

Федеральное агентство научных организаций

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ им. А.П.ВИНОГРАДОВА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИГХ СО РАН)

УДК 549.01.08:[53+54]

№ госрегистрации АААА-А17-
117041910028-4

Инв. № _____

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИГХ СО РАН,
д. г.-м.н.

_____ А.Б.Перепелов
« ____ » _____ 2018 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
по теме:
ЭВОЛЮЦИЯ ЭКОСИСТЕМ ВНУТРЕННЕЙ АЗИИ В ПОЗДНЕМ КАЙНОЗОЕ
– ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СЦЕНАРИИ
(промежуточный)

Приоритетное направление IX.127. Динамика и механизмы изменения ландшафтов, климата и биосферы в кайнозое. История четвертичного периода

Шифр программы: IX.127.1
Шифр темы: 0350-2016-0026

Протокол Ученого совета ИГХ СО РАН
№ 1 от «16» января 2018 г.

Руководитель темы
Доктор географических наук

_____ Е.В. Безрукова
(подпись, дата)

Иркутск, 2018

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ:

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

подпись, дата

**Е. В. Безрукова (реферат, введение,
разделы 4,5 заключение,
компиляция отчета)**

Исполнители темы

подпись, дата

**М.А. Крайнов (раздел 1-2,
оформление отчета по ГОСТу)**

подпись, дата

Е.В. Иванов (раздел 3)

подпись, дата

Е.А Мамонтова (раздел 6)

подпись, дата

Г.В. Калмычков (раздел 7)

УДК 550.4:552.57/.58

Ключевые слова: научно-исследовательская работа, промежуточный отчет.

РЕФЕРАТ

Отчет 42 с., 1 ч., 24 рис., 31 источник, 1 прил.

ЭВОЛЮЦИЯ ЭКОСИСТЕМ ВНУТРЕННЕЙ АЗИИ В ПОЗДНЕМ КАЙНОЗОЕ – ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СЦЕНАРИЙ

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

Цель работы – реконструкция пространственно-временной эволюции региональных изменений природной среды и ландшафтов глубоко внутриконтинентальной территории России по меридиональному и высотному профилям в контексте их глобальных вариаций, изучение механизмов и причин этих изменений, выявление места региональных палеоэкологических событий в глобальной системе.

Ключевые слова: природная среда, плейстоцен и голоцен, Восточная Сибирь, осадочные бассейны, геохимические маркеры, биогеохимические циклы, климат, растительность.

Проведено комплексное изучение кернов донных отложений из озер Баунт, Арахлей методами абсолютной геохронологии, рентгенофлуоресцентного, в том числе с синхротронным излучением, палеомагнитного, палинологического, литологического анализов. Подтверждено обнаружение экскурсов Гётеборг и Моно Лейк в записи озёрных отложений оз. Баунт. Показано, что впервые определенная для отложений разреза Малые Голы суммарная степень агрегированности может служить важным параметром, характеризующим вклад химических процессов в формирование и преобразование отложений. Изучены источники, определяющие содержание органического вещества (ОВ) и биогенных элементов (БЭ) в Малом Море; установлено, что влияние атмосферных осадков на состав ОВ и БЭ в воде и донных отложениях Малого Моря незначительно.

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

БЭ – биогенные элементы

г. – год

ГХБ – гексахлорбензол

ГХЦГ – гексахлорциклогексан

ДДТ – дихлордифенилтрихлорэтан

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

тыс. - тысяч

л.н. – лет назад

млн. – миллион

напр. – например

н.у.м. – над уровнем моря

о. - остров

оз. – озеро

ООН – Организация Объединенных Наций

ПХБ – полихлорированные бифенилы

р. – река

см. – смотри

СПС – спорово-пыльцевые спектры

СОЗ – стойкий органический загрязнитель

тыс. – тысяча

ЮНЕП – Программа ООН по окружающей среде

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
Основная часть.....	7
1. Первое обнаружение, датирование и обоснование существования палеомагнитных экскурсов Гётеборг и Моно Лейк в осадочных отложениях озера Баунт.....	7
2. Изучение гранулометрического состава многослойного местонахождения фауны Малые Голы.....	9
3. Поиск и выявление потенциальных источников сноса терригенного вещества на подводные перемычки озера Байкал в необайкальскую стадию развития региона.....	12
4. Реконструкция палеоэкологической модели эволюции Ивано-Арахлейского заказника за последние 15 тыс. лет методами биостратиграфического, био- и геохимического анализов	21
5. Реконструкция растительности Евразии от последнего ледникового максимума до настоящего времени.....	26
6. Изучение значения атмосферного транспорта ОВ природного и антропогенного происхождения в донных отложениях Малого моря (оз. Байкал).....	28
7. Изучение компонентного состава газа и изотопного состава углерода метана подводного нефтегазового проявления Горевой утес (оз. Байкал).....	33
Заключение.....	36
Список использованных источников.....	37
Приложение. Публикации 2017 г.....	41

ВВЕДЕНИЕ

Исследования, направленные на изучение эволюции природной среды и климата, разработку палеоэкологических сценариев как основы для верификации прогнозных моделей глобальной атмосферной циркуляции, 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). В этих документах признается, что изменение природной среды планеты может вызвать неблагоприятные последствия для вмещающих человека экосистем и должно стать предметом общей заботы. 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 об эволюции природной среды регионов, особенностей их отклика на глобальные изменения. Для понимания тенденций в современной природной обстановке важно знать ее динамику в плейстоцене и голоцене, поскольку в это время сформировались современный рельеф, гидрографическая сеть, фауна и флора, шло формирование человеческого общества.

