

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

**Отчет по дополнительной референтной группе 9 Общая биология**

Дата формирования отчета: **22.05.2017**

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАУЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

### **Инфраструктура научной организации**

#### **1. Профиль деятельности согласно перечню, утвержденному протоколом заседания Межведомственной комиссии по оценке результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы гражданского назначения от 19 января 2016 г. № ДЛ-2/14пр**

«Генерация знаний». Организация преимущественно ориентирована на получение новых знаний. Характеризуется высоким уровнем публикационной активности, в т.ч. в ведущих мировых журналах. Исследования и разработки, связанные с получением прикладных результатов и их практическим применением, занимают незначительную часть, что отражается в относительно невысоких показателях по созданию РИД и небольших объемах доходов от оказания научно-технических услуг. (1)

#### **2. Информация о структурных подразделениях научной организации**

Отдел ультраструктуры клетки

Научная специализация: Систематика бентосной диатомовой флоры оз. Байкал. Динамика видового состава фитопланктона оз. Байкал, водохранилищ, эстуариев. Динамика трофических маркеров первичных продуцентов оз. Байкал в зависимости от видового состава микроводорослей и в условиях изменения окружающей среды. Систематика и эволюция диатомовой флоры миоцена-плейстоцена Северного полушария. Систематика, экология и распространение хризофитовых водорослей и стоматоцист в современных водоемах и в донных отложениях Евразии. Методы метагеномного анализа для изучения микроорганизмов оз. Байкал. Таксономическое разнообразие, богатство, альго-бактериальные взаимодействия, подледные сообщества, придонные сообщества, деградация основных продуцентов (диатомей) и круговорот Si. Цитология диатомей, исследование механизмов ассимиляции, трансмембранного и внутриклеточного переноса и хранения кремния, участие цитоскелета в морфогенезе видоспецифических кремнистых микро- и наноструктур. Гены и предсказанные белки, потенциально вовлеченные в контроль морфогенеза – филогенетический анализ и иммуноэлектронная визуализация. Эволюция геномов диатомовых водорослей. Горизонтальный и эндосимбиотический перенос генов.



057655

Экспериментальная геномика и транскриптомика. Сравнительная геномика и филогеномика. Молекулярные и цитологические механизмы дифференцировки обонятельных рецепторных клеток у животных в связи с действием факторов внешней среды.

Лаборатория аналитической биоорганической химии

Научная специализация: Исследование структурно-функциональной организации сообщества губок в экосистеме озера Байкал с целью оценки и сохранения биоразнообразия, диагностика видов, межвидовых и симбиотических взаимоотношений. Общее научное направление лаборатория развивает три взаимосвязанных блока проблем:

1. Разработка новых технологий исследований. Методы мониторинга и исследования эндемичных губок в экосистеме озера Байкал.

Основная цель направления – постановка методов количественного учета губок как элемента комплексного мониторинга экосистемы озера Байкал и выбор структурно- и функционально значимых параметров оценки ее состояния. Методы включают также технологию примморф, метагеномный и транскриптомный анализ байкальских организмов, одновременный анализ экспрессии тысяч различных генов и идентификацию генных сетей, а также методы количественной ПЦР для анализа различий в экспрессии определенных выбранных генов в ответ на изменения условий окружающей среды.

2. Макро- и микроэволюция губок в экосистеме озера Байкал (происхождение и организация видов).

Основная цель направления – изучение структурированности спонгиофауны в зависимости от ландшафта литоральной зоны в экосистеме озера Байкал и в водоемах Байкальского региона: анализ видового состава, потока генов и гибридизации между популяциями.

3. Состав, структура и динамика ассоциированных с губками озера Байкал сообществ микроорганизмов (организация сообществ).

Основная цель - установление причин изменений состояния спонгиофауны фотической зоны озера Байкал, определение масштабов поражения губок в экосистеме прибрежной зоны, поиск способов и методов устранения.

Лаборатория биологии водных беспозвоночных

Научная специализация: Изучение биоразнообразия беспозвоночных и водорослей Байкала и других древних озер Земли, а также водоемов Прибайкалья и Забайкалья. Выяснение закономерностей эндемического видообразования, филогенетических и зоогеографических связей байкальской биоты. Исследование экологии сообществ бентоса и планктона. Междисциплинарная оценка современного состояния прибрежной зоны с акцентом на изменения антропогенного характера (эвтрофикация, массовое развитие чужеродных видов и др.). Исследование современного состояния прибрежной зоны озера Байкал с точки зрения многолетней динамики и смены комплексов доминирующих видов гидробионтов, а также факторов их определяющих в условиях широкомасштабных негативных экологических процессов в озере.

Лаборатория биогеохимии



Научная специализация: Определение главных факторов формирования биогеоценозов побережья Байкала; разработка методик выделения типов аквальных и наземных прибрежных биогеоценозов в озера Байкал; изучение биогеохимические характеристик основных групп литорального фитобентоса Байкала; составление карт сопряженных береговых наземных и аквальных биогеоценозов Байкала с выделением зон антропогенного влияния; изучение биогеохимических барьеров в миграции элементов в прибрежной зоне Байкала; выявление участков антропогенного влияния на эвтрофикацию литоральной зоны Байкала.

#### Лаборатория водной микробиологии

Научная специализация: Объектами исследования лаборатории водной микробиологии являются автотрофные и гетеротрофные бактерии и вирусы водных экосистем, обитающие в биопленках на границах раздела фаз вода-воздух, вода-твердые субстраты, планктоне, ледовых сообществах, в микробиомах водных животных. Лаборатория аккредитована в области санитарно-микробиологического анализа воды и почвы, проводит исследования по оценке качества воды, разнообразию и механизмам выживания условно-патогенных бактерий и вирусов в природной среде. Выполняет изучение биологически активных веществ, синтезируемых микроорганизмами: полезных для использования в биотехнологических целях, токсинов для оценки угрозы здоровью человека и животных. В исследованиях лаборатории используется комплексный методический подход: культивирование на селективных средах; молекулярно-генетическое изучение и идентификация культур и природных сообществ на основе анализа ряда генов; метагеномный и биоинформационный анализ; оценка численности бактерий и вирусов микроскопическими методами, изучение морфологии и ультраструктуры бактерий и вирусов методом электронной микроскопии; поиск и идентификация биологически активных веществ методами иммуноферментного анализа и масс-спектрометрии.

#### Лаборатория гидрологии и гидрофизики

Научная специализация: Изучение теплового и водного баланса озера Байкал, динамики вод озера, температурного и солевого режима, вертикального и горизонтального обмена, уровня озера; исследование влияния изменений климата на ледовый и температурный режим озера; анализ современных изменений притока воды в оз. Байкал; исследование динамики толщины ледового покрова с учетом тепловых потоков на нижней границе льда; гидроакустический учет омуля. С использованием разработанного в лаборатории гидроакустического оборудования начиная с 2005 года осуществляется поиск новых и мониторинг зарегистрированных выходов газа из донных отложений озера Байкал. Ведется ежегодная оценка количества метана, попадающего в водную толщу из донных осадков через выходы газа. Лабораторией разработан автономный ледовый комплекс для исследования характеристик подледного пограничного слоя воды и потоков тепла в ледовом покрове и на границе вода – лёд в зависимости от проникающей солнечной радиации, потока вымораживаемых солей и скорости подледных течений. Создана сеть из четырех автоном-



ных гидрометеорологических станций, непрерывно передающих информацию на сервер Института.

#### Лаборатория геносистематики

Научная специализация: Молекулярная экология и эволюция избранных групп байкальских эндемичных беспозвоночных, моделирование эволюционных процессов. Основные объекты исследования: амфироды, моллюски (гастроподы), различные группы аннелид, ручейники и хирономиды. В последнее время к ним добавились изоподы и кишечноподостные. Таким образом, параллельно исследуются как очень богатые видами группы животных, такие как амфиподы, и группы, не прошедшие столь яркую адаптивную радиацию, а именно – полихеты рода *Manayunkia* (Annelida) и гидры. Методы исследования варьируют от классических гидробиологических и экологических, применяемых для исследований структуры и судьбы сообществ, до молекулярно-филогенетических, геномных и постгеномных. Широко используется математическая статистика и сложные методы анализа результатов секвенирования следующего поколения и компьютерное моделирование эволюционных и экологических процессов. В самое последнее время весь методический потенциал лаборатории был использован для решения проблем, связанных с масштабными быстрыми изменениями прибрежных биотопов Байкала, в частности – систематического бурного цветения нитчатых зеленых водорослей, что имело результатом серию публикаций ввысокорейтинговых международных журналах.

#### Лаборатория геологии озера Байкал

Научная специализация: Лаборатория осуществляет свою деятельность в рамках основного направления деятельности: геолого-геофизическое исследование дна и осадочного наполнения байкальских впадин; поиск, картирование и изучение зон подводной разгрузки углеводородов, включая скопления газовых гидратов; батиметрические и геоморфологические исследования дна озера Байкал; изучение геолого-геоморфологических маркеров колебаний уровня озера Байкал; исследование современного состояния криолизотозоны и горного оледенения и реконструкция (моделирование) их параметров в позднем кайнозое; создание геоинформационных систем (ГИС), электронных банков и баз данных (в т.ч. интерактивных) геолого-геоморфологической изученности Байкальского региона.

#### Лаборатория ихтиологии

Научная специализация: Исследование структурно-функциональной организации высших консументов в экосистеме озера Байкал на основе синтеза данных по их генетико-биохимическому, морфолого-физиологическому, этологическому и экологическому разнообразию.

Общее научное направление лаборатория развивает, решая три взаимосвязанных блока проблем:

1. Разработка новых технологий исследований. Методы мониторинга высших животных в экосистеме озера Байкал.



Основная цель направления – постановка методов количественного учета пелагических животных как элемента комплексного мониторинга экосистемы озера Байкал (зоопланктон, рыбы) и выбор структурно- и функционально значимых параметров оценки ее состояния.

2. Популяционная биология и микроэволюция высших животных в экосистеме озера Байкал (организация видов).

Основная цель направления – изучение структурированности населения рыб и их кормовых объектов в экосистеме озера Байкал и в водоемах Байкальского региона: выявление биологических и экологических детерминантов, генетических последствий.

3. Структура и динамика ихтиоценозов в экосистеме озера Байкал (организация сообществ).

Основная цель направления – исследование закономерностей сосуществования рыб в экологических системах разного ранга: вид - вид, триотроф, пищевая сеть.

Лаборатория микробиологии углеводов

Научная специализация: Изучение микробных сообществ и их метаболического потенциала в зонах повышенных концентраций углеводов и других соединений в холодноводных экосистемах.

Исследуются возможные пути окисления углеводов в аэробных и анаэробных условиях, структура функциональных генов и белков, обеспечивающих данные процессы при низких температурах. Ведется поиск уникальных психрофильных микроорганизмов, участвующих в разложении углеводов при разных геохимических условиях для последующего использования в практике.

Лаборатория палеолимнологии

Научная специализация: Тематикой исследований являются палеоклиматические и палеогеографические реконструкции на основе изучения: донных осадков озер и болот; древесных хронологий; наземных отложений и ледников. В лаборатории выполняются работы по диатомовому, палинологическому, хирономидному, геохимическому и минералогическому методам анализа донных отложений. Элементный анализ влажных кернов донных отложений методом РФА-СИ в режиме непрерывного сканирования осуществляется в ЦКП «Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения» Института ядерной физики СО РАН. Исследования ведутся по общемировому стандарту, рекомендованному проектом PANASH «Изменчивость глобальных палеоклиматов и природной среды» для возможности дальнейшей корреляции полученных результатов с глобальной базой данных по климатическим летописям. Объектами изучения являются четвертичные разрезы и озера, расположенные в Восточной Сибири, Монголии, российском секторе Арктики. Временной охват полученных летописей составляет от миллиона лет до столетия. На основе полученных данных строятся пространственно-временные модели изменения климата, ландшафтов и ледников в кайнозое.

Лаборатория хроматографии



Научная специализация: Анализ биотических и абиотических объектов водной экосистемы Байкала и байкальской природной территории с применением современных инструментальных методов анализа ГХ, ГХ-МС, ВЭЖХ, ВЭЖХ-МС:

- определение стойких органических загрязнителей в биологических объектах и природных средах Байкальской природной территории;
- разработка и апробация методик контроля органических загрязнителей в водной экосистеме Байкала на следовом и ультраследовом уровне концентраций;
  - анализ нефти и продуктов ее деформации в водной экосистеме Байкала;
  - исследование механизмов аккумуляции и концентрирования гидрофобных органических веществ биотой Байкала;
  - анализ жирных кислот в байкальской биоте;
  - идентификация природных полиаминов в биогенном кремнезёме и контроль чистоты синтезированных аналогов;
  - идентификация и количественное определение токсинов в экстрактах цианобактерий и обрастаний губок;
  - анализ сложных пептидных смесей;
  - идентификация пигментов в экстрактах губок;
  - разработка и апробация методик контроля содержания биологически-активных веществ в растительном сырье;
  - разработка и апробация методик контроля содержания лекарственных препаратов в готовых лекарственных формах и сыворотке крови.

Группа химии кремнистых наноструктур

Научная специализация: Изучение закономерностей формирования упорядоченных органических, неорганических и композитных структур в живой природе с использованием моделирования *in vitro* и экспериментов *in vivo*; создание новых химических средств и подходов для изучения живых организмов на молекулярном и супрамолекулярном уровне; разработка новых материалов на основе биоинспирированных подходов; конвергенция современных технологий с "конструкциями" живой природы.

### **3. Научно-исследовательская инфраструктура**

Исследования Института на озере Байкал проводятся с использованием четырех научно-исследовательских судов водоизмещением от 42 до 500 т, оборудованных приспособлениями для отбора проб воды, грунта, траловыми лебёдками, эхолотами, автоматизированным пробоотборником (Carausel SBE-32) для отбора проб воды на разных горизонтах (до 2 км) кассетного типа (24 батометра по 5 л), лабораториями для первичного анализа проб воды и гидробионтов. Автомобильный парк Института состоит из 16 автомобилей, включая внедорожники УАЗ, ГАЗ-66, ГАЗ-330811 (Вепрь). Вездеходная техника представлена гусеничным трактором-тягачом ГАЗ-3403 и четырьмя мотовездеходами Хонда.



Для обеспечения водолазных работ имеется контейнерный водолазный комплекс (КВК) в составе: Барокамера БКД-120Т; компрессор с электроприводом Mariner 250 – E; компрессор с электроприводом PE250-TE-F02; баллоны-воздухохранители для сжатого воздуха БК-100-250 АБ; системы и элементы медицинского отсека контейнера; системы и элементы технического отсека контейнера.

Гидрофизическое и геофизическое оборудование представлено STD зондами для измерения давления, температуры, электропроводности, обратного рассеяния, прозрачности и концентрации кислорода при непрерывном вертикальном зондировании водной толщи до 2 км; акустическим доплеровским профилографом ADP, измерителями скорости течений (MicroADV, InfinityAM USB); измерительным комплексом для мониторинга радона, торона и их дочерних продуктов (Альфарад плюс); многоэлектродной станцией СКАЛА 48; аппаратурой малоглубинного частотного электромагнитного зондирования; малогабаритной буровой установкой ТМ-80.

Институт имеет разнообразное оборудование для комплексного исследования объектов природного и синтетического происхождения в газовом, жидком и твёрдом состоянии:

1. Трансмиссионный и сканирующие электронные микроскопы (LEO 906E, Carl Zeiss, Philips SEM 525-M, Quanta 200), включая зондовую и атомно-силовую микроскопию (СММ 2000), детектор EDAX для элементного анализа.

2. Набор жидкостных хроматографов Милихром, масс-спектрометров и хромато-масс спектрометров, включая системы с матричной лазерной десорбцией/ионизацией (MALDI-TOF, Ultraflex), ионизацией распылением в электрическом поле (ESI) и ионной ловушкой: Agilent, GC 6890, MSD 5973; Agilent HP 1200 Agilent 6210.

3. Газовый хроматограф с пламенно-ионизационным детектором (GC 2010 Plus), портативный газовый хроматограф, газовый хромато-масс спектрометр с тройным квадруполем (GC-МС Triple Quad), газоанализаторы для измерения окислов углерода, азота и серы в воздухе.

4. Ионный хроматограф ICS-3000.

5. Квадрупольный масс-спектрометр Agilent 7500se с системой лазерной абляции New Wave UP-213 для элементного анализа растворов и твёрдых веществ методом ICP-MS.

6. Установка для исследования растворов наночастиц методами динамического и статического лазерного светорассеяния ЛАД-079.

7. Элементный анализатор общего и органического углерода Vario TOC cube.

8. Лазерный сканирующий (конфокальный) микроскоп LSM 710.

9. ИК и УФ спектрометры, флюориметры.

В составе Института функционирует ЦКП «Ультрамикроанализ» (№ 77542, <http://ckp-irf.ru/ckp/77542/>, <http://lin.irk.ru/about/structure/2016-09-29-04-05-19>), объединяющий наиболее высокотехнологическое оборудование, и уникальная научная установка «Экспериментальный пресноводный аквариумный комплекс байкальских гидробионтов» (ПАК)



(<http://ckp-rf.ru/usu/441551/>, <http://lin.irk.ru/aqua>), обеспечивающая возможность культивирования различных гидробионтов от микроорганизмов до промысловых видов рыб.

В Институте имеются лабораторные помещения, позволяющие проводить работы на современном уровне в областях гидрохимии и аналитической химии, биохимии и молекулярной биологии, синтеза и физикохимии органических, полимерных и композитных материалов.

