

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

чл.-корр. РАН

_____ В.С.Шацкий

« ____ » _____ 2014 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

Динамика природной среды и климата плейстоцена и голоцена Южной Сибири и Монголии на основе изучения осадочных бассейнов озер и болотных систем с применением биостратиграфических, геохимических, радиофизических методов для установления ее хронологии и причин

№ 0350-2014-0003

(промежуточный)

Научный руководитель темы

_____ академик РАН М.И. Кузьмин

подпись, дата

Иркутск 2014

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель темы, академик
РАН

М.И. Кузьмин

подпись, дата

Ответственные исполнители темы:

д-р географических наук

Е.В. Безрукова_(раздел 1)

подпись, дата

кандидат химических наук

Е.Н. Тарасова_(раздел 2)

подпись, дата

кандидат химических наук

Г.В. Калмычков (раздел 3)

подпись, дата

УДК 550.4:552.571.58

Реферат

Отчет включает 21 стр., 12 илл., 10 ист.

Ключевые слова: природная среда и климат плейстоцена и голоцена, Южная Сибирь и Монголия, осадочные бассейны, геохимические маркеры, изотопная геохимия, биогеохимические циклы.

Основные цели исследования: реконструкция природно-климатических условий Южной Сибири в неоплейстоцене и голоцене, выявление закономерностей и особенностей природной среды и климата Сибири в это время; определение возраста рубежей региональных природно-климатических событий и их корреляция с последовательностью датированных событий в стратотипических разрезах Северного полушария; выявление места региональных палеособытий природной среды в их глобальной системе; установление закономерностей распределения макро- и микроэлементного состава для выявления геохимических палеомаркеров ледниковий/межледниковий и оценки потенциальных источников сноса вещества редких элементов в отложениях различного возраста; выяснение возможных причин и механизмов изменения регионального климата и ландшафтов.

Выяснено, что распределение повышенных концентраций пестицидов в отложениях водохранилища соответствует местам расположения пахотных земель на берегах р. Ангары до заполнения водохранилища. Результаты важны для рационального использования ресурсов водохранилищ, а также для проведения генетической типизации углеводородных газов.

Результаты геохимического анализа изотопного состава кислорода створок диатомовых водорослей из донных отложений озера Котокель показали, что в последнее оледенение 25-11.5 тыс. л.н. в условиях холодного и сухого климата оз. Котокель представляло собой закрытую систему с существенным испарением. Выяснена высокая изменчивость климата и природной среды региона в последнем ледниковом периоде, установлены ее причины - изменение глобальных температур воздуха Северного полушария. Впервые выявлена динамика климата и ландшафтов на Жом-Болокском вулканическом плато в условиях естественного процесса и позднеголоценовой активности вулканов. Результаты новые и имеют высокое региональное значение для прогнозирования изменения озерных экосистем – источников водных, пищевых и бальнеологических ресурсов.

Содержание

Введение	5
Раздел 1 Реконструкция пространственно-временной изменчивости ландшафтов и климата Южной Сибири в позднем плейстоцене и голоцене	6
Раздел 2 Биогеохимическая характеристика макро- и микрокомпонентов органического вещества (ОВ) в водных экосистемах в связи с глобальным изменением климата	13
Раздел 3 Процессы генерации метана в континентальных озерах Центральной Азии	16
Основные результаты проведённого исследования	18
Список публикаций по теме	19
Список использованных источников	21

Введение

Исследования, направленные на изучение динамики природной среды и климата, стали чрезвычайно актуальными в последние три десятилетия (напр., Рамочная конвенция ООН об изменении климата, текст 1994; Программа ООН по окружающей среде ЮНЕП и десятки других международных и отечественных программ). Во всех этих документах признается, что изменения природной среды планеты может вызвать неблагоприятные последствия и должно стать предметом общей озабоченности человечества. Эта тревога обусловлена широким распространением противоречивых катастрофических прогнозов - от предстоящего глобального потепления климата до наступления нового ледникового периода. Для создания надежной основы понимания сути происходящих глобальных изменений, прогнозных сценариев природной среды и климата требуется огромная сумма знаний о динамике природной среды регионов, особенностей их отклика на глобальные изменения. С этой позиции предлагаемые исследования имеют высокую степень актуальности.

Раздел 1 Реконструкция пространственно-временной изменчивости ландшафтов и климата Южной Сибири в позднем плейстоцене и голоцене

1.1 В 2014 году были завершены палеомагнитные исследования осадков из скв. BDP-99. Получена запись безгистерезесной осадочной намагниченности (ARM) по всей длине керна (рисунок. 1).