Целью исследований 2017 гг. по проекту было создание серии карт доминирующих ландшафтов Евразии с последнего оледенения, палеоэкологического сценария эволюции Ивано-Арахлейского заказника за последние 15 тыс. лет; подтверждение существования палеомагнитных экскурсов Гётеборг и Моно Лейк в записи озёрных отложений оз. Баунт; получение результатов гранулометрических исследований отложений стратотипического многослойного местонахождения Малые Голы для реконструкции условий обитания человека в этом районе; выявления потенциальных источников сноса терригенного вещества в осадки подводных возвышенностей озера Байкал в необайкальскую стадию развития; установление генезиса метана в осадках нефтегазового проявления Горевой утес (Центральная котловина озера Байкал); оценка значений атмосферного транспорта в формировании особенностей состава ОВ природного и антропогенного происхождения в донных отложениях Малого моря (оз. Байкал).

Для достижения цели исследований в 2017 году комплексом геохимических, изотопных, литологических, геолого-геоморфологических, палеонтологических методов с применением методов абсолютной геохронологии было продолжено изучение озерных систем Арахлейской и Баунтовской котловин.

Настоящий отчет является промежуточным по теме: «Эволюция экосистем Внутренней Азии в позднем кайнозое – экологический сценарий».

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1. Первое обнаружение, датирование и обоснование существования палеомагнитных экскурсов Гётеборг и Моно Лейк в осадочных отложениях озера Баунт

В 2017 году были завершены работы по обоснованию достоверности обнаружения экскурсов Гётеборг и Моно Лейк в осадочных отложениях озера Баунт. С целью подтверждения достоверности выделенных ранее экскурсов из отложений озера, вскрытых керном бурения в 2014 году (Baunt-14) было дополнительно отобрано 39 образцов для измерения остаточной намагниченности насыщения (SIRM). Интервал опробования для проведения петромагнитных измерений составил 50 см для всего 13,5-метрового разреза и 2 см – в интервалах керна, где ранее проведенные измерения обнаружили значимые отклонения в обнаруженных палеомагнитных аномалиях – предполагаемых экскурсов Гётеборг и Моно Лейк (рис. 1.1).

Проведённые измерения величины SIRM показали, что петромагнитные характеристики осадочных отложений оз. Баунт не менялись во время резких падений значений NRM и наклона, а значит, последние объясняются именно сохранённой в записи палеомагнитного сигнала информации об экскурсах (стабильность безгистерезисной остаточной намагниченности (ARM) и магнитной восприимчивости в моменты предполагаемо выделенных экскурсов были подтверждены в предыдущем году).

В противном случае причиной изменений вышеуказанных характеристик могли являться аномальные изменения в составе магнитной фракции на изучаемых интервалах. Таким образом, достоверность выделенных нами ранее экскурсов Гётеборг и Моно Лейк значительно возросла, что позволяет сделать нам следующие выводы.

Сочетание высоких скоростей и высокого временного разрешения полученной палеомагнитной записи стали основой выделения временных интервалов, соответствующих проявлению известных в мире геомагнитных экскурсов Гётеборг и Моно Лейк. Надежная возрастная модель позволила не только обосновать их выделение, но и впервые для Восточной Сибири на основе исследования донных отложений малых озер региона рассчитать время существования этих экскурсов.