В составе Института функционируют лаборатории, аккредитованные Федеральной службой по аккредитации:

Лаборатория гидрохимии и химии атмосферы аккредитована на техническую компетентность и независимость, аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.513855 Область аккредитации лаборатории: вода природная (поверхностная, подземная); атмосферные осадки; вода сточная очищенная; вода сточная; вода питьевая; атмосферный аэрозоль (водная вытяжка); атмосферный воздух; почва и донные отложения; отбор проб и пробоподготовка.

Лаборатория водной микробиологии аккредитована в качестве испытательной лаборатории в национальной системе аккредитации, приказ от 14 апреля 2017 г. № Аа-463. Аттестат аккредитации лаборатории водной микробиологии № RA.RU.21ЛИИ02. Область аккредитации: вода питьевая, расфасованная в емкости, вода нецентрализованного водоснабжения, вода природная поверхностная, вода сточная (в т.ч. сточная очищенная), вода, используемая на нефтепромыслах, для заводнения нефтяных пластов, почва. Область аккредитации включает следующие показатели: общее число микроорганизмов (ОМЧ) при 37оС, общее число микроорганизмов (ОМЧ) при 22оС, общие колиформные бактерии (ОКБ), глюкозоположительные колиформные бактерии (ГКБ), колифаги, термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ), споры сульфитредуцирующих клостридий, энтерококки, сальмонеллы, сульфатовосстанавливающие бактерии, общие колиформные бактерии в почве (БГКП).

В лаборатории гидрологии и гидрофизики разрабатываются для нужд Института и сторонних организаций приборы, превосходящие по параметрам известные аналоги:

– автономный ледовый комплекс для исследования характеристик подледного пограничного слоя воды и потоков тепла в ледовом покрове и на границе вода – лёд в зависимости от проникающей солнечной радиации, потока вымораживаемых солей и скорости подледных течений;

– автономная гидрометеорологическая станция;

– инкубатор для культивирования микроорганизмов в микромасштабе.

Можно выделить следующие основные результаты, полученные с интенсивным использованием высокотехнологичного оборудования:

1. С использованием научно-исследовательского флота Института на 20 глубоководных станциях в пелагиали озера выполнены комплексные гидрологические, гидрохимические, гидробиологические исследования. Проанализировано 1850 проб воды, выполнено более



14000 отдельных анализов. На основе большого статистического материала установлено, что межгодовая динамика биогенных элементов, органического вещества в верхнем 200-метровом слое связана с интенсивностью развития фитопланктона, их распределение в водной толще глубже 200 м стабильны и сравнимы с результатами предыдущих лет (1998–2012 гг.). Было проведено исследование внутреннего строения подводных структур Байкала, выполнена идентификация 31 подводной структуры, выделенных по данным многолучевого эхолотирования, съемки дна ГБО, при этом на склоне подводной возвышенности Академический хребет впервые обнаружен район, состоящий из нескольких гидратоносных грязевых вулканов и сипов в виде гряд. Впервые на восточном склоне южной и средней котловин озера выявлены следы падения его уровня на глубины от 36 до 45 м ниже современного уровня, совпадающие с клиноформами и палеопляжем на западном берегу (40–45 м). На основе данных о распределении трития и гидрофизических характеристик выполнено выделение механизмов, вызывающих обновление вод придонной зоны в отдельных котловинах озера. Выяснено, что самую активную роль в обновлении придонных вод в Байкале играет глубинная вынужденная температурная конвекция. Наиболее выражен ее эффект для придонного слоя глубоководной пелагиали (размерами до 200–250 м) и проявляется в заметном (максимально на 0,2оС) понижении температуры воды и повышении концентрации кислорода (максимально на 1,5–2 мг л<sup>-1</sup>) и концентрации трития (максимально на 1–2 ТЕ).

2. Наличие в Институте аквариального комплекса, оптических (включая конфокальный) и электронных микроскопов, современных хроматографов позволяет выполнять уникальные исследования морфологии и физиологии гидробионтов. Показано, что особенности слуховой чувствительности, ориентации в пространстве и акустического поведения рыб обусловлены особенностями макро- и ультраструктуры их акустического аппарата. У рыб, занимающих разные экологические ниши, отмечена значительная вариация в организации сенсорного слухового эпителия. Показано, что разнородные морфотипы волосковых клеток могут отвечать на частоты разных диапазонов. Сходство ультраструктурных особенностей сенсорного эпителия сиговых рыб природных популяций и полученных методом искусственного оплодотворения в контролируемых условиях свидетельствует о том, что данный признак генетически закреплен. Использование созданных в ЛИН СО РАН специфических флуоресцентных красителей для прижизненной окраски биогенных кремнистых структур позволило проследить начальные стадии ассимиляции кремния диатомовыми водорослями и стадии роста кремнистых спикул губок. На примере *Lubomirskia baicalensis* (Pallas, 1773) показано, что спикулообразование начинается как внутриклеточный процесс и продолжается путём ассимиляции кремния растущей спикулой и её слияния с обогащёнными кремнием склероцитами. Дана оценка содержания трех классов стойких органических загрязнителей (фталатов, полициклических ароматических углеводородов, полихлорированных бифенилов и хлорорганических пестицидов) в пелагиали озера Байкал на современном этапе.



3. С помощью находящейся в Институте платформы массового параллельного секвенирования (Roche 454) проведены работы по чтению полных геномов и метагеномные исследования сообществ водных организмов. Определена последовательность нуклеотидов ядерного генома пеннатной бесшовной диатомовой водоросли *Synedra acus*. Проведены поиск и структурно-функциональная аннотация генов в ядерном геноме *S. acus*. Результаты секвенирования и аннотации доступны по ссылке <http://lin.irk.ru/sacus>. Опубликовано серия работ по молекулярно-филогенетическому и функциональному анализу отдельных генов *Bacillariophyta* и более широкого круга одноклеточных эукариот. Исследовано разнообразие бактерий и архей в разных типах геологических структур на дне Байкала. Доминирующие фило типы бактериальных сообществ относятся к нескольким космополитным таксонам, а их ближайшие гомологи включены в циклы преобразования жидких и газообразных углеводов. Археи представлены 5 филумами, среди которых выявлены последовательности новой ANME-2d клады (*Euryarchaeota*), осуществляющих нитратзависимое анаэробное окисление метана (АОМ). Анализ архей показал, что практически во всех слоях осадка, доминируют представители филы *Thaumarchaeota*, являющиеся автотрофными аэробными окислителями аммония, широко распространенные в почвах, морских и пресных экосистемах.

**4. Общая площадь опытных полей, закрепленных за учреждением. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства»**

Информация не предоставлена

**5. Количество длительных стационарных опытов, проведенных организацией за период с 2013 по 2015 год. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства»**

Информация не предоставлена

**6. Показатели деятельности организаций по хранению и приумножению предметной базы научных исследований**

Научные коллекции:

1. Беспозвоночных (*Amphipoda*, *Gastropoda*, *Turbellaria*, *Trichoptera*) озера Байкал и некоторых других водоёмов мира.

Включает 3500 единиц хранения, в 2013-2015 гг. пополнена на 357 единиц.

2. Диатомовых водорослей Байкальского региона, в том числе копия коллекции бентосных диатомовых водорослей, собранная совместно с британскими учеными по проекту «Дарвиновская инициатива».

Включает 1260 единиц хранения.

3. Микроорганизмов озера Байкал.

Включает 5000 единиц хранения, в 2013-2015 гг. пополнена на 300 единиц.



4. Архив кернов донных осадков.

Включает 380 единиц хранения, в 2013-2015 гг. пополнена на 90 единиц.

В Институте создана и размещена в сети Интернет постоянно пополняемая интегрированная База данных о Байкале ([www.lin.irk.ru](http://www.lin.irk.ru) и [lin.irk.ru/kb/web](http://lin.irk.ru/kb/web)). Помимо современных данных База содержит сведения из ранее зарегистрированных БД:

1. Фактографическая база данных по гидрохимии оз. Байкал (Гидрохимия оз. Байкал). Свидетельство №960019 (15.07.1996 г.)

2. Библиографическая база данных "Байкал" (ББД "Байкал"), Свидетельство №960018 (15.07.1996 г.)

3. Фактографическая база данных по фитопланктону оз. Байкал (ФБД "Фитопланктон оз. Байкал"), Свидетельство №970045 (12.05.1997 г.)

4. Мониторинг популяции байкальской нерпы (БД "Нерпа"), Свидетельство №980050 (16.01.1998 г.)

5. Единая информационно-поисковая система знаний о Байкале (Банк знаний "Байкал"), Свидетельство №980004 (16.01.1998 г.)

6. Атмосферные аэрозоли Восточной Сибири (БД "Аэрозоли"), Свидетельство №990012 (10.03.1999 г.)

7. Гидрометеорологические характеристики акватории озера Байкал (БД "Гидрометеорологические характеристики Байкала"), Свидетельство №2000620083 (21.11.2000 г.)

8. Температура водной толщи озера Байкал (БД "Температура воды Байкала"), Свидетельство №2000620082 (21.11.2000 г.)

9. Микроорганизмы озера Байкал (БД "Микроорганизмы Байкала"), Свидетельство №2000620013 (23.02.2000 г.)

10. Бактериопланктон реки Енисей (БД "Бактериопланктон Енисея"), Свидетельство №2000620012 (23.02.2000 г.)

11. Гидрохимия реки Енисей (БД "Гидрохимия Енисея"), Свидетельство №2000620011 (23.02.2000 г.)

12. Современное гидрохимическое состояние пелагиали Байкала (БД "Гидрохимия пелагиали Байкала"), Свидетельство №2000620007 (21.02.2000 г.)

13. Прозрачность и показатель ослабления света байкальских вод (БД "Прозрачность"), Свидетельство №2002620040 (12.03.2002 г.)

14. Скорость звука в природных водах на примере озера Байкал, Свидетельство №2004620095 (22.04.2004 г.)

15. Гидрохимическая характеристика р. Селенги, ее дельты и Селенгинского мелководья оз. Байкал (БД "Гидрохимия Селенги и авандельты"), Свидетельство №2005620248 (29.09.2005 г.)

16. Бактериопланктон р. Селенги, ее дельты и барьерной зоны Селенгинского мелководья оз. Байкал (БД "Бактериопланктон Селенги и ее дельты"), Свидетельство №2006620011 (10.01.2006 г.)



17. Гидрохимическая характеристика рек Южного Байкала (БД "Гидрохимия рек Южного Байкала"), Свидетельство №2007620379 (31.10.2007 г.)
18. Зоопланктон реки Енисей, Свидетельство №2008620100 (15.02.2008 г.)
19. Морфо-биологические характеристики байкальского омуля (БД "Байкальский омуль"), Свидетельство №200620116 (04.02.2008 г.)
20. Санитарно-бактериологические показатели качества воды акватории озера Байкал, Свидетельство №2009620013 (11.01.2009 г.)
21. Нуклеотидные последовательности микроорганизмов пресноводных экосистем, Свидетельство №2012621004 (28.09.2012 г.)
22. Пузырьковые выходы газа озера Байкал (БД "Байкал метан"), Свидетельство №2015621626 (03.10.2015 г.)

### **7. Значение деятельности организации для социально-экономического развития соответствующего региона**

1. На основе многолетне-сезонных наблюдений Института составляются государственные доклады в области охраны природной среды и озера Байкал Минприроды Иркутской обл. и респ. Бурятия. Основными разделами этих докладов являются гидрохимические характеристики оз. Байкал, р. Селенги, гидрологические и гидрофизические параметры Байкала, экологические изменения прибрежной зоны, запасы омуля, накопление стойких органических загрязнителей в Байкале, распределение и состав атмосферных выпадений в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории.

2. Институт ведет многолетние хоздоговорные работы по комплексному экологическому мониторингу территорий, на которых размещены объекты нефте- и газодобычи на территориях (площадь более 40000 кв. км) в Иркутской области и республики Саха (Якутия).

3. Проводятся регулярные работы по режимному обследованию подводного кабельного перехода ВЛ 35 кВ Сахюрта-Хужир, имеющего важное социально-экономическое значение для Иркутской обл. и развития о. Ольхон.

4. По заказам предприятий и населения выполняются химические, биологические и санитарно-бактериологические анализы питьевой воды, поверхностных и подземных вод, атмосферных осадков, атмосферных аэрозолей, очищенных сточных вод, в аккредитованных лабораториях сертифицированными методами.

5. Предложена методика рекультивации карт накопителей от деятельности Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК). В данных картах находится более 6.2 млн т отходов от деятельности комбината, в основном в виде взвеси продуктов деструкции лигнина. Несмотря на полную остановку производства на БЦБК, данные отходы не были утилизированы и представляют опасность как в связи с постепенным просачиванием в Байкал, так и с угрозой катастрофического загрязнения Байкала в случае разрушения хранилищ отходов в результате опасных геологических процессов – землетрясений и селей.



В 2013 г. Институтом выполнены работы по "Проведению инженерных изысканий в целях подготовки проектной документации для реализации мероприятий по ликвидации негативного воздействия на окружающую среду отходов, накопленных в результате деятельности Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК)". При выполнении данных работ использованы патенты Института на "Способ рекультивации карт-шламонакопителей предприятий по производству беленой сульфатной целлюлозы" № 2526983; "Способ обезвреживания отбельных стоков целлюлозно-бумажного производства" № 2050333; "Способ получения органоминерального удобрения" № 2086521; "Органоминеральное удобрение" № 2144014.

6. В постоянном контакте с Западно-Байкальской природоохранной прокуратурой, Иркутским отделением Росприроднадзора и другими федеральными органами ведётся контроль за объектами, характеризующимися повышенной антропогенной нагрузкой на оз. Байкал. В 2015 г. по просьбе межведомственной прокуратуры и органов Росприроднадзора Институтом принималось участие в плановых выездных проверках по выявлению нарушений природоохранного законодательства в центральной зоне озера Байкал. С 2014 г. Институт на постоянной основе оказывает услуги Восточно-Сибирскому ЛУ МВД России на транспорте по проведению экспертных исследований для правоохранительных органов. В частности, выполнялись ихтиологические экспертизы. Результаты всех экспертных работ, выполненных Институтом, отличаются высоким качеством и полностью признаются судами.

7. Институт является единственной организацией, способной выполнять работы по гидроакустическому учёту поголовья омуля – главной промысловой рыбы оз. Байкал. Данные работы проводились в 2011 и 2015 гг., запланированы на 2018 г. в рамках ФЦП "Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории на 2012- 2020 годы".

8. В Институте разработана технология промышленного производства байкальской питьевой воды (Патент № 2045478), на основе которой функционирует ряд предприятий (ООО "Вода Байкала", ООО "Аква", ООО "Аква Байкал", ООО "Байкальская вода", ООО "Основа", ООО "Живая вода") и проектируются новые.

9. В виде дней «Открытых дверей», экскурсий, популярных лекций ведётся эколого-просветительская работа среди школьников и студентов по популяризации знаний о Байкале, научно-исследовательской работе Института и труде ученого. Регулярно оказываются услуги по проведению мероприятий по популяризации знаний об озере Байкал, включая лекции по современному состоянию экосистемы оз. Байкал с использованием научно-исследовательских судов Института (более 20 договоров в 2013-2015 гг.).

10. В 2013-2015 гг. 204 студента ВУЗов Иркутска проходили практику в лабораториях Института, из них 52 выполняли дипломные работы, 12 человек были трудоустроены в Институт по окончании обучения. В аспирантуре ЛИН СО РАН обучались от 20 до 25 человек в год, из них 10 были трудоустроены в Институт по окончании обучения.



11. Научно-исследовательские суда ЛИН СО РАН используются для прохождения производственной практики курсантами Иркутского техникума речного и автомобильного транспорта (20 чел. в 2013-2015 гг.). В период с ноября по январь (до ледостава на оз. Байкал) НИС «Академик В.А. Коптюг» выполнял роль аварийно-спасательного судна на Байкале.

12. По заказам АО Иркутскэнерго проводятся работы по контролю абиотических параметров Иркутского водохранилища.

## **8. Стратегическое развитие научной организации**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук (ЛИН СО РАН) является многопрофильным междисциплинарным современным научным институтом, проводящим исследования в области лимнологии и смежных отраслей, включая гидрохимию, гидрологию, гидрофизику, классическую и молекулярную биологию, микробиологию, биохимию, палеолимнологию, геологию, геоморфологию, аналитическую и физическую химию, биогеохимию. Работы, выполняемые в ЛИН СО РАН, направлены не только на мониторинг текущего состояния окружающей среды, но и на понимание механизмов функционирования живых организмов и природных систем, на создание новых практически ценных продуктов, включая лекарственные вещества, биоинспирированные материалы, методические разработки по воспроизводству рыбных запасов. ЛИН СО РАН, благодаря высокому уровню проводимых исследований и авторитету в научном и экспертном сообществе, активно участвует в работах в регионах, удалённых от оз. Байкал, включая Арктику и Антарктику, экологическом мониторинге в интересах нефтяной и газовой промышленности, гидроэнергетики. Важность и уникальность исследований, выполняемых в ЛИН СО РАН, обусловлена, в существенной степени, особенностями основного объекта – оз. Байкал, который благодаря сочетанию обширной прибрежной зоны (более 2000 км) и нахождению основных водных запасов в глубоководной области (средняя глубина более 700 м) является своеобразной моделью океана. Флот, приборная база, кадровый потенциал ЛИН СО РАН, его расположение в непосредственной близости от оз. Байкал позволяют проводить широкий комплекс исследований, актуальных и для арктической зоны России.