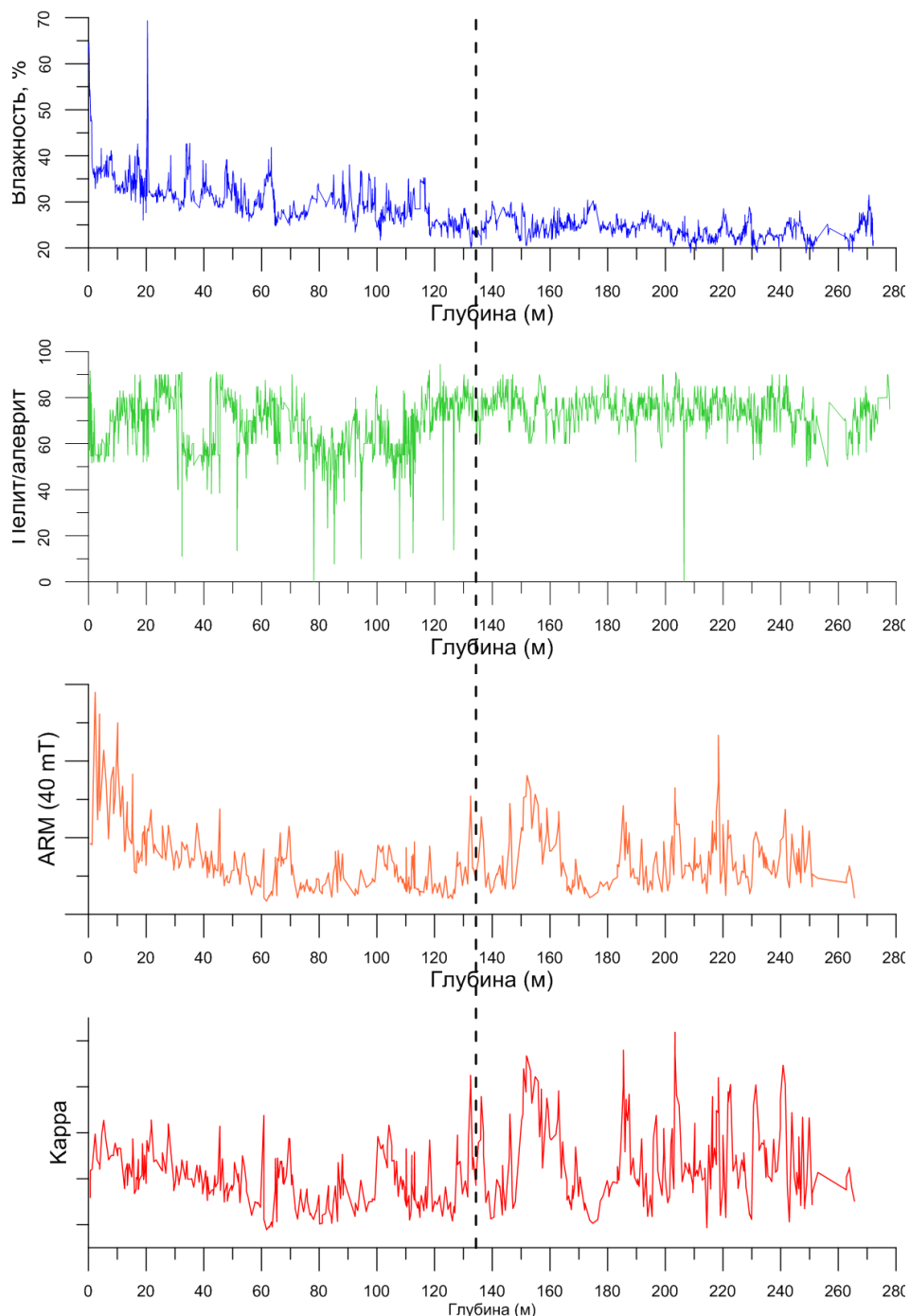


Рисунок 1. Изменение размерности зерен, влажности, ARM (идеальной намагниченности) и магнитной восприимчивости (Карра) в осадках скв. BDP-99. Пунктирной линией показана граница несогласия.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

1. В верхних 20 метрах скважины BDP-99 у значений ARM наблюдается нисходящий тренд, отсутствующий у магнитной восприимчивости. Далее, по направлению к основанию изученной толщи, изменение этих величин происходит в целом синхронно. Результаты пока не получили объяснений и требуют дальнейших исследований.

2. В период высоких скоростей аккумуляции отложений (ниже границы несогласия, расположенной на глубине 133 м) максимальные значения ARM и магнитной восприимчивости увеличиваются в два раза. Возможно, что причиной является повышенный объем сноса материала р. Селенга.

3. Результаты частотного анализа ARM в сравнении со спектром магнитной восприимчивости (рисунок 2) показали, что идеальная намагниченность озерных отложений является перспективным маркером вариаций условий осадконакопления, в том числе палеоклимата.

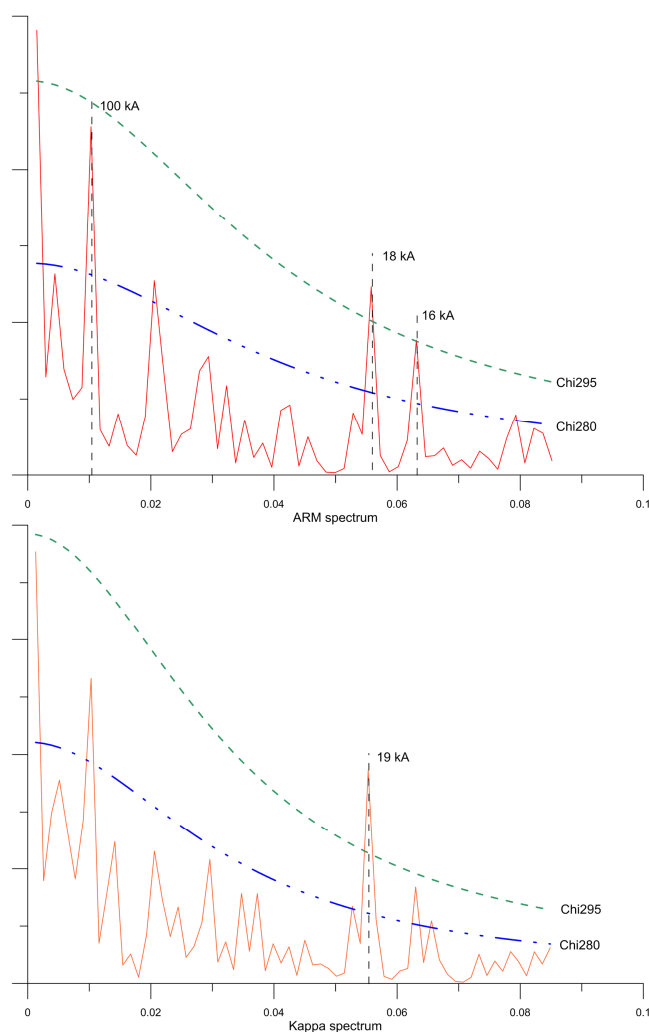


Рисунок 2. Частотный анализ идеальной намагниченности и магнитной восприимчивости осадков скв. BDP-99.

1.2 Получены новые результаты исследования макро- и микроэлементного состава в осадках скв. ВDP-98, вскрывшей разрез мощностью 600 метров на подводном Академическом хребте. Детально исследован интервал керна, формировавшийся с финала плиоцена до середины позднего плейстоцена (4 млн-30 тыс лет). Этот возрастной интервал характеризовался активизацией орогенических процессов, которые проявились синхронно с эпохой первого плиоценового оледенения в Северном полушарии (2.8-2.5 млн л.н.).

Задача исследований заключалась в выяснении соотношения петрохимических компонентов в переходные интервалы от межледниковых условий к ледниковым. Для оценки химического выветривания использованы индикатор химического выветривания CIA – $(Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O)) \times 100$, а также кальциевый модуль (CaO/Al_2O_3) и нормативная щелочность $((K_2O+Na_2O)/Al_2O_3)$. Для оценки влияния физического разрушения горных пород и размерности отложенных частиц использовались алюмокремниевый модуль (Al_2O_3/SiO_2) и индикатор Zr/Al. В поведении CIA выделяются 3 интервала. Значения от 78 наблюдаются на интервале от 4 до 3 млн лет, затем равномерно падают до 70.6 в интервале 3-1.8 млн лет, и в верхней части скважины остаются неизменными 70.6 вплоть до позднего плейстоцена (рисунок 3).