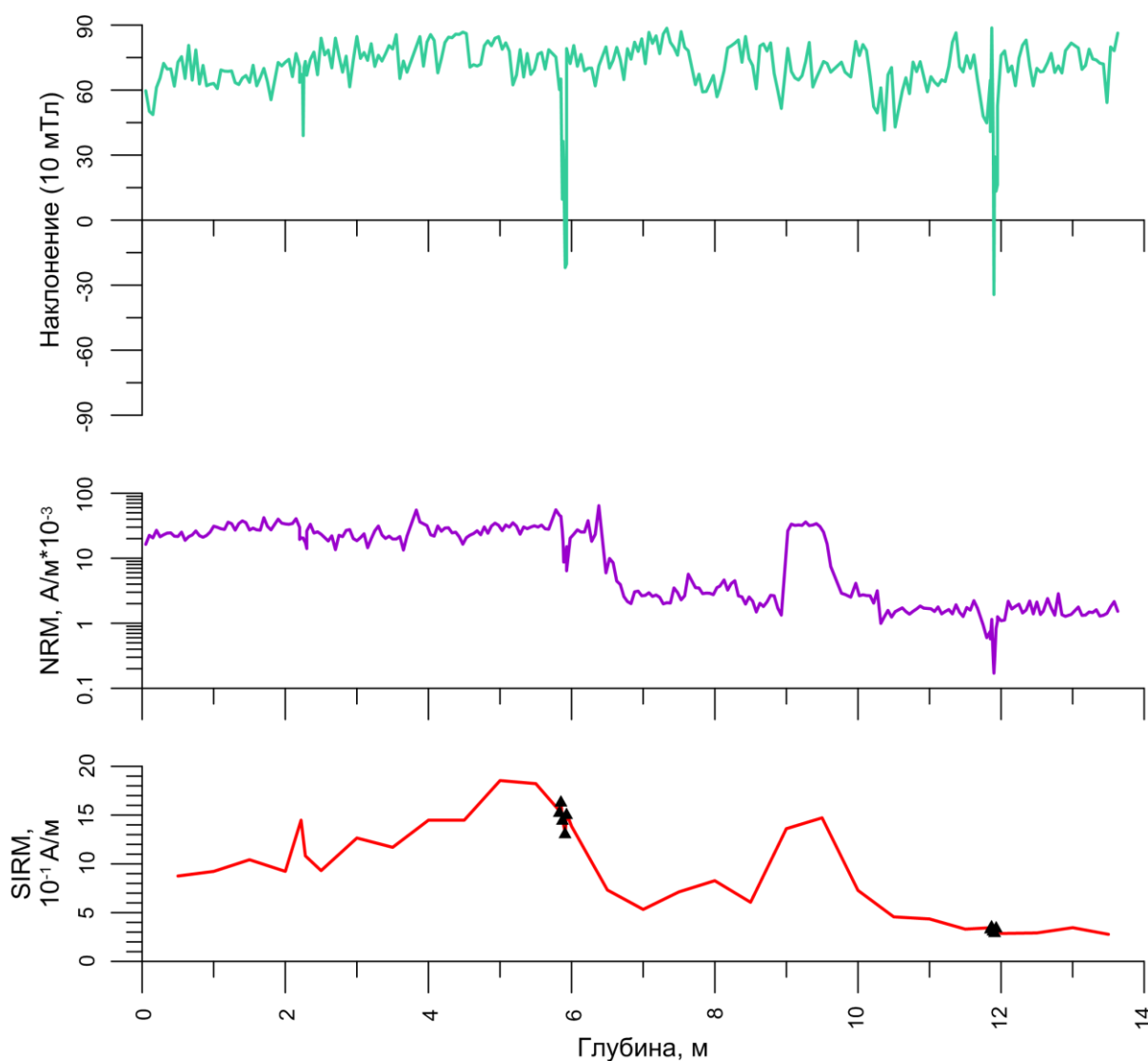


Рис. 1.1 – остаточная намагниченность насыщения (треугольниками показаны значения во время экскурсов), естественная остаточная намагниченность и магнитное наклонения после размагничивания переменным полем величиной 10 мТл осадков скважины Baunt-14.

Достоверное установление экскурсов Гётеборг и Моно Лейк в записи озёрных отложений оз. Баунт позволяет утверждать, что:

- экскурс Гётеборг может рассматриваться как глобальное палеомагнитное событие, которое на севере Забайкальского региона, согласно нашим исследованиям, имело место в интервале 13,3–13,1 тыс. лет назад;

- возраст экскурса Моно Лейк составляет 26,1–25,9 тыс. лет, что позволяет уверенно отделить его от происходившего на 10–20 тыс. лет ранее экскурса Лашамп.

Полученные результаты могут рассматриваться как надежная основа для последующих региональных исследований, связанных с важнейшими вопросами, относящимися к установлению времени проявления, частоты, длительности, характера геомагнитных экскурсов и их влияния на эволюцию природно-климатической системы Забайкалья и связанными с ней адаптивными стратегиями человека.

2. Изучение гранулометрического состава многослойного местонахождения фауны Малые Голы

Местонахождение Малые Голы (С 53° 56.111', В 106° 04.938'), ранее носившее название Сухнай Байбет, расположено в приустьевой части долины р. Анга, правом притоке реки Лены (рис. 2.1). Впервые оно было описано Н.А. Логачевым с соавторами [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Вскрывающиеся здесь древние речные отложения были описаны Н.А. Логачевым как «ангинский аллювий», который позднее был выделен О.М. Адаменко с соавторами [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**] в качестве ангинской свиты, а сам разрез Малые Голы признан ее стратотипом.