Высокие антропогенные нагрузки в условиях происходящих в современный период значительных изменений климата оказывают влияние на процессы в гидросфере Земли. Происходит снижение ресурсного потенциала, прежде всего крупных водоемов, текущее и стратегическое значение которых исключительно важно. Изменения климата и антропогенные нагрузки проявляются в повышении среднегодовой температуры воздуха, увеличении масштабов береговой эрозии, поступлении в водоемы органических веществ и биогенных элементов с водосборной территории, изменении состава атмосферного аэрозоля, а также потоков парниковых газов. Особое внимание в настоящее время уделяется изучению основных факторов, обуславливающих процессы глобального изменения при-



родной среды и климата. На водные экосистемы все большее влияние оказывают антропогенные факторы, в частности, загрязнение вод углеводородными экотоксикантами, тяжелыми и редкими металлами и хозяйственно-бытовыми сточными водами. Свыше 72% сточных вод, подлежащих очистке (13,8 куб. км), сбрасываются в водные объекты недостаточно очищенными, 17% (3,4 куб. км) – загрязненными без очистки и только 11% (2 куб. км) – очищенными до установленных нормативов. Общий объем забора (изъятия) водных ресурсов из природных водных объектов в Российской Федерации составляет 80 куб. км в год. В экономике ежегодно используется около 62,5 куб. км воды. В Российской Федерации актуальность данной проблемы подтверждается на правительственном уровне Указом Президента РФ № 899 от 07.07.2011 г., где приоритетными являются мониторинг и прогнозирование состояния окружающей среды, и распоряжением Правительства РФ от 28.12.2010 №2452-р, которым утверждена Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года.

Озеро Байкал – самое глубокое озеро в мире, включающее 20 мировых и около 90% российских запасов поверхностных вод на планете. Сохранение Байкала, как мирового источника чистой пресной воды, и как природного участка с уникальной фауной и флорой, является главной природоохранной задачей и важнейшим условием устойчивого развития Байкальского региона. Берега озера Байкал представлены уникальными ландшафтами, требующими своего сохранения в естественном виде согласно Конвенции об охране всемирного культурного и природного наследия ЮНЕСКО и законодательства Российской Федерации. За последние 5-6 лет, по данным Лимнологического института, в литоральной зоне Байкала вблизи населенных пунктов и туристических комплексов отмечается аномальное развитие нитчатых водорослей. Между тем не такие масштабные, но все-таки аномальные изменения отмечаются на участках побережья, находящихся вдали от населенных пунктов. Фиксируется массовое вымирание эндемичных видов байкальских губок, происходят изменения в видовом составе зоопланктона и зообентоса, с вселением видов несвойственных Байкалу. Изменения в видовом составе биоты Байкала проходят на фоне крайне низкого уровня озера и теплых, во многом аномальных, климатических условий. Безусловно, все эти изменения уже сейчас имеют неблагоприятное воздействие на социально-экономическую ситуацию Байкальского региона. Это снижение имиджа Байкала как чистейшего водоема мира и его туристического потенциала, проблемы гидроэнергетического сектора, снижение запасов основного промыслового вида – байкальского омуля и перспективы введения запрета на его вылов, падение уровня грунтовых вод в прибрежных территориях и многое другое. Все это требует безотлагательных мер по детальному и многоплановому исследованию причин и возможных последствий данной перестройки экосистемы Байкала. При этом очевидно, что требуется существенная модернизация методов этих исследований, с упором на получение непрерывной информации с высоким временным разрешением об изменениях параметров среды обитания и биоценозов озера.



Современные глобальные климатические изменения, возрастающая антропогенная нагрузка на Байкальскую природную территорию, необходимость поиска новых путей развития производства и общества обуславливают целесообразность усиления научного потенциала ЛИН СО РАН путём создания на его основе Национального исследовательского института (далее – Институт).

Научная деятельность Института актуальна для решения вызовов, стоящих перед Россией и ее регионами в следующих направлениях. 1 – геополитическое, одним из глобальных вызовов настоящего времени является нехватка континентальных водных ресурсов. В этой ситуации могут возникать трансграничные споры по действиям, влияющим на функционирование водохозяйственных объектов, расположенных на территории России. Например, снижение стока и качества вод р. Селенги (обеспечивающей 50% водного баланса Байкал) в результате постройки гидротехнических сооружений на ее монгольском участке. Исследования будут скоординированы с сетевой платформой стран БРИКС по направлению «Водные ресурсы и борьба с загрязнением: Технологическая платформа по устойчивому развитию в области экологии», курируемому Россией. 2 – социально-экономическое, выработка рекомендаций и научно-методического обоснования при планировании развития социально-экономического потенциала территорий на основе освоения водных и биологических ресурсов озер, рек и водохранилищ. 3 - экологическое, разработка методов оценки и обеспечения экологической безопасности освоения водных и биологических ресурсов крупных пресноводных водоемов, знаковых для России и мирового наследия. 4 - научное, сохранение лидирующих позиций России в области фундаментальных исследований по наукам о Земле и биологическим наукам. 5 - технологическое, разработка технологий инструментального и дистанционного мониторинга и контроля состояния крупных озер и водохранилищ, разработка методических основ по искусственному воспроизводству и гибридизации рыбных ресурсов.

В Институте выполняются исследования по следующим проблемам приоритетных направлений ПФИ ГАН: VI.50. «Биология развития и эволюция живых систем», VI.51. «Экология организмов и сообществ», VI.55. «Биохимия, физиология и биосферная роль микроорганизмов», VI.61. «Биофизика, радиобиология, математические модели в биологии, биоинформатика», IX.134. «Поверхностные и подземные воды суши – ресурсы и качество, процессы формирования, динамика и механизмы природных и антропогенных изменений; стратегия водообеспечения и водопользования страны». Стратегия развития Института включает развитие фундаментальных исследований по перечисленным выше направлениям с акцентом на исследования механизмов биологического видообразования с использованием как классических, так и новейших методов, в том числе геномики, протеомики, биоинформатики; разработку и применение новых, более точных методов химического анализа и физических измерений. Будут развиваться исследования в области палеоклиматологии для предсказания климатов будущего. Кроме того, будет проводиться комплексное изучение механизмов образования и деградации углеводородов – газа и нефти. Будут



развиваться работы по биотехнологии для получения новых биологически активных и других полезных веществ. Будут проводиться исследования по молекулярной биологии силифицирующих организмов – диатомовых водорослей и губок, направленные на расшифровку механизмов морфогенеза их кремнистых опорных структур и на создание новых наноустройств и наноматериалов.

Стратегия развития Института направлена на исследования в четырех направлениях.

1. Направление «Структура и функционирование экосистем крупных пресноводных водоемов». Разделы направления: 1.1. Многолетняя изменчивость состояния и биопродуктивности крупных водоемов Евразии. 1.2 Сезонная, межгодовая и многолетняя изменчивость параметров сообществ гидробионтов. 1.3. Экологические закономерности формирования структурно-функциональной организации пресноводных экосистем. 1.4. Экологический мониторинг и механизмы влияния естественных и антропогенных факторов на структурно-функциональную организацию пресноводных экосистем, модели и прогнозы их изменения. 1.5. Пространственное распределение сообществ гидробионтов и их биологические характеристики в зонах седиментации, циркуляционных полях течений, зонах смешения разнотипных водных масс, прибрежных участках. 1.6. Комплексные исследования Байкала с использованием высокоточных методов анализа с целью оценки состояния экосистемы озера и возможного накопления экотоксикантов по пищевым цепям.

2. Направление «Потоки вещества и энергии в пресноводных водоемах». Разделы направления: 2.1. Пространственно-временные масштабы гидрофизических явлений, влияющих на перенос вещества и энергии. 2.2. Газогеохимия среды пресноводных водоемов, потоки парниковых газов. 2.3. Трансформация природных и загрязняющих веществ в воде, трофической сети и донных отложениях водоемов. 2.4. Продукция/деструкция органического вещества и связанные с ней потоки биогенных веществ. 2.5. Генезис и палеореконструкции эволюции озерных экосистем. 2.6. Исследование динамики атмосферного аэрозоля и газовых составляющих в нижней атмосфере различными методами в климатических и синоптических масштабах. 2.7. Исследование дальнего переноса аэрозоля и оценка его влияния на формирование региональных особенностей природной среды. 2.8. Развитие методов биогеохимической индикации и мониторинга качества воды и экологического статуса озер и водохранилищ. 2.9. Моделирование переноса вещества и энергии в оз. Байкал. 2.10. Барьерные зоны смешивания озерных и речных вод. 2.11. Исследование углеводородов различного генезиса в озере Байкал, оценка условий и механизмов их формирования и деградации в зависимости от геологических обстановок, определение роли биологических сообществ в этих процессах. 2.12. Разработка новых методов и моделей для оценки и прогнозирования изменений составляющих теплового, водного и углеродного баланса, речного стока, гидрологического цикла Байкала и его бассейна.

3. Направление «Биологическое разнообразие и биопродуктивность». Разделы направления: 3.1. Молекулярно-генетическая экология, эволюция и биоинвазии живых систем. 3.2. Биологическое и генетическое разнообразие распространенных, редких, эндемичных



и криптических видов гидробионтов разнотипных крупных водоемов. ДНК-штрихкодирование. 3.3. Адаптационные способности и симбиотические связи биоты в водоемах и водотоках разных природных зон. 3.4. Состав, механизмы формирования, метаболический и биотехнологический потенциал микробных и вирусных сообществ пресных водоемов. 3.5. Устойчивость пресноводных видов и сообществ к экстремальным климатическим и антропогенным воздействиям. 3.6. Идентификация и исследование генов, играющих определяющую роль в адаптации байкальских организмов к изменениям окружающей среды в процессе видообразования: анализ изменчивости пространственных структур РНК и белков. 3.7. Развитие экспериментальных и теоретических методов анализа нелинейной информации, содержащейся в кодирующих и не кодирующих участках хромосом; создание индивидуально ориентированных моделей генетических процессов в популяциях взаимодействующих организмов для выявления связи микро- и макроэволюционных процессов в формировании устойчивых сообществ беспозвоночных Байкала. 3.8. Исследование жизненных циклов и аутоэкологии в экспериментальных и природных условиях основных первичных продуцентов и доминирующих видов – консументов пелагиали и бентали, определение их адаптивных механизмов к существованию в оз. Байкал. Определение основных факторов, регулирующих взаимодействие в системе продуцент-консумент в озере Байкал. 3.9. Проведение сравнительного анализа состава современных и некоторых ископаемых групп гидробионтов долгоживущих озер Азии и их бассейнов с акцентом на биогеографические связи и спорные проблемы их формирования. 3.10. Исследование механизмов видообразования и адаптаций рыб Байкала на основе анализа данных полногеномного секвенирования, экспрессионного профилирования и с использованием методов функциональной геномики, протеомики, функциональной морфологии, физиологии.

4. Направление «Потенциал биологических и водных ресурсов крупных озер, водохранилищ и рек». Разделы направления: 4.1. Экологическое нормирование антропогенной нагрузки с учетом природных особенностей водных объектов. 4.2 Риски для хозяйственной деятельности, стратегии социально-экономического развития регионов с учетом экологически безопасного использования водно-биологических ресурсов. 4.3. Технологии восстановления природных водоемов, подверженных антропогенному воздействию. 4.4. Рациональное природопользование в трансграничных водных объектах. 4.5. Разработка и внедрение в производство новых перспективных технологий и объектов выращивания, получение новых аквакультур. 4.6. Создание новых практически ценных продуктов на основе природного сырья и биоинспирированного синтеза. 4.7. Получение продуцентов биологически активных соединений, организмов биодеструкторов различных углеводов. 4.8. Разработка и внедрение новых методов геномики, пептидомики, биоинформатики в практику здравоохранения и медицинскую промышленность Иркутской области.

Предполагаются следующие научные подразделения Института:

1. Лаборатория гидрохимии, химии атмосферы и раннего диагенеза осадочного вещества: деятельность лаборатории направлена на исследование химического состава природ-



ных вод, речного стока в озеро, переноса вещества в водной толще, потоков вещества из атмосферы, донных отложений, трансформации вещества на барьерных зонах. Изучение биотической и абиотической составляющей растворенных химических элементов и минеральных веществ, поступающих в Байкал и водохранилища Ангарского каскада, включая процессы выветривания и почвообразования на водосборе. Экологическое сопровождение при разработке и добыче полезных ископаемых.

2. Лаборатория гидрологии и гидрофизики. Основные направления лаборатории: экспериментальное и теоретическое изучение гидрологических и гидрофизических процессов в озере Байкал и его бассейне, их роли в круговороте вещества и энергии в водной толще озера; исследование процессов, формирующих водный, тепловой, ледово-термический режим озера, физические характеристики его вод; изучение факторов, участвующих в функционировании всей озерной экосистемы Байкала; исследование влияния глобальных изменений климата на абиотические компоненты экосистемы; изучение проявлений выходов метана со дна Байкала.

3. Лаборатория биогеохимии. Основные направления исследований лаборатории: определение главных факторов формирования биогеоценозов побережья Байкала; разработка методик выделения типов аквальных и наземных прибрежных биогеоценозов в озера Байкал; изучение биогеохимических характеристик основных групп литорального фитобентоса Байкала; составление карт сопряженных береговых наземных и аквальных биогеоценозов Байкала с выделением зон антропогенного влияния; изучение биогеохимических барьеров в миграции элементов в прибрежной зоне Байкала; выявление участков антропогенного влияния на эвтрофикацию литоральной зоны Байкала.

4. Лаборатория палеолимнологии и климатических систем кайнозоя. Тематикой исследований являются палеоклиматические и палеогеографические реконструкции на основе изучения: донных осадков озер и болот; древесных хронологий; наземных отложений и ледников. Создание пространственно-временных моделей изменения климата и ландшафтов Сибири в кайнозое. Прогноз изменений региональных ландшафтов на ближайшую перспективу.

5. Лаборатория геологии Байкала. Исследования лаборатории направлены на геологическое изучение осадочного заполнения байкальской впадины, включая исследование гидратоносных грязевых вулканов, сипов и покмарков, геоморфологическим исследованием дна и горного окружения водосборного бассейна озера Байкал; создание интерактивной электронной карты байкальской впадины; восстановление геологической истории ее развития.

6. Лаборатория дистанционного зондирования Земли. Деятельность лаборатории направлена на изучение наземных и аквальных экосистем Байкальской природной территории и водохранилищ Ангарского каскада ГЭС по данным дистанционного зондирования Земли с использованием геоинформационных систем.



7. Лаборатория моделирования переноса вещества и энергии в оз. Байкал. Создание балансовых динамических моделей потоков энергии и отдельных видов вещества в озере Байкал, процессов трансформации энергии и вещества в экосистеме озера. Математическое моделирование функционирования экосистемы озера Байкал. Оценка параметров жизнедеятельности отдельных видов организмов, их трофических взаимодействий на основе фондовых и новых данных, с использованием балансовых, энергетических и динамических уравнений моделей. Развитие и применение математических методов анализа экспериментальных данных.

8. Отдел ультраструктуры клетки. Основные направления деятельности: Систематика бентосной диатомовой флоры оз. Байкал. Динамика видового состава фитопланктона оз. Байкал, водохранилищ, эстуариев. Динамика трофических маркеров первичных продуцентов оз. Байкал в зависимости от видового состава микроводорослей и в условиях изменения окружающей среды. Систематика и эволюция диатомовой флоры миоцена-плейстоцена Северного полушария. Систематика, экология и распространение хризофитовых водорослей и стоматоцист в современных водоемах и в донных отложениях Евразии. Методы метагеномного анализа для изучения микроорганизмов оз. Байкал. Таксономическое разнообразие, богатство, альго-бактериальные взаимодействия, подледные сообщества, придонные сообщества, деградация основных продуцентов (диатомей) и круговорот Si. Цитология диатомей, исследование механизмов ассимиляции, трансмембранного и внутриклеточного переноса и хранения кремния, участие цитоскелета в морфогенезе видоспецифических кремнистых микро- и наноструктур. Гены и предсказанные белки, потенциально вовлеченные в контроль морфогенеза – филогенетический анализ и иммуноэлектронная визуализация. Эволюция геномов диатомовых водорослей. Горизонтальный и эндосимбиотический перенос генов. Экспериментальная геномика и транскриптомика. Сравнительная геномика и филогеномика. Молекулярные и цитологические механизмы дифференцировки обонятельных рецепторных клеток у животных в связи с действием факторов внешней среды.

9. Лаборатория водной микробиологии. Лаборатория исследует микробные и вирусные сообщества водных экосистем, формирующиеся в водной толще, во льду, на границах раздела фаз вода-воздух, вода-твердые субстраты, в ассоциации с другими гидробионтами. Проводит выделение, идентификацию и описание чистых культур микроорганизмов, изучает ультраструктуру, физиолого-биохимические, генетические свойства, метаболический и биотехнологический потенциал культур и некультивируемых микроорганизмов, исследует роль бактерий и вирусов в круговороте биогенных элементов. Выполняет микробиологическую оценку качества продукции, воды и почвы.

10. Лаборатория микробиологии углеводов. Нацелена на изучение микробных сообществ и их метаболический потенциал в зонах повышенных концентраций углеводов и других соединений в холодноводных экосистемах. Исследование возможных путей окисления углеводов в аэробных и анаэробных условиях, структура функцио-



нальных генов и белков, обеспечивающих данные процессы при низких температурах. Поиск уникальных психрофильных микроорганизмов, участвующих в разложении углеводов при разных геохимических параметрах для возможного использования в практике.

11. Лаборатория ихтиологии. Исследование структурно-функциональной организации высших консументов в экосистеме озера Байкал на основе синтеза данных по их генетико-биохимическому, морфолого-физиологическому, этологическому и экологическому разнообразию. Разработка методов количественного учета пелагических животных как элемента комплексного мониторинга экосистемы озера Байкал (зоопланктон, рыбы) и выбор структурно- и функционально значимых параметров оценки ее состояния. Популяционная биология и микроэволюция высших животных (организация видов): изучение структурированности населения рыб и их кормовых объектов в экосистеме озера Байкал и в водоемах Байкальского региона: выявление биологических и экологических детерминантов, генетических последствий. Структура и динамика ихтиоценозов в экосистеме озера Байкал (организация сообществ): исследование закономерностей сосуществования рыб в экологических системах разного ранга: вид – вид, триотроф, пищевая сеть.