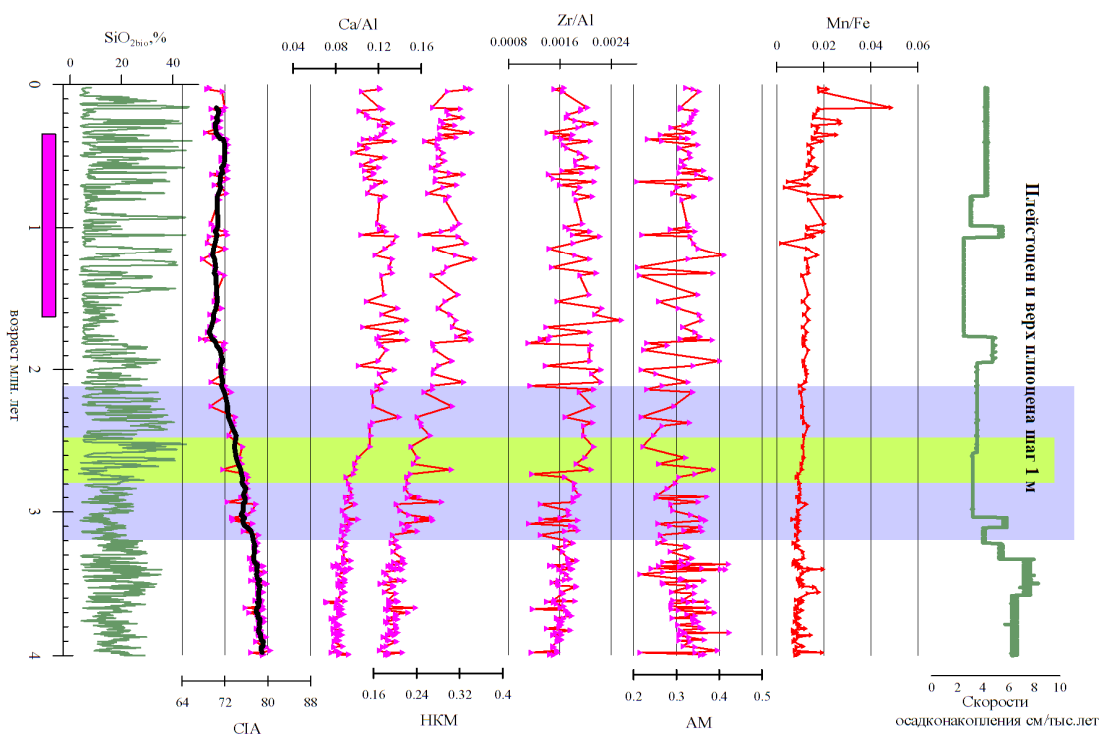


Рисунок 3. Значения петрохимических модулей в донных отложениях оз. Байкал в позднем плиоцене-плейстоцене и распределение биогенного кремнезема SiO_2_{bio} . Горизонтальный прямоугольник лилового цвета соответствует интервалу перехода природно-климатической системы Байкальского региона от длительного межледникового состояния с господством 41-тысячелетнего орбитального климатического цикла к эпохе чередования ледниково-межледниковых периодов с доминирующим 100-тысячелетним климатическим циклом. Горизонтальный прямоугольник желтого цвета соответствует интервалу перехода от плиоценового периода к плейстоценовому (2.8-2.5 млн л.н.).

Значения индекса химического выветривания (CIA) демонстрируют четкие различия в изменении интенсивности привноса тонкого глинистого материала в разные климатические периоды. В межледниковые периоды тренд химического выветривания снижается, в ледниковые – повышается. Аналогично ведут себя отношения Ca/Al и нормативной щелочности. Значимую корреляцию с модулем CIA показывают отношения Al/SiO₂ и индикатор Zr/Al, отражая относительную интенсивность процесса физического разрушения горных пород. В холодные периоды доля глинистого материала в осадках значительно возрастает, в то время, как в теплые периоды снижается, сменяясь более крупнозернистым материалом. Однако в переходный период от плиоцена к плейстоцену 2.8-2.5 млн лет происходит медленная «раскачка» тренда и лишь около 2.6 млн лет модуль согласуется с индексом химического выветривания.

1.3 Впервые для оценки потенциальных источников сноса вещества в озере Байкал использованы изотопные характеристики Sr и Nd. В результате выявлено генетическое родство донных отложений Академического хребта с метамагматическими породами Ангинской и Таланчанской толщ восточного берега центральной котловины оз. Байкал (рисунок 4). В свою очередь, весь комплекс осадочных пород водоема демонстрирует близость изотопных составов Sr и Nd к продуктам выветривания пустыни Гоби, что может свидетельствовать о влиянии эоловых компонентов Забайкалья и

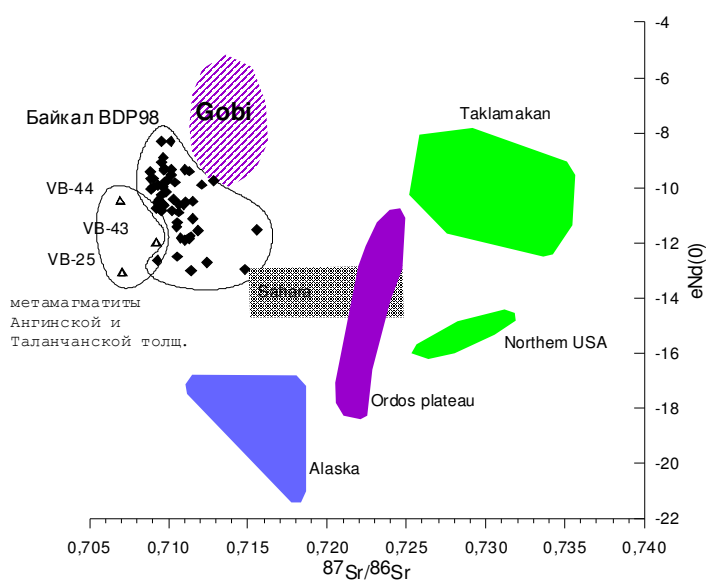


Рисунок 4. Sr/Nd систематика продуктов выветривания (эоловых частиц и аэрозолей) различных обстановок Северного полушария применительно к донным отложениям и породам обрамления оз. Байкал (синтез литературных данных).

Монголии на формирование осадочной толщи оз. Байкал, подтверждая возможность расчета средних составов (кларков) по донным отложениям оз. Байкал применительно к обширной территории Прибайкалья, Забайкалья и Монголии.

1.4 Выполнено комплексное изучение разногенетических отложений из высокогорных экосистем Восточного Саяна и Северо-Байкальского нагорья. Цель исследований – проведение реконструкции изменений природной среды, климата и растительности в долине верхнего течения р. Сенца (Восточный Саян), определение хронологической последовательности природных событий в позднем голоцене.

Проведен анализ содержания микрофоссилий (пыльцевых и непыльцевых палиноморф) в разрезе торфяных отложений из долины р. Сенца. Долина р. Сенца является соседней с долиной р. Жом-Болок, а последнюю заполняет уникальная лавовая река, образовавшаяся в голоцене в процессе многофазовых извержений локальных вулканов. Возраст отложений определен методом радиоуглеродного анализа в ИГМ СО РАН.