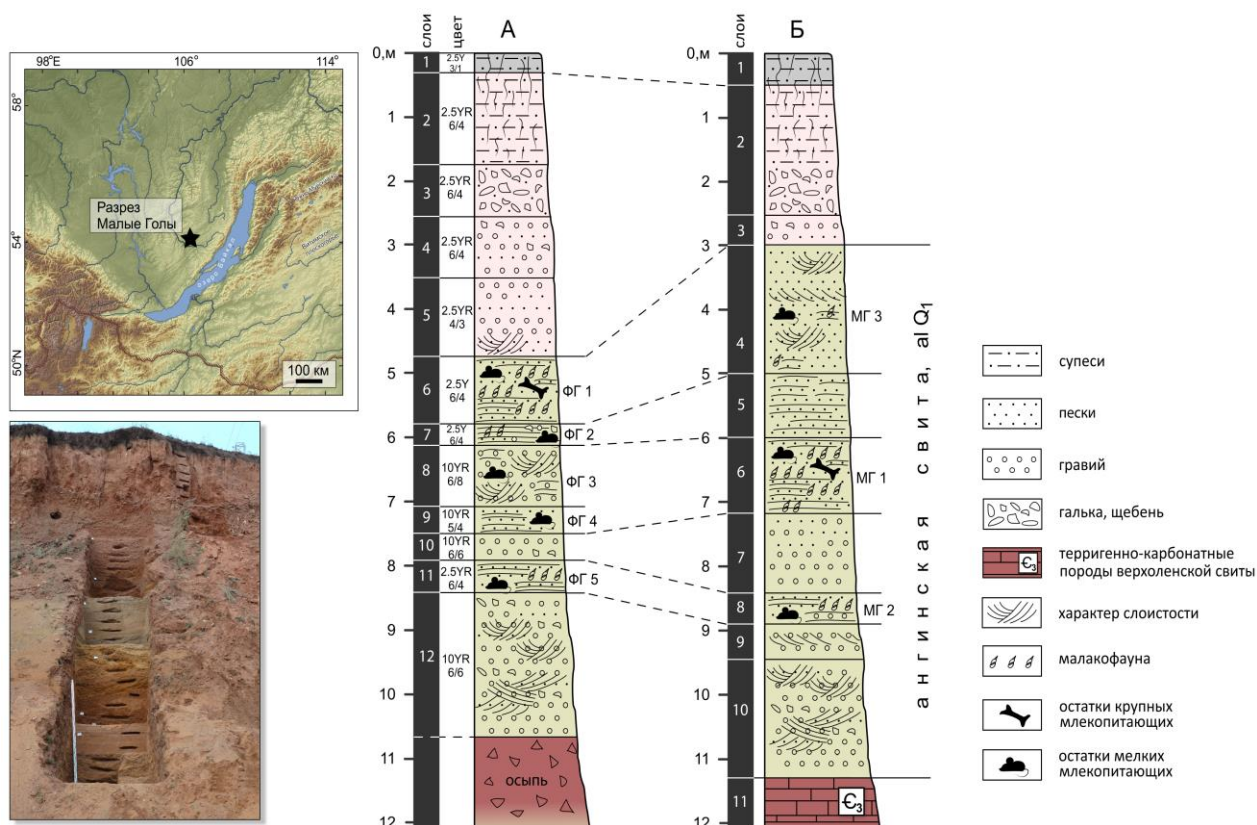


Рис. 2.1 – Местоположение разреза Малые Голы, фотография зачищенного разреза и схема слоёв разреза.

Данное местонахождение много лет исследуется геологами, палеонтологами, а вот гранулометрические измерения его отложений никто ранее не проводил. Разрез имеет двучленное строение.

Кровля разреза сложена склоновыми образованиями, подстилаемыми отложениями небольшого водотока. Они имеют характерный красноватый цвет и пестрый гранулометрический состав с неизменным доминированием в петрофонде продуктов разрушения пород верхоленской свиты верхнего кембрия. Под ними со стратиграфическим перерывом залегают зеленоцветные отложения ангинского аллювия. Гранулометрический состав крупнообломочных фракций ($>0,1$ мм) данных отложений (рис. 2.2) и в целом их литологические свойства свидетельствуют о формировании ангинского аллювия водотоком предгорного типа, гидродинамическая активность которого была подвержена существенным сезонным колебаниям. Отложения характеризуются сравнительно грубым механическим составом и в общем средней степенью сортировки материала. Глубина водотока, согласно мощности косослоистых серий, составляла первые метры.

Гранулометрический состав отложений мелкообломочных фракций 200–0,3 мкм изучался в ИГХ СО РАН на лазерном дифракционном анализаторе размера частиц Fritish Analysette 22 по 11 образцам, отобраным из всех выделенных слоев разреза за исключением современной сильно насыщенной органическим материалом почвы. Диспергирование образцов проводилось путем ультразвуковой обработки. Для каждого образца измерения выполнялись дважды: до и после диспергирования ультразвуком. Гранулометрические данные приводятся по результатам, полученным после диспергирования пробы ультразвуком, что позволяет оценить степень агрегированности зерен по разнице фракционного состава до и после ультразвукового воздействия (степень агрегированности частиц, d).

Результаты анализа представлены в форме содержания до 62 подфракций (размером от 0,3 до 200 мкм) в объемных процентах по каждому образцу.

Выделенные фракции были объединены в несколько более мелких подфракций: 1) 200-100 мкм (мелкозернистый песок); 2) 100-50 мкм (крупноалевритовая); 3) 50-10 мкм (мелкоалевритовая); 4) <10 мкм (глинистая или пелитовая). Границы выделенных подфракций совпадают с общепринятыми классификациями [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Средний размер частиц в отложениях разреза меняется от 40 до 65 мкм. Для всех слоёв, кроме 5-го и 11-го, кривые характеризуются положительной асимметрией, что означает существенный вклад мелкозернистых частиц. При этом следует выделить слой 12, в котором мода распределения выражена наименее явно, что говорит о минимальной отсортированности частиц этого горизонта.

