

Федеральное агентство научных организаций  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
НАУКИ  
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ ИМ. А.П. ВИНОГРАДОВА СИБИРСКОГО  
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УДК 550.4:552.57/.58)  
№ госрегистрации 01201351653

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИГХ СО РАН  
Член корреспондент РАН

Мацкий В.С.

19 декабря 2016 г.



ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ДИНАМИКА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И КЛИМАТА ПЛЕЙСТОЦЕНА И  
ГОЛОЦЕНА ЮЖНОЙ СИБИРИ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ОСАДОЧНЫХ  
БАССЕЙНОВ ОЗЕР И БОЛОТНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКИХ, ГЕОХИМИЧЕСКИХ,  
РАДИОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ЕЕ  
ХРОНОЛОГИИ И ПРИЧИН  
(заключительный)

Номер проекта в ИСГЗ ФАНО 0350-2014-0003

Приоритетное направление СО РАН VIII.69. Динамика и механизмы  
изменения ландшафтов, климата и биосферы в кайнозое. История  
четвертичного периода

Программа ФНИ СО РАН VIII.69.1. Факторы, определяющие изменение  
среды и климата Северной и Центральной Азии в кайнозое

Протокол Ученого совета ИГХ СО РАН  
№ 7 от « 21 » декабря 2016 г.

Руководитель проекта  
д.г.н.


Е.В. Безрукова 19.12.2016  
(подпись, дата)

Безрукова Е.В.

Иркутск, 2016


СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ:

Руководитель блока,  
гнс.,  
д-р географич. наук

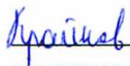
 20.12.2016  
подпись, дата

**Е. В. Безрукова (реферат,  
введение, разделы 1, 5,  
заключение, компиляция  
отчета)**


Исполнители темы

 20.12.2016  
подпись, дата


**С.С. Кострова (раздел 2)**

 20.12.2016  
подпись, дата

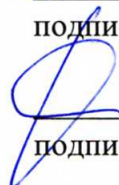
**М.А. Крайнов (раздел 3,  
оформление отчета по ГОСТу)**

 20.12.2016  
подпись, дата

**Е.Н Тарасова (раздел 4)**

 20.12.2016  
подпись, дата

**Е.В. Иванов (раздел 5)**

 20.12.2016  
подпись, дата

**Г.В. Калмычков (раздел 6)**

УДК 550.4:552.57/.58

Ключевые слова: научно-исследовательская работа, заключительный отчет.

## РЕФЕРАТ

Отчет 32 с., 1 ч., 14 рис., 36 источников, 1 прил.

Ключевые слова: ДИНАМИКА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И КЛИМАТА ПЛЕЙСТОЦЕНА И ГОЛОЦЕНА ЮЖНОЙ СИБИРИ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ ОЗЕР И БОЛОТНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКИХ, ГЕОХИМИЧЕСКИХ, РАДИОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ЕЕ ХРОНОЛОГИИ И ПРИЧИН

Объектами исследования были донные отложения озер и болот Республики Бурятия, Забайкалья, Жом-Болокского вулканического плато, искусственно созданных водоемов.

Цель работы - реконструкция изменений природной среды, климата и ландшафтов глубоко континентальной территории Сибири в позднем плейстоцене – голоцене.

Ключевые слова: природная среда, плейстоцен и голоцен, Южная Сибирь и Монголия, осадочные бассейны, геохимические маркеры, изотопная геохимия, биогеохимические циклы.

Проведено комплексное изучение кернов донных отложений из озер Котокель, Баунт, Хара-Нур, водохранилищ Ангарского каскада, торфяников из долины р. Выдриная, Хандинской котловины и Ангаро-Ленского плато методами абсолютной геохронологии, геохимического, рентгенофлуоресцентного с синхротронным излучением, кислородно-изотопного, палеомагнитного, палинологического, литологического анализов. Впервые получена характеристика особенностей озерного морфолитогенеза и разработана морфогенетическая классификация озерных котловин Жомболокского вулканического района; впервые исследован рельеф дна котловины оз. Баунт и получены первые данные об изменении экосистемы озера за последние 30 тысяч лет. Установлено распределение органического вещества в донных отложениях Братского водохранилища с тенденцией увеличения к плотине Братской ГЭС. Проведена генетическая типизация метана в озерах Бормашево, Котокель и Духовое.

Важнейшим результатом стала реконструкция реакции системы озера Котокель на глобальные климатические изменения за последние 46 тыс. лет.

Основные научные показатели: высокая степень новизны полученных материалов и выводов. Степень внедрения - внедрено, результаты опубликованы в рецензируемых журналах, учитываемых в системах WoS, Scopus и РИНЦ.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

СІА – индекс интенсивности химического выветривания

$[Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+NaO+K_2O)]*100$

СІW – индекс интенсивности химического выветривания  $[Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+NaO)]*100$

АВ – атмосферный воздух

ВД – волнодисперсионный

г. – год

ГХБ – гексахлорбензол

ГХЦГ – гексахлорциклогексан

ДДТ – дихлордифенилтрихлорэтан

ДДЭ – 1,1'-дихлор-2,2-бис(*n*-хлорфенил)этилен

л.н. – лет назад

МВ – магнитная восприимчивость

МЗА – микрозондовый анализ

млн. – миллион

НМ – натриевый модуль

АМ – алюминиевый модуль

оз. – озеро

ПВО – полное внешнее отражение

ППП – потери при прокаливании

ПХБ – полихлорированные бифенилы

р. – река

РФА – рентгенофлуоресцентный анализ

с.ш. – северная широта

СОЗ – стойкий органический загрязнитель

т.о. – таким образом

ТМА – термомагнитный анализ

триХБ – трихлорированные бифенилы

тыс. – тысяча

хл.-а – хлорофилл

ХОП – хлорорганические пестициды

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
Основная часть	7
1. Создание и научное обоснование палеоэкологической модели эволюции бассейна оз. Баунт в среднем-позднем голоцене	7
2. Исследование изотопного состава воды малых озер Забайкальского региона (Бурятия).....	12
3. Изучение петромагнитных и палеомагнитных характеристик осадочных отложений оз. Баунт. Оценка продолжительности экскурсов Гётеборг и Моно Лейк.....	14
4. Биогеохимическая характеристика макро- и микрокомпонентов органического вещества (ОВ) в водных и болотных экосистемах.....	16
4.1. Элементный состав органического вещества торфа как показатель трофического состояния болотных экосистем юга Байкальского региона.....	16
4.2. Изучение содержания ПХБ в отложениях болотных экосистем южного побережья оз. Байкал.....	17
4.3. Изучение влияния атмосферного транспорта в формировании особенностей состава органического вещества природного и антропогенного происхождения и хлорорганических пестицидов в донных отложениях Хубсугула.....	18
5. Геохимические исследования донных отложений озер Восточной Сибири.....	23
5.1. Геохимическое изучение донных отложений оз. Байкал.....	23
5.2. Геохимическое изучение донных отложений озер Жомболокского района проявления голоценового вулканизма.....	23
5.3. Изучение особенностей распределения в донных отложениях озер отдельных элементов – геохимических индикаторов природной среды .....	25
6. Изучение и определение изотопных характеристик метана из осадков малых озер и термальных источников Южной Сибири.....	26
Заключение.....	27
Список использованных источников.....	29
Приложение.....	32
Публикации 2016 г.....	33

## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем отчёте о НИР использованы ссылки на следующие стандарты:

ГН 1.2.3111–13. Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды (перечень) – М., 2016. – 220 с.

ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1). – М., 1989. – 201 с.

## ВВЕДЕНИЕ

Исследование динамики природной среды и климата является одной из актуальнейших проблем современной науки. Поиск путей ее решения стал важной частью Государственной научно-технической программы России «Глобальные изменения природной среды и климата», где надежная реконструкция ландшафтно-климатических изменений для выявления динамики естественных изменений биосферы рассматривается как одна из приоритетных задач. Изучение механизма изменений природных условий в прошлом является важным шагом к пониманию современных процессов, происходящих в природе. В настоящее время общество располагает довольно ограниченным набором природных объектов, подходящих для палеоэкологических реконструкций. Одним из перспективных объектов для изучения разномасштабной динамики экосистем являются донные отложения озер и торфяники болотных экосистем. Целью исследований 2013-2016 гг. по проекту была реконструкция динамики озерных и болотных экосистем юга Восточной Сибири в голоцене и позднем плейстоцене, выяснение возможных причин ее изменений и механизмов, их вызывавших. Для достижения цели исследований в 2016 году комплексом геохимических, изотопных, литологических, геолого-геоморфологических, палеонтологических методов с применением методом радиоуглеродного датирования была изучена озерная система Баунтовской котловины, а в 2013-2015 гг. – морфолитосистемы Жомболокского вулканического района, донные отложения озер Котокель и Баунт и торфяные отложения болотной экосистемы в долине р. Выдриная.