Результаты исследований показали следующее (рисунок 5):

- а) торфяник в долине р. Сенца начал формироваться около 4.7 тысяч лет назад;
- б) на протяжении 4.7 тысяч лет региональные и локальные ландшафты, растительность и климат в долине р. Сенца испытывали значительные перестройки;
- в) 4.7-2.0 тыс л.н. (61-45 см) здесь преобладали северо-таежные ландшафты с господством кедрово-еловых лесов с примесью пихты и лиственницы (это подтверждается и постоянным присутствием стомат), климат мог быть умеренно-прохладным и влажным;
- г) 2.0-0.8 тыс л.н. (45-31см) лесная растительность отступила от болотного массива, о чем свидетельствует почти полное отсутствие стомат, резкое снижение пыльцы ели, пихты. Возможной причиной отступления могло быть повышение уровня воды в болоте, что подтверждается максимальным развитием шейхцерии болотной *Scheuchzeria palustris*. Вероятно, региональный климат тоже менялся в сторону существенного снижения атмосферных осадков и усиления континентальности, активизации мерзлоты;
- д) максимальный пик концентрации микрочастиц углей около 800-700 л.н. вряд ли обусловлен неким событием усиления аридности, поскольку пыльцевые спектры не содержат явных свидетельств таковой. Зато этот максимум находится в соответствии с проявлением датированного извержения вулканов в долине р. Жом-Болок [Ivanov et al., 2011], рядом с которой и располагается торфяник в долине р. Сенца. Затухание активности пожарных явлений позже 800 лет позволило древесной растительности вновь расселиться

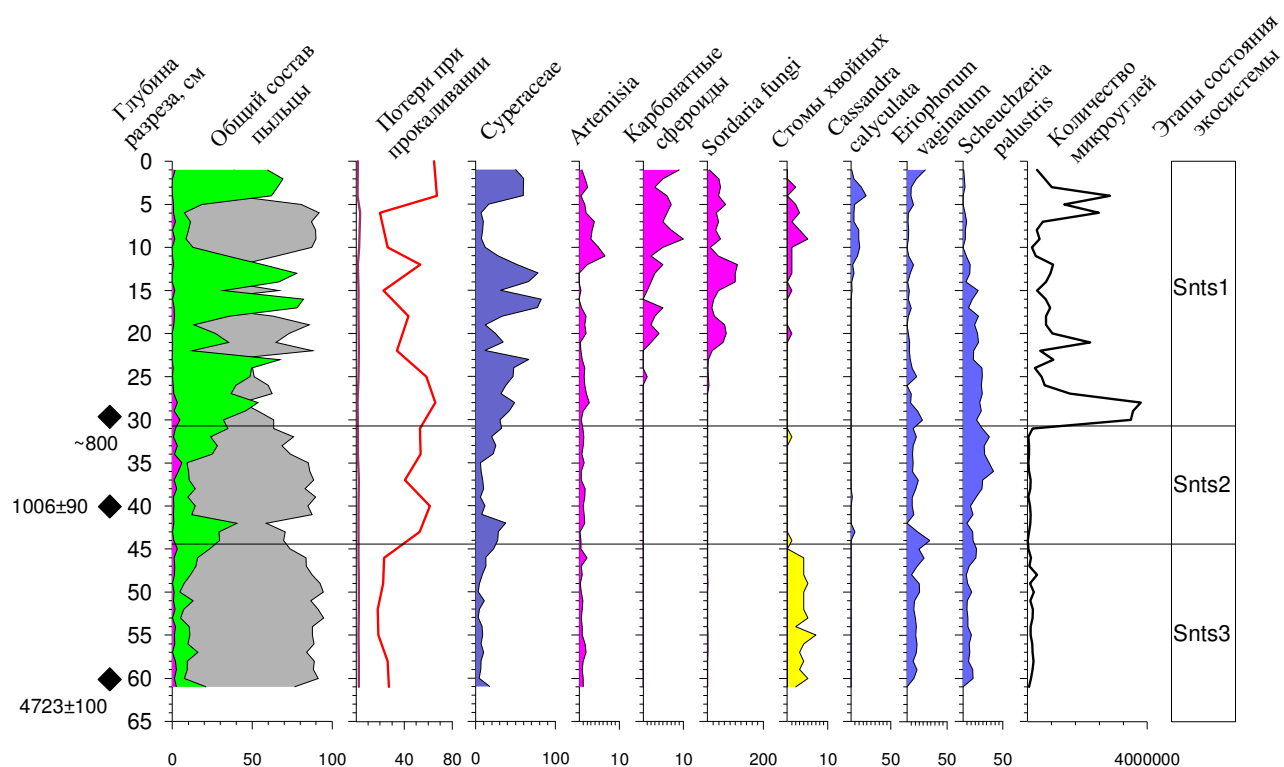


Рисунок 5. Обобщающий график изменения экосистемы долины р. Сенца в позднем голоцене. В шкале Общий состав серый цвет – пыльца древесных, зеленый – кустарников, малиновый – трав. Ярро-розовым цветом выделены индикаторы антропогенной деятельности.

вблизи торфяника. Однако 450 л.н. (22-20 см) древесная растительность снова уступает место травянистой, но уже, скорее всего, из-за деятельности человека. Об этом свидетельствуют находки спор грибов рода *Sordaria*, индицирующих появление крупных травоядных животных, скорее всего, домашних. Пики микрочастиц углей могли быть обусловлены и пожарами из-за вулканической деятельности. Запланированные нами геохимические исследования отложений обеспечат более глубокое понимание причин резких и быстрых смен локальных ландшафтов. Представленные результаты реконструкции смен природно-антропогенных ландшафтов являются первыми для этого уникального лавового плато.

1.5 Проведены подготовительные работы для исследования донных отложений озер Арахлей, Баунт, торфяника Выдриное и отложений пещеры Кан-и-Гут методом рентгенофлуоресцентного анализа с применением синхротронного излучения (РФА СИ). Подготовлено 480 проб. В ЦКП Сибирский Центр Синхротронного и Терагерцового излучения (СЦСТИ) получены РФА СИ-спектры образцов донных, торфяных и пещерных отложений. В качестве примера, иллюстрирующего полученные результаты, приведены графики распределения Ca, Br и Sr (рисунок 6) по глубине керна донных отложений оз.

Арахлей (керна ВАІ 3-В).

Известно, что Ca, Br, Sr, а также некоторые их соотношения могут являться геохимическими индикаторами изменений условий осадконакопления. Изменения содержания Br в донных осадках оз. Арахлей могут быть связаны с органическим веществом и отражать колебания продуктивности в бассейне озера. Содержание Ca, возможно, отражает изменение интенсивности минерализации в озере. Распределение Sr и его соотношений в донных осадках может быть применено для оценки изменения аридности климата.