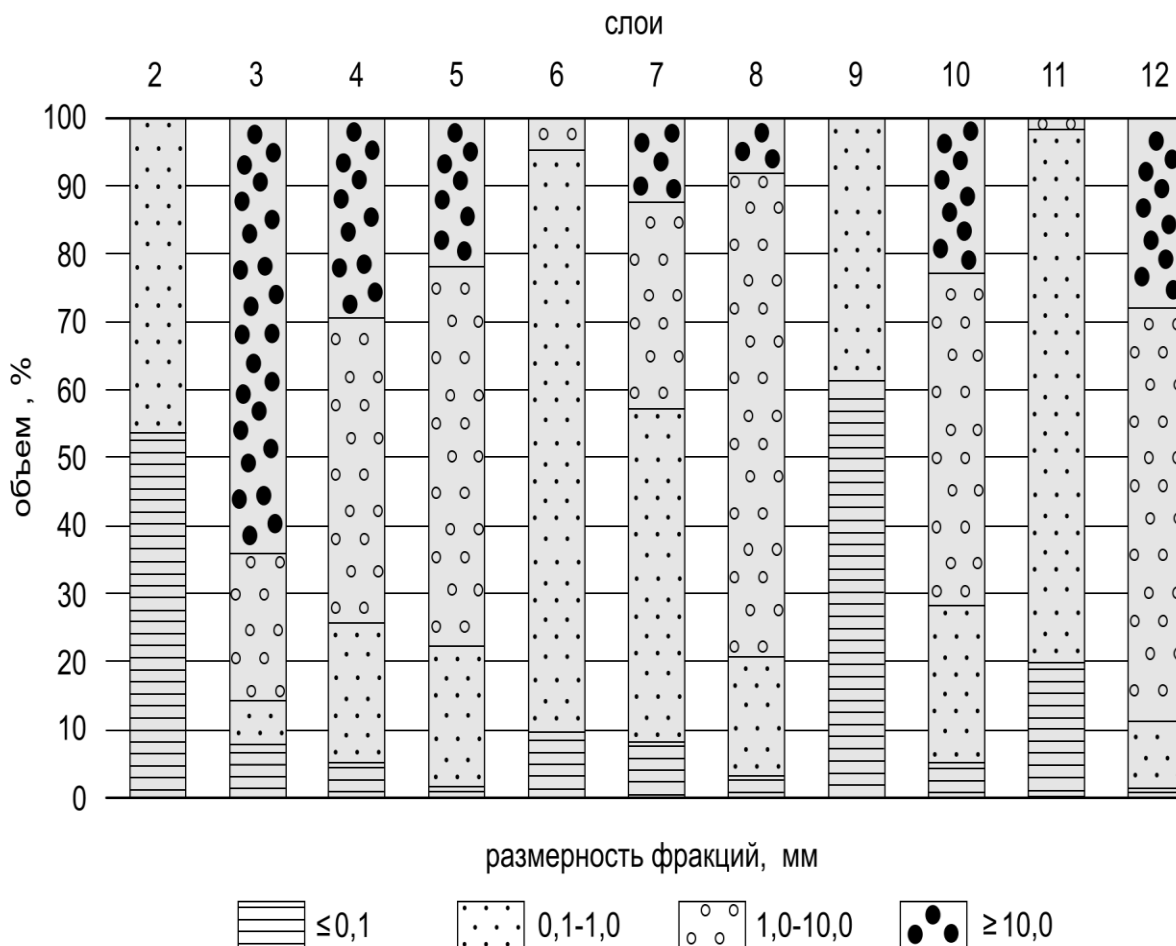


Рис. 2.2 – Изменение гранулометрических характеристик крупнообломочных фракций разреза Малые Голы.

По слоям разреза наблюдается значительное изменение содержания вышеуказанных фракций. Так, содержание глинистой фракции меняется от 0 до 21%, мелкоалевритистой – от 28 до 52%, крупноалевритистой – от 23 до 47% и фракции мелкозернистого песка – от 4 до 27%. При этом по всему разрезу наблюдается обратная корреляция между содержаниями глинистой и крупноалевритистой фракций, а также между содержаниями мелкоалевритистой фракцией и фракцией мелкого песка. Очевидной зависимости между генетическими типами слоёв и содержаниями фракций мелкозернистого материала обнаружено не было.

Суммарная степень агрегированности (сумма разностей одного знака между содержаниями фракций до и после ультразвуковой обработки, d , %) является важным параметром, характеризующим вклад химических процессов в формирование и преобразование отложений. В разрезе Малые Голы d колеблется, в среднем, от 18 до 50 %, принимая минимальные значения 18-20% в слоях 5 и 11, в слоях 6-10 значения d возрастают до 25-38%, достигая максимальных значений в верхних (2-4) и нижнем (12) слоях.

