следующими параметрами: N50 (для контигов) = 3.8 т.п.н., N50 (для скэффолдов) = 100.8 т.п.н. Общая длина скэффолдов сборки

составляет 98 м.п.н, среднее перекрытие – 33-х кратное. Анализ перекрытия геномной сборки показывает, что в ядерном геноме *S. acus* имеются высококопийные последовательности, представленные двумя пиками на диаграмме глубины выравнивания консенсусной последовательности сборки (60-80-ти и 100-180-ти кратное перекрытие). Анализ 248 ультраконсервативных SEGs (core eukaryotic genes) с помощью SEGMA подтверждает, что целостность полученной сборки сравнима с таковой для геномов других диатомовых водорослей. Наличие пиков высококопийных последовательностей на диаграмме перекрытия и увеличенное количество паралогичных SEGs могут свидетельствовать о том, что в ядерном геноме *S. acus* сравнительно недавно происходили интенсивные события геномной дупликации или горизонтального переноса генов.

Программа Президиума РАН № 23. Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология. **Подпрограмма** «Комплексные исследования Арктического шельфа». **Научные руководители:** ак. Е.А. Ваганов, д.г.н., проф. Т.В. Ходжер.

В рамках проекта в 2013 году продолжен цикл комплексных исследований в районе архипелага Шпицберген, на шельфах Карского моря и моря Лаптевых.

В апреле 2013 г. в прибрежно-шельфовой зоне моря Лаптевых Институтом Мерзлотоведения СО РАН проведены работы по бурению двух 30-ти и 20-ти метровых скважин со льда озера. В Лимнологическом институте проанализированы донные отложения из скважин на органический углерод, азот, получены новые результаты по особенностям распределения органического вещества в донных осадках. Высокое содержание органического материала определено в реликтовой мерзлоте кернов скважин, в горизонтах песков с прослоями супесей, насыщенных древним древесным детритом. Обнаружение больших запасов органики, высвобождающейся из деградирующей подводной мерзлоты, имеет существенное значение для прогнозной оценки дополнительных источников парниковых газов в пределах арктического шельфа.

Подпрограмма «Глубоководные исследования озера Байкал».

Проект №23.7. «Геолого-геофизическое зондирование подводных топоструктур, обнаруженных многолучевой эхолокацией, и дополнительное высокоразрешающее картирование дна озера Байкал». **Научные руководители:** О.М. Хлыстов, к.г.н. Е.Ю. Осипов.

В 2013 г. с целью идентификации подводных структур, поиска новых мест приповерхностного залегания газовых гидратов обследовано 16 подводных структур. В ходе геофизических работ установлено, что структура «Толстый» может быть связана с разгрузкой газонасыщенного флюида. На сонограмме локатора бокового обзора данной структуры был выявлен полуразрушенный кратер. С разных сторон от

него прослеживаются оползневые формы рельефа, напоминающие разрушающиеся грязевулканические потоки (рис. 12).

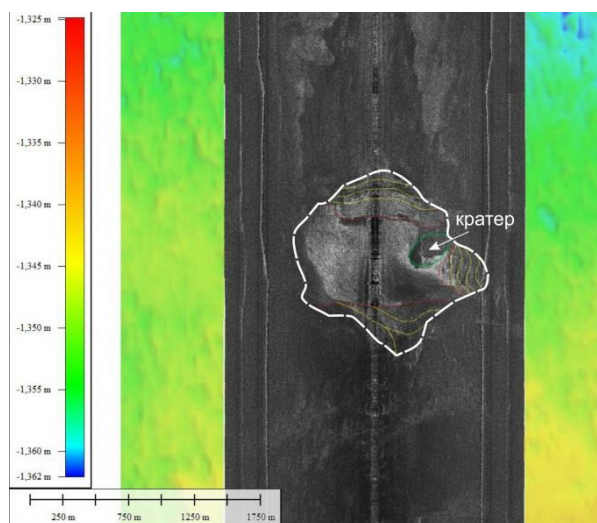


Рис. 12. Сонограмма локатора бокового обзора через структуру «Толстый».