Настоящий отчет является заключительным по теме: «Динамика природной среды и климата плейстоцена и голоцена Южной Сибири на основе изучения осадочных бассейнов озер и болотных систем с применением биостратиграфических, геохимических, радиофизических методов для установления ее хронологии и причин», по которой были представлены отчеты по этапам 2013, 2014, 2015 годов.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### 1. Создание и научное обоснование палеоэкологической модели эволюции бассейна оз. Баунт в среднем-позднем голоцене

В региональном масштабе природные условия контролируют озерный седиментогенез через процессы выветривания горных пород в водосборных бассейнах озер и характер растительного и почвенного покрова. Поэтому данные о процессах выветривания и ландшафтно-климатических условиях, полученные на основе геохимических и палинологических записей из донных отложений озер, представляют ценную информацию об изменении природной среды прошлого. Озеро расположено на севере Республики Бурятия в Ципо-Ципиканской впадине Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) (рис.1.1) и занимает третье место на территории БРЗ по площади поверхности воды (111 км<sup>2</sup>) после озера Байкал и озера Гусиное и второе по общей площади водосбора (10300 км<sup>2</sup>) после озера Байкал. Максимальная длина озера - 17,5 км, средняя ширина – 6,4 км (максимальная - 9 км), максимальная глубина - 33 метра. Абсолютное превышение водоема над уровнем моря – 1060 м. В бассейне озера преобладают неоген-четвертичные отложения (пески, глины, гравий). Климат района резко континентальный, с суровой зимой, коротким жарким летом, резкими суточными и сезонными колебаниями температур. Среднегодовая температура -6,1 °С [27]. Климатические особенности района обусловлены сплошным распространением многолетней мерзлоты [24]. Глубина деятельного слоя на склонах достигает 0,5–2,0 м и зависит от их экспозиции, характера растительного покрова и состава грунта. Мерзлотные процессы, такие, как криогенное выветривание, склоновая эрозия, речной смыв в настоящее время являются важными регуляторами физической эрозии в бассейне озера и транспортировки отложений в его котловину, оказывая влияние на состав озерных отложений. Основу растительности бассейна и котловины оз. Баунт составляют лесные, кустарниковые, лугово-болотные фитоценозы. В лесной растительности господствует светлохвойная тайга из лиственницы Гмелина *Larix gmelinii* [30]. Темнохвойные леса отсутствуют. Сосновые леса с лиственницей развиваются на вершинах песчаных повышений дна котловины в условиях высокой теплообеспеченности при промывном режиме дренажа и в котловине встречаются редко.

Донные отложения озера Баунт были пробурены в 2013 году гравитационным керноотборным устройством ударно-канатного типа производства UWITEC (Австрия). Длина керна, названного Vnt-13, составила 143 см. Для оценки возраста керна из его основания была получена одна датировка методом радиоуглеродного анализа с



ускорительной масс-спектрометрией (AMS<sup>14</sup>C) по общему органическому веществу в радиоуглеродной лаборатории г. Познань (Польша). Возраст отложений на глубине 143 см составил 5990±35 лет (Poz-58395). Это значение возраста приведено в соответствие с календарным возрастом с использованием калибровочной кривой INTCAL 13 [17] и составило 6834±46 лет. Качественный минеральный состав терригенной составляющей осадков определен в ИГХ СО РАН методом рентгеноструктурного анализа на порошковом дифрактометре D8 Advance (Bruker AXS, Germany).

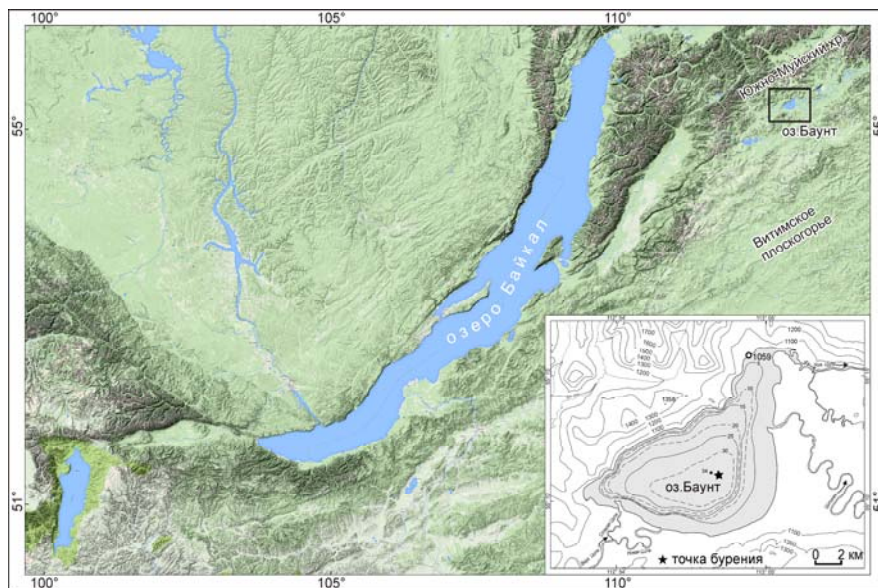


Рис. 1.1 – Положение оз. Баунт (квадрат в верхнем правом углу карты) на северо-востоке Байкальского региона. Место нахождения точки бурения керна Vnt-13 обозначено звездочкой на врезке в правом нижнем углу врезки.

Методом рентгенофлуоресцентного анализа изучен каждый сантиметр осадка из керна Vnt-13. Содержания основных породообразующих элементов были определены с применением оригинальной методики [23]. Магнитная восприимчивость (МВ) была измерена вдоль ненарушенного керна с интервалом в 1 см измерителем магнитной восприимчивости MS2 Bartington (Bartington Instruments Ltd, Великобритания) с использованием датчиков MS2C70 и MS2K. Расчет относительного обилия господствовавших в бассейне озера Баунт типов растительности (рис. 1.2) проведен использованным ранее методом [21, 22]. Значения реконструированных типов растительности (ландшафтов) выражены в относительных единицах.

Породообразующие оксиды  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$ ,  $MgO$ ,  $TiO_2$ ,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $Al_2O_3$  были использованы для расчета геохимических индексов изменения природной среды.

На основе полученных геохимических и палинологических данных осадочная последовательность керна Vnt-13 подразделена на четыре ландшафтно-геохимические зоны ЛГЗ (рис. 1.2), отражающих условия осадконакопления в озерном бассейне.

В результате было установлено, что начало аккумуляции озерных отложений около 7000-6000 л.н. (ЛГЗ-4) происходило в условиях, благоприятных для преобладания лесной растительности (рис. 1.2). Причем, в лесной растительности доминировала сосна. В настоящее время сосна здесь растет только на вершинах песчаных повышений днища котловины при высокой теплообеспеченности и промывном режиме дренажа. Следовательно, около 7000-6000 л.н. климат бассейна оз. Баунт характеризовался более теплыми и продолжительными по сравнению с современными летними сезонами и менее суровыми зимами, что обеспечивало глубокое протаивание многолетнемерзлых пород и широкое развитие сухих и теплых мест обитания, скорее всего, песчаных массивов. Модуль  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  служит индикатором относительного вклада биогенного детрита в обломочные силикатные минералы [19]. Развитие лесных ландшафтов в бассейне оз. Баунт около 7000-6000 л.н. приводило к появлению более плотного травянистого покрова и могло стать причиной затухания плоскостной эрозии и снижению объемов грубой минеральной фракции со склонов или с водами рек. Повышенные значения  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  и  $\text{CaO}/\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_{2\text{био}}$  в интервале 7000-6000 л.н. подтверждают пониженный снос в озеро минерального обломочного материала. Повышенные значения CIW около 7000-6000 л.н. также свидетельствуют об интенсивном химическом выветривании в бассейне озера в это время (рис. 1.2). Значения MB обычно имеют обратную корреляцию с вариациями  $\text{SiO}_{2\text{био}}$  [16]. Поскольку кремнезем – диамагнетик, то величины MB будут ниже в осадках теплых интервалов, что отмечено около 7000-6000 л.н. (рис. 1.2).

Снижение значений  $\text{SiO}_{2\text{био}}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}/\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ , TM, CIA, CIW, повышение AM в отложениях озера Баунт, сформировавшихся около 6000-1500 л.н. (зона 3), отражает снижение интенсивности химического выветривания в бассейне озера и продуктивности самой озерной системы. Около 6000 л.н. произошло и значительное сокращение лесной растительности (рис. 1.2) и расширение тундровой и степной. Сокращение площадей сосны (рис. 1.2) индицирует сокращение сухих и теплых мест обитания, что могло быть связано с развитием многолетней мерзлоты. Около 1000-250 л.н. (ЛГЗ-2) в бассейне озера Баунт продолжают расширяться тундровые ландшафты (рис. 1.2), индицируя усиление континентальности климата и активизации многолетней мерзлоты. Ухудшение палеоэкологических условий в водосборе озера приводило к замедлению процессов химического выветривания, более интенсивному сносу минерального материала и снижению продуктивности озерной системы (низкие концентрации  $\text{SiO}_{2\text{био}}$ ).

Заметное изменение значений индексов природной среды отмечено и в отложениях, сформированных в последние примерно 200 лет (рис. 1.2, ЛГЗ-1). Повысившиеся значения CIA и CIW подтверждают более теплые, чем ранее, условия. Повышение значений MB может быть связано с усилением эрозионно-склоновой деятельности при потеплении.

Сравнение трендов геохимических и палинологических индексов из ядра Bnt-13 с динамикой природной среды из ключевых записей Северного полушария (рис. 1.2) показало, что сокращение лесной растительности, расширение тундровой и степной в бассейне озера Баунт 7000/6000 - 1500/1000 л.н. было связано с общим похолоданием

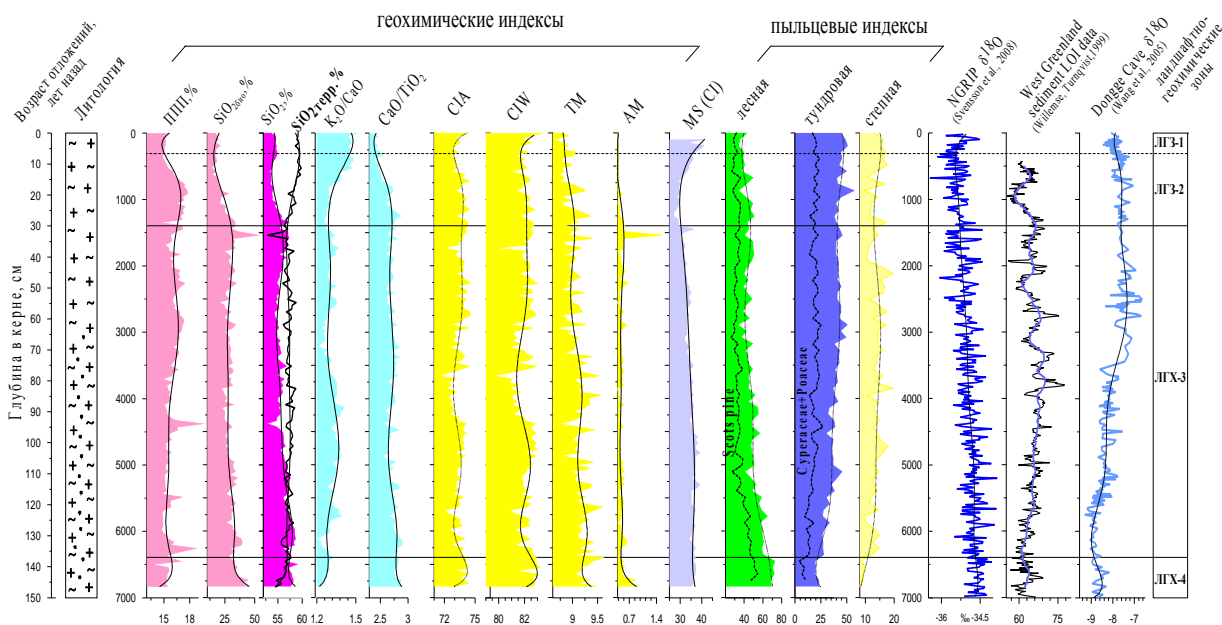


Рис. 1.2. Вариации геохимических и палинологических индексов в отложениях ядра Bnt-13 за последние 7000 лет в сравнении с изменением уровня летней инсоляции на  $60^\circ$  с.ш. за это время и изменчивостью  $\delta^{18}\text{O}$  из Гренландии, рассматриваемой в качестве индикатора температуры воздуха в Северном полушарии [18].