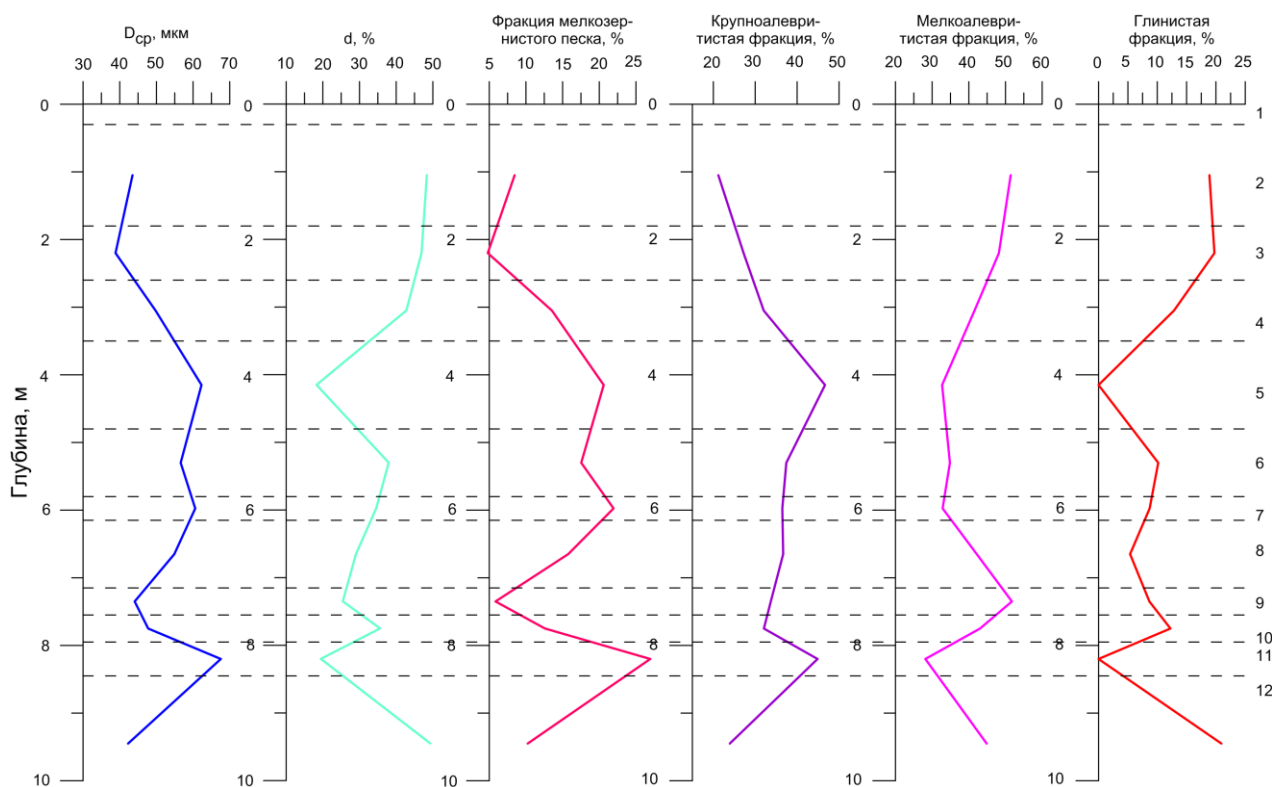


Рис. 2.3 – Результаты гранулометрического анализа мелкообломочных фракций разреза Малые Голы. Справа числами от 1 до 12 показаны номера слоёв. D_{cp} – средний размер частиц; d , % - степень агрегированности материала.

При этом можно отметить, что минимальные значения степени агрегированности соответствуют слоям с почти нулевым содержанием глинистой фракции (рис. 2.3).

3. Поиск и выявление потенциальных источников сноса терригенного вещества на подводные перемычки озера Байкал в необайкальскую стадию развития региона

С целью поиска, выявления и характеристики источников сноса терригенного вещества в донные отложения, формировавшиеся на подводных топографических

возвышенностях (перемычках) озера Байкал в необайкальскую стадию развития Байкальского рифта (~4 – 0,01 млн. лет) был проведен макро- и микроэлементный анализ донных отложений озера, вскрытых скважинами глубоководного бурения ВDP-98 (Академический хребет), ВDP-99 (Посольская банка, являющаяся южным окончанием Селенгино-Бугульдейской перемычки).

На основе результатов макро- и микроэлементного состава осадков донных отложений были проведены реконструкции их литохимических параметров. Особое внимание при проведении реконструкций было уделено отражению в них теплых и холодных периодов плейстоцена и сигналу глубокой перестройки природной среды региона на границе таких крупных геологических периодов как неоген и квартал (или эпохами плиоцен и плейстоцен), граница между которыми установлена на уровне в 2,588 тыс. лет назад [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Для выявления возможных областей сноса с площади водосборного бассейна оз. Байкал в плейстоцене и, соответственно, потенциальных источников поступления вещества в озерные отложения использовался ряд общепринятых диаграмм. Так, тройная диаграмма в координатах $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{K}_2\text{O}$ [Ошибка! Источник ссылки не найден.] демонстрирует, что состав отложений с Академического хребта озера Байкал находится в поле источников питания кислого состава, преимущественно гранитов, гранодиоритов и дацитов. В отложениях Селенгино-Бугульдейской перемычки (скважина ВDP-99) состав осадков располагается исключительно в поле гранитных источников питания, свидетельствуя о преимущественно гранитной природе для осадочных пород данной морфоструктуры (рис.3.1).

Разделение литохимического состава отложений с учетом их принадлежности к разным геологическим эпохам плиоцена и плейстоцена (рис. 3.1а) не показывает изменение основных источников поступления терригенного материала. Таким образом, отсутствие зависимости изменения источников сноса от климатического фактора в переходное время от одной эпохи к другой является очевидным.