По геолого-геофизическим данным обнаружено изменение площадей полей газовых гидратов в районе сипа «Красный Яр». В этом районе открыто два новых участка с приповерхностным залеганием газовых гидратов (рис. 13).

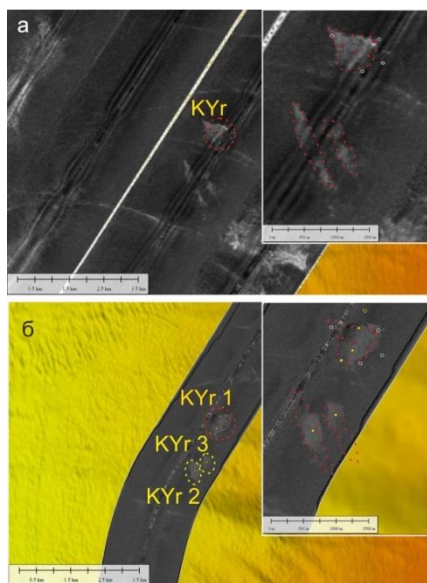


Рис. 13. Мозаики и сонограммы локатора бокового обзора в районе сипа и гидратопроявления «Красный Яр» (KYr): а – 2008 г.; б – 2013 г. Черные круги – места отбора керна, не содержащие газовые гидраты, цветные – с газовыми гидратами: красная заливка – керны отобраны в 2012 г., желтая – в 2013 г. На врезках показаны изменения площадей аномалий.

Вдоль Ольхонского разлома (западный берег, Средний Байкал) структуры, выявленные ранее по данным многолучевой эхолокации, были идентифицированы как грязевые вулканы, которые могут содержать газовые гидраты структуры I и/или II.

Всего, на данный момент, известно о 28 участках дна озера Байкал, где обнаружены приповерхностные скопления газовых гидратов, большинство из которых связано с грязевулканической активностью озера. На временных сейсмоакустических разрезах, выполненных с помощью ЛЧМ-профилографа в

осадках подводной возвышенности Мурунская Банка, обнаружен эрозионный врез и несогласие на глубине 42 м. Эти данные подтверждают ранее сделанный вывод о снижении уровня озера на такую же величину в других районах озера.

Проект № 23.8. «Комплексные исследования биологических сообществ абиссали озера Байкал и их зависимость от типа разгружающегося флюида». **Научный руководитель:** д.б.н. Т.И. Земская.

Охарактеризована структура микробных сообществ в поверхностных слоях осадков девяти районов озера Байкал с использованием платформы массового параллельного секвенирования GS FLX (Roche) 454. Установлено, что наблюдаемое разнообразие бактерий и архей в различных типах геологических структур (грязевой вулкан, сипы, вент) сопоставимо по таксономическому разнообразию.

Проект № 23.9. «Исследование разномасштабных гидрофизических процессов, как основных факторов, обуславливающих появление кольцевых структур на ледовом покрове озера Байкал». **Научные руководители:** к.г.н. Н.Г. Гранин, д.ф.-м.н. Е.В. Ерманюк.

Впервые, наряду с изменением концентрации кислорода на глубинах от 200 до 600 м зарегистрировано уменьшение концентрации растворенных ионов и температуры (рис. 14).