12. Лаборатория водных беспозвоночных. Научная специализация: Изучение биоразнообразия беспозвоночных и водорослей Байкала и других древних озер Земли, а также водоемов Прибайкалья и Забайкалья. Выяснение закономерностей эндемического видообразования, филогенетических и зоогеографических связей байкальской биоты. Исследование экологии сообществ бентоса и планктона. Междисциплинарная оценка современного состояния прибрежной зоны с акцентом на изменения антропогенного характера (эвтрофикация, массовое развитие чужеродных видов и др.). Исследование современного состояния прибрежной зоны озера Байкал с точки зрения многолетней динамики и смены комплексов доминирующих видов гидробионтов, а также факторов их определяющих в условиях широкомасштабных негативных экологических процессов в озере.

13. Лаборатория эволюционной геномики. Направления деятельности: 1) исследование эволюционных процессов с использованием геномных и пост-геномных технологий, изучение молекулярных механизмов адаптаций, детальное исследование эволюционных историй организмов; 2) использование геномных технологий и молекулярно-филогенетических методов для решения задач, касающихся механизмов формирования и функционирования сообществ организмов; 3) развитие методов биоинформатики, направленных на более полный анализ экспериментальных данных, моделирование эволюционных и экологических процессов в условиях быстрых изменений условий окружающей среды.

14. Лаборатория молекулярной экологии. Изучение экологических вопросов с применением молекулярных методов популяционной генетики, молекулярной филогенетики и геномики для оценки биоразнообразия, межвидовых, в том числе симбиотических, взаимоотношений и диагностики видов. Использование метагеномного и транскриптомного анализа байкальских организмов, анализ микросателлитов для определения потока генов



и гибридизации между популяциями, а также анализ изменений в составе симбионтов в ответ на изменения условий окружающей среды.

15. Лаборатория хроматографии. Основные направления деятельности лаборатории: Анализ биотических и абиотических объектов водной экосистемы Байкала и байкальской природной территории с применением современных инструментальных методов анализа ГХ, ГХ-МС, ВЭЖХ, ВЭЖХ-МС: - определение стойких органических загрязнителей в биологических объектах и природных средах Байкальской природной территории; - разработка и апробация методик контроля органических загрязнителей в водной экосистеме Байкала на следовом и ультраследовом уровне концентраций; – анализ нефти и продуктов ее деформации в водной экосистеме Байкала; – исследование механизмов аккумуляции и концентрирования гидрофобных органических веществ биотой Байкала; – анализ жирных кислот в байкальской биоте; – идентификация природных полиаминов в биогенном кремнезёме и контроль чистоты синтезированных аналогов; – идентификация и количественное определение токсинов в экстрактах цианобактерий и обрастаний губок; – анализ сложных пептидных смесей; – идентификация пигментов в экстрактах губок; – разработка и апробация методик контроля содержания биологически-активных веществ в растительном сырье; – разработка и апробация методик контроля содержания лекарственных препаратов в готовых лекарственных формах и сыворотке крови.

16. Лаборатория биомолекулярных систем. Основные направления деятельности Исследования закономерностей формирования упорядоченных органических, неорганических и композитных структур в живой природе с использованием моделирования *in vitro* и экспериментов *in vivo*; создание новых химических средств и подходов для изучения живых организмов на молекулярном и супрамолекулярном уровне; разработка новых материалов на основе биоинспирированных подходов.

Развитие инфраструктуры Института. С целью повышения эффективности комплексных исследований и мониторинга оз. Байкал предлагается формирование сети автоматических подводных и надводных станций регистраций параметров атмосферы и водной толщи Байкала, что позволит перейти от дискретных/разовых наблюдений к квазинепрерывным. Это позволит существенно улучшить понимание процессов, протекающих в акватории Байкала, оперативно реагировать на антропогенное загрязнение, принимать природоохранные меры и строить прогнозные модели изменений параметров водной среды на краткосрочную перспективу. Создание приборного центра коллективного пользования по мониторингу и исследованию таксономического и генетического разнообразия оз. Байкал, в т.ч. на основе определения нуклеотидных последовательностей в воде, планктоне и донных осадках на основе метагеномного анализа. Внедрение высокотехнологичных методов исследования позволит существенно снизить человеческие трудозатраты и повысить оперативность получения фактического материала об изменениях абиотической и биотической составляющих Байкала.



Бюджет Института. Создание новых лабораторий предполагает корректировку базового финансирования государственного задания Института и создание новых гостей. Предполагаемый объем увеличения дополнительного финансирования составит 77 млн руб., в том числе по статье «заработная плата и начисления» составит порядка 24 млн руб. в год.

Модернизация и улучшение приборного центра коллективного пользования по мониторингу и исследованию таксономического и генетического разнообразия оз. Байкал оценивается на уровне 280 млн руб.

Долгосрочными партнерами из бизнес-структур являются компании ПАУ РусГидро, ПАУ Иркутскэнерго, ООО Иркутская нефтяная компания, ОАО Иркутский алюминиевый завод. Сотрудничество с этими компаниями ведется по линии изучения экосистем водохранилищ Ангарского каскада и мониторинга состояния окружающей природной среды и недр с оценкой текущего и фоновый уровней загрязнения на территориях, на которых размещены объекты нефтегазовой индустрии, прикладные исследования в области порошковой металлургии. В сфере образовательной деятельности основными партнерами являются Иркутский государственный университет, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Томский государственный университет, Пермский государственный университет, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет. На базе использования научного флота Института осуществляется многолетний международный образовательный проект – плавучий университет «Класс-Байкал». Заключены долгосрочные соглашения о научном сотрудничестве с 30 зарубежными университетами и институтами из Японии, Новой Зеландии, Франции, США, Испании, Польши, Индии, Вьетнама, Южной Кореи, Китая, Лаоса, Алжира, Камбоджи, Индонезии, Малайзии, Таиланда, Филиппин, Монголии, Мьянмы.

Программа развития Института предусматривает создание совместной кафедры «Экологии пресноводных экосистем» с биолого-почвенным факультетом ИГУ, научно-образовательного технологического центра «Геоисследование Байкала», объединяющий ЛИН СО РАН, учебно-научный Центр ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии и геофизике при геологическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова, базовую кафедру радиоэлектроники и телекоммуникационных систем (ИРННТУ) и Технологический институт Китами (Япония).

## **Интеграция в мировое научное сообщество**

### **9. Участие в крупных международных консорциумах (например - CERN, ОИЯИ, FAIR, DESY, МКС и другие) в период с 2013 по 2015 год**

ЕАNET – мониторинг кислотных выпадений в Восточной Азии. Организации участники – Азиатский центр исследования кислотных осадков. В программе участвует 13 стран Восточной Азии, в том числе Россия. В рамках программы по соглашению с Росгидрометом



лаборатория гидрохимии и химии атмосферы ЛИН СОРАН представляет Национальный центр данных и контроля качества измерений сети от России. Три станции мониторинга ЛИН СО РАН, расположенные в п. Монды, п. Листвянка, г. Иркутск, ведут наблюдения в рамках единой сети наблюдений за атмосферными выпадениями. Получены многолетние данные по газовым примесям, аэрозолю, атмосферным осадкам на станциях мониторинга в Байкальском регионе, выявлены их источники, сезонная и межгодовая изменчивость. Определены фоновые уровни загрязнения атмосферы в Центральной Азии.

GMOS (Global Mercury Observatory System) – глобальная система мониторинга ртути. Международный проект в рамках программы ЮНЕП с участием ЛИН СО РАН. Организации участники – Институт исследований атмосферных загрязнений (Италия); Агентство охраны природы США; Исследовательский парк Триангл (США); Исследовательский центр им. Гельмгольца (Германия); Метеорологическая станция на мысе Доброй Надежды Южно-Африканской службы погоды; Шведский институт экологических исследований; Университет Сан Пауло (Бразилия); Университет Ка Фоскари (Италия); Институт динамики природных процессов (Италия); Лаборатория гляциологии и геофизики Университета Гренобля (Франция); Отделение наук об окружающей среде Университета Аархус (Дания); Институт им. Йозефа Стефана (Словения); Йоркский университет (Канада); Обсерватория островов Зеленого мыса; Совместный исследовательский центр Испра (Италия); Санкт-Петербургский государственный университет (Россия); Университет Суринама; Институт геохимии, лаборатория экологии и геохимии Китайской академии наук; Институт управления океанскими ресурсами (Индия); Средиземноморский и Атлантический центры Французского института морских исследований; Технологический университет Готенборга (Швеция). ЛИН СО РАН организована станция непрерывного наблюдения за ртутью в атмосферном воздухе и осадках в п. Листвянка, которая вошла в сеть от Азиатской территории РФ. В режиме непрерывного мониторинга получены результаты по суточной сезонной и межгодовой динамике содержания ртути в атмосфере Прибайкалья. Показано, что концентрации ртути в атмосфере составляют фоновые величины, за исключением определенных синоптических ситуаций, когда загрязнения с воздушными массами попадают в Байкал от региональных антропогенных источников.

«Международная ассоциированная лаборатория «Ледниковые архивы данных о климате и окружающей среде». Организации участники – Франция: Национальный центр научных исследований; Комиссариат по атомной и альтернативным видам энергии; Исследовательский институт развития Университет им. Жозефа Фурье; Версальский университет Сен Кантен ан Ивелин; Университет им. Клода Бернара; Россия: Институт географии РАН; Институт ядерной физики им. Б.П. Константинова; Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт; Минерально-сырьевой университет "Горный"; РФФИ. Лаборатории создана для сохранения сотрудничества между Францией и Россией в области изучения ледниковых архивов и объединения усилий специалистов различных сторон в исследованиях, начатых в рамках Европейского научно-исследовательского объединения



«Восток» (2004-2011 гг.). Задачи лаборатории: улучшение понимания механизмов смены ледниковых и межледниковых периодов благодаря новому международному проекту бурения ледникового покрова Восточной Антарктиды, нацеленному на получение ледяного ядра возрастом в последний 1 млн. лет; документирование физических и геохимических характеристик снежных и фирновых слоев для описания их физических свойств; определение естественной изменчивости климатических индикаторов ледяных последовательностей в связи с глобальным потеплением для определения биологических составляющих льда; изучение новых технологий бурения и длительной консервации глубоких ледовых скважин. Вклад ЛИН СО РАН в реализацию проекта: проведение комплексных исследований химического состава и морфологии микрочастиц снежно-фирнового покрова на территории Восточной Антарктиды. Анализ сульфатных профилей позволил построить комбинированную 900-летнюю сульфатную летопись вулканических событий для района станции Восток с высоким разрешением (менее 1 года). По вулканическим маркерам и профилю содержания  $\text{Na}^+$  были рассчитаны скорости аккумуляции и установлена их выраженная вариабельность.

Байкальский плавучий университет «Class Baikal». Организации участники – Университет Сарбоны (Франция), Университет Осло (Норвегия), МГУ (Россия), ИрНИТУ (Россия). Статус ЛИН СО РАН – организация соучредитель. Организация научно-образовательного процесса по литолого-геофизическому изучению нефте-газопроявлений в осадочных чехлах на примере озера Байкал.

**10. Включение полевых опытов организации в российские и международные исследовательские сети. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства»**

Информация не предоставлена

**11. Наличие зарубежных грантов, международных исследовательских программ или проектов за период с 2013 по 2015 год**

Греция, University of Crete; Финляндия, University of Helsinki; Германия, Technical University of Dresden – Проект ERA-NET в 7-ой рамочной программе Европейского союза «Синтез кремнеземных материалов и нанокompозитов биологическим путем на основе интеллектуальных полимеров в качестве матриц» (01.09.2012 – 31.01.2015). Вклад ЛИН СО РАН в реализацию проекта: получение полиакрилатных производных пропиламинов реакцией полиакрилоилхлорида с N,N-диэтил-N'-метилпропан-1,3-диамином и N'-метил-N,N-дипропилпропан-1,3-диамином. При окрашивании композитных микрочастиц флуоресцентным красителем получены новые флуоресцентные частицы для визуализации потоков при гидродинамических испытаниях. Проведена гидрофобизация хитозана, являющегося производным природного полимера хитина. Получены новые термо- и pH-лабильные полимеры, перспективные для синтеза кремнистых нанокompозитов и конструи-



рования более сложных макромолекулярных систем, включая средства доставки лекарственных препаратов.

Корея, Корейский институт полярных исследований – «Проведение научных исследований на озере Байкал» (08.02.2013 – 01.03.2014). Вклад ЛИН СО РАН в реализацию проекта: изучение байкальских экстремофильных микроорганизмов. Проведена совместная работа по апробированию методики культивирования микроорганизмов, ассоциированных с байкальскими губками, с использованием наконечников с минимальной твердой питательной средой. Применение «метода наконечника» позволило получить 34 штамма, представителей пяти филумов: Actinobacteria, Alphaproteobacteria, Betaproteobacteria, Firmicutes и Gammaproteobacteria. При стандартном культивировании выявлено в два раза меньше штаммов (16), относящихся к филумам Betaproteobacteria, Gammaproteobacteria и Firmicutes. Изучено бактериальное разнообразие двух эндемичных губок озера Байкал – ветвистой *Lubomirskia baicalensis* и корковой *Baikalospongia* sp. В микробных ассоциациях исследуемых губок идентифицировано 24 бактериальных филума, среди которых доминировали представители Bacteroidetes, Proteobacteria и Actinobacteria.

Новая Зеландия, Школа биологических наук, Веллингтонский Университет им. королевы Виктории – «Исследование зеленых водорослей озера Байкал» (21.05.14 – 31.12.15). Вклад ЛИН СО РАН в реализацию проекта: исследование генетического разнообразия эндемичных кладофор и их видообразования (гибридизация, полиплоидность, половая несовместимость); оценка текущих условий прибрежной окружающей среды, включая морфологическую и молекулярную идентификацию развивающихся масс зеленых водорослей; анализ разнообразия, определение видов и внутривидовой изменчивости *Ulothrix zonata*; исследование морфологической и генетической вариативности водных лишайников, молекулярная идентификация гриба-хозяина и водоросли-фотобионта.

США, School of Oceanography, University of Washington – «Проведение совместных работ по выделению и анализу органических и неорганических веществ из кремнистых створок диатомей, обитающих в оз. Байкал, для исследования кругооборота кремния в биосфере» (25.05.2011 – н.в.). Вклад ЛИН СО РАН в реализацию проекта: выполнение работ с использованием различных методологических подходов для изучения химического состава кремнистых створок диатомей, включая микроэлементный состав (биогенные элементы, тяжелые металлы), структуру и свойства инкорпорированных в кремнезем органических соединений.

США, Texas Natural Science Center – «Исследование эволюции видов диатомовых водорослей в оз. Байкал» (30.11.11 – 31.12.2015). Вклад ЛИН СО РАН в реализацию проекта: изучение эволюции и экологии диатомей, живущих в Байкале и их родство с диатомеями из близлежащих водоёмов, внутривидовой изменчивости байкальских диатомей, изменчивости популяции внутри каждой котловины и между котловинами Байкала, и генома диатомей.



Финляндия, Финский научно-исследовательский институт леса и рыбоводства – «Организация и проведение XII Международного Симпозиума по Биологии и Менеджменту Сиговых Рыб» (09.06.14 – 30.08.14). Вклад ЛИН СО РАН в реализацию проекта: проведение XII Международного симпозиума по биологии и менеджменту сиговых рыб. Организации участники – ИОГУНБ им. И.И. Молчанова-Сибирского; ИОГен РАН; Лимнологический институт, Австрия; Университет Инсбрука, Австрия; Центр экологии и гидрологии, Великобритания; ИГУ; ООО «ИЦ «Иркутскэнерго»; ИОГен им. Н.И. Вавилова РАН; Байкальский музей ИНЦ СО РАН; Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН; Лимнологический институт, Германия; Университет г. Констанца, Германия; Институт физиологии животных и генетики Чешской академии наук; ИСЭЖ СО РАН; ФГУП «Госрыбцентр»; БФ ФГУП «Госрыбцентр» Россия, Улан-Удэ, Ангаро-Байкальское территориальное управление.

Франция, Национальный музей естественной истории – «Изучение физиологии диатомовых водорослей и других силикатирующих организмов» (14.01.2013 – н.в.). Вклад ЛИН СО РАН в реализацию проекта: выполнение работ с использованием различных методологических подходов для исследования механизма силификации в живых организмах.

Франция, Средиземноморский институт морского и наземного разнообразия и экологии – «Массовая гибель байкальских губок: экологическое расследование беспрецедентного события» (16.03.15 – 31.03.18). Вклад ЛИН СО РАН в реализацию проекта: Морфологическая и генетическая идентификация здоровых и больных губок, микроскопия симбиотического состава фиксированных губок.

Швеция, Университет Лунда – «Генетическая дифференциация в популяциях простейших» (14.12.13 – 20.12.2015). Вклад ЛИН СО РАН в реализацию проекта: проведение поиска динофитовых водорослей в озерах Байкал, Заверняиха и Котокель. На основе отобранных проб получено 10 моноклональных культур вида *Peridinium baicalense* и 20 моноклональных культур вида *Scrippsiella aff. hangoei*, из которых выделена ДНК для дальнейших генетических анализов. В ходе проекта подобраны условия для культивирования эндемичных байкальских водорослей, что открывает возможность для их всестороннего изучения.