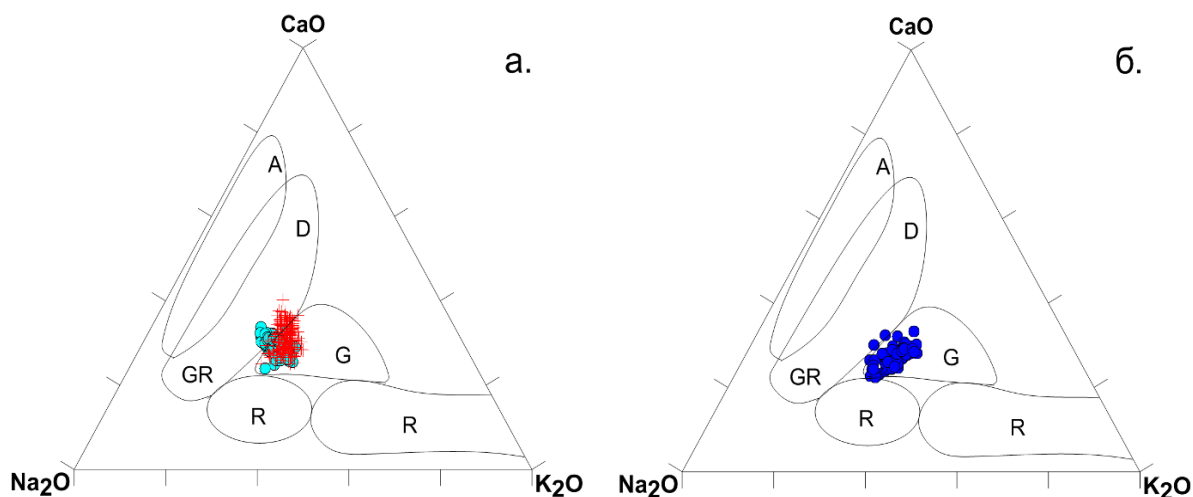


Рис. 3.1 – Диаграмма для отложений разрезов: **а** - BDP – 98; **б** – BDP – 99 (разделение по критерию плиоцен/плейстоцен).

Условные обозначения: А – андезиты; D – дациты; GR – гранодиориты; G – граниты; R – рециклированные осадки.

Нормирование состава исследуемых отложений на средние составы пород обрамления водоема позволило установить ряд источников кластического материала для отложений как в водосборной площади, так и донных осадков водоема. Для подобных реконструкций использованы следующие составы пород:

- метаморфические комплексы пород: шарыжалгайский метаморфический комплекс, ольхонский комплекс, слюдянский комплекс, святоносский комплекс;
- граниты: саянский комплекс, приморский комплекс;
- мигматит-граниты - шарыжалгайский комплекс [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**];
- герцинские гранитоиды Забайкалья: щелочно-полевошпатовые и щелочные граниты и сиениты Монголо-Забайкальского вулканоплутонического пояса (раннекуналейский и позднекуналейский комплексы); шошонитовая интрузивная серия (монцонит-сиенит-кварцево-сиенитовая с синплутоническими базитами, нижнеселенгинский комплекс); переходные от высококалийных известково-щелочных до субщелочных граниты и кварцевые сиениты с синплутоническими базитами (зазинский комплекс); высококалийные известково-щелочные кварцевые монцониты, кварцевые сиениты и габброиды (чивыркуйский комплекс); известково-щелочные граниты баргузинского комплекса (Ангаро-Витимский батолит) [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Ряд средних составов, в частности, относящихся к Аkitканскому вулканоплутоническому поясу и породам Ангино – Таланчанского островодужного террейна, для

нормирования не использовался по причине очевидного расхождения с составами исследуемых отложений.

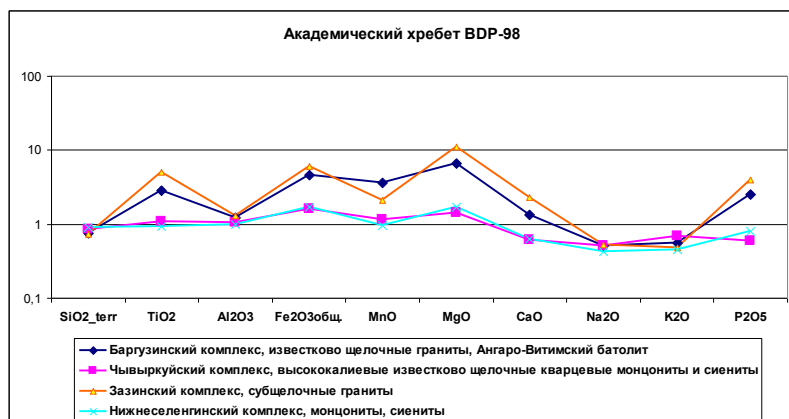


Рис. 3.2 – Диаграмма нормирования петрогенных элементов среднего состава донных осадков Академического хребта (разрез BDP-98) на средний состав гранитоидов Забайкалья.

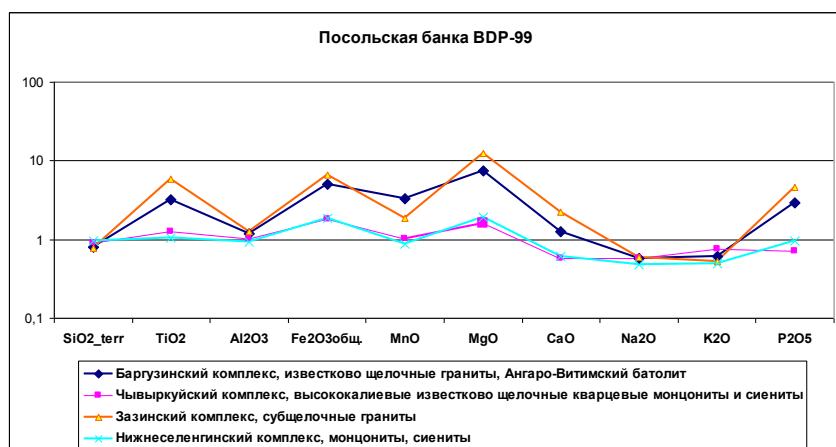


Рис. 3.3 – Диаграмма нормирования петрогенных элементов среднего состава донных осадков Селенгино-Бугульдейской перемычки на средний состав гранитоидов Забайкалья.