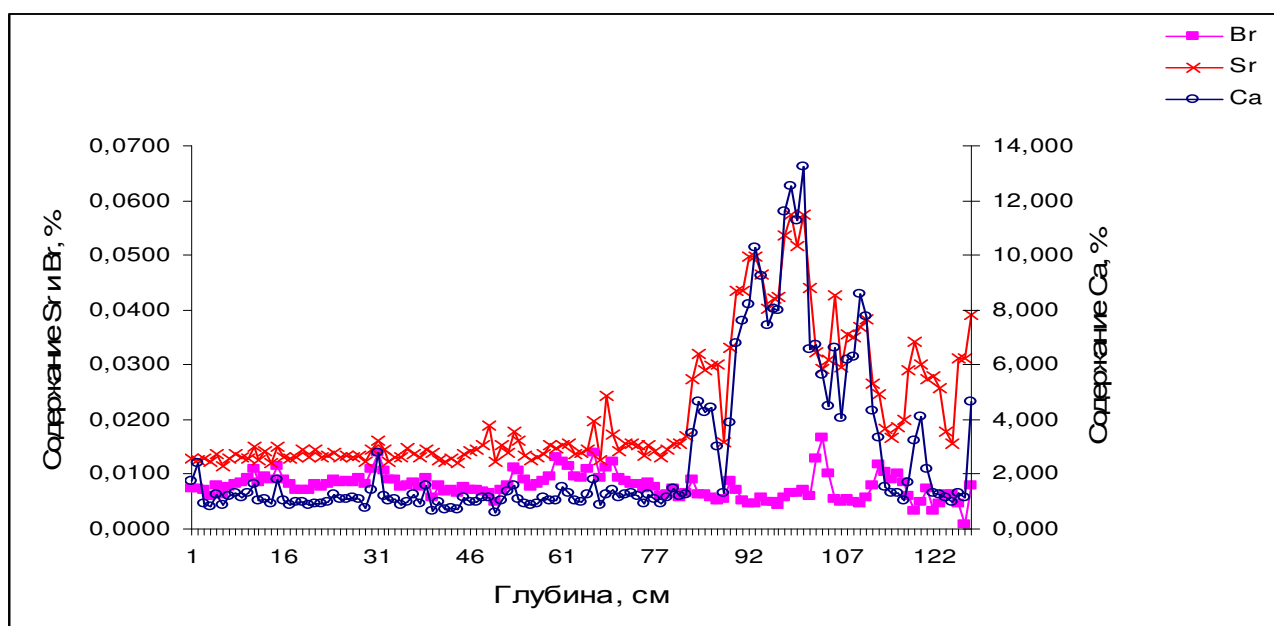


Рисунок 6. Распределение Ca, Sr, Br в донных отложениях озера Арахлей.

1.6 Совместно с коллегами из Германии (Свободный университет, Берлин) **выполнен анализ пыльцевых и непыльцевых палиноморф для отложений оз. Котокель, сформированных в последний ледниковый период 26.5-19 тыс л.н. с уникальным для Байкальского региона временным шагом в 40 лет. Определено содержание органического и неорганического углерода в этих отложениях. Получена первая для региона непрерывная детальная картина динамики растительности, ландшафтов, климата последнего оледенения.**

Раздел 2 Биогеохимическая характеристика макро- и микрокомпонентов органического вещества (ОВ) в водных экосистемах в связи с глобальным изменением климата

Проведены исследования количественного содержания макро- (С, N, P, хлорофилл-а) и микрокомпонентов органического вещества (хлорорганических пестицидов (ГХЦГ, ДДТ и ГХБ) и 34 конгенов полихлорированных бифенилов) в донных отложениях (ДО) Иркутского водохранилища (ИВ). Пробы поверхностных донных отложений отобраны на 9 станциях открытой части и в заливах ИВ (рисунок 7). Для определения факторов, влияющих на формирование органического вещества донных отложений (ОВДО), взяты пробы воды на тех же станциях в истоке р. Ангара, в притоках водохранилища и проведена съемка снежного покрова (рисунок 7).

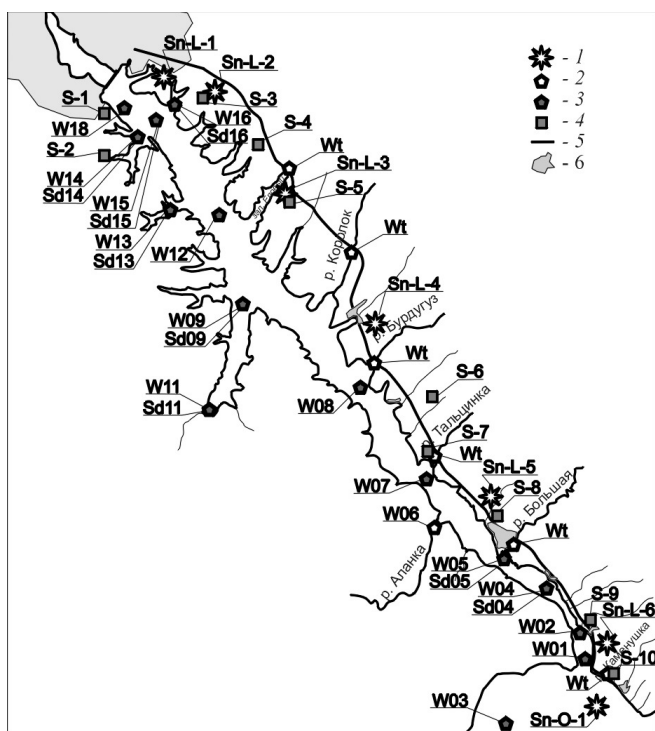


Рисунок 7. Схема отбора проб воды в ИВ (1 – точки отбора проб снежного покрова (Sn); 2 – точки отбора проб воды в притоках водохранилища (Wt); 3 – точки отбора проб воды (W) и донных отложений (Sd); 4 – точки отбора проб почв (S); 5 – автомобильная дорога; 6 – населенный пункт) (Sd04 – напротив пос. Ангарские хутора, Sd05 – напротив пос. Б. Речка, Sd09 – створ Курминского зал., Sd11 – у р. Курма, Sd13 – зал. Мельничная Падь, Sd14 – Ершовский зал., Sd15 – середина разреза Ершовский зал. – пос. Молодежный, Sd16 – напротив пос. Молодежный, Sd18 – верхний бьеф плотины Иркутской ГЭС; 2 – автомобильная дорога; 3 – населенный пункт; 4 – границы участков Иркутского водохранилища: I – верхний, II – средний, III – приплотинный).