Япония, Технологический институт Китами – «Исследование области образования многофазного гидрата метана у дна Байкала» (01.06.09 – 31.03.20). Вклад ЛИН СО РАН в реализацию проекта: поиск новых гидратоносных структур, изучение механизмов образования этих структур и газовых гидратов в них; построение карты распределения газовых гидратов у дна Байкала путём геофизических средств и анализа кернов с осадками, которая в дальнейшем послужит для мониторинга образования/диссоциации газовых гидратов в Байкале. В ходе совместных экспедиционных работ открыты новые районы с приповерхностным залеганием газовых гидратов. Вдоль восточного берега южной котловины озера обнаружены впервые гидраты и новые грязевые вулканы, в одном из которых найдены совместно залегающие газовые гидраты структуры 1 и 2. Открыта новая форма грязевых



вулканов на эрозионных останцах - гребнях на склоне впадин. Уточнены поисковые геолого-геофизические признаки нахождения газовых гидратов в байкальских осадках.

Япония, Университет Кумамото – «Исследование газообмена между поверхностью оз. Байкал и атмосферой» (30.03.11 – 29.05.15). Вклад ЛИН СО РАН в реализацию проекта: совместные исследования с помощью различных методологических подходов механизмов продукции байкальскими водорослями метилсернистых соединений (диметилсульфид, диметилсульфоксид и др.) и их роли в физиологии клеток различных видов водорослей, а также потоков этих веществ в атмосферу; измерение *in situ* содержания диметилсульфида, метилмеркаптана в атмосферном воздухе, пропионата диметилсульфида в воде Байкала в период массового размножения фитопланктона озера в марте - апреле и августе – сентябре. Получены первые уникальные данные по продуцированию метилсернистых соединений планктонными водорослями Байкала. Обычно продуцирование органических сернистых соединений производится морскими водорослями. Байкал пока единственный пресный водоем, где найдены водоросли, продуцирующие эти соединения.

Япония, Факультет передовых наук Токийского университета – «Исследование байкальских гидробионтов» (21.07.14 – 31.07.18). Вклад ЛИН СО РАН в реализацию проекта: сбор материала для исследования соотношения стабильных изотопов С и N в доминирующих представителях бентосных сообществ заплесковой и мелководной зон озера Байкал; специальные исследования доминирующих гидробионтов заплесковой и мелководной зон – макрофитов, губок, турбеллярий, олигохет, амфипод, моллюсков, насекомых и т.д.; изучение бентосных сине-зеленых водорослей и их функциональная роль в азотном цикле бентосных пищевых цепей; сравнение полученных результатов с более ранними данными для обнаружения возможных процессов эвтрофикации. Проведено три совместных экспедиции по Южному Байкалу. Собрано более 150 проб водорослей, губок, олигохет и других групп беспозвоночных для анализа стабильных изотопов N и C. Обобщены сведения по данному показателю за период 1999-2006 гг.

## НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОРГАНИЗАЦИИ

### Наиболее значимые результаты фундаментальных исследований

#### 12. Научные направления исследований, проводимых организацией, и их наиболее значимые результаты, полученные в период с 2013 по 2015 год

Направление VI.50. «Биология развития и эволюция живых систем»

1. Опубликованы два атласа-определителя пеннатных бентосных диатомовых водорослей озера Байкал, в которых с помощью методов сканирующей электронной микроскопии проведена ревизия семейства CYMBELLACEAE и описано несколько новых родов. С помощью сканирующей электронной микроскопии проведена ревизия семейства Naviculaceae в оз. Байкал, описано 3 новых рода, из 193 обнаруженных видов и внутриви-



довых таксонов 65 – новые. В миоцен-плиоценовых отложениях Прибайкалья выявлено 86 видов диатомовых водорослей, среди которых 4 - новых; в водоемах и отложениях Евразии описано 150 морфотипов стоматоцист хризофитовых водорослей, из них 30 - новых. Разработаны методы синтеза флуоресцентных производных биогенных полиаминов, аналогичных обнаруженным в кремнистых створках диатомей. Полученные соединения специфически окрашивают растущие створки диатомей и спикулы кремнистых губок. Использование новых красителей позволило проследить начальные стадии ассимиляции кремния диатомеями. Культивирование кремнистых губок и примморф в присутствии меченных полиаминов впервые открывает возможность надёжно идентифицировать спикулы, растущие в ходе эксперимента.

2. На основании результатов анализа данных о последовательностях полных митохондриальных геномов и полиморфизма участков ядерной и митохондриальной ДНК байкальских эндемиков реконструированы их эволюционные истории. Дивергенция губок *Lubomirskiidae* произошла в период Миоцена, основные этапы кладогенеза приходятся на 2,5 и 0,5 млн. лет и совпадают с периодами сильного похолодания. Возраст наиболее раннего общего предка пелагических ракообразных составил: 1,8-1,3 млн. лет для *M. branickii*, 0,6-0,4 млн. лет для *E. baicalensis* и 0,3-0,2 млн. лет для *C. kolensis*. Подтверждено наличие двух периодов быстрого кладогенеза (мультифуркации) в пределах рыб рода *Coregonus*: появление 3 млн. лет назад основных клад и 1,5 млн. лет назад основных клад группы «истинных» сигов; выявлены сайты сегрегации популяций и видов в пределах родов *Batrachocottus* и *Comerphorus*; показана роль посттранскрипционной регуляции экспрессии генов мтДНК как фактора, способствующего разделению большой голомянки на две генетические группы.

3. Проведен анализ симбиотической эукариотической микробиоты губок и рыб. Доминирующими эндосимбионтами байкальских губок *L. baicalensis* и *B. bacillifera* являются водоросли рода *Choricystis* (Eukaryota; Viridiplantae; Chlorophyta; Trebouxiophyceae), характеризующиеся присутствием дополнительных продолжительных (600-900 п.н.) интронов в гене 18S rRNA. Определен состав микробного сообщества *L. baicalensis*, представленного филами Cyanobacteria, Verrucomicrobia, Proteobacteria, Bacteroidetes и Planctomycetes, показано, что при поражении губки происходит существенная смена его состава и структуры; проведен анализ генов поликетидсинтаз (PKS). Оценено разнообразие и филогенетическое положение прокариотических фотосимбионтов, ассоциированных с губками семейства *Lubomirskiidae*; проведена идентификация T4-подобных бактериофагов (T4-like viruses) в *L. baicalensis* на основе фрагмента гена основного капсидного белка g23. Определено генетическое разнообразие диплонад у лососевидных рыб оз. Байкал; обнаружен новый генотип *Spironucleus barkhanus*, специфичный для представителей рода *Coregonus*. Определен состав микрофлоры пищеварительного тракта лососевидных рыб с разными пищевыми стратегиями на примере байкальского омуля и черного байкальского хариуса, и близкородственных керчаковых рыб с идентичными условиями обитания на примере



большой и малой голомянок. Выявлены представители аллохтонной и автохтонной микробиоты, общие и отличающиеся для разных видов рыб. Кроме того, проведен анализ ассоциированной микрофлоры пищеварительной системы малой голомянки *Comerphorus dybowski*. Определены таксоны культивируемых гетеротрофных микроорганизмов, характерных для язвенных проявлений на внешних покровах рыб: представители родов *Aeromonas*, *Shewanella*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Janthinobacterium* и *Pseudomonas*. Доля потенциальных патогенов, представителей родов *Aeromonas*, *Shewanella*, *Acinetobacter* и *Pseudomonas*, описанных как возбудители сочетанных инфекций водных организмов, составила 39-50%. Анализ разнообразия представителей этих родов у рыб из водоемов Восточной Сибири выявил широкий спектр видов - возбудителей заболеваний холодно-кровных и теплокровных организмов, включая человека.

Статьи и РИД:

1. Annenkov V.V., Basharina T.N., Danilovtseva E.N., Grachev M.A. Putative silicon transport vesicles in the cytoplasm of the diatom *Synedra acus* during surge uptake of silicon. // *Protoplasma*. – 2013. – V. 250. – P. 1147–1153. IF=2,723; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.1007/s00709-013-0495-x

2. Usoltseva M., Kocielek J. P., Khursevich G. Three new species of *Alveolophora* (*Aulacoseiraceae*, *Bacillariophyceae*) from Miocene deposits in western North America. // *Phycologia*. – 2013. – V. 52(1). – P. 109–117. IF=2,262; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 0.2216/12-022.1

3. Maikova O., Khanaev I. Belikov S. Sherbakov D. Two hypotheses of the evolution of endemic sponges in Lake Baikal (*Lubomirskiidae*) // *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*. – 2015. – V.53, № 2. – P. 175-179. IF=1,821; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.1111/jzs.12086

4. Teterina V.I., Mamontov A.M., Sukhanova L.V., Kirilchik S.V. Signs of Selection in Synonymous Sites of the Mitochondrial Cytochrome b Gene of Baikal Oilfish (*Comerphoridae*) by mRNA Secondary Structure Alterations // *BioMed Research International (J. of Biomedicine and Biotechnology)*. – 2015. – Article ID 387913. – 8 pages. IF = 2,149; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.1155/2015/387913

5. Белькова Н.Л., Суханова Е.В., Деникина Н.Н., Дзюба Е.В. Патент на изобретение № 2514668 «Способ мультиплексной детекции представителей родов *Aeromonas* и *Flavobacterium*». Заявка №2012147068/10, 06.11.2012 – 2014.

Направление VI.51. «Экология организмов и сообществ»

Исследование прибрежной зоны в 2013-2015 гг. выявило значительные изменения в структуре и количественных характеристиках практически всех составляющих биоты:



1. В фитобентосе отмечена смена доминантных видов и увеличение их биомассы. В масштабах всего озера обнаружено массовое развитие несвойственных для Байкала водорослей рода *Spirogyra*, которые освоили не менее 50% побережья озера. Пик развития приходился на сентябрь-октябрь. Сырая биомасса спирогиры (min – 11 г/м<sup>2</sup>, max – 652 г/м<sup>2</sup>) сравнима либо превышает значения, характерные для байкальских водорослей первого растительного пояса. Ранее на глубинах 0,5-1 м формировал скопления *Ulothrix zonata* – 21,4 г/м<sup>2</sup> (Ижболдина, 1990). Круглогодичная вегетация спирогир отмечена в двух районах: зал. Листвяничный и мелководье р. Тья – бух. Сеногда, где они внедрились в открытое озеро до 20 м. Впервые зарегистрирована осенняя смена доминирующего вида урезовой зоны *Ulothrix zonata* на *Stygeoclonium tenue* в масштабах всего озера. Количественно оценены береговые выбросы водорослей в трех котловинах озера. Наиболее массово водоросли развивались на севере в районе р. Тья. Расчетная масса выброшенных на берег скоплений около 1400 т при длине вдоль береговой линии >10 км, > 90% этой массы составляли представители рода *Spirogyra*. Концентрация фосфатов в водах р. Тья после сброса стоков г. Северобайкальска возросла почти в 100 раз, что свидетельствует о том, что основной причиной массового развития водорослей являлось избыточное поступление биогенов со сточными водами.

2. В зообентосе выявлено поражение и гибель эндемичных байкальских губок всех экологических форм (корковых, глобульных, ветвистых) на глубинах до 20 м. Особи ветвистой *Lubomirskia baikalensis* повреждены в 30-100% случаев (50 погружений). В пятнах поражения на 90-95% доминируют цианопрокариоты 2–3 видов. Начальная стадия отмирания (деформация наружной поверхности) в 50-80% исследованных случаев предшествует заселению ее цианопрокариотами. Обнаружены береговые выбросы мертвых брюхоногих моллюсков, представленные как не эндемиками (62-100%), так и эндемиками. Максимальная численность раковин достигала 11667±5402 экз./м<sup>2</sup>, среди которых преобладали (76%) лимнеиды среднего размера (10-20 мм). Выбросы приурочены к местам массового развития спирогиры (Сеногда, Заречный, Максимиха).

3. Выявлены негативные изменения в планктоне озера. Анализ структуры и количественных показателей фитопланктона показал, что численность мелкоклеточных видов рода *Chlamydomonas Ehrenberg* в последние годы резко возросла (максимальная до 7 млн кл./л). Ранее (1975-1990 гг.) эти водоросли в составе планктона не регистрировались, в единичных количествах были найдены в начале 2000-х гг. В заметном количестве (от 4 до 7 тыс. кл./л) встречались и другие показатели органического загрязнения воды – эвгленовые. В прошлом эвгленовые отмечались в составе планктона единично. На станциях, прилегающих к населенным пунктам, особенно в районе п. Култук, гг. Слюдянка, Байкальск, Северобайкальск и др., были обильны донные нитчатые водоросли рода *Spirogyra Link*. Здесь же в весенний период 2013 г. отсутствовали (или были представлены единичными экземплярами) водоросли «байкальского комплекса»: считавшиеся эндемиками озера *Aulacoseira baicalensis* (K. Meyer) Sim., *Cyclotella baicalensis* Skv., *Stephanodiscus*



meyeri Genkal et Popovsk., а также спорообразующая форма *A. islandica* (O. Müll.) Sim., – присутствующие в фоновых районах озера. Структурные изменения в фитопланктоне и доминирование мелкоклеточных видов свидетельствует об эвтрофировании прибрежной зоны озера. Оценены изменения видовой структуры и количественных показателей зоопланктона мелководья Северного Байкала в условиях обильного развития *Spirogyra* Link. Образование огромного количества детрита (95% спирогира) негативно повлияло на зоопланктон, что выразилось в отсутствии фауны планктона на расстоянии до 10 м от уреза, сокращении его численности и гибели (до 60 %) ракообразных на расстоянии 20–350 м от уреза; перестройкой структуры – выпадении коловраток, доминировании циклопов и отсутствии фильтраторов из ветвистоусых. Большое содержание детрита, с одной стороны, выступает механическим барьером для проникновения кислорода из атмосферы, с другой стороны, поглощает кислород из воды, при этом коловратки как наиболее требовательные к кислороду организмы из планктона исчезают.

Статьи и монографии:

1. Тимошкин О.А., Попова О.В., Лухнев А.Г., Зайцева Е.П. Фауна и особенности распределения микротурбеллярий заплесковой зоны озера Байкал с описанием новых видов рода *Opisthocystis* (Plathelminthes, Turbellaria, Kalyptorhynchia) // Зоологический журнал. – 2014. – Т. 93, № 3. – С. 412–425. IF=0,163; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.7868/S0044513414030167
  2. Bondarenko N.A., Malnik V.V., Vishnyakov V.S., Rozhkova N.A., Gorshkova A.S., Sinyukovich V.N., Timoshkin O.A., Matveev A.N. Modern State of the biota of the Selenga River Delta (Lake Baikal Basin) under conditions of unstable hydrological regime. Report 1. Microbial Community and Algae // Hydrobiological Journal. – 2015. – V. 52. – P. 17–29. Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus; DOI: 10.1615/HydrobJ.v52.i1.20
  3. Timoshkin O.A., Bondarenko N.A., Volkova Ye.A., Tomberg I.V., Vishnyakov V.S., Malnik V.V. Mass Development of Green Filamentous Algae of the Genera *Spirogyra* and *Stigeoclonium* (Chlorophyta) in the Littoral Zone of the Southern Part of Lake Baikal // Hydrobiological Journal. – 2015. – V. 51(1). – P. 13–23. Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus; DOI: 10.1615/HydrobJ.v51.i1.20
  4. Proviz V. Comparative analysis of karyotypes of *Chironomus solitus* Linevich et Erbaeva, 1971 and *Chironomus anthracinus* Zetterstedt, 1860 (Diptera: Chironomidae) from East Siberia. // Comparative Cytogenetics. – 2015. – V. 9, № 2. – P. 237–248. IF=1,338; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.3897/CompCytogen.v9i2.4702
  5. Оболкина Л.А. Планктонные инфузории озера Байкал. – Новосибирск: Наука, 2015. – 231с. ISBN 978-5-02-019182-2. (Формат 70x108/16, тираж 300 экз.)
- Направление VI.55. «Биохимия, физиология и биосферная роль микроорганизмов»



1. В природных экосистемах более 95-99% бактерий существуют в виде биопленок – специфически организованных микробных сообществ, образование и функционирование которых представляет сложный, строго регулируемый биологический процесс. Получена коллекция гетеротрофных микроорганизмов из биопленок, сформированных на границе разделов фаз вода-воздух и вода-твердый субстрат. Показано, что гетеротрофные бактерии, изолированные из биопленок, развивающихся на горных породах и в поверхностном слое, активно продуцируют широкий спектр внеклеточных ферментов и метаболитов. Штаммы биопленок твердых субстратов обладали преимущественно протеолитической и амилолитической активностями. Установлена высокая устойчивость к УФ-облучению представителей фило Firmicutes, которые также проявляли множественную антимикробную активность, подавляя рост патогенных микроорганизмов. Учитывая, что байкальские микроорганизмы обитают в экстремальных условиях холодного и глубокого олиготрофного водоема, они обладают высоким адаптивным потенциалом, который позволяет им эффективно запускать различные механизмы к выживанию, выраженные в активной репарации ДНК, в способности инициировать процессы спорообразования, в высокой ферментативной и антагонистической активностях.

2. Бактериофаги – самые многочисленные организмы в водоемах, они влияют на разнообразие и численность бактерий, регулируют круговорот веществ и энергии в водных экосистемах и перспективны для использования в медицине. Из проб, отобранных в озере Байкал, изолирован новый бактериофаг PaBG способный инфицировать штамм *Pseudomonas aeruginosa* PAO1 – факультативный патоген человека, вызывающий госпитальные инфекции с устойчивостью к широкому спектру антибиотиков. Бактериофаг PaBG отнесен к семейству миовирусов (Myoviridae) – фагов с сократимым хвостом. Диаметр головки фага составил 136 нм, длина хвоста – 220 нм согласно данным трансмиссионной электронной микроскопии. Методом NGS определен полный геном бактериофага, состоящий из двухцепочечной ДНК длиной 258,139 bp и содержащий 308 открытых рамок считывания.