климата Северного полушария в пост-оптимальное время голоцена. Некоторое улучшение условий природной среды около 1500-1000 л.н. не противоречит наступлению средневековой теплой климатической аномалии (СКА) в Северном полушарии [15]. Значения CIA, CIW в последние 200 лет повторяют тренд потепления в записи  $\delta^{18}\text{O}$  NGRIP и соответствуют результатам метеорологических наблюдений [6].

В итоге реализации проекта в 2016 г. было установлено, что донные отложения озера Баунт являются перспективным природным архивом для высокоразрешающих реконструкций природной среды в бореальной зоне со сплошным распространением многолетнемерзлых пород. Ландшафты здесь могут оказаться более уязвимыми к воздействию потенциальных климатических изменений, приводя к нестабильности и социальным системам. Полученные результаты вносят заметный вклад в понимание

динамики и причин изменения природных условий на большой территории водосборного бассейна озера.

В результате реализации плана научно-исследовательских работ 2013-2016 г.г.

- выполнен комплексный анализ озерно-болотных отложений с предгорий Баргузинского хребта, Лено-Ангарского плато, Жомболокского вулканического района;

- впервые для Хандинской котловины на основе данных палинологического анализа установлено, что пост-оптимальное ухудшение глобального климата 5.9-5.3 тыс. л.н. приводило к сокращению региональных темнохвойных лесов;

- выявлено влияние голоценовых извержений Восточного Саяна на состав локальной растительности района и доказана ведущая роль климата в среднем-позднем голоцене и антропогенного фактора в последние несколько сотен лет в изменении структуры ландшафтов;

Наиболее важным результатом проведенных исследований следует считать выявление интервалов реорганизации природной среды региона в квази-тысячелетнем масштабе из-за перестройки глобального климата.

## 2. Исследование изотопного состава воды малых озер Забайкальского региона (Бурятия).

Изотопно-кислородные данные являются одним из надежных источников получения информации о глобальном состоянии биосферы. Построенные на основе результатов изотопного анализа биогенного кремнезема кривые отражают изменение температуры (Тв) [2] и изотопного состава воды, при которых он формировался [12-14]. Вариации  $\delta^{18}\text{O}_{\text{атм}}$  во времени обусловлены изменениями температуры воздуха, сезонностью выпадения осадков, изменением источника атмосферных осадков [5, 14].

В 2016 году исследован изотопный состав воды малых озер Арахлей (рис. 2.1) Забайкальского региона. Установлено, что изотопный состав воды оз. Арахлей варьирует в узких пределах и характеризуется значениями  $\delta^{18}\text{O}$  от -4,9 до -5,8‰ и  $\delta\text{D}$  от -58,9 до -63,7‰. На диаграмме соотношения величин  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$  (рис. 2.2) они расположены правее глобальной линии метеорных вод (ГЛМВ) и подчиняются линейной зависимости  $\delta\text{D} = 4,8 \cdot \delta^{18}\text{O} - 35,5$  при достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,90$ . Угловым коэффициентом полученной линии удовлетворительно соответствует угловому коэффициенту 5 теоретической линии неравновесного испарения [3]. Следовательно, установленная

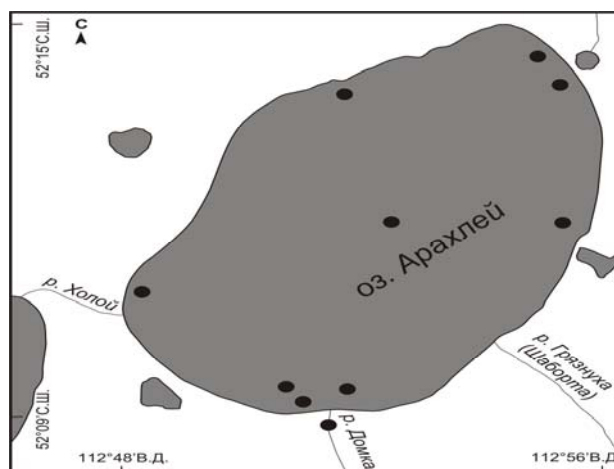


Рис. 2.1. Схема района исследований оз. Арахлей.  
Черные кружки – местоположение точек отбора проб воды.

зависимость характеризует изотопное фракционирование, вызванное испарением. Точка пересечения данной линии с ГЛМВ наилучшим образом описывает изотопный состав

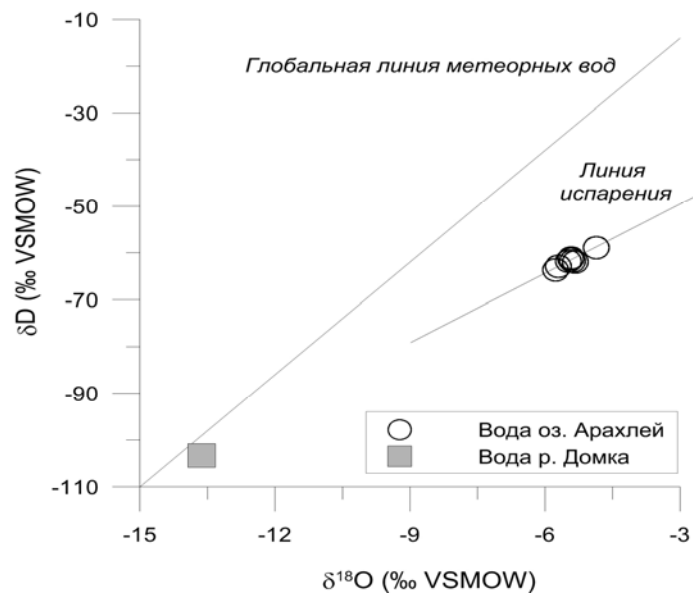


Рис. 2.2. Изотопный состав озерных и речных вод оз. Арахлей.

метеорной воды до испарения. Значения  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$  в точке пересечения линий составляют  $-14,5\text{‰}$  и  $-106\text{‰}$ , соответственно. Данные величины близки к средним взвешенным значениям летних атмосферных осадков в регионе [10] и к значениям  $\delta^{18}\text{O}=-13,3\text{‰}$  и  $\delta\text{D}=-103,3\text{‰}$ , характеризующим изотопный состав летней воды р. Домка. Полученные результаты свидетельствуют, что вариации в изотопном составе воды в оз. Арахлей преимущественно вызваны изменением изотопного состава летних атмосферных осадков, воды, поступающей в озеро с реками, и испарением. Они не противоречат ранним выводам М.М. Кожова [28] о водном питании озера, осуществляющемся за счет атмосферных осадков, до 80% которых выпадает в летнее время.

В результате реализации проекта за весь срок впервые установлен современный изотопный состав воды в оз. Котокель; впервые получены результаты изучения изотопного состава кислорода створок диатомовых водорослей из донных отложений озера Котокель, сформировавшихся в последнее оледенение  $\sim 24.6-11.5$  тыс. л.н. и показано, что общий тренд изменения значений  $\delta^{18}\text{O}$  створок следует тренду летней солнечной инсоляции в средних широтах северного полушария, свидетельствуя о положительной реакции изотопного состава створок на крупномасштабные климатические изменения.

### **3. Изучения петромагнитных и палеомагнитных характеристик осадочных отложений оз. Баунт. Оценка продолжительности экскурсов Гётеборг и Моно Лейк**

Ориентированные образцы для палеомагнитных исследований были отобраны с шагом 5 см (259 образцов). Палеомагнитные измерения осуществлялись на спин-магнитометре JR-6 (Agico, Чехия). Размагничивание образцов проводилось в магнитном вакууме самодельной установки. Намагничивание производилось в магнитном поле Земли. Магнитная восприимчивость измерялась на каппометре KLY-2. У всех образцов была измерена первичная остаточная намагниченность (NRM). С целью определения пригодности донных осадков оз. Баунт для палеомагнитных исследований 25 образцов были размагничены детально полями 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 мТл. Оставшиеся образцы размагничивались при величинах переменного поля 10, 20 и 40 мТл. При этих же величинах поля образцы дважды намагничивались в современном поле Земли – по оси z (направлена вдоль керна) и против неё. На основе полученных данных рассчитывалась безгистерезисная остаточная намагниченность (ARM) для трёх величин переменного поля.

Изменения величин магнитной восприимчивости, идеальной намагниченности и их отношения показаны на рис. 3.1 вместе с данными радиоуглеродного анализа. Выяснено, что на глубинах выше шести метров общий характер изменения этих величин в целом совпадает, а вот глубже при сохранении порядка величины магнитной восприимчивости, значение идеальной намагниченности уменьшается в разы. Отношения между величинами характеризуют размер магнитного зерна, и мы можем судить о том, что в верхней части разреза его средний размер был небольшим, в отличие от нижней части с крупными размерами зёрен. Радикальное изменение произошло в позднем плейстоцене. Уникальность данного разреза в том, что серьёзные изменения в условиях осадконакопления, обусловленные глубокими изменениями ландшафтно-климатических условий, запечатлены в вариациях петромагнитных параметров.