Выяснено, что содержание $C_{орг}$ в ДО неоднородно: минимально у плотины (Sd18) (1.19%), максимально – в заливе у пос. Б. Речка (Sd05) (2.36%) и в створе Курминского залива (Sd09) (3.78%) (рисунок 8). Количество хлорофилла-а изменяется от 0.501% в Курминском зал. (Sd09) до 1.518 в заливе у пос. Б.Речка (Sd05) и 1.475% у пос. Молодежный (Sd16). Размах колебаний $N_{общ}$ составил 0.0606-0.7298%, $P_{общ}$ – 0.0078-0.0918%. Относительное содержание N в органическом веществе соответствует количеству азота в фульвокислотах. Только в Мельничной пади, Ершовском заливе и в пади Топка найдено повышенное содержание $N_{общ}$ в ОВ (9,8; 17,23 и 24,17%). Различно содержание $P_{общ}$ в ОВ

донных отложений (0,24–1,31%). Выяснено, что доминирующая роль качественного состава ОВ в Иркутском водохранилище принадлежит автохтонному источнику – поступлению органического вещества с водами Байкала (рисунок 9).

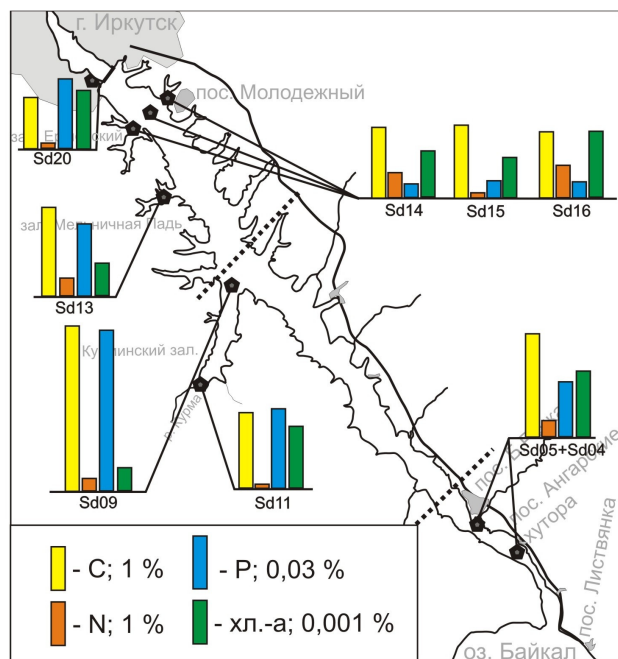


Рисунок 8. Распределение С, N, P и хлорофилла-а в поверхностных донных отложениях Иркутского водохранилища.

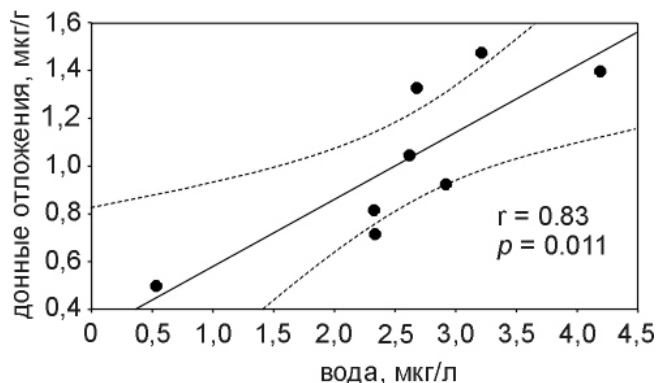


Рисунок 9. Взаимосвязь распределения хлорофилла-а в воде и донных отложениях Иркутского водохранилища.

Гексахлорбензол (ГХБ), *pp'*-ДДЭ и ПХБ найдены во всех исследованных пробах ДО. α -ГХЦГ и ДДД были обнаружены в единичных пробах, *op'*-ДДЭ – в пяти, γ -ГХЦГ – в четырех пробах исследованных ДО. *pp'*-ДДТ не найден (рисунок 10). По уровню содержания СОЗ ДО различные участки ИВ относятся к чистым, слабо и умеренно загрязненным (класс 0, I и II). Уровни содержания пестицидов и ПХБ в ДО в верхней части ИВ сравнимы и ниже, а в средней и приплотинной частях – сопоставимы с наибольшими и выше, чем в ДО южного и среднего Байкала.

Пространственное распределение повышенных концентраций пестицидов в ДО водохранилища (рисунок 11) соответствует местам расположения пахотных земель на берегах р. Ангары до заполнения водохранилища [Атутова, 2013]. Взаимосвязь источников поступления пестицидов с богатыми органическим веществом почвами – пашнями, подтверждается сильной корреляционной связью ГХБ и $C_{орг}$ ($r=0.79$, $p=0.035$), а также результатами факторного анализа.

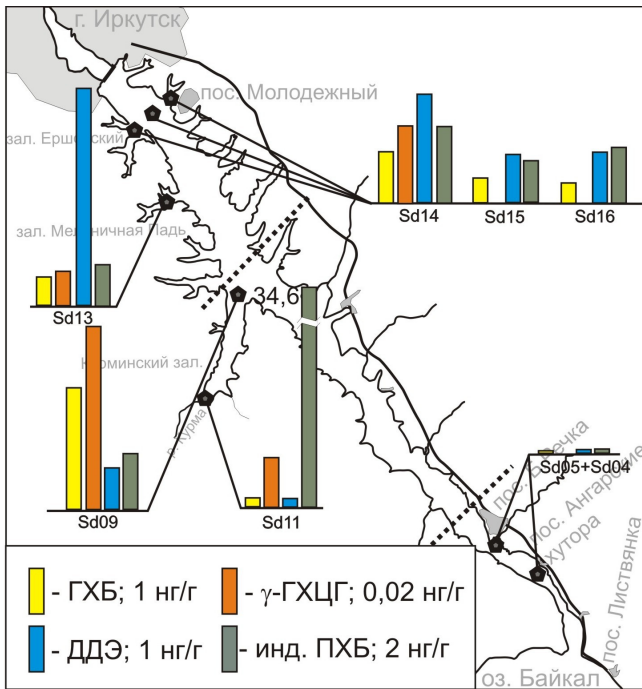


Рисунок 10. Распределение СОЗ в поверхностных донных отложениях Иркутского водохранилища.

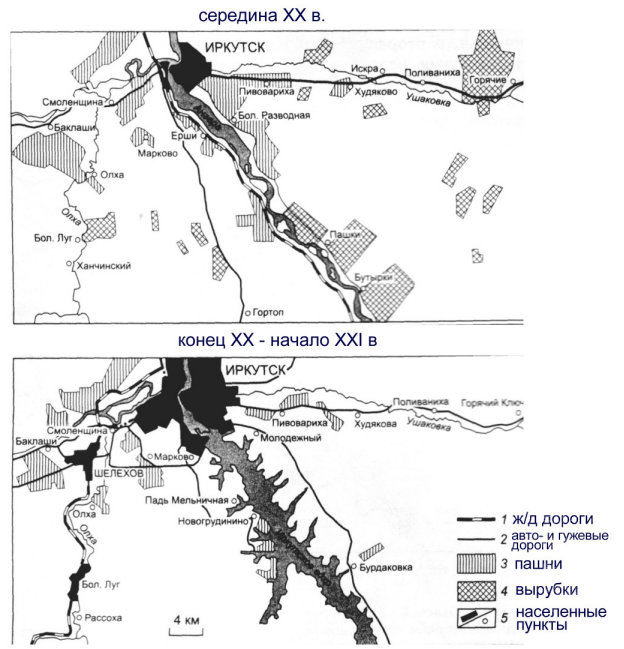


Рисунок 11. Использование земель до и после заполнения Иркутского водохранилища [Атутова, 2013].