3. Цианобактерии синтезируют огромное количество вторичных метаболитов разнообразной химической структуры, синтез значительной части которых, включая токсины опасные для жизни и здоровья людей и соединения, перспективные в биомедицинском отношении, осуществляется мультиферментными комплексами, состоящими из нерибосомных пептид-синтетаз (NRPS) и поликетидсинтаз (PKS). Методами секвенирования нового поколения (NGS) показано высокое таксономическое и генетическое разнообразие цианобактерий, авто- и гетеротрофных бактерий в микробиомах биопленок твердых субстратов, нейстона и планктона. С помощью маркеров к генам синтеза цианотоксинов, входящим в кластеры *mcu* (микроцистины) и *sxt* (сакситоксин и его аналоги), в природных популяциях озера Байкал выявлены цианобактерии родов *Anabaena* и *Microcystis*, содержащие гены синтеза гепатотоксичных микроцистинов и нейротоксичного сакситоксина, и продуцирующие эти токсины в концентрациях, не превышающих предельно допустимых



по нормативам ВОЗ. В культурах цианобактерий и *in situ* обнаружены кластеры генов, кодирующие синтез фармакологически активных пептидов: аеругинозинов (aer) и анабенопептилидов (apd) – ингибиторов сериновых протеаз, в частности, тромбина и трипсина. С использованием методов ЖХ-МС идентифицировано около 50 вариантов токсинов цианобактерий.

Статьи:

1. Sorokovikova E.G., Belykh O.I., Gladkikh A.S., Kotsar O.V., Tikhonova I.V., Timoshkin O.A., Parfenova V.V. Diversity of cyanobacterial species and phylotypes in biofilms from the littoral zone of Lake Baikal // *J. Microbiology*. – 2013. – V. 51, № 6. – P. 757–765. IF=1,529; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.1007/s12275-013-3240-4

2. Гладких А.С., Калюжная Ок.В., Белых О.И., Ан Т.С., Парфенова В.В. Анализ бактериального сообщества двух эндемичных видов губок из озера Байкал // *Микробиология*. – 2014. – Т. 83, № 6. – С. 1–12. IF=0,754; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.7868/S0026365614060068

3. Jung D., Seo E-Yo., Epstein S.S., Joung Yo., Han Ja., Parfenova V.V., Belykh O.I., Gladkikh A.S., Ahn T.S. Application of a new cultivation technology, I-tip, for studying microbial diversity in freshwater sponges of lake Baikal, Russia // *FEMS Microbiol Ecol*. – 2014. – V. 90, V.2. – P. 417–423. IF=4,087; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.1111/1574-6941.12399

4. Белых О.И., Гладких А.С., Сороковикова Е.Г., Тихонова И.В., Бутина Т.В. Идентификация токсичных цианобактерий в озере Байкал // *ДАН*. – 2015. – Т. 463, № 3. – С. 349–353. IF=0,358; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.7868/S0869565215210227

5. Белых О.И., Гладких А.С., Тихонова И.В., Кузьмин А.В., Могильникова Т.А., Федорова Г.А., Сороковикова Е.Г. Идентификация цианобактерий продуцентов паралитических токсинов моллюсков в озере Байкал и водохранилищах реки Ангары // *Микробиология*. – 2015. – Т. 84, №. 1. – С. 120–122. IF=0,754; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.7868/S0026365615010036

Направление VI.61. «Биофизика, радиобиология, математические модели в биологии, биоинформатика»

1. Методы полногеномного и метагеномного анализа применены для изучения микроорганизмов озера Байкал. Изучено таксономическое разнообразие сообществ бактерий и эукариотических микроводорослей фотического слоя в весеннее-летний и зимний периоды в озере Байкал и генетическое разнообразие и структура бактериальных и цианобактериальных сообществ губок озера Байкал.

2. Разработана методика идентификации N-концевой аминокислотной последовательности белков с использованием 4-бромфенилизотиоцианата. Методика использована для идентификации предсказанных (по мРНК) N-концевых последовательностей 4-х зрелых



силикатеинов, входящих в состав кремнистой спикулы эндемичной байкальской губки *Lubomiskia baicalensis*.

3. Обнаружено и охарактеризовано явление изменения специфичности транспортных РНК в митохондриях байкальских амфипод, исследованы перестройки порядка генов в эволюции этих геномов. Изучены популяционные структуры ряда байкальских беспозвоночных. Обнаружены серьезные расхождения между результатами, полученными на основании сравнения митохондриальных и ядерных маркеров. Методы математического моделирования использованы для поиска механизмов этих явлений.

Статьи:

1. Sherbakov D., Panchin Yu., Baranova A. Extracting Evolutionary Insights Using Bioinformatics. // International Journal of Genomics (Comparative and Functional Genomics). – 2013. – 376235. – P. 1–2. IF=2,032; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: doi.org/10.1155/2013/376235

2. Khabudaev K.V., Petrova D.P. Grachev M.A. Likhoshway Ye.V. A new subfamily LIP of the major intrinsic proteins // BMC Genomics. – 2014. – Vol. 15. – P. 173. IF=4,360; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.1186/1471-2164-15-173

4. Kravtsova L.S., Izhboldina L.A., Khanaev I.V., Pomazkina G.V., Rodionova E.V., Domysheva V.M., Sakirko M.V., Tomberg I.V., Kostornova T.Ya., Kravchenko O.S., Kupchinsky A.B. Nearshore benthic blooms of filamentous green algae in Lake Baikal // Great Lakes Research. — 2014. — Т. 40. — P. 441–448. IF=2,050; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: doi.org/10.1016/j.jglr.2014.02.019

2. Bashenkhayeva M.V., Zakharova Yu.R., Petrova D.P., Khanaev I.V., Galachyants Yu.P., Likhoshway Ye.V. Sub-ice Microalgal and Bacterial Communities in Freshwater Lake Baikal, Russia // Microb. Ecol. – 2015. – V. 70, № 3. – P. 751–765. IF=3,560; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.1007/s00248-015-0619-2

5. Галачьянц Ю.П., Захарова Ю.Р., Петрова Д.П., Морозов А.А., Сидоров И.А., Марченков А.М., Логачева М.Д., Маркелов М.Л., Хабудаев К.В., Лихошвай Е.В., Грачев М.А. Определение нуклеотидной последовательности полного генома бесшовной пеницетной диатомеи *Synedra acus* subsp. *Radians* из озера Байкал // Доклады академии наук. – 2015. – Т. 461, №3. – С. 348–352. IF=0,358; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 0.7868/S0869565215090248

Направление IX.134. «Поверхностные и подземные воды суши – ресурсы и качество, процессы формирования, динамика и механизмы природных и антропогенных изменений; стратегия водообеспечения и водопользования страны"

1. Установлено, что компонентный состав флюидов определяет разнообразие микробных сообществ. Над газогидратными полями в Среднем Байкале описан новый тип микробных



матов. Высокое содержание кислорода в придонной области и поступающего из осадка метана обеспечивают высокую продуктивность метанотрофных бактерий с последующим развитием первичных деструкторов и ацетогенов, и сдерживают развитие метаногенов. Показано, что функционирование биологических сообществ в этом районе основано на метанотрофии. В районе холодного метанового сипа Посольская банка (Южный Байкал) формируются микробные маты другого типа, жизнедеятельность которых основана на хемосинтезе и метанотрофии. С использованием конфокальной и трансмиссионной электронной микроскопии в чехлах матообразующих серных бактерий рода *Thioploca* выявлено значительное количество морфологически разнообразных микроорганизмов. По результатам анализа гена 16S рРНК в сообществе чехлов детектированы бактерии и археи 9 филумов. Показано, что *Thioploca* и микроорганизмы, населяющие ее чехлы, представляют сложное синтрофное сообщество, метаболически связанное между собой. На основании анализа стабильных изотопов углерода и азота в тканях макроживотных установлено, что их жизненные стратегии определяются использованием комбинированных источников углерода, в районах метановых сипов доля углерода метана составляет от 4 до 90%. Эти зоны являются источниками обитания новых видов макро- и микроорганизмов.

2. С использованием платформы массового параллельного секвенирования (Roche 454) исследовано разнообразие бактерий и архей в разных типах геологических структур. Бактериальные сообщества этих районов Байкала характеризуются умеренным богатством видов по сравнению с другими озерными экосистемами. Доминирующие филотипы бактериальных сообществ относятся к нескольким космополитным таксонам, а их ближайшие гомологи включены в циклы преобразования жидких и газообразных углеводородов. Археи представлены 5 филумами, среди которых выявлены последовательности новой ANME-2d клады (*Euryarchaeota*), осуществляющих нитратзависимое анаэробное окисление метана (АОМ). Структура и разнообразие микробных сообществ в районе со спокойным осадконакоплением от поверхности осадка и до нижней границы проникновения кислорода представлено органотрофными бактериями. В зоне формирования железо-марганцевых корок большую часть бактериальных сообществ составляли неклассифицированные бактерии при значительной доле цианобактерий, протеобактерий и актинобактерий. Анализ архей показал, что практически во всех слоях осадка доминируют представители филы *Thaumarchaeota*, являющиеся автотрофными аэробными окислителями аммония, широко распространенные в почвах, морских и пресных экосистемах. В осадке этого района не выявлены последовательности, близкородственные группам ANME, что не согласуется с предположением о восстановительном растворении захороненных Fe/Mn слоев за счет анаэробного окисления метана (Och et al., 2012).

3. Предложен механизм внутриклеточной аккумуляции полициклических ароматических углеводородов при культивировании пресноводной диатомовой водоросли *Synedra acus* subsp. *radians* в присутствии углеводородов сырой нефти. Полученные данные демонстрируют важную роль диатомовых водорослей в биогеохимическом цикле стойких органиче-



ских загрязнителей в водных экосистемах и сохранении чистоты вод в районах природных нефтепроявлений Байкала. Дана оценка содержания трех классов стойких органических загрязнителей (фталатов, полициклических ароматических углеводородов, полихлорированных бифенилов и хлорорганических пестицидов) в пелагиали озера Байкал на современном этапе. Предложены методики контроля поллютантов на следовом и ультраследовом уровне концентраций в воде Байкала с применением современных инструментальных методов анализа и байкальских видов рыб в качестве биомониторов.

Статьи:

1. Павлова О.Н., Букин С.В., Ломакина А.В., Калмычков Г.В., Иванов В.Г., Морозов И.В., Погодаева Т.В., Пименов Н.В., Земская Т.И. Образование углеводородных газов микробным сообществом донных осадков оз. Байкал // *Микробиология* 2014. – Т. 83, № 6. – С. 694–702. IF=0,754; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.7868/S0026365614060147

2. Likhoshway A., Khanaeva T., Gorshkov A., Zemskaya T., Grachev M.. Do oil-degrading Rhodococci contribute to the genesis of deep water bitumen mounds in Lake Baikal? // *Geomicrobiology Journal*. – 2013. – V.30 (3) – P. 209–213. IF=1,962; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: dx.doi.org/10.1080/01490451.2012.665149

3. Jewson D.H., Granin N.G. Cyclical size change and population dynamics of a planktonic diatom, *Aulacoseira baicalensis*, in Lake Baikal // *European Journal of Phycology*. – 2015. – V. 50, № 1. – С. 1–19. IF=2,372; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: dx.doi.org/10.1080/09670262.2014.979450

4. Zemskaya T.I., Lomakina A.V., Shubenkova O.V., Pogodaeva T.V., Morozov I.V., Chernitsina S.M., Sitnikova T.Ya., Khlystov O.M., Egorov A.V. Jelly-like Microbial Mats over Subsurface Fields of Gas Hydrates at the St.Petersburg Methane Seep (Central Baikal) // *Geomicrobiology Journal*. – 2015. – V. 32, № 1. – P. 89–100. IF=1,760; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: dx.doi.org/10.1080/01490451.2014.910572

5. Zemskaya T.I., Lomakina A.V., Mamaeva E V., Zakharenko A.S., Pogodaeva T.V., Petrova D.P., Galachyants Yu.P. Bacterial communities in sediments of Lake Baikal from areas with oil and gas discharge // *Aquatic Microbial Ecology*. – 2015. – V. 76. – P. 95–109. IF=2,151; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.3354/ame01773

**13. Защищенные диссертационные работы, подготовленные период с 2013 по 2015 год на основе полевой опытной работы учреждения. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства».**

Информация не предоставлена



#### 14. Перечень наиболее значимых публикаций и монографий, подготовленных сотрудниками научной организации за период с 2013 по 2015 год

В отчетном периоде всего опубликовано 4 монографии, 392 статьи, из них в Web of Science – 278, Scopus – 245, РИНЦ – 381

Монографии:

1. Бухтиярова Л.Н., Помазкина Г.В. Bacillariophyta озера Байкал. Том 1. Роды. *Baikalia*, *Slavia*, *Navigeia*, *Placogeia*, *Grachevia*, *Goldfishia*, *Nadiya*, *Symbelgeia* / Под ред. Е.В. Лихошвай. – Львов, Украина: ТзОВ "Лига-Прес". – 2013. –184с. ISBN: 978-966-397-184-2. (Формат 70x100/16, тираж-300 экз.)

2. Помазкина Г.В., Родионова Е.В. Диатомовые водоросли семейства *Cymbellaceae* озера Байкал / Под ред. Е.В. Лихошвай. – Новосибирск: Наука. – 2014. – 241с. ISBN: 978-5-02-019174-7. (Формат 70x108 1/16, тираж 300 экз.)

3. Оболкина Л.А. Планктонные инфузории озера Байкал / Под. ред. О.А. Тимошкина. – Новосибирск: Наука. – 2015. – 231с. ISBN: 978-5-02-019182-2. (Формат 70x108/16, тираж 300 экз.).

Статьи:

1. Ehrlich H., Kaluzhnaya O.V., Brunner E., Tsurkan M.V., Ereskovsky A., Ilan M., Tabachnick K.R., Bazhenov V.V., Paasch S., Kammer M., Born R., Stelling A., Galli R., Belikov S., Petrova O.V., Sivkov V.V., Vyalikh D., Hunoldt S., Worheide G. Identification and first insights into the structure and biosynthesis of chitin from the freshwater sponge *Spongilla lacustris*. // *Journal of Structural Biology*. – 2013. – V. 183. – P. 474–483. IF=3,279; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.1016/j.jsb.2013.06.015

2. Butina T.V., Belykh O.I., Potapov S.A., Sorokovikova E.G. Diversity of the major capsid genes (g23) of T4-like bacteriophages in the eutrophic Lake Kotokel in East Siberia, Russia. // *Archives of Microbiology*. – 2013. – V.195. – P.513–520. . IF=1,693; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.1007/s00203-013-0884-8

3. Chernogor L., Denikina N., Kondratov I., Solovarov I., Khanaev I., Belikov S. and Hermann Ehrlich. Isolation and identification of the microalgal symbiont from primmorphs of the endemic freshwater sponge *Lubomirskiabaicalensis* (*Lubomirskiidae*, Porifera). // *European Journal of Phycology*. – 2013. –V. 48(4). – P.497–508. IF=2,101; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.1080/09670262.2013.862306

4. Zakharova Yu.R., Galachyants Yu. P., Kurilkina M. I., Likhoshvay A. V., Petrova D. P., Shishlyannikov S. M., Ravin N. V., Mardanov A. V., Beletsky A. B., Likhoshvay Ye. V. The Structure of Microbial Community and Degradation of Diatoms in the Deep Near-Bottom Layer of Lake Baikal. // *Plos One*. – 2013. – V. 8(4). – P.1–12. IF=3,702; Информационно-аналити-



ческие системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.1371/journal.pone.0059977

5. Belikov S.I., Kondratov I.G., Leonova G.N., Potapova U.V. The Relationship between the Structure of the Tick-Borne Encephalitis Virus Strains and Their Pathogenic Properties // *Plos One*. – 2014. – V. 9, № 4. – P. 1–16. IF=3,702; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.1371/journal.pone.0094946

6. Annenkova N.V., Hansen G., Moestrup O., Rengefors K. Recent radiation in a marine and freshwater dinoflagellate species flock // *ISME Journal*. – 2015. – V. 9, №8. – P. 1821–1834. IF=10,728; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.1038/ismej.2014.267

7. Danilovtseva E.N., Aseyev V., Belozerova O.Yu., Zelinskiy S.N., Annenkov V.V. Bioinspired Thermo- and pH-responsive Polymeric Amines: MultiMolecular Aggregates in Aqueous Media and Matrices for Silica/Polymer Nanocomposites // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2015. – № 446. – P. 1–10. IF=3,758; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.1016/j.jcis.2015.01.021

8. Kharitonenko K.V., Bedoshvili Ye.D., Likhoshway Ye.V. Changes in the micro- and nanostructure of siliceous frustule valves in the diatom *Synedra acus* under the effect of colchicine treatment at different stages of the cell cycle // *Journal of Structural Biology*. – 2015, № 190. – P. 73–80. IF=3,067; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.1016/j.jsb.2014.12.004

9. Stelbrink B., Shirokaya A.A., Clewing C., Sitnikova T.Y., Prozorova L.A. Albrecht C. Conquest of the deep, old and cold: an exceptional limpet radiation in Lake Baikal // *Biology Letters*. – 2015. – V. 11, №7. – 20150321. IF=3,381; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.1098/rsbl.2015.0321

10. Jewson D.H., Granin N.G., Gnatovky R.Yu., Lowry S.F., Teubner K. Coexistence of two *Cyclotella* diatom species in the plankton of Lake Baikal // *Freshwater Biology*. – 2015. – № 60(10). – P. 2113–2126. IF=3,826; Информационно-аналитические системы научного цитирования: Web of Science, Scopus, РИНЦ; DOI: 10.1111/fwb.12636

### **15. Гранты на проведение фундаментальных исследований, реализованные при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Российского гуманитарного научного фонда, Российского научного фонда и другие**

За отчетный период на базе ЛИИ СО РАН было выполнено 60 проектов РФФИ, общее финансирование которых составило более 40800 тыс. руб.