Также были определены экскурсы Гётеборг и Моно Лейк (рис. 3.2.). Благодаря высокой скорости осадконакопления удалось не только определить возраст экскурсов, но и оценить их продолжительность, что является уникальным результатом. Возраст экскурса Гётеборг 13,2 тыс. лет, его продолжительность – около 100 лет, возраст экскурса Моно Лейк 25,8 тыс. лет, его продолжительность – около 500 лет. С точки зрения фундаментальных исследований особенно важно, что данные экскурсы были впервые выделены в ходе изучения многочисленных озёр Байкальского региона, что подтверждает их глобальный характер. В отсутствии на сегодняшний день подобных записей для

Байкальского региона позволяет рассматривать данный разрез как опорный для дальнейших палеомагнитных исследований озёрных осадочных отложений Сибири.

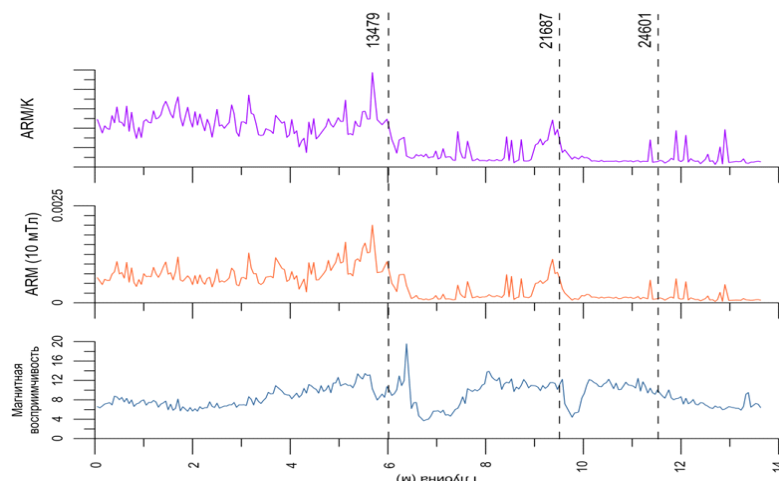


Рис. 3.1. Магнитная восприимчивость, идеальная намагниченность (после воздействия переменного магнитного поля 10 мТл и их отношение). Пунктирными линиями показаны возрастные границы событий по данным AMS  $^{14}\text{C}$  метода датирования отложений.

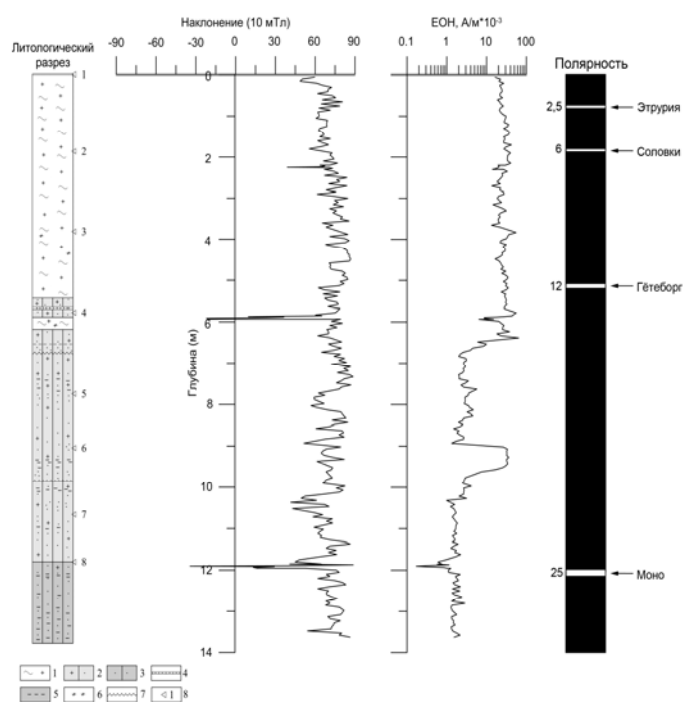


Рис. 3.2. Наклонение магнитного поля и ЕОН осадка скважины Baunt-2014 в сопоставлении с литологическим разрезом и магнитостратиграфической шкалой. 1. Диатомовый ил. 2. Алевритистая глина с диатомовыми. 3. Алевритистая глина. 4. Прослой глинистого алеврита. 5. Гидротроилит ( $\text{FeS} \times n\text{H}_2\text{O}$ ). 6. Углифицированные растительные остатки. 7. Разрывные нарушения в керне. 8. Номера лотов. Слева от названий экскурсов указаны их принятые возраста в тыс. лет [33].

В результате реализации проекта за весь срок получены первые результаты петромагнитного изучения длинного керна (13,7 м) из донных отложений озера Баунт, возраст которых составляет около 30 тысяч лет; впервые для обширной территории Забайкалья на основе длительной палеомагнитной записи из оз. Баунт установлены экскурсы Гётеборг и Моно Лейк.



#### **4. Биогеохимическая характеристика макро- и микрокомпонентов органического вещества (ОВ) в водных и болотных экосистемах**

Работы в 2013-2016 гг. были посвящены исследованию особенностям пространственного распределения органического вещества (ОВ) природного и антропогенного происхождения (С, N, P, хлорофилл-а, полихлорированные бифенилы (ПХБ) и хлорорганические пестициды (ХОП)) и его качественного состава в поверхностных осадках Иркутского и Братского водохранилищ, распределения ОВ по глубине в торфяных отложениях южной части бассейна оз. Байкал (кern Vdgr-2011-1 из долины р. Выдриная), а также значению атмосферного транспорта в формировании ОВ в донных отложениях крупного водоема (на примере оз. Хубсугул).

##### **4.1. Элементный состав органического вещества торфа как показатель трофического состояния болотных экосистем юга Байкальского региона**

Кern торфяных отложений (Vdgr-2011) длиной 317 см получен в 2011 г. в центре болотного массива в долине р. Выдриная на южном побережье оз. Байкал с использованием пробоотборника системы Ливингстон. Абсолютный возраст основания kernа 9800 лет [36]. Всего было исследовано 312 проб с интервалом 1 см на содержание С, N и хл. а и 80 проб на содержание P. Анализ С, N, P и хл. а в пробах выполнен по принятым методикам [26]. При расчете органического вещества (ОВ) использовали коэффициент 2 [32]. Содержание N в ОВ kernа Vdgr-2011 низкое. Концентрации  $<0,1\%$  составляют 62% от суммы исследованных проб, 33% проб приходится на трации 0,1–0,5%, что говорит о терригенном происхождении ОВ [25, 31]. Слабая положительная достоверная корреляционная связь С обнаружена с хл. а и С:N ( $p < 0,01$ ), очень слабая связь С с P, что можно объяснить разной скоростью деструкции ОВ, содержащих N, P [11]. С:N высокие в веществе древесного происхождения (78–110 для листьев деревьев) [9] вследствие высокого содержания в древесине материала, не содержащего протеин.

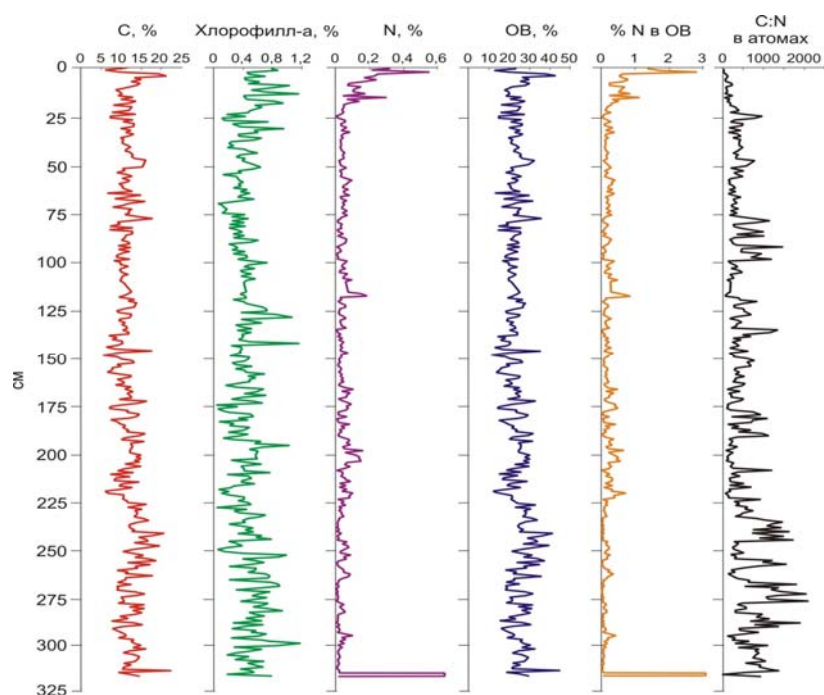


Рис. 4.1. Распределение C, N, хлорофилла-а, C:N в керне Vydr-2011-1.

Изменение трофического состояния экосистемы во времени рассмотрено во взаимосвязи с изменениями пыльцевых индексов [35-36].

Впервые проведенное прямое (на основе результатов геохимического и палинологического анализа одних и тех же образцов) сравнение геохимических показателей трофности с пыльцевыми индексами трофического состояния болот привело к уточнению характера переходов болотной экосистемы в разный трофический статус. Надежная возрастная модель отложений из керна Vydr-2011 позволила установить хронологические рубежи наступления различного статуса болотной экосистемы [1, 20]. Комплексный подход изучения торфяных отложений, основанный на применении не только палинологических, но и геохимических показателей, открывает перспективы применения этого комплекса методов для реконструкции состояния экосистем Байкальского региона в прошлом.