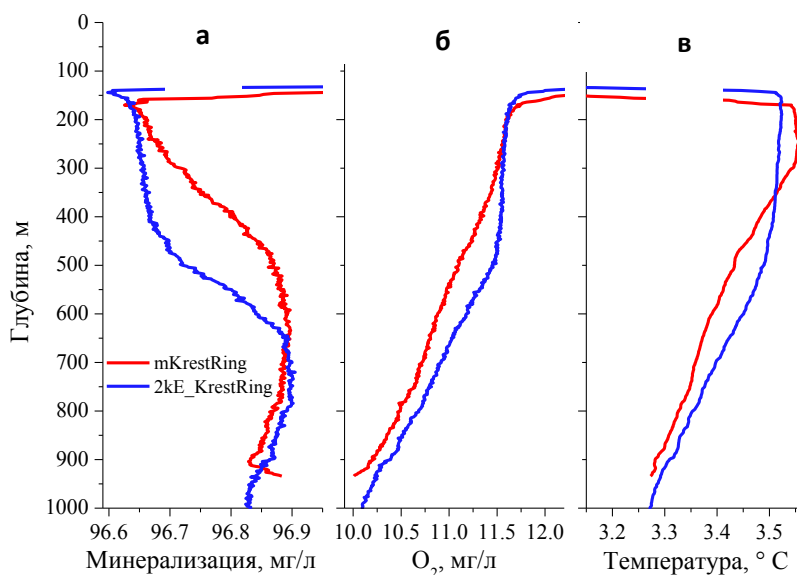


Рис. 14. Вертикальное распределение минерализации - а, концентрации кислорода - б и температуры - в на двух станциях в окрестностях кольцевой структуры у м. Крестовского, расстояние между станциями 2 км.

Уменьшение минерализации, может быть, обусловлено распреснением воды при разрушении газовых гидратов. Среднее уменьшение содержания ионов в слое около 150 м составило примерно 0,15 г/м³. Для такого понижения минерализации

необходимо поступление примерно $0,22 \text{ м}^3$ пресной воды с квадратного метра, что примерно соответствует разрушению $0,25 \text{ м}^3$ газовых гидратов. Значительное количество газовых гидратов, которые всплывают и распресняют воду, может поступать из газогидратных холмов, обнаруженных при погружениях ГОА «МИР» в районе грязевого вулкана С. Петербург (Egorov et al., 2010).

В 2013 году впервые зафиксировано всплывание газовых гидратов до поверхности озера. На станции в районе газового факела «Ступа» (глубина около 500 м) на поверхность озера всплыло несколько небольших (размером около 10 см) кусков газовых гидратов, которые интенсивно разлагались, при этом наблюдались микровзрывы, и происходило интенсивное выделение газа (рис. 15а).

В апреле при регистрации эхолотного сигнала в районе факела «Ступа» кроме газовых облаков, всплывающих со скоростью, не превышающей 20 см/сек, были зарегистрированы акустические неоднородности, всплывающие со скоростью 38-43 см/сек (рис. 15б). Такие скорости нехарактерны для пузырьков и могут наблюдаться при всплывании газовых гидратов. Величина скорости всплывания в приближении сферической формы характерна для газовых гидратов диаметром около 20 см.

Зарегистрированное всплывание газовых гидратов до поверхности озера, а также эхолотная регистрация всплывающих газовых гидратов подтверждает нашу гипотезу о том, что причиной локальных подъемов глубинных вод и генерации кольцевого антициклонического течения является всплывание и выделение газа при разрушении газовых гидратов в водной толще.

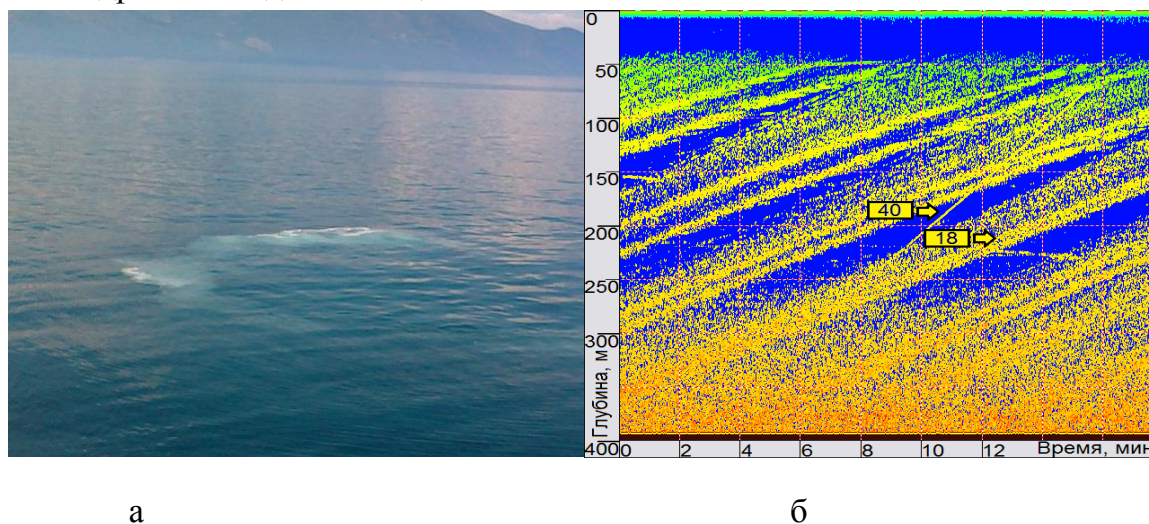


Рис. 15. Разрушение газовых гидратов, всплывших на поверхность – а и эхограмма всплывающих облаков газа со скоростью всплывания 18 см/сек и газового гидрата, скорость всплывания 40 см/сек – б.