1. РФФИ № 12-04-90012-Бел\_а «Выявление токсичных цианобактерий в фитопланктоне крупнейших хозяйственно важных водоёмов и водотоков России и Беларуси с оценкой их негативного влияния на качество воды» (2012-2013 гг., 610 тыс. руб.)



Группой исследования цианобактерий отдела микробиологии ЛИН СО РАН с 2005 г. проводится мониторинг токсичных цианобактерий в водоемах Сибири. Целью данного проекта было выявление и идентификация токсичных и потенциально токсичных видов синезеленых водорослей (цианобактерий) с помощью молекулярно-генетических и аналитических методов для оценки качества воды в крупных хозяйственно важных водоемах России и Беларуси. С помощью генетических маркеров к гену микроцистинсинтетазы показано, что в оз. Котокельском, Братском и Усть-Илимском водохранилищах, заливе Турка оз. Байкал и 13 водоемах и водотоках Беларуси присутствовали цианобактерии родов *Anabaena* и *Microcystis*, способные к синтезу токсина – микроцистина. Гены синтеза сакситоксина были обнаружены в заливе Турка оз. Байкал и 6 водоемах Беларуси. Гены синтеза нодулярина и цилиндроспермозина в пробах не были найдены. С помощью методов жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии в пробах фитопланктона оз. Котокельского выявлен новый высокотоксичный вид микроцистина (MC-LA), в пробах из водоемов Беларуси обнаружено более 8 типов микроцистинов. По содержанию аммонийного азота воды в заливе Турка, оз. Байкал характеризовались как чистые, в Братском водохранилище и оз. Котокельское как умеренно загрязненные, в Усть-Илимском – как загрязненные. По содержанию общего фосфора (классификация Vollenweider, 1979) оз. Котокельское можно отнести к гиперэвтрофным водоемам, 3-в Тангуй Братского водохранилище – к эвтрофным, часть илимской ветви Усть-Илимского водохранилища и прибрежный район оз. Байкал у с. Турка – к мезотрофным. Таким образом, для обеспечения безопасности населения необходимо проводить сезонный мониторинг цианотоксинов в хозяйственно важных водоемах России и Беларуси.

2. РФФИ № 12-04-31031 «Роль ANAMMOX бактерий в круговороте метана в районе разгрузки минерализованного флюида и залегания газовых гидратов Посольская банка (Южный Байкал)» (2012-2013 гг., 650 тыс. руб.)

Исследовано разнообразие представителей филума *Planctomycetes* и группы ANAMMOX в осадках районов разгрузки газо-нефтедержащего минерализованного флюида на озере Байкал. В четырех исследованных районах отмечен разный компонентный состав разгружающегося флюида: детектированы повышенные концентрации ионов аммония, гидрокарбоната, ацетата, увеличивающиеся с глубиной керна. Присутствие представителей филума *Planctomycetes* показано методом флуоресцентной *in situ* гибридизации (FISH). Их численность варьировала в диапазоне  $0.2-2.0 \times 10^6$  клеток в 1 мл осадка. Клетки планктомицетов имели в основном сферическую или коковидную форму с диаметром клеток от 0.5 до 2 мкм и были адсорбированы на частицах детрита, где они образовывали микроколонии. Среди ближайших родственников байкальских планктомицетов обнаружены нуклеотидные последовательности микроорганизмов, участвующих в процессах окисления аммония и метана. При этом в некоторых случаях уровень сходства не превышал 91-93%. Эти результаты могут свидетельствовать о наличии новых, ранее не изученных, представителей филума *Planctomycetes*. Наиболее разнообразное сообщество планктоми-



цетов было получено в поверхностных и подповерхностных слоях донных осадков. В донных осадках грязевого вулкана Песчанка и нефтяного сипа Горевой Утес были впервые обнаружены археи филума *Thaumarchaeota*. На специфичных средах получены накопительные культуры планктомицетов, что было подтверждено с применением FISH метода. В настоящее время проводятся процедуры по выделению и идентификации чистых культур. Впервые методом *in situ* гибридизации в осадках метанового сипа Посольская банка получен положительный сигнал с зондами на археи групп ANME-1 и ANME-2. Однако проведенный филогенетический анализ не выявил типичных для этих групп представителей.

3. РФФИ № 12-04-32052 «Исследование возрастного изменения длины теломерной ДНК и активности теломеразы у байкальских гидробионтов» (2012-2013 гг., 700 тыс. руб.)

Проблема специфичности длины и динамики теломерной ДНК у разных видов животных до сих пор остается открытой. В это же время не до конца понятна роль теломеразы в регуляции длины теломер, потому что у некоторых организмов даже при активном ферменте длина теломер уменьшается. Настоящий проект был направлен на исследование этих аспектов у байкальских гидробионтов: планарий и брюхоногих моллюсков. Было выявлено, что фермент теломеразы активен у всех исследованных видов, однако динамика теломерной ДНК может быть разной у близких видов и иметь связь с такими признаками, как возраст, размер, пол, а также с условиями внешней среды. Полученные данные говорят о сложности путей регуляции длины теломер и видоспецифичности взаимодействий между теломерной системой и внутренними и внешними факторами.

4. РФФИ № 13-04-00209 «Биоразнообразие микробных сообществ в осадках Байкала, приуроченных к зонам разломов» (2013-2015 гг., 1290 тыс. руб.)

Охарактеризована таксономическая структура микробных сообществ в донных осадках восьми районов озера Байкал с использованием платформы массового параллельного секвенирования GS FLX (Roche) 454. В бактериальных сообществах всех исследуемых зон разгрузки газо-, нефтесодержащих флюидов доминировали последовательности *Proteobacteria* (17.2–47.5%), *Actinobacteria* (19.0–43.7%), и *Cyanobacteria* (16.6–48.0%). Филогенетический анализ последовательностей цианобактерий, свидетельствует о большом вкладе планктонных видов, а также наличие некультивируемых линий, представители которых выявлены в сообществах осадков пресных озер. Соотношение различных классов протеобактерий варьировало значительно: наименее представлены эпсилон- и дельтапротеобактерии, наиболее – альфа-, бета- и гаммапротеобактерии. В некоторых осадках приразломных областей и в районе со спокойным осадконакоплением большой вклад в сообщества давали представители *Bacteroidetes* (6.6–12.6%), *Chloroflexi* (13.0%), кандидатные филумы (*candidate division OP10*) и неклассифицируемые последовательности (до 38%). В сообществах всех районов Байкала выявлены бактерии, способные использовать широкий спектр субстратов, включая фотосинтезированное органическое вещество и различные углеводороды (метан и нефть). Архейные сообщества проанализированных



образцов включали последовательности трех филумов Euryarchaeota, Crenarchaeota и Thaumarchaeota. Среди них детектированы метаногены порядков Methanomicrobiales, Methanosarsinales, Methanococcales, Methanobacteriales, а также линии некультивируемых архей (Marine Benthic Group D (MBG-D), Miscellaneous Crenarchaeotic Group (MCG), Group C3, Deep See Hydrothermal Vent Gr 6 (DSHVG6), Terrestrial Miscellaneous Gr (TMEG)). В исследованных образцах выявлены аммоний-окисляющие археи, принадлежащие филумам Crenarchaeota и «байкальских» линий архей, входящих в состав филума Crenarchaeota.

5. РФФИ № 13-04-01270 «Биоразнообразии, особенности эндемического видообразования и происхождение эндемичных *Tricladida Paludicola* озера Байкал» (2013-2015 гг., 1400 тыс. руб.)

В рамках данного проекта с помощью гистологических и молекулярно-биологических методов было исследовано биоразнообразие байкальских планарий. Филогенетическая реконструкция на основе рибосомальных и митохондриального генов позволила для некоторых групп этих червей установить полифилию (для родов *Archicotylus* и *Microarchicotylus*). Также было доказано неоднократное и независимое возникновение гигантских форм в процессе эволюции фауны планарий Байкала (рода *Baikaloplana*, *Rimacephalus*, *Protocotylus*, *Sorocelis* и *Bdellocephala*). Кроме того, исследование цветового полиморфизма вида *Baikalobia guttata* показало присутствие как минимум трех видов внутри этого таксона. Филогеографические исследования позволяют предположить, с одной стороны, симпатричность этих новых видов и широкое их распространение по акватории всего озера. С другой стороны, для представителей каждого вида характерна высокая генетическая стабильность: особи с противоположных концов Байкала практически не имеют генетических отличий, это же характерно для прибрежных зон островов и материка. Таким образом, полученные данные говорят о том, что биоразнообразие фауны планарий в озере Байкал возникло в результате сложных эволюционных событий.

6. РФФИ № 14-04-90416 «Микроорганизмы экстремальных регионов (озеро Байкал, острова Антарктики): аутэкология, таксономия и биотехнологические аспекты» (2014-2015 гг., 1250 тыс. руб.)

Изучение биоразнообразия микроорганизмов экстремальных экосистем и механизмов их адаптации и/или стратегии выживания в низкотемпературных регионах Земли является актуальной фундаментальной проблемой. При изучении антарктических и байкальских микроорганизмов показано, что их резистентность к УФ радиации во многом зависит от состава клеточной стенки и, следовательно, таксономического положения бактерий. Грамположительные бактерии более устойчивы к УФ, чем грамотрицательные. У спорообразующих бактерий при действии на них УФ радиации высокая выживаемость обеспечивается наличием спор и эффективным механизмом репарации повреждений ДНК, у пигментированных бактерий обусловлена наличием пигментов. Метагеномный анализ микробиоценозов антарктических почв установил генетический состав и структуру микробных сообществ. Показано, что для удаленных от моря почв с разреженным раститель-



ным покровом характерно наибольшее разнообразие филоципов и доминирование актинобактерий. В микробиоме прибрежной почвы с интенсивной растительностью отмечено наименьшее разнообразие филоципов и преобладание филумов *Acidobacteria*, *Bacteroidetes* и *Verrucomicrobia*. Определены общие и уникальные филоципы для всех изученных почвенных микробиоценозов. На примере о. Кинг Джоржд показано, что такие биогеографические факторы как удаленность от моря и растительный покров могут оказывать существенное влияние на состав и разнообразие почвенных бактериальных сообществ в антарктических оазисах, свободных от ледяного покрова.

7. РФФИ № 14-04-01242 «Изучение наследственно обусловленных адаптаций симпарических популяций сиговых рыб с использованием молекулярно-генетических, биохимических и поведенческих методов исследования» (2014-2016 гг., 1530 тыс. руб.)

Исследованы байкальские сиговые рыбы – активный мигрант пелагиали озера омуль и сига освоившие донные биотопы надсклоновой пелагиали и прибрежной зоны. Природные популяции сравнивались с полученными путем искусственного оплодотворения гибридными и негибридными особями, содержащимися в идентичных и /или контролируемых условиях начиная с момента оплодотворения, что позволило вычленять и анализировать наследственно обусловленные различия в адаптивных реакциях рыб комплексом молекулярно-генетических, биохимических и поведенческих методов. Анализ транскриптома мозга подтвердил гипотезу о повышенных энергетических потребностях пелагических форм в подобных байкальской симпарических парах сиговых рыб. Биохимический анализ тканей рыб, выращенных в условиях эксперимента также выявил различия в интенсивности метаболизма. Установлен одинаковый качественный состав липидных компонентов при различном количественном соотношении. Метагеномный анализ микрофлоры кишечника позволили установить, что наследственность влияет и на структуру кишечного микробиома рыб. Так, для омуля получено максимальное разнообразие филоципов, для сига – наименьшее, а гибриды заняли промежуточное положение. Исследованы морфо-функциональные особенности эритроцитов природных и искусственно выращенных рыб. Проведено детальное описание и сравнительный анализ морфологических и физиологических особенностей слухового саккулярного аппарата отдельных видов сиговых рыб, определены диапазоны слуховой чувствительности их сенсорного аппарата, экспериментальные данные сопоставлены с результатами электронно-микроскопического изучения строения слуховой системы. Полученные результаты согласуются с морфо-экологическими особенностями исследованных видов. Адаптированные для байкальских сиговых методики криоконсервации спермы, гормональной стимуляции производителей, опыт получения гибридного потомства и выращивания рыб в контролируемых условиях могут быть использованы в создании криобанка спермы, мероприятиях по сохранению разнообразия, восстановлению численности исчезающих популяций.



8. РФФИ № 14-34-50888 «Исследование генетического и фенотипического разнообразия пикофитопланктона в условиях гомотермии и стратификации вод Чёрного моря» (2014г., 70 тыс. руб.)

В конце 70-х годов в водах мирового океана были выявлены мельчайшие фотоавтотрофные организмы размером 0.2-2.0 мкм (автотрофный пикопланктон, APP), численность которых достигала нескольких млн. клеток в мл (Stockner, Antia, 1986). Нами впервые проведены метагеномные исследования планктона Черного моря, которые показали высокое генетическое разнообразие пикопланктонных цианобактерий (ПЦБ) рода *Synechococcus* и отсутствие представителей рода *Prochlorococcus*, который широко распространён в океанических водах. В проекте методом проточной цитометрии выполнена количественная оценка APP и гетеротрофных бактерий, определены размеры клеток бактерий, ПЦБ и зеленых водорослей, установлена структура и вертикальное распределение APP. Численность *Synechococcus* была ниже, чем в олиготрофных районах океанов, однако ПЦБ отличались высоким содержанием фикоэритрина. Выявлено, что ПЦБ Черного моря в период температурной стратификации вод предпочитают обитать на глубинах от 40 до 50 м с низкими температурами, уровнем освещения и особым спектральным составом света. Предположено, что характер распределения биогенов в столбе воды и их концентрации не определяют вертикальный профиль популяции *Synechococcus*. Вероятно, в Чёрном море *Synechococcus*-виды занимают нишу *Prochlorococcus*. Таким образом, в ходе проведенных комплексных генетических и цитометрических исследований впервые установлены особенности состава, структуры, вертикального и пространственного распределения автотрофного пикопланктона в Черном море.

9. РФФИ № 14-44-04158 «Генетическое разнообразие и функциональная значимость вирусных сообществ в озере Байкал» (2014-2016 гг., 200 тыс. руб.)

Вирусы оказывают существенное влияние на многочисленные биогеохимические процессы в водоемах, эффективно регулируют численность и видовое разнообразие планктона. Целью проекта стало исследование структурной и функциональной организации вирусных сообществ в оз. Байкал с помощью метагеномного анализа – исследования суммарного генетического вирусного материала, выделенного из воды озера, с помощью высокопроизводительных технологий секвенирования и биоинформационного анализа. В результате работы впервые выявлено большое генетическое, таксономическое и функциональное разнообразие вирусов в южной котловине оз. Байкал. Выявленные нами вирусные последовательности оказались близкими вирусам, поражающим широкий круг организмов – архей, бактерий, водорослей, простейших, рыб, амфибий, ракообразных, насекомых и млекопитающих.

10. РФФИ № 14-04-00838 «Интегративная таксономия пресноводных губок: определение видовых границ внутри эндемичного букета видов *Lubomirskiidae*» (2014-2016 гг., 1380 тыс. руб.)



Получены новые молекулярные, морфологические, биохимические и экологические данные для видов семейства *Lubomirskiidae*. Проведен молекулярный и морфологический анализ уникальных глубоководных губок Байкала. Молекулярный анализ на основе последовательностей ITS спейсеров рРНК и COX1 гена, а также морфологический анализ методом электронной микроскопии позволили идентифицировать новые глубоководные виды и выявить скрытое видообразование внутри *Lubomirskiidae*. Определено таксономическое положение «живых ископаемых», имеющих морфологическое сходство с вымершими представителями семейства *Spongillidae*. Проведенный молекулярный анализ однозначно указывает на их принадлежность к новым видам *Lubomirskiidae*. Доказано, что размеры спикул не могут быть основанием для определения принадлежности к семейству, что важно для правильной трактовки палеоклиматов. Выявлена значительная вариабельность морфологии спикул глубоководных *Lubomirskiidae*, обнаружено явление глубоководного гигантизма. Получены нуклеотидные последовательности участков ядерной и митохондриальной ДНК (D3 район 28S рРНК, 18S-ITS1-5.8S-ITS2-28S регион рРНК, фолмеровский фрагмент COX1 гена и COX2-АТР6 межгенный участок мтДНК) для большинства описанных видов *Lubomirskiidae*. Методом ГХ-МС проанализирована изменчивость липидного состава трех видов *Lubomirskiidae*, выявлена видоспецифичность соотношения как демоспонгиевых жирных кислот, так и ЖК ассоциированных с микроводорослями. Показаны различия между видами по составу прокариотического и эукариотического симбиотических сообществ. Впервые получены данные о стресс-резистентности 4 видов *Lubomirskiidae*, показано, что *Lubomirskia baicalensis* является стенотермным холодолюбивым видом, выявлены межвидовые отличия по количеству и характеру накопления БТШ70.

**16. Гранты, реализованные на основе полевой опытной работы организации при поддержке российских и международных научных фондов. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства».**

Информация не предоставлена

## **ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НАУЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

### **Наиболее значимые результаты поисковых и прикладных исследований**

**17. Поисковые и прикладные проекты, реализованные в рамках федеральных целевых программ, а также при поддержке фондов развития в период с 2013 по 2015 год**



ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы», ГК № 2012-1.2.1.-12-000-1013-041 «Исследование динамики популяций байкальских организмов».