#### 4.2. Изучение содержания ПХБ в отложениях болотных экосистем южного побережья оз. Байкал

Изучение содержания ПХБ в торфяных отложениях этого же массива позволило получить первые данные для этой территории, доказывающие, что торфяные болота побережья оз. Байкал представляют собой мощный накопитель ПХБ. Концентрации ПХБ торфяника Выдринский в расчете на площадь поверхности отбора более, чем в 2 раза превышает максимальные значения в пробах почв в зоне «источника атмосферных

эмиссий ПХБ» в г. Усолье-Сибирское. Отсутствие существенного изменения конгенерного состава свидетельствует о ничтожности вероятных процессов биотрансформации СОЗ в теле торфяника, которые бы могли разрушить токсичные структуры СОЗ. Ключевыми условиями процесса накопления ПХБ в торфянике являются: наличие мощного источника воздушной эмиссии СОЗ (предприятия Усолья-Сибирского); существование воздушного переноса по розе преобладающих ветров от источника в сторону района; наличие большого водного пространства между источником и зоной конденсации и насыщение воздушных масс водой, которая становится основной средой переноса ПХБ; горный массив, преграждающий путь воздушному потоку, должен быть достаточным по высоте, чтобы за счет снижения температуры с высотой произошло выпадение накопленной ранее влаги и большей части частиц взвеси и газовой составляющей полувolatile соединений; наличие в долинной зоне у подножия ветроударных склонов сред с высокой сорбционной емкостью к ПХБ, в частности торфяных болот - природных сорбентов стойких органических загрязнителей.

#### **4.3. Изучение влияния атмосферного транспорта в формировании особенностей состава органического вещества природного и антропогенного происхождения и хлорорганических пестицидов в донных отложениях Хубсугула**

Для реализации этой цели было рассмотрено распределение ПХБ и ХОП в атмосферном воздухе, донных отложениях и почвах оз. Хубсугул и Прихубсугулья. Концентрации ПХБ, ДДТ, ГХЦГ и ГХБ в АВ в северном Прихубсугулье в 2008-2015 гг. (рис. 4.2) изменяются от фоновых и сравнимых с уровнями в других высокогорных областях мира до величин, найденных в крупных населенных пунктах.

Кроме изменения суммарных концентраций ПХБ и ХОП в АВ в 2008–2015 г.г. происходило также изменение их качественного состава. Изменение относительного качественного состава ПХБ и ХОП предполагает различные источники поступления этих соединений в АВ Прихубсугулья. Увеличение доли низкохлорированных триХБ говорит об увеличении значения атмосферного переноса. Повышение концентраций в 2008–2010 гг. предполагает интенсивное поступление ПХБ и ДДТ в АВ Прихубсугулья в этот период времени как в результате действия возможных неизвестных локальных источников, так и влияния атмосферного переноса с сопредельных территорий.

Результаты моделирования потоков ПХБ и ХОП в системе АВ – почва в районе

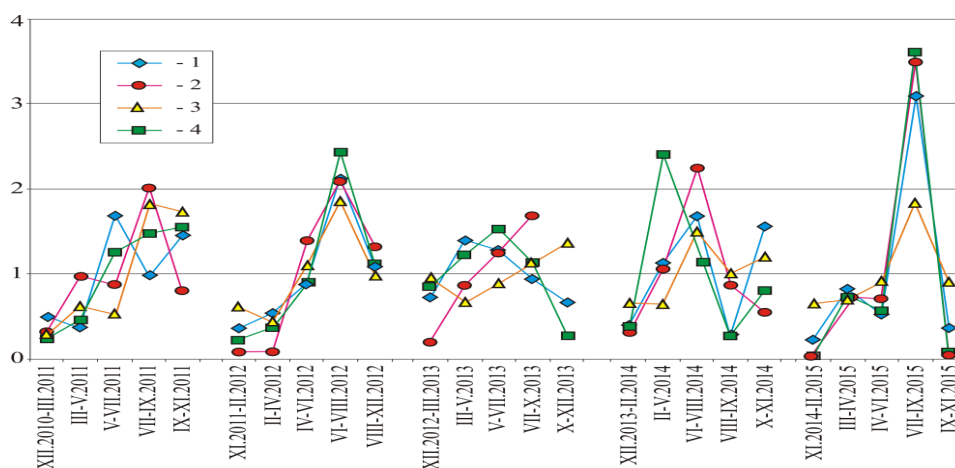


Рис. 4.2. Сезонное распределение ПХБ и ХОП в атмосферном воздухе в северном Прихубсугулье в 2011–2015 гг. (концентрации в каждый период пробоотбора, отнесенные к соответствующей среднегодовой) (1 – сумма ПХБ, 2 – □-ГХЦГ, 3 – ГХБ, 4 – р,р'-ДДЭ).

исследования (на территории стационара в пос. Ханх и его окрестностях) показывают преобладание процессов осаждения над процессами испарения, что подтверждает значимость атмосферного переноса для поступления ПХБ и ХОП в район Прихубсугулья

Влияние атмосферного переноса на содержание ПХБ и ХОП в объектах окружающей среды Прихубсугулья и оз. Хубсугул рассмотрено с использованием факторного анализа. Распределение ПХБ и ХОП в атмосферном воздухе определяется в разные периоды исследования двумя факторами (I и III). Первый фактор оказывал большее влияние в 2008-2010 и части 2011 года, а третий – в периоды наименьших концентраций. Т.о. третьим фактором, вероятно, является глобальный и региональный атмосферный перенос ПХБ и ХОП. На состав ПХБ и ХОП в почвах в черте поселка Ханх оказывает влияние второй фактор, имеющий явно локальный антропогенный характер. Остальные почвы побережья также, как и атмосферный воздух в 2008-2010 гг., подвержены влиянию первого фактора, что может быть результатом перераспределения ПХБ и ХОП в системе почва–атмосферный воздух в этот период или активизацией действия дополнительного источника ПХБ и ДДТ, оказавшего влияние на значительные территории Азии в период исследования в 2008-2010 гг. [8, 29,] и действовавшего раньше, что привело к накоплению ПХБ и ДДТ в почвах.

Проведено также изучение вклада атмосферного переноса в биогеохимическом круговороте комплекса макрокомпонентов ОВ в оз. Хубсугул. В задачи исследования входило:

- изучение горизонтального и вертикального распределения взвеси, хлорофилла-а, кремния, углерода, минеральных и органических форм азота и фосфора;

– определение сезонных изменений содержания компонентов трофического состава вод озера Хубсугул;

– на основе стехиометрического соотношения C:N:P рассмотреть лимитирующий фактор развития планктонных организмов и трофический индекс озера;

– изучить некоторые факторы, определяющие содержание органического вещества и биогенных элементов: породы, слагающие озеро, атмосферные осадки, почвенный покров, донные отложения, притоки.

Материалом по распределению компонентов трофического состава послужили пробы воды, отобранные в озере Хубсугул в конце июля–начале августа 1990 г. на 9-ти разрезах, на каждом из которых пробы отбирались на 3-х станциях: в трех километрах от западного и восточного берегов и на середине разреза. Отбор проб воды производился с поверхности и с разных горизонтов. О сезонных изменениях судили при ежемесячном отборе проб воды с поверхности на станции в 7–8 км от берега у пос. Ханх (глубина около 50 м) в 2011 году (рис.4.3).

Проведенные исследования пространственного распределения и временной изменчивости химического состава (основных ионов и компонентов трофического статуса) вод озера Хубсугул показали

– Увеличение в 2011 г. сульфатов и магния, уменьшение кальция и хлора, появление аммонийного и нитритного азота, повышение органического углерода, азота и фосфора свидетельствует об изменении гидрохимических характеристик вод озера Хубсугул, как под воздействием природных явлений (глобальное потепление), так и антропогенных факторов (туризм, перевыпас на пастбищах, атмосферный перенос) (рис.4.4).



Рис. 4.3. Схема отбора проб в оз. Хубсугул и Прихубсугулье (1 – вода, 2 – донные отложения озера, 3 – вода притоков, 4 – русловые отложения притоков, 5 – почва, 6 – снег).

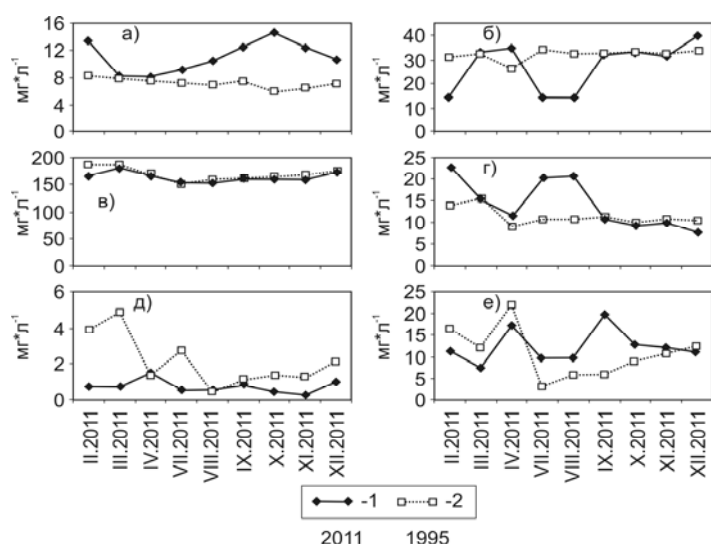


Рис. 4.4. Сезонные изменения компонентов ионного состава в оз. Хубсугул (1 – 2011 г., 2 – 1995 г.; а – сульфаты, б – кальций, в – бикарбонаты, г – магний, д – хлориды, е – натрий и калий)

– Впервые проведено исследование сезонных изменений взвеси, хлорофилла-а, кремния, органического углерода, минеральных и органических форм азота и фосфора в водах озера. Отмечены два максимума органического вещества и минимума минеральных форм азота и фосфора весной в марте и осенью. Причем весенний максимум кратковременный, а осенний более продолжительный с августа по октябрь. Согласно уровню содержания компонентов трофического статуса и величин их отношений, можно сделать вывод, что доминируют разные виды водорослей (рис. 4.5).