Проект № 23.10. «Исследование структуры и динамики водных масс озера Байкал и Японского моря с применением изотопных трассеров». **Научные руководители:** д.г.н. М.Н. Шимараев, д.ф.-м.н. В.Н. Сойфер.

По данным о временном изменении содержания трития в реке Ангаре в 2009-2012 гг. и его вертикальном распределении в озере впервые оценены масштабы и скорость вертикальных движений в Южном Байкале вблизи *истока р. Ангары* (рис. 16). Подъем вод охватывает слой 50-250 м в 25%, слой 250-700 м в 16% и слои глубже 700 м – в 3% из всех 107 наблюдений. В 56% случаев подъем вод и их слив в р. Ангару происходит из слоя 0-50 м. Скорость подъема меняется от $0,1 \cdot 10^{-2}$ до $8,7 \cdot 10^{-2}$ см/с (рис. 16 в) при среднем значении $2 \cdot 10^{-2}$ см/с, что близко к значениям для ряда крупных озер Мира, полученным по данным о температуре воды.

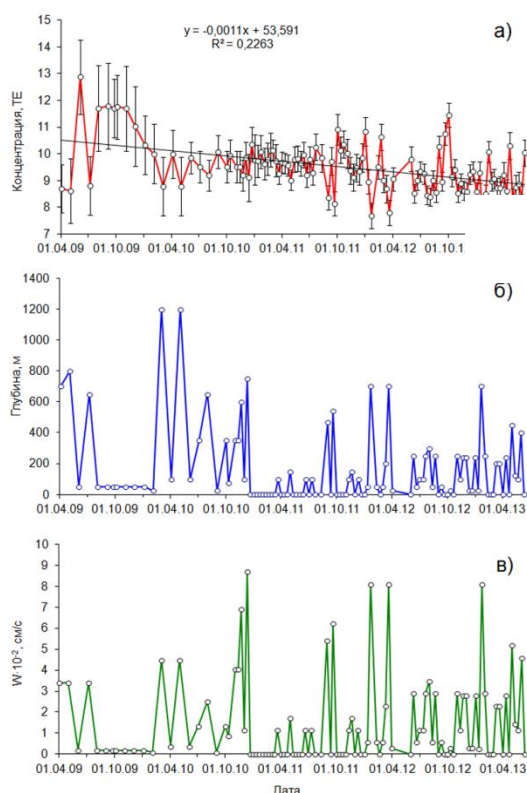


Рис. 16. Изменение концентрации трития в истоке р. Ангары (а), глубины (б) и скорости (в) подъема вод.

Программа Президиума РАН № 24. Фундаментальные основы технологий наноструктур и наноматериалов.

Проект № 24.58. «Разработка и апробация устройства для параллельного секвенирования отдельных молекул ДНК в реальном времени с использованием флуоресцентных аналогов субстратов». **Научный руководитель:** ак. М.А. Грачев.

Проведены исследования предельной разрешающей способности многоканального конфокального модуля секвенатора (рис. 17). При сканировании объекта по глубине вычислялся суммарный сигнал I_c , который наводился на центральное отверстие от его ближайших соседей. Расчеты, проведенные согласно теории дифракции, показали, что при смещении объекта из фокуса по оси Z максимум фона от соседних отверстий составляет величину менее 0.5% от интенсивности сигнала, что указывает на практическое отсутствие влияния излучения из соседних лунок.