В рамках проекта оценен генетический полиморфизм модельных байкальских беспозвоночных. Исследован полиморфизм ядерной ДНК зеленых водорослей *Draparnaldioides simplex* и *Elodea canadensis*. Охарактеризованы EРIS-маркеры ( $\alpha$ - и  $\beta$ -субъединицы АТФ-синтазы) эндемичных байкальских видов моллюсков *Baicalia carinata* и *Godlewskia pulchella*, *Maackia herderiana* и амфипод (*Eulimnogammarus olivaceus*, *E. maackii*, *E. vittatus*, *Pallaseopsis kesslerii*, *P. grubii*). Создан алгоритм тестирования репрезентативности выборок фрагментов ДНК и компьютерные модели двух сценариев микроэволюционных процессов в популяциях: при контрастном характере эволюции нейтральных молекулярных маркеров, а также при резких изменениях скорости фиксации нейтральных мутаций. Разработаны инструкция и программное обеспечение для моделей динамики микроэволюционных процессов (<http://www.sherb.lin.irk.ru>). Полученные результаты могут быть использованы для оценки биологических ресурсов природных экосистем, установления эффективных связей экономического развития и природоохранных мероприятий. Немаловажное значение результаты НИР имеют как для фундаментальной науки, так и для образовательного процесса в ВУЗах при чтении лекционных курсов и проведении практических занятий для студентов.

## **Внедренческий потенциал научной организации**

### **18. Наличие технологической инфраструктуры для прикладных исследований**

Исследования Института на озере Байкал проводятся с использованием четырёх научно-исследовательских судов водоизмещением от 42 до 500 т, оборудованных приспособлениями для отбора проб воды, грунта, траловыми лебёдками, эхолотами, автоматизированным пробоотборником (Carausel SBE-32) для отбора проб воды на разных горизонтах (до 2 км) кассетного типа (24 батометра по 5 л), лабораториями для первичного анализа проб воды и гидробионтов. Автомобильный парк Института состоит из 16 автомобилей, включая внедорожники УАЗ, ГАЗ-66, ГАЗ-330811 (Вепрь). Вездеходная техника представлена гусеничным трактором-тягачом ГАЗ-3403 и четырьмя мотовездеходами Хонда.

Для обеспечения водолазных работ имеется контейнерный водолазный комплекс (КВК) в составе: Барокамера БКД-120Т; компрессор с электроприводом Mariner 250 – E; компрессор с электроприводом PE250-TE-F02; баллоны-воздухохранители для сжатого воздуха БК-100-250 АБ; системы и элементы медицинского отсека контейнера; системы и элементы технического отсека контейнера.

Институт располагает круглогодичными стационарами в п. Листвянка и п. Большие Коты, оборудованными для проведения гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических работ. На стационаре в п. Большие Коты базируется Байкальская атмосферно-



лимнологическая обсерватория (БАЛО), созданная совместно с Институтом оптики атмосферы СО РАН (г. Томск).

Гидрофизическое и геофизическое оборудование представлено STD зондами для измерения давления, температуры, электропроводности, обратного рассеяния, прозрачности и концентрации кислорода при непрерывном вертикальном зондировании водной толщи до 2 км; акустическим доплеровским профилографом ADP, измерителями скорости течений (MicroADV, InfinityAM USB); измерительным комплексом для мониторинга радона, торона и их дочерних продуктов (Альфарад плюс); многоэлектродной станцией СКАЛА 48; аппаратурой малоглубинного частотного электромагнитного зондирования; малогабаритной буровой установкой ТМ-80.

В составе Института функционирует ЦКП «Ультрамикроанализ» (№ 77542, <http://ckp-rf.ru/ckp/77542/>, <http://lin.irk.ru/about/structure/2016-09-29-04-05-19>), объединяющий наиболее высокотехнологическое оборудование и уникальная научная установка «Экспериментальный пресноводный аквариумный комплекс байкальских гидробионтов» (УНУ ПАК) (<http://ckp-rf.ru/usu/441551/>, <http://lin.irk.ru/aqua>), обеспечивающая возможность культивирования различных гидробионтов от микроорганизмов до промысловых видов рыб.

В Институте имеются лабораторные помещения, позволяющие проводить работы на современном уровне в областях гидрохимии и аналитической химии, биохимии и молекулярной биологии, синтеза и физикохимии органических, полимерных и композитных материалов.

В составе Института функционируют лаборатории, аккредитованные Федеральной службой по аккредитации:

Лаборатория гидрохимии и химии атмосферы аккредитована на техническую компетентность и независимость, аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.513855. Лаборатория водной микробиологии аккредитована в качестве испытательной лаборатории в национальной системе аккредитации, приказ от 14 апреля 2017, № Аа-463. Аттестат аккредитации лаборатории водной микробиологии № RA.RU.21ЛИ02.

Институт располагает несколькими десятками патентов (<http://lin.irk.ru/innovation/patents>), ряд из которых использованы в производстве ("Многоячеевое устройство для культивирования и проведения экспериментов с микроводорослями" Патент на полезную модель № 82457 РФ; "Способ тушения и предотвращения пожаров на свалках и торфяниках" Патент № 2350369; "Способ прокладки подводного кабеля" Патент №2280931).

Основные прикладные результаты и разработки:

1. В лаборатории гидрологии и гидрофизики разработаны и производятся для нужд Института и сторонних организаций приборы, превосходящие по параметрам известные аналоги: автономный ледовый комплекс для исследования характеристик подледного пограничного слоя воды и потоков тепла в ледовом покрове и на границе вода – лёд в



зависимости от проникающей солнечной радиации, потока вымораживаемых солей и скорости подледных течений; автономная гидрометеорологическая станция; инкубатор для культивирования микроорганизмов в микромасштабе.

2. В 2013 г. выполнены работы по "Проведению инженерных изысканий в целях подготовки проектной документации для реализации мероприятий по ликвидации негативного воздействия на окружающую среду отходов, накопленных в результате деятельности Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК)". При выполнении данных работ использованы патенты Института на "Способ рекультивации карт-шламонакопителей предприятий по производству беленой сульфатной целлюлозы" № 2526983; "Способ обезвреживания отбельных стоков целлюлозно-бумажного производства" № 2050333; "Способ получения органоминерального удобрения" № 2086521; "Органоминеральное удобрение" № 2144014.

3. В 2013-2015 гг. разрабатывались программы мониторинга состояния окружающей природной среды и недр с оценкой текущего и фоновый уровней загрязнения, и проводились работы по мониторингу на территориях: Аянского лицензионного участка и Аянского месторождения, Бюкского лицензионного участка, Южно-Джункунского лицензионного участка, Верхнеджункунского лицензионного участка, Сунтарского лицензионного участка, Ярактинского НГКМ, Марковского НГКМ и Потаповской площади, Кийского лицензионного участка, Средненепского лицензионного участка, Даниловского НГКМ, Ангаро-Илимского ГКМ, Нарьягинского лицензионного участка, Ялыкского лицензионного участка, Иктехского лицензионного участка, Северо-Могдинского лицензионного участка, Большетирского лицензионного участка, Западно-Ярактинского лицензионного участка. Данные работы производились по заказу ЗАО "НафтаСиб-Иркутск", ООО "ИНК-НефтеГазГеология", ЗАО "ИНК-Запад", ООО "Тихоокеанский терминал" и ООО "Иркутская нефтяная компания".

#### **19. Перечень наиболее значимых разработок организации, которые были внедрены за период с 2013 по 2015 год**

В рамках внедрения в хозяйственный оборот разработанного Институтом способа производства байкальской питьевой воды (Патент № 2045478) оказывается практическая и консультационная помощь предприятиям, выпускающим продукцию по лицензии ЛИИ СО РАН: ООО "Вода Байкала", ООО "Аква", ООО "Аква Байкал", ООО "Байкальская вода", ООО "Основа", ООО "Живая вода".

Высокий уровень специалистов Института, наличие оборудования и аккредитованных лабораторий позволяют выполнять большой объем экспертных работ по заказу федеральных органов. В 2015 г. по просьбе межведомственной прокуратуры и органов Росприроднадзора Институтом принималось участие в плановых выездных проверках по выявлению нарушений природоохранного законодательства в центральной зоне озера Байкал. С 2014 г. Институт на постоянной основе оказывает услуги Восточно-Сибирскому ЛУ МВД



России на транспорте по проведению экспертных исследований для правоохранительных органов. В частности, выполнялись ихтиологические экспертизы. Результаты всех экспертных работ, выполненных Институтом, отличаются высоким качеством и полностью признаются судами.

В 2013-2015 гг. проводились регулярные работы по "Режимному обследованию подводного кабельного перехода ВЛ 35 кВ "Сахюрта-Хужир" с целью проведения мониторинга оценки воздействия электромагнитных полей на окружающую среду (Ольхонские ворота – Хужир)" по заказу ОАО "Иркутская электросетевая компания". Данный кабель проложен в 2004 г. по заказу ОАО "Иркутскэнерго" на основе патента ЛИН СО РАН № 2280931. Использование предложенной Институтом технологии позволило сэкономить несколько десятков миллионов рублей финансовых средств, сократить сроки проведения работ, минимизировать экологический ущерб при строительстве и дальнейшей эксплуатации подводных энергетических кабельных линий.

Перспективные адъюванты для производства антител и новых вакцин. Разработан ряд синтетических полимеров, разбавленные водные растворы которых (0.05 мг/мл и ниже) проявляют свойства адъювантов при простом смешении с растворами антигенов, в ходе которого образуются растворимые комплексы антиген-полимер. Иммунизация лабораторных животных с применением новых адъювантов позволяет достигать значений титров защитных антител в несколько раз выше, чем показатели с использованием полного адъюванта Фрейнда. Испытания проведены для следующих антигенов: поверхностный антиген вируса гепатита В (HBsAg), антигены арбовирусов комплекса Калифорнийского энцефалита и Батаи, клеточные стенки коринебактерий дифтерии (препарат Кодивак), полиомиелита (вакцина Иммовакс Полио). Использованные полимеры нетоксичны ( $LD_{50} > 1000$  мг/кг), имеют малые молекулярные массы ( $< 60$  кДа), достаточные для выведения из организма почками. Более 20 лет они используются в ФГБНУ "Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека" для наработки антител в диагностических целях, при этом никакого отрицательного действия на лабораторных животных (кролики, мыши) не отмечено. Полимеры сами по себе и при раздельном с антигеном введении их животным не обладают иммуностимулирующим действием, что снижает вероятность индукции ими аллергических реакции. Растворы полимерных адъювантов выдерживают лиофилизацию и последующее растворение без изменения своей структуры, что позволяет предположить возможность их использования для стабилизации антигенов с целью понижения требований к "холодовой цепи". Области возможного применения разработки включают: наработку антител для диагностических систем (иммуноферментных, эритроцитарных и латексных); разработку препаратов на основе защитных иммуноглобулинов для лечения инфекционных заболеваний; создание новых защитных вакцин, в том числе не требующих жёсткого выполнения "холодовой цепи". Разработка выполнена совместно с ФГБНУ "Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека" СО РАН и защищена патентами РФ (№№ 2534558, 2205408, 2129014, 2111013).



В УНУ ПАК продолжают сложные междисциплинарные эксперименты по искусственной гибридизации байкальских сигающих рыб и их многоплановому исследованию, начатые в 2010 г. В частности, в живой коллекции ПАК присутствуют все представители байкальских сигающих рыб. Возраст живой коллекции гибридов озёрного сига и омуля на сегодняшний день составляет 3 года. Получены мальки посольского омуля, оплодотворенные замороженной спермой и первая опытная партия гибрида F1 озёрно-речного сига и байкальского омуля. Проведены работы по созданию нового блока аквакомплекса, представленного системой проточных бассейнов. Эти бассейны прошли апробацию на территории рыбопроизводного завода ООО «Байкальская рыба» в п. Бурдугуз. Система бассейнов проточная без включения в нее очистных фильтров и водоподготовки. Вода в бассейны подается непосредственно из р. Ангара. В них содержатся крупные особи гибрида озёрного сига и омуля.

## **ЭКСПЕРТНАЯ И ДОГОВОРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ**

### **Экспертная деятельность научных организаций**

#### **20. Подготовка нормативно-технических документов международного, межгосударственного и национального значения, в том числе стандартов, норм, правил, технических регламентов и иных регулирующих документов, утвержденных федеральными органами исполнительной власти, международными и межгосударственными органами**

Группой экспертов программы ЕАНЕТ при участии ЛИИ СО РАН (зав. лаб. гидрохимии и химии атмосферы ЛИИ СО РАН, д.г.н., проф. Ходжер Т.В. в качестве руководителя) выпущено методическое руководство «Technical Manual for Inland Aquatic Environment Monitoring in East Asia». Данное руководство было утверждено Ученым Советом (SAG) и на межправительственном совещании (IG) программы ЕАНЕТ в Бангкоке. В настоящее время это руководство используется 13 странами из Восточной Азии для контроля природных поверхностных вод.

#### **Выполнение научно-исследовательских работ и услуг в интересах других организаций**

#### **21. Перечень наиболее значимых научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ и услуг, выполненных по договорам за период с 2013 по 2015 год**

В отчетном периоде проведено 126 договорных работ на общую сумму более 152 млн. руб.



1. Мониторинг состояния окружающей природной среды и недр с оценкой текущего и фоновый уровней загрязнения на территории: Аянского лицензионного участка и Аянского месторождения, Бюкского лицензионного участка, Южно-Джункунского лицензионного участка, Верхнеджункунского лицензионного участка, Сунтарского лицензионного участка, Ярактинского НГКМ, Марковского НГКМ и Потаповской площади, Кийского лицензионного участка, Средненепского лицензионного участка, Даниловского НГКМ, Ангара-Илимского ГKM, Нарьягинского лицензионного участка, Ялыкского лицензионного участка, Иктехского лицензионного участка, Северо-Могдинского лицензионного участка, Большекетирского лицензионного участка, Западно-Ярактинского лицензионного участка (ООО "ИНК-НефтеГазГеология", АО "ИНК-Запад", АО "ИНК-Север", ООО "Иркутская нефтяная компания")

2. Разработка программы мониторинга состояния окружающей природной среды и недр с оценкой текущего и фоновый уровней загрязнения, включая мониторинг растительного и животного мира, на территории Верхнетирского, Верхненепского и Иктехского лицензионных участков (ООО "Иркутская нефтяная компания", ООО "ЛенаНефтеГаз")

3. Проведение ихтиологических исследований (Восточно-Сибирское ЛУ МВД России на транспорте)

В период с 2013 по 2015 гг. лабораторией ихтиологии ЛИН СО РАН выполнено 215 судебных ихтиологических экспертиз по Статье 256. «Незаконная добыча (вылов) водных биологических ресурсов» УК РФ, назначенные к проведению правоохранительными структурами Иркутской области (МВД России).

4. Изучение локализации ключевых белков костной ткани в процессе ее дифференцировки (Иркутский научный центр хирургии и травматологии)

Методами конфокальной микроскопии изучено воздействие оригинального нанокompозита элементного селена и гетерополисахарида арабиногалактана на скорость кальцификации костной мозоли при травматическом повреждении в эксперименте. Установлено, что при локальном повышении концентрации селена в зоне травматического повреждения наблюдается низкая интенсивность минерализации формирующейся костной мозоли, замедление формирования костного регенерата. Обсуждены вопросы сложности визуализации одновременно внесенных флюоресцентных меток. С помощью электронной и лазерной конфокальной микроскопии изучены основные компоненты внеклеточного матрикса в различных отделах межпозвоночного диска, что позволило выявить ранние цитохимические признаки его дегенеративно-дистрофических поражений.

5. Проведение обследования состояния природной среды на Байкальской природной территории (ФГБУ "НПО"Тайфун")

6. Проведение мероприятий по популяризации знаний об оз. Байкал (ИЗК СО РАН, ИСЭМ СО РАН, ИГУ, ООО "ГАЛС", ООО "Туристическая компания "Истлэнд", ООО Туристическое бюро "ЭКОКЛУБ", СМА "АнтиСПИД-Сибирь")



**Другие показатели, свидетельствующие о лидирующем положении  
организации в соответствующем научном направлении  
(представляются по желанию организации в свободной форме)**

**22. Другие показатели, свидетельствующие о лидирующем положении организации  
в соответствующем научном направлении, а также информация, которую ор-  
ганизация хочет сообщить о себе дополнительно**

Научные конференции с международным участием, проведенные организацией:

1. Питьевая вода в XXI веке Научно-практическая конференция с международным участием, 23–28.09.2013 г.

2. VI Всероссийский с международным участием конгресс молодых ученых-биологов СИМБИОЗ-РОССИЯ, 19-23.08.2013 г.

3. Всероссийская научно-практическая конференция «Газовые гидраты в экосистеме Земли» 2014», 07–10.04.2014 г., г. Новосибирск

4. XII Международный симпозиум по биологии и менеджменту сиговых рыб, 25–30.08.2014 г.

5. Шестая международная Верещагинская Байкальская конференция, 07–12.09.2015 г.

6. Четвёртый Байкальский микробиологический Симпозиум с международным участием «Микроорганизмы и вирусы в водных экосистемах», 07-12.09.2015 г.

Дополнительные сведения о грантах:

Грант Президента РФ для государственной поддержки молодых ученых МК-5409.2014.4 «Исследование гетерогенности последовательностей 3'-нетраскрируемых участков геномов вируса клещевого энцефалита, влияющих на патогенность штаммов для человека» (2014-2015 гг.);

МНТЦ «Исследование скоплений грязевых вулканов и разломов в Байкале» (2011-2013 гг.)

Прохождение сотрудниками Института стажировок в зарубежных научных организациях (не менее 2 месяцев): Университет Лунда (Швеция), Институт биофизики Гете-университета (Германия), Университет им. Кристиана Альбрехта (Германия), Университет Ноттингема-Трента (Великобритания).

ФИО руководителя Редатов А.П.

Подпись

Дата