Раздел 3 Процессы генерации метана в континентальных озерах Центральной Азии

3.1 Получены пробы газа из донных отложений центральной котловины оз. Байкал и изучен компонентный состав углеводородных газов, распределение метана по осадочному разрезу. В настоящее время проводится **изучение изотопных характеристик метана**.

Проведено опробование газа и получены данные по изотопным характеристикам метана в ряде терм Баргузинской котловины (Умхей, Гарга, Сеюя, Кучегер, Гусиха). Установлено, что основным компонентом газа во всех исследованных источниках является азот, а содержание метана составляет 0.15–0.19 об.%. $\delta^{13}\text{C-CH}_4$ от -38.1‰ до +1.2‰, а $\delta\text{D-CH}_4$ от -254.7‰ до +12.5‰. В некоторых термах метан сильно обогащен изотопом ^{13}C и дейтерием. Изотопные характеристики метана в исследуемых источниках, скорее всего, обусловлены процессами бактериального окисления [см. напр. Coleman et.al., 1981]. Данный вывод хорошо согласуется с имеющимися результатами [Цыренжапова и др., 2007; Зеленкина и др., 2009], где показано, что в источниках Баргузинской котловины действительно протекают процессы бактериального окисления метана. Установлено, что значения $\delta^{13}\text{C-CH}_4$ и $\delta\text{D-CH}_4$ обратно пропорциональны величине температуры воды в источнике, подтверждая факт менее интенсивного протекания окисления метана при высоких температурах.

3.2 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. Общий тренд изменения значений $\delta^{18}\text{O}_{\text{створок}}$ следует тренду летней солнечной инсоляции в средних широтах северного полушария, свидетельствуя о положительной реакции изотопного состава створок на крупномасштабные климатические изменения (рисунок 12). Зарегистрированные высокие значения $\delta^{18}\text{O}_{\text{створок}}$ свидетельствуют о том, что ~24.6-11.5 тыс л.н. в условиях холодного и сухого климата оз. Котокель представляло собой закрытую систему, его вода подвергалась существенному испарению. Полученная изотопно-кислородная запись отражает высокую изменчивость климата и природной среды региона в последнем ледниковом периоде, обусловленную глобальным изменением температуры северного полушария и региональной перестройкой атмосферной циркуляции.

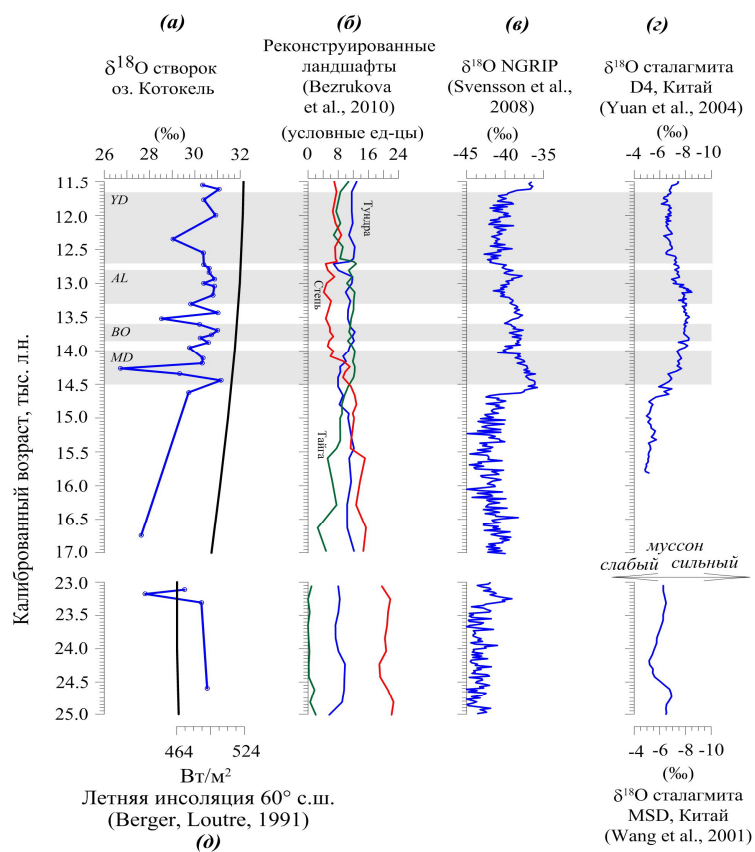


Рисунок 12. Суммарная диаграмма, демонстрирующая (а) изотопный состав кислорода створок диатомовых водорослей из донных отложений оз. Котокель (синяя линия) и значения летней инсоляции (60° с.ш.; Berger, Loutre, 1991, серая линия); (б) реконструированные по палинологическим данным ландшафты [Tarasov et al., 2009]; (в) изотопный состав кислорода из Гренландских ледовых кернов, как индикатор температуры воздуха в северном полушарии [Svensson et al., 2008]; (г) изотопный состав кислорода в сталагмитах D4 и MSD из пещер Китая - индикатор активности муссона [Wang et al., 2001; Yuan et al., 2004].

Основные результаты проведённого исследования

Проведены исследования количественного содержания макро- и микро-компонентов органического вещества (хлорорганических пестицидов) в донных отложениях Иркутского водохранилища, а также изотопные исследования метана в термах Баргузинской котловины. Выяснено, что распределение повышенных концентраций пестицидов в отложениях водохранилища соответствует местам расположения пахотных земель на берегах р. Ангары до заполнения водохранилища. Результаты важны для рационального использования ресурсов водохранилищ, а также для проведения генетической типизации углеводородных газов.

Результаты геохимического анализа изотопного состава кислорода створок диатомовых водорослей из донных отложений озера Котокель показали, что в последнее оледенение 25–11.5 тыс. л.н. в условиях холодного и сухого климата оз. Котокель представляло собой закрытую систему с существенным испарением. Выяснена высокая изменчивость климата и природной среды региона в последнем ледниковом периоде, установлены ее причины - изменение глобальных температур воздуха Северного полушария. Впервые выявлена динамика климата и ландшафтов на Жом-Болокском вулканическом плато в условиях естественного процесса и позднеголоценовой активности вулканов. Результаты новые и имеют высокое региональное значение для прогнозирования изменения озерных экосистем – источников водных, пищевых и бальнеологических ресурсов.