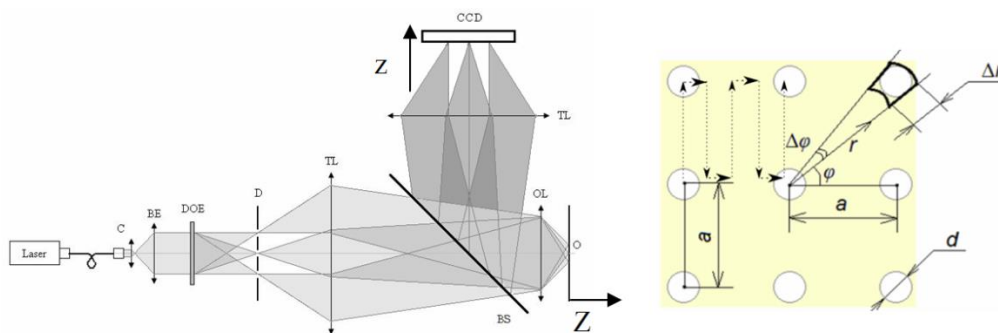


Рис. 17. Принципиальная схема многоканального модуля и матрица 3x3 лазерных пучка в плоскости изображения , $a=300$ мкм $d=80$ мкм.

Программа Президиума РАН № 30. Живая природа: современное состояние и проблемы развития. Подпрограмма 1 «Биоразнообразие: состояние и динамика»

Проект № 30.9. «Микрофлора, ассоциированная с рыбами: биоразнообразие и экологическая безопасность». Научный руководитель: к.б.н., доцент Е.В. Дзюба.

Определен спектр культивируемых микроорганизмов, ассоциированных с язвенными проявлениями на внешних покровах рыб: леща *Abramis brama* и желтокрылой широколобки *Cottocomephorus grewinkii*. Доля потенциальных патогенов, представителей родов *Aeromonas*, *Shewanella*, *Acinetobacter* и *Pseudomonas*, описанных как возбудители сочетанных инфекций водных организмов, составила 39-50% (рис. 18).

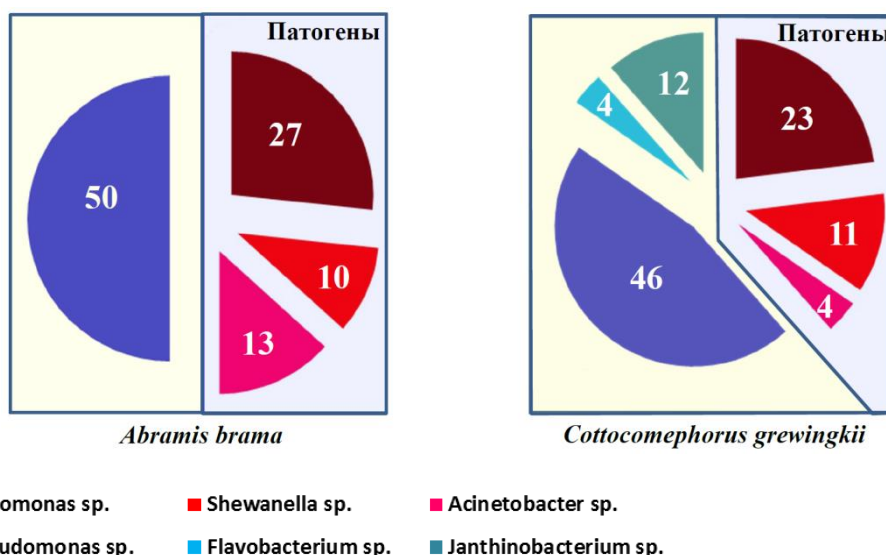


Рис. 18. Доля потенциально-патогенных микроорганизмов, ассоциированных с язвенными проявлениями на внешних покровах рыб: леща *Abramis brama* и желтокрылой широколобки *Cottocomephorus grewinkii*.

Программа фундаментальных исследований ОНЗ-12. Процессы в атмосфере и криосфере как фактор изменений природной среды.

Проект ОНЗ-12.10. «Комплексное исследование снежно-фирнового покрова в Восточной Антарктиде». Научный руководитель: д.г.н., проф. Т.В. Ходжер.