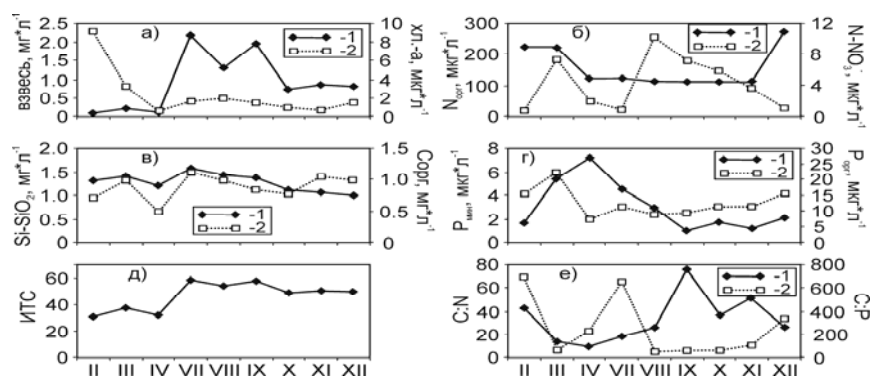


Рис. 4.5. Сезонные изменения содержания компонентов трофического статуса в оз. Хубсугул (а: 1 – хлорофилл-а, 2 – взвесь; б: 1 –  $N-NO_3^-$ , 2 –  $N_{орг}$ ; в: 1 –  $C_{орг}$ , 2 –  $Si-SiO_2$ ; г: 1 –  $P_{орг}$ , 2 –  $P_{мин}$ ; д – индекс трофического статуса (ИТС); е: 1 – C:P, 2 – C:N).

– На основе стехиометрического отношения C:N:P подтверждено, что лимитирующими компонентами в развитии фитопланктона являются и азот, и фосфор [34]. В [4] пишется, что величина отношения N:P меньше 5 по весу означает N-лимитацию, отношение больше 12 также включало P-лимитацию. Согласно нашим

данным лимитирование по азоту в течение года в водах озера Хубсугул наблюдаем зимой и весной; летом и осенью найдена Р-лимитация. В работе [7] использовали отношение N:C (меньше 0,13 по весу – N-лимитация), P:C (меньше, чем 0,02 – P-лимитация). В исследуемый период нами обнаружена Р-лимитация в течение почти всего года, кроме апреля месяца, когда величина P:C достигала 0,03.

В ходе выполнения работ в 2016 г. по тематике изучения биогеохимической характеристики макро- и микрокомпонентов органического вещества (ОВ) в водных и болотных экосистемах доказано, что глобальный и региональный атмосферный перенос ПХБ и ХОП является основным источником ПХБ и ХОП в донных отложениях оз. Хубсугул.

Впервые проведенное прямое сравнение геохимических показателей трофности с пыльцевыми индексами трофического состояния болот привело к уточнению характера переходов болотной экосистемы в разный трофический статус;

Выявлено, что торфяные болота побережья оз. Байкал представляют собой мощный накопитель ПХБ, которые затем выносятся дождевыми водами в оз. Байкал;

Доказано, что глобальный и региональный атмосферный перенос ПХБ и ХОП является основным источником ПХБ и ХОП в донных отложениях оз. Хубсугул;

## 5. Геохимические исследования донных отложений озер Восточной Сибири

### 5.1. Геохимическое изучение донных отложений оз. Байкал

Для геохимической корреляции донных отложений малых озер Прибайкалья и Забайкалья создается опорный разрез для максимума последнего оледенения и голоцена на основе комплексного исследования донных отложений озера Байкал. За основу взят керн донных отложений озера GC-99, отобранный в точке бурения скважины BDP-99 в южном окончании Селенгино-Бугульдейской перемычки. Возраст полученного седиментационного разреза составил около 20 тыс. лет. Отложения керна GC-99 были исследованы методами РФА. Результаты показаны на рисунке 5.1. Выявлено соответствие трендов макроэлементного состава глобальным изменениям природной среды Северного полушария (шкала изменения температуры воздуха над Гренландским ледником, по [18]).

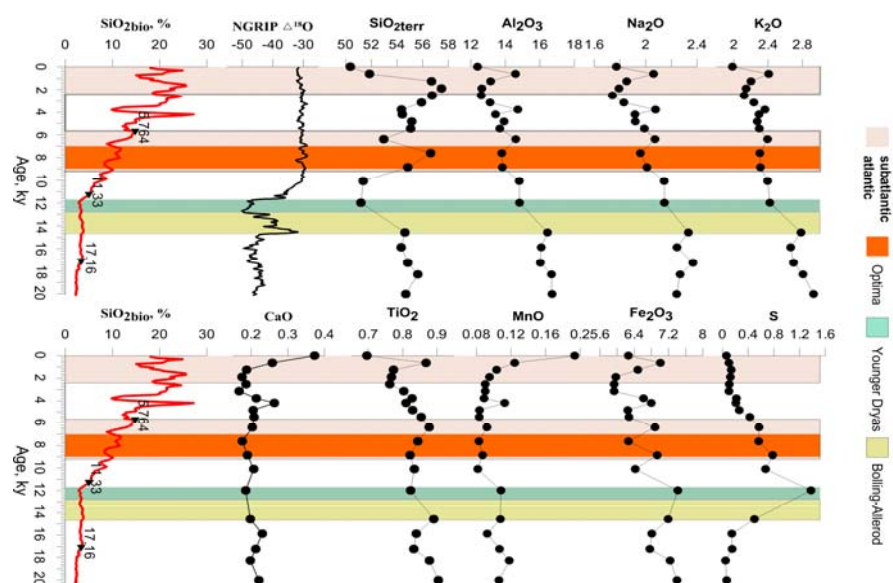


Рис. 5.1. Вариации значений избранных макроэлементов и биогенного кремнезема как показателя относительной продуктивности озерной системы для отложений керна GC-99 в сравнении с записью NGRIP  $\delta^{18}\text{O}$  [18] как индикатором температуры воздуха в Северном полушарии.

### 5.2. Геохимическое изучение донных отложений озер Жомболокского района проявления голоценового вулканизма

Основной задачей является поиск и выявление интервалов в кернах донных отложений озер с целью поиска слоев, содержащих следы проявления вулканической деятельности – криптотефры и определения возраста извержений.

На рисунке 5.2 приведены результаты измерения и расчета некоторых геохимических показателей для керна из донных отложений оз. Хара-Нур. Эти результаты показали, что выбранные петрохимические модули, а также другие геохимические и



статистические показатели содержат ценную информацию о динамике природной среды бассейна оз. Хара-Нур в голоцене.

Для обнаружения продуктов извержений (микротефры) к сумме геохимических данных применен ординационный метод. Вычисления проводились в программе Canoco v4.2. Первая ось PCA1 (рис. 5.2) позволяет объяснить 63% изменчивости. Ее общий тренд совпадает с трендом натриевого модуля и отражает, в первую очередь, относительную интенсивность химического выветривания пород в бассейне озера. Однако нагрузки значений, показанные на рисунке 5.2, демонстрируют, что ось PCA1 изменяется не из-за вариаций в значениях петрогенных компонент, а из-за изменений микроэлементного состава отложений (в первую очередь Sr,Zr,Cu,Zn,Ru). Выделенные в шкале PCA1 три кратковременных события, обозначенные буквой «а» (рис. 5.2) соответствуют резким изменениям значений петрохимических модулей (CIA, НМ). Предполагается, что это может быть связано с вулканическими извержениями [37]. Скорее всего, после коротких периодов извержений (литера «а») начинался процесс выветривания относительно свежей лавы, что могло приводить к обогащению поставляемых в озеро продуктов выветривания с берегов озера и реки Жом-Болок  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$ . Из-за повышенного в периоды извержений выделения газообразных продуктов из вулканов часто образуются повышенные концентрации серы, ее осаждение в различных формах и вынос в озеро. Газообразные продукты могли служить и еще одним источником щелочных металлов.

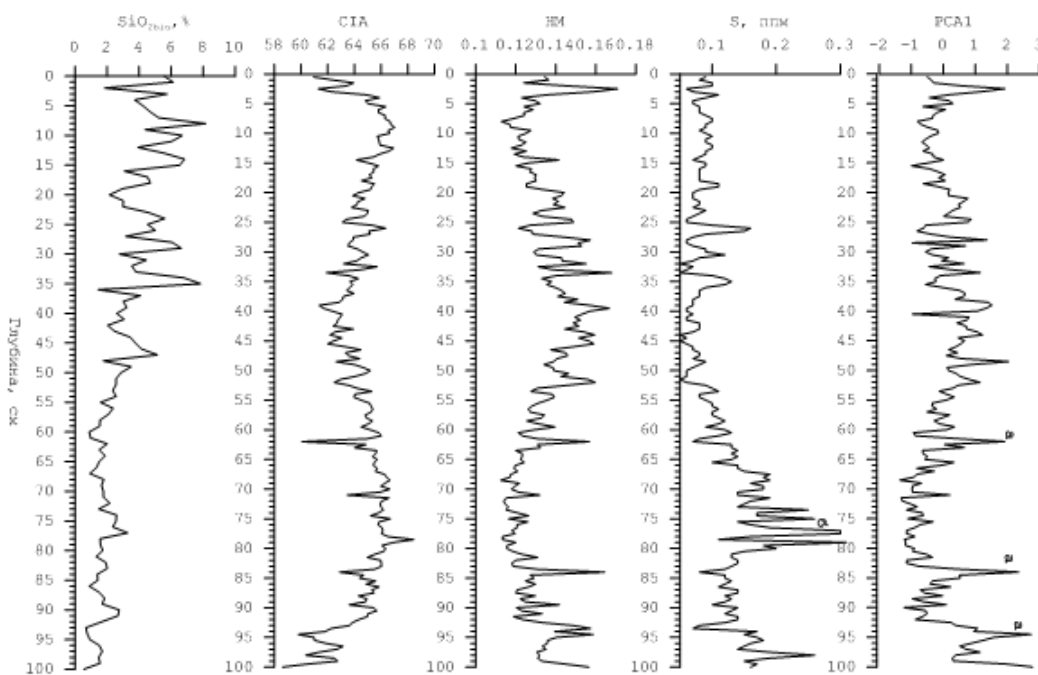


Рис. 5.2. Изменение значений петрохимических модулей CIA, НМ в сравнении и вариациями значений биогенного кремнезема  $\text{SiO}_2_{\text{био}}$ , серы (S, ppm) и результатами метода главных компонент (Principal Component Analysis).