Список публикаций по теме

1. Kleinen Th., Hildebrandt S., Prange M., Rachmayani R., Müller S., Bezrukova E., Brovkin V., Tarasov P.E. The climate and vegetation of Marine Isotope Stage 11e - Model results and proxy-based reconstructions at global and regional scale // *Quaternary International*, 2014, v. 348, p. 247-265.
2. Kostrova S.S., Meyer H., Chapligin B., Tarasov P.E., Bezrukova E.V. The last glacial maximum and late glacial environmental and climate dynamics in the Baikal region inferred from an oxygen isotope record of lacustrine diatom silica // *Quaternary International*, 2014. V. 348. P. 25–36.
3. Müller S., Tarasov P.E., Hoelzmann Ph., Bezrukova E.V., Kossler A., Krivonogov S.K. Stable vegetation and environmental conditions during the Last Glacial Maximum: New results from Lake Kotokel (Lake Baikal region, southern Siberia, Russia) // *Quaternary International*, 2014, v. 348, p. 14-24.
4. Prokopenko A.A., Khursevich G.K. Planktonic diatom flora of large rift lakes in continental Asia during the past 1 Ma: comparison of biostratigraphic records from Lake Baikal and Lake Hovsgol // *Nova Hedwigia*, 2014, S. 143, P. 33-52.
5. Павлова Л.А., Ткаченко Л.Л., Горегляд А.В., Кузьмин М.И. Особенности изучения элементного состава (неорганических компонентов) створок диатомовых водорослей методом РСМА // *Методы и объекты химического анализа (Украина)*, 2014, Т.9, № 2, С. 65-72.
6. Акулов Н.И., Павлова Л.А., Антипин Е.В. Геохимические особенности микрометеоритов в донных отложениях озера Байкал // *Доклады Академии наук*, 2014, Т. 454, № 6, С.695-701.
7. Безрукова Е.В., Белов А.В., Летунова П.П., Кулагина Н.В. Отклик природной среды Ангаро-Ленского плато на глобальные изменения климата в голоцене // *Геология и геофизика*, 2014, № 4, С. 594-604.
8. Кузьмин М.И., Бычинский В.А., Кербер Е.В., Ощепкова А.В., Горегляд А.В., Иванов Е.В. Химический состав осадков глубоководных байкальских скважин как основа реконструкции изменений климата и окружающей среды // *Геология и геофизика*, 2014, № 1, С. 3-22.

9. Кузьмин М.И., Тарасова Е.Н., Мамонтова Е.А., Мамонтов А.А., Кербер Е.В. Особенности сезонной и межгодовой изменчивости химического состава истока реки Ангары (Байкал) с 1950 по 2010 гг. // *Геохимия*, 2014, № 7, С. 579-589.
10. Мамонтова Е.А., Тарасова Е.Н., Левшина С.И., Юрченко С.Г., Мамонтов А.А. Полихлорированные бифенилы и хлорорганические пестициды в системе атмосферный воздух - почва на юге Дальнего Востока России // *Метеорология и гидрология*, 2014, № 11, С. 45-55.
11. Мамонтова Е.А., Тарасова Е.Н., Мамонтов А.А. Стойкие органические загрязнители в объектах окружающей среды г. Братск (Иркутская область): уровни, оценка риска // *Почвоведение*, 2014, № 11, С. 1356-1364.
12. Мамонтова Е.А., Тарасова Е.Н., Кузьмин М.И., Борисов Б.З., Бульбан А.П., Левшина С.И., Лепская Е.В., Трегубов О.Д., Юрченко С.Г., Мамонтов А.А. Распределение стойких органических загрязнителей в системе почва - атмосферный воздух в Сибири и на Дальнем Востоке // *Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология*, 2014, № 5, С. 418-428.
13. 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.
14. Пименов Н.В., Захарова Е.Е., Брюханов А.Л., Корнеева В.А., Кузнецов Б.Б., Турова Т.П., Погодаева Т.В., Калмычков Г.В., Земская Т.И. Активность и структура сообщества сульфат-редуцирующих бактерий в осадках южной котловины оз. Байкал // *Микробиология*, 2014, Т. 83, № 2, С. 180-190.
15. Pimenov N.V., Kalmychkov G.V., Veryasov M.B., Sigalevich P.A., Zemskaya T.I. Microbial oxidation of methane in the sediments of central and southern Baikal // *Microbiology*, 2014, V. 83, № 6, P. 773-781.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ivanov A.V., Arzhannikov S.G., Demonterova E.I., Arzhannikova A.V., Orlova L.A. Jombolok Holocene volcanic field in the East Sayan Mts., Siberia, Russia: structure, style of eruptions, magma compositions, and radiocarbon dating // *Bull. Volcanol.*, 2011, v. 73. P. 1279-1294.
2. Атутова Ж.В. Современные ландшафты юга Восточной Сибири. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2013. 125 с.
3. Coleman D. D., Risatti J. B. and Schoell M. Fractionation of carbon and hydrogen isotopes by methaneoxidizing bacteria // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1981, 45, P. 1033-1037.
4. Цыренжапова И.С., Ешинимаев Б.С., Хмеленина В.И., Осипов Г.А., Троценко Ю.А. Новый термотолерантный аэробный метанотроф из термального источника Бурятии // *Микробиология*, 2007, т. 76, №1, с. 132-135.
5. Зеленкина Т.С., Ешинимаев Б.Ц., Дагурова О.П., Сузина Н.Е., Намсараев Б.Б., Троценко Ю.А. Аэробные метанотрофы прибрежных гидротерм озера Байкал // *Микробиология*, 2009, т. 78, № 4, с. 545-551.
6. Berger A., Loutre M.F. Insolation values for the climate of the last 10 million years // *Quaternary Science Reviews*, 1991, V.1 10, pp 297-317.
7. Tarasov P.E., Bezrukova E.V., Krivonogov S K. Late Glacial and Holocene changes in vegetation cover and climate in southern Siberia derived from a 15 kyr long pollen record from Lake Kotokel // *Clim. Past*, 2009, v.5, pp. 285–295.
8. 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., and Vinther B. M. A 60 000 year Greenland stratigraphic ice core chronology // *Clim. Past*, 2008, v. 4, p. 47–57.
9. Wang Y. J., Cheng H., Edwards R. L., An Z.S., Wu J. Y., Shen C.-C., Dorale J. A. A High-Resolution Absolute-Dated Late Pleistocene Monsoon Record from Hulu Cave, China // *Science*, 2001, vol. 294, pp. 2345-2350.
10. Yuan D., Cheng H., Lawrence R.E., Dykoski C.A., Kelly M.J., Zhang M., Qing J., Lin Y., Wang Y., Wu J., Dorale J.A., An Z., Cai Y. Timing, Duration, and Transitions of the Last Interglacial Asian Monsoon // *Science*, 2004, v. 304, p. 575-579.