Впервые выполнен химический анализ озерного льда оз. Восток из глубокой скважины 5Г, станции Восток (Восточная Антарктида). Образцы керна предоставлены Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом (АНИИ, Санкт-Петербург) с глубин 3746, 32-3746, 80 м, находящихся на расстоянии 22,50 и 13,47 м от водной поверхности подледникового озера Восток. Вода озерного льда является ультрапресной, с минерализацией 0,068 и 0,055 ррб, хлоридно-натриевой, слабокислой (рис. 19).

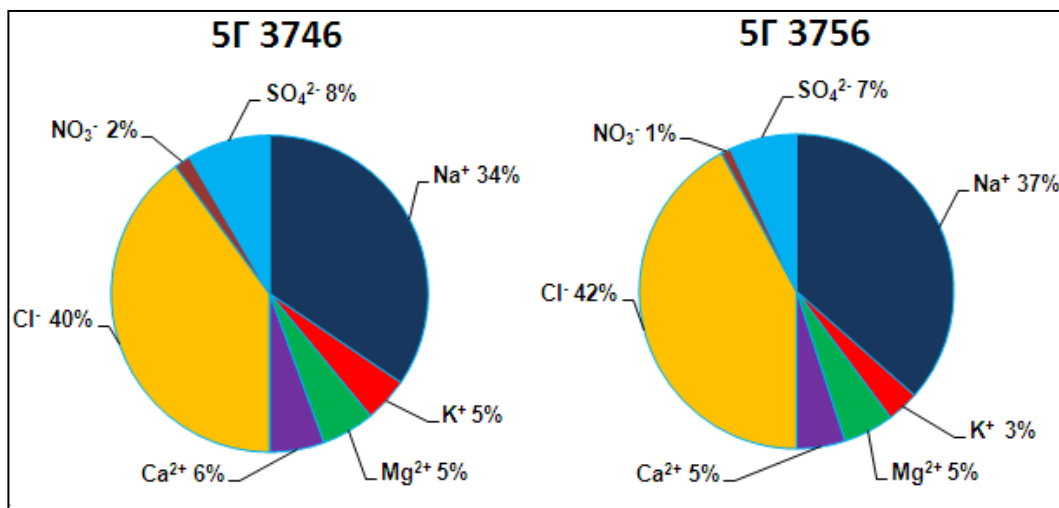


Рис. 19. Относительный химический состав (%) озерного льда оз. Восток из скважины 5Г, ст. Восток, (Антарктида).

Проект ОНЗ-12.11. «Эволюция горного оледенения на юге Восточной Сибири в современную климатическую эпоху». **Научный руководитель:** к.г.н. Э.Ю. Осипов.

По данным дешифрирования высокоразрешающего космического снимка WorldView-1 (август 2011 г.) и полевых исследований в июле 2013 г. была проведена инвентаризация и ГИС-картографирование 2-х каровых ледников в бассейне р. Куркулы (Байкальский хребет) площадью 0,40 и 0,11 км².

Установлено, что с конца Малого ледникового периода (МЛП) площадь ледников Восточного Саяна сократилась, соответственно, на 42 и 52%, концы ледников отступили на 470 и 200 м. За 2002-2011 гг. площади ледников сократились на 11 и 31%, т.е. скорость относительного сокращения площади за последнее десятилетие была в 5-11 раз выше, чем в 1850-2011 гг. Анализ метеорологических данных показал наличие выраженного положительного тренда средней летней температуры воздуха (0,06°C/год) в районе исследований с середины 1970-х гг. Более низкие темпы дегляциации по сравнению с Восточным Саяном и Кодаром объясняются увеличением осадков периода аккумуляции (сентябрь-июнь) в 1990-х гг.

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

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., проф. Т.В. Ходжер.

Выполнены комплексные экспериментальные исследования физико-химических параметров атмосферы над Байкалом с использованием средств дистанционного и локального контроля. Проведены синхронные измерения газовых примесей, (оксидов серы азота, озона) аэрозолей (ионы, ПАУ) в атмосфере на ст. «Боярский», «Большие Коты», и над акваториями Южного Байкала, Иркутского водохранилища.