### 5.3. Изучение особенностей распределения в донных отложениях озер отдельных элементов – геохимических индикаторов природной среды

С целью выделения набора наиболее информативных геохимических индикаторов изменения природной среды и климата, а также для поиска оптимальной методики для их определения, в разрезе керна GC-99 изучено распределение Br. Выделение его проведено с помощью неdestructивных методов РФА ВД и РФА ПВО. На рисунке 5.3.1. представлены результаты рентгенофлуоресцентного определения Br для разреза позднеплейстоцено-голоценовых отложений из озера Байкал. Для более уверенной интерпретации поведения брома дополнительно приведено распределение  $\text{SiO}_2_{\text{bio}}$ . Высокие концентрации брома, вероятно, связаны с повышенными значениями содержаний органических веществ в горизонтах, формировавшихся в периоды относительно высокой биопродуктивности водоема. Граница голоцена и позднего плейстоцена для данного

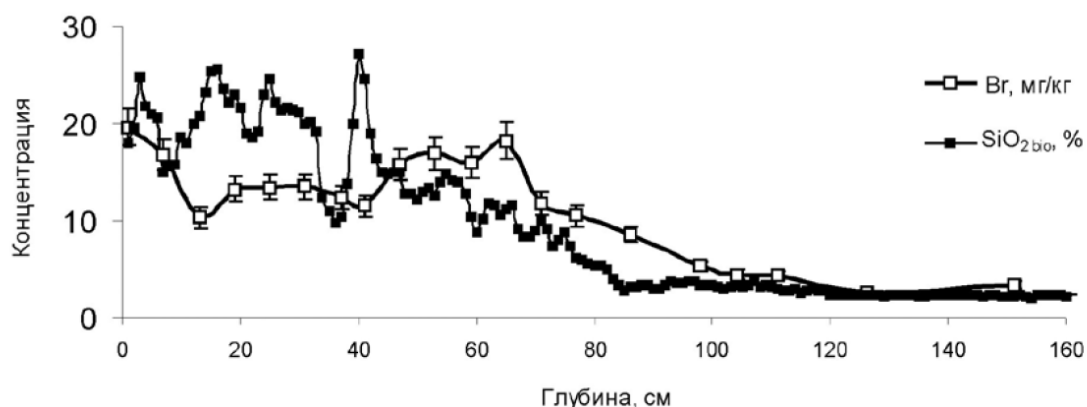


Рис. 5.3.1. Зависимость изменения содержания Br и  $\text{SiO}_2_{\text{bio}}$  в донных отложениях оз. Байкал с глубиной в керне.

разреза находится на глубине 85-80 см от поверхности керна, о чем свидетельствует значительное изменение концентраций Br и  $\text{SiO}_2_{\text{bio}}$  вблизи этого уровня. В интервал 200-100 см от поверхности керна концентрации как  $\text{SiO}_2_{\text{bio}}$ , так и Br минимальны, что, как правило, характерно для условий ледниковых периодов.

## **6. Изучение и определение изотопных характеристик метана из осадков малых озер и термальных источников Южной Сибири**

Продолжено изучение метана в озерах Котокель и Духовое, а также в скважинах (источниках) вскрывших термальные воды (Энхалук, Сухая), расположенных в прибрежной зоне озера Байкал.

В процессе выполнения работы получены данные по компонентному составу углеводородных газов и изотопным характеристикам метана. Проведена генетическая типизация газа в исследованных объектах.

Установлено, что основным компонентом газа из осадков всех исследованных озер является метан, который характеризуется низкой примесью этана. Полученные изотопные данные, а также результаты определения компонентного состава газа, свидетельствуют о том, что в осадках озера Котокель присутствует бактериальный метан. Газ в осадках оз. Духовое имеет значение  $\delta^{13}\text{C}-\text{C}_1$ , типичное для термогенного метана ( $-44,0\text{‰}$ ) [2]. Вероятно, газ из осадков оз. Духовое является продуктом вторичных преобразований, которые могут существенным образом менять изотопный состав углерода метана и компонентный состав углеводородных газов. Например, обогащение изотопом  $^{13}\text{C}$  и увеличение содержания гомологов в остаточном метане может происходить в результате процесса его бактериального окисления. Такой сценарий формирования изотопного состава углерода метана в исследованных образцах газа из осадков оз. Духовое, на наш взгляд, достаточно реалистичен.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате реализации плана научно-исследовательских работ 2013-2016 г.г.

– впервые для Хандинской котловины установлено, что пост-оптимальное ухудшение глобального климата 5,9-5,3 тыс. л.н. приводило к сокращению темнохвойных лесов;

– получена первая для долины р. Сенца (Восточный Саян, Жомболокский район проявления голоценового вулканизма) реконструкция динамики экосистем за последние 4200 лет;

– выявлено влияние голоценовых извержений на состав локальной растительности района и доказана ведущая роль климата в среднем-позднем голоцене и антропогенного фактора – в последние несколько сотен лет в изменении структуры ландшафтов;

– выявлена высокая научная перспективность последующего изучения донных отложений озера Баунт как природного архива для высокоразрешающих реконструкций природной среды в бореальной зоне со сплошным распространением многолетнемерзлых пород; ландшафты здесь могут оказаться более уязвимыми к воздействию потенциальных климатических изменений, приводя к нестабильности и социальным системам;

– впервые получены результаты изучения изотопного состава кислорода створок диатомовых водорослей из донных отложений озера Котокель, сформировавшихся в последнее оледенение ~24,6–11,5 тыс. л.н. и показано, что общий тренд изменения значений  $\delta^{18}\text{O}$  створок следует тренду летней солнечной инсоляции в средних широтах северного полушария, свидетельствуя о положительной реакции изотопного состава створок на крупномасштабные климатические изменения;

– показано, что идеальная намагниченность сохраняет сведения о цикличности климатических изменений (циклы Миланковича) с большей достоверностью, нежели магнитная восприимчивость;

– впервые для обширной территории Забайкалья на основе длительной палеомагнитной записи из оз. Баунт установлены экскурсы Гётеборг и Моно Лейк;

– рассчитанное время существования выделенных палеомагнитных событий, составлявшее около 100 и 500 лет для экскурсов Гётеборг и Моно Лейк, соответственно, может служить дополнительной информацией для понимания реального времени, за которое могут происходить такие глобальные изменения, как смена магнитных полюсов. С этой точки зрения новая палеомагнитная запись из отложений оз. Баунт может рассматриваться как существенный научный вклад в разработку стратегии адаптации общества в периоды природных катастроф;

– на основе анализа содержаний микроэлементов в отложениях переходного периода от плиоцена к квартеру выявлены группы элементов-индикаторов орогенеза;

– установлено содержание частиц космогенного железа методами ТМА и МЗА в отложениях оз. Байкал, сформированных в голоцен-позднеплейстоценовый период;

– впервые проведенное прямое сравнение геохимических показателей трофности с пыльцевыми индексами трофического состояния болот привело к уточнению характера переходов болотной экосистемы в разный трофический статус;

– выявлено, что торфяные болота побережья оз. Байкал представляют собой мощный накопитель ПХБ, которые затем выносятся дождевыми водами в оз. Байкал;

– доказано, что глобальный и региональный атмосферный перенос ПХБ и ХОП является основным источником ПХБ и ХОП в донных отложениях оз. Хубсугул;

Все задачи проекта выполнены полностью. Полученные результаты являются новыми и вносят существенный вклад в понимание закономерностей длительного функционирования озерных и болотных экосистем Восточной Сибири, а также причин, вызывающих разномасштабные по времени и амплитуде проявления сдвигов в состоянии экосистем. Научный уровень выполненной научно-исследовательской работы по проекту соответствует мировому уровню аналогичных исследований.

Полученные результаты важны для реализации современных подходов в региональной системе рационального природопользования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Bezrukova E., Tarasov P., Solovieva N., Krivonogov S., Riedel F. Last glacial-interglacial vegetation and environmental dynamics in southern Siberia: Chronology, forcing and feedbacks // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. - 2010. - V. 296. - P. 185-198.
2. Dodd J.P., Sharp Z.D. A laser fluorination method for oxygen isotope analysis of biogenic silica and a new oxygen isotope calibration of modern diatoms in freshwater environments // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2010, v. 74, p. 1381–1390.
3. Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation // *Tellus*, 1964, v. 16, p. 436–468.
4. Forsberg, C., Ryding, S.O. Eutrophication parameters and trophic state in 30 Swedish wast-receiving lakes // *Arch. Hydrobiol.* – 1980. - Vol. 89. – P. 180–207.
5. Gat, J.R. Oxygen and hydrogen isotopes in the hydrological cycle // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 1996, v. 24, p. 225–262.
6. Hansen J., Sato M., Ruedy R., Lo K., Lea D. W. and Medina-Elizade M. Global temperature change // *PNAS*, 2006, v. 103, p. 14288-14293.
7. Healey F.P., Hendzel L.L. Physiological indicators of nutrient deficiency in lake phytoplankton // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. – 1980. - Vol. 37. – P. 442–453.
8. Hogarth J.N., Seike N., Kobara Y., Habib A., Nam J.-J., Lee J.-S., Li Q., Liu X., Li J., Zhang G., Masunaga S. Passive air monitoring of PCBs and PCNs across East Asia: A comprehensive congener evaluation for source characterization. – *Chemosphere*, 2012, vol. 86, p. 718–726.
9. Ishiwatari R., Takamatsu N., Ishibashi I. Separation of autochthonous and allochthonous materials in lacustrine sediment by density differences // *Japan. J. Limnol.* – 1977. – v. 38. –P. 94-99.
10. Kurita N., Numaguti A., Sugimoto A., Ichiyanagi K., Yoshida N. Relationship between the variation of isotopic ratios and the source of summer precipitation in eastern Siberia // *Journal of Geophysical Research*, 2003, v. 108 (D11), 4339, doi:10.1029/2001JD001359.
11. Kuzmin M.I., Tarasova E.N., Mamontova E.A., Mamontov A.A., Kerber E.V. Seasonal and interannual variations of water chemistry in the headwater streams of the Angara River (Baikal) from 1950 to 2010 // *Geochemistry International*. - 2014. - Vol. 52, Is. 7, pp 523-532.
12. Labeyrie L.D. New approach to surface seawater palaeotemperatures using  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ratios in silica of diatom frustules // *Nature*, 1974, v. 248, p. 40–42.
13. Leng, M.J., Barker, P.A. A review of the oxygen isotope composition of lacustrine diatom silica for palaeoclimate reconstruction // *Earth-Science Reviews*, 2006, v. 75, p. 5–27.