При нормировании среднего состава пород осадочной толщи Академического хребта BDP-98 на средний состав пород комплексов Забайкальского фланга (рис. 3.2) очевидной тенденцией является генетическая близость составов отложений к породам шошонитовой интрузивной серии, монцонит-сиенитовой и кварц-сиенитовой с синплутоническими базитами нижнеселенгинского комплекса и высококалиевым известково-щелочным кварцевым монцонитам, кварцевым сиенитам герцинских гранитоидов Забайкалья и габброидам чивыркуйского комплекса.

Составы пород осадочной толщи разреза ВDP-99 (Селенгино-Бугудьдейская перемычка) реагируют аналогичным образом (рис. 3.3). Использование микроэлементного состава для комплексной оценки источников поступления кластического материала в оба разреза подтвердили вывод по макрокомпонентам (рис. 3.4, 3.5).

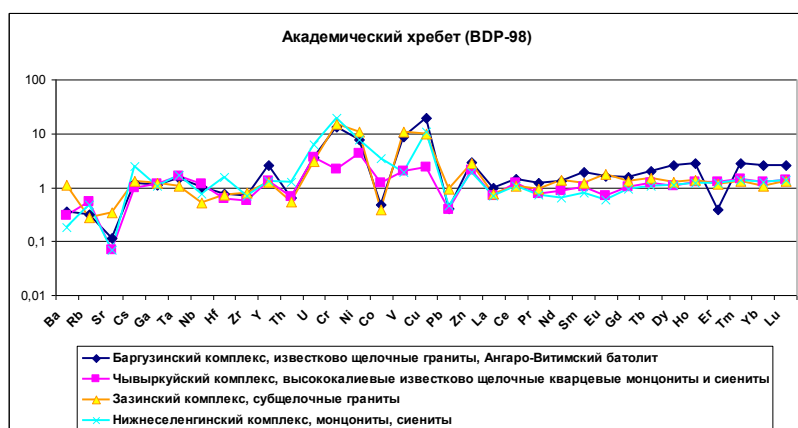


Рис. 3.4 – Диаграмма нормирования микроэлементов среднего состава донных осадков Академического хребта (разрез ВDP-98) на средний состав гранитоидов Забайкалья.

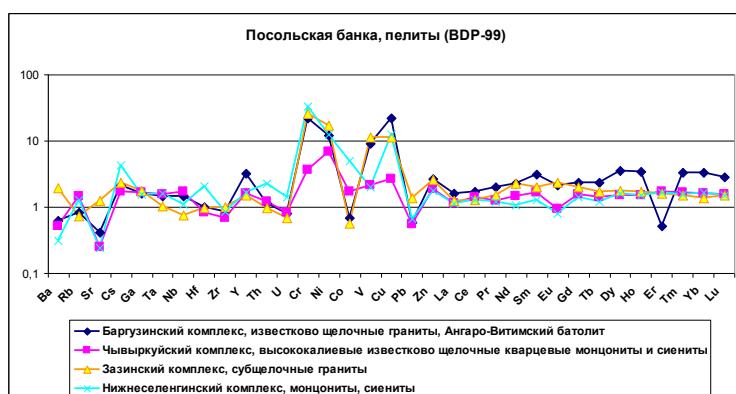


Рис. 3.5 – Диаграмма нормирования микроэлементов среднего состава донных осадков Селенгино-Бугудьдейской перемычки (разрез ВDP-99) на средний состав гранитоидов Забайкалья.

Таким образом, очевидным является доминирующее поступление продуктов разрушения нижнеселенгинского и чивыркуйского комплексов кварцевых монцонитов и сиенитов, источников преимущественно среднего состава. Породы чивыркуйского комплекса локализованы как в береговой зоне восточного побережья Байкала, так и в долине р. Баргузин, породы нижнеселенгинского комплекса обнажены в долинах рек Джиды, Селенги, Уды и вплоть до Витима. Доминирование кластического материала при

разрушении кристаллических пород обоих комплексов, возможно, связано с их обнаженностью в водосборных бассейнах рек Баргузин и Селенга, а также экспонированием чивыркуйского комплекса непосредственно в береговой зоне озера. Для объяснения одинаковой реакции отложений разрезов BDP-98 и BDP-99 при нормировании на средний химический состав данных комплексов пород следует учитывать сток наибольшего объема терригенных компонентов из фактически единой питающей провинции при формировании отложений подводных перемычек озерной системы. При этом следует учитывать и взаимопроникновение составов отложений при процессах экзарации, криоаридизации и роста эоловой нагрузки в ледниковые стадии.

При разделении составов осадков по критерию ледниковье/межледниковье для отложений Академического хребта (рис. 3.6, 3.7) реакция на изменение условий полностью отсутствует. Таким образом, очевидно, что характер источников в зависимости от изменения климатических свойств не менялся. С другой стороны, также является вероятным взаимопроникновение (смешение) разновозрастных продуктов выветривания при поступлении в конечный бассейн седиментации - озеро Байкал.