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

На основе изучения распределения элементного состава кернов из прогляциальных озер примыкающим к ледникам Кодарского, Байкальского хребтов и Восточного Саяна определена динамика поступления ледниковой взвеси в озера, как отклик гидрологического баланса ледников на климатические изменения, за последние 400 лет. Наибольшую амплитуду колебаний гидрологического баланса имел Сыгыктинский ледник (Кодарский хр.), а наименьшую ледник горы Черского (Байкальский хр.).

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

В подповерхностных осадках озера Байкал, приуроченных к зонам разломов, методом культивирования выявлены термофильные бактерии, развивающиеся при температуре +60°C. Ближайшие выявленным последовательностям родственники обладают способностью окислять углеводороды, как в аэробных, так и анаэробных условиях и устойчивостью к действию ионизирующего излучения. При температурном режиме +4°C, культивировались археи, продуцирующие метан и этан.

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

Алгоритм, представленный на рисунке 20, включает блоки, с помощью которых проводится маскирование повторов, генов tРНК, рРНК и белок-кодирующих генов в геномной последовательности.

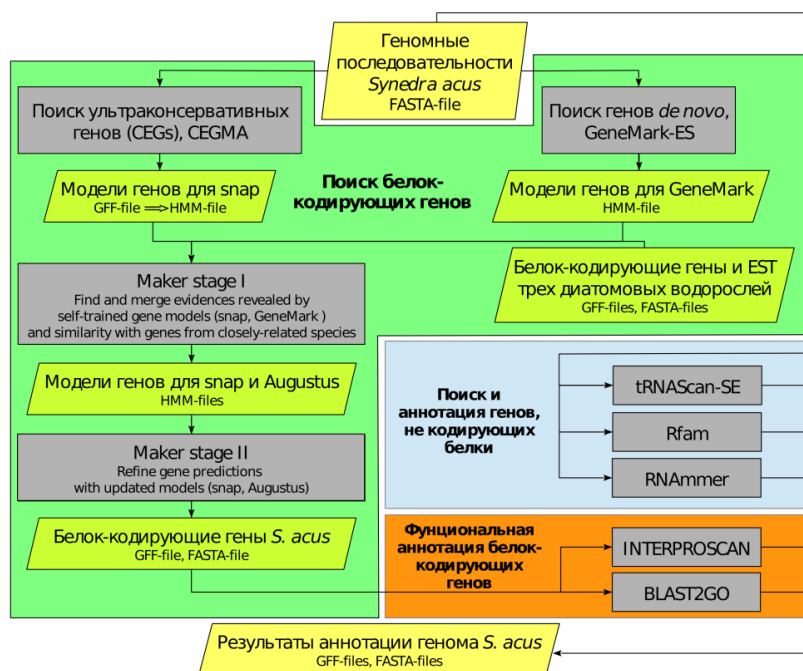


Рис. 20. Алгоритм аннотации последовательности ядерного генома *S. acus*.

Тренировка программного обеспечения для предсказания белок-кодирующих генов *de novo* основывается на геномных последовательностях высоко консервативных генов с небольшим числом паралогов, обнаруженных с помощью приложения CEGMA. Полученные скрытые марковские модели используются совместно с транскриптомными данными и аминокислотными последовательностями генов из геномов диатомовых водорослей *Thalassiosira pseudonana* и *Phaeodactylum tricornutum* для уточнения моделей генов с помощью приложения Maker2 в нескольких расчетных раундах. Функциональная аннотация моделей генов проводится с помощью приложения InterProScan и анализа набора обнаруженных консервативных белковых мотивов в базе данных GeneOntology (Blast2GO).

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

Сконструированы векторные плазмиды для получения химерных антител ch1B1a и ch6NS (против гликопротеина E и белка NS1 ВКЭ). Химерные антитела получали в результате транзientной экспрессии в клетках китайского хомячка и выделяли хроматографией на сорбенте с иммобилизованным белком А. Электрофоретический анализ очищенных антител показал, что они представляют собой белки с молекулярной массой около 150 кДа, а инкубация с дитиотреитолом приводит к разделению антител на лёгкие и тяжёлые цепи с молекулярной массой около 25 и 50 кДа соответственно. Величина IC50 для ch1B1a в отношении ВКЭ, штамм Софьин составила $0,39 \pm 0,14 \mu\text{g/ml}$.