14. Leng, M.J., Marshall, J.D. Palaeoclimate interpretation of stable isotope data from lake sediment archives // *Quaternary Science Reviews*, 2004, v. 23, p. 811–831.
15. Mann M.E., Zhang Zh., Rutherford S., Bradley R.S., Hughes M.K., Shindell D., Ammann C., Faluvegi g., Ni F. Global Signatures and Dynamical Origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly // *Science*, 2009. vol. 326, p. 1256-1260.
16. Peck J.A., King J.W., Colman S.M., Kravchinsky V.A. A rock-magnetic record from Lake Baikal Siberia: Evidence for Late Quaternary climate change // *Earth and Planetary Science Letters*, 1994, v. 122, p. 221-238.
17. Ramsey B. Bayesian analysis of radiocarbon dates. // *Radiocarbon*, 2009, 51(1), 337-360.
18. Svensson A., Andersen K.K., Bigler M., Clausen H.B., Dahl-Jensen D., Davies S.M., Johnsen S.J., Muscheler R., Parrenin F., Rasmussen S.O., Rothlisberger R., Seierstad I., Steffensen J.P., Vinther B.M. A 60 000 year Greenland stratigraphic ice core chronology // *Climate of the Past*. 2008. Vol. 4. P. 47-57.
19. Takebe M., Yamamoto K. Geochemical fractionation between porcellanite and host sediment // *The Journal of Geology*, 2003, v. 111, p. 301-312.
20. Tarasov P., Bezrukova E., Karabanov E., Nakagawa T., Wagner M., Kulagina N., Letunova P., Abzaeva A., Granoszewski W., Riedel F. Vegetation and climate dynamics during the Holocene and Eemian interglacials derived from Lake Baikal pollen records // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. - 2007. - Vol. 252. - P. 440-457.
21. Tarasov P., Bezrukova E., Krivonogov S. Late Glacial and Holocene changes in vegetation cover and climate in southern Siberia derived from a 15 kyr long pollen record from Lake Kotokel // *Climate of the Past*. 2009. Vol. 5. P. 285-295.
22. Tarasov P., Granoszewski W., Bezrukova E., Brewer S., Nita M., Abzaeva A, Oberhänsli H. Quantitative reconstruction of the last interglacial vegetation and climate based on the pollen record from Lake Baikal // *Climate Dynamics*. 2005. Vol. 25. N 6. P. 625-637.
23. Амосова А.А., Пантеева С.В., Татаринов В.В. Чубаров В.М., Финкельштейн А.Л. Рентгенофлуоресцентное определение основных породообразующих элементов из образцов массой 50 и 110 мг // *Аналитика и контроль*. – 2015. №2, сс. 130-138.
24. Васеева Г.Л., Колдышева Р.Я., Орлова Л.М. Распространение многолетней мерзлоты // *Атлас Забайкалья*. Иркутск: ГУГК, 1967. 73 с.
25. Вильямс Д.Ф., Лин Чин, Карабанов Е.Б., Гвоздков А.И. Геохимические индикаторы продуктивности и источники органического вещества поверхностных осадков оз. Байкал // *Геология и геофизика*. - 1993. - Т. 34. - С. 138-148.
26. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. – Изд. Моск. ун-та, 1998. – 279 с.
27. Жуков В. М. Климат Бурятской АССР. Улан-Удэ, Бурят.кн., 1960, 187 с.

28. Кожов М.М. Пресные воды Восточной Сибири // Иркутск: Ирк. обл. гос. изд-т., 1950, 368с.
29. Мамонтова Е.А., Тарасова Е.Н., Мамонтов А.А., Кузьмин М.И., Борисов Б.З., Бульбан А.П., Юрченко С.Г., Лепская Е.В., Левшина С.И., Трегубов О.Д. Стойкие органические загрязнители в атмосферном воздухе некоторых территорий Сибири и Дальнего Востока России // География и природные ресурсы. – 2012. - № 4. – С. 40-47.
30. Пешкова Г.А. Растительность Сибири (Предбайкалье и Забайкалье). Новосибирск: Наука, 1985. 144 с.
31. Пономарева В.В. О методах выделения и химической природе фульвокислот // Почвоведение. – 1947. – № 12. – С. 10-18.
32. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Некоторые данные о степени внутримолекулярной окисляемости гумуса разных типов почв (к вопросу о переводном коэффициенте с углерода на гумус) // Почвоведение. 1967. № 7. С. 85–95.
33. Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. 2013. Вып. 42. – 64 с.
34. Тарасова Е.Н. Компоненты трофического статуса в водах озер: Байкал, Хубсугул и Телецкое // Сибирский экологический журнал. – 1998. - № 5. - С. 383-390.
35. Тарасова Е.Н., Безрукова Е.В., Мамонтова Е.А., Мамонтов А.А., Кузьмин М.И. Элементный состав органического вещества торфа как показатель трофического состояния болотных экосистем юга Байкальского региона // ДАН. - 2016. - Т. 470. - № 1. - С. 91-94.
36. Шарова О.Г., Летунова П.П., Безрукова Е.В., Щетников А.А., Левина О.В., Иванов Е.В. Природные условия развития болотных экосистем Танхойской равнины в голоцене // Вопросы естествознания. – 2015. – № 3(7). – С. 73-75
37. Ярмолюк В.В., Никифоров А.В., Иванов В.Г. Строение. Состав, источники и механизм долинных извержений лавовых потоков Жом-Болок (голоцен, Южно-байкальская вулканическая область) // Вулканология и сейсмология. – 2003. - № 5. – с. 41-59.



## ПРИЛОЖЕНИЕ

Перечень статей, опубликованных по тематике проекта в соответствии с государственным заданием

индикатор	Ед. измерения	Всего за 2013-2016 гг.	2013	2014	2015	2016
Количество публикаций в ведущих российских и международных журналах по результатам исследований, полученных в процессе реализации проекта	единиц	<b>43</b>	<b>8</b>	<b>15</b>	<b>9</b>	<b>9</b>
Количество публикаций в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (WEB of Science)	единиц	<b>38</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Число тезисов в конференциях	единиц	<b>26</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
Число охраняемых объектов интеллектуальной собственности: зарегистрированных патентов в России зарегистрированных патентов за рубежом	единиц единиц					

### Публикации за 2016 г.

1. Кострова С.С., Майер Х., Тарасов П.Е., Безрукова Е.В., Чаплыгин Б., Косслер А., Павлова Л.А., Кузьмин М.И. Изотопный состав кислорода створок диатомовых водорослей из донных отложений озера Котокель (Бурятия) // Геология и геофизика, 2016, т. 57, № 8, с. 1571–1580.
2. Мамонтова Е.А., Мамонтов А.А., Тарасова Е.Н. Полихлорированные бифенилы и хлорорганические пестициды в донных отложениях Иркутского водохранилища // Водные ресурсы. – 2016. – Т. 42. – № 2. – С. 196-201.
3. Мамонтова Е.А., Тарасова Е.Н., Мамонтов А.А., Кузьмин М.И. Влияние дальнего атмосферного переноса хлорорганических соединений в исследовании почв от Монголии до Арктики // ДАН. – 2016. - том 466, № 5. – С. 583–586
4. Мамонтова Е.А., Мамонтов А.А., Тарасова Е.Н. Эколого-гигиеническая оценка последствий загрязнения стойкими органическими соединениями промышленного города (на примере г. Усолье-Сибирское). Сообщение 1: атмосферный воздух, снег, почва // Экологическая химия. – 2016. – Т. 25, № 2. – С. 100-110.
5. Тарасова Е.Н., Безрукова Е.В., Мамонтова Е.А., Мамонтов А.А., Кузьмин М.И. Элементный состав органического вещества торфа как показатель трофического состояния болотных экосистем юга Байкальского региона // ДАН. – 2016. – Т. 470. – № 1. – С. 91-94
6. Щетников А.А., Безрукова Е.В., Филинов И.А., Иванов Е.В., Кербер Е.В. Озерны морфолитогенез в долине вулканов // География и природные ресурсы, 2016, №3, с. 37-48.
7. Безрукова Е.В., Щетников А.А., Кузьмин М.И., Шарова О.Г., Кулагина Н.В., Летунова П.П., Иванов Е.В., Крайнов М.А., Кербер Е.В., Филинов И.А., Левина О.В. Первые данные об изменении природной среды и климата Жомболокского вулканического района (Восточный Саян) в среднем–позднем голоцене // Доклады Академии наук, 2016, том 468, № 3, с. 323–327.
8. Shchetnikov A.A., Bezrukova E.V., Maksimov F.E., Kuznetsov V.Yu., Filinov I.A. Environmental and climate reconstructions of the Fore-Baikal area during MIS 5-1: Proxies from sediments of the Ust-Oda section (Siberia, Russia) // Journal of Asian Earth Sciences (2016), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes>.
9. Pashkova G.V., Aisueva T.S., Finkelshtein A.L., Ivanov E.V., Shchetnikov A.A. Analytical approaches for determination of bromine in sediment core samples by X-ray fluorescence spectrometry // Talanta 160 (2016) 375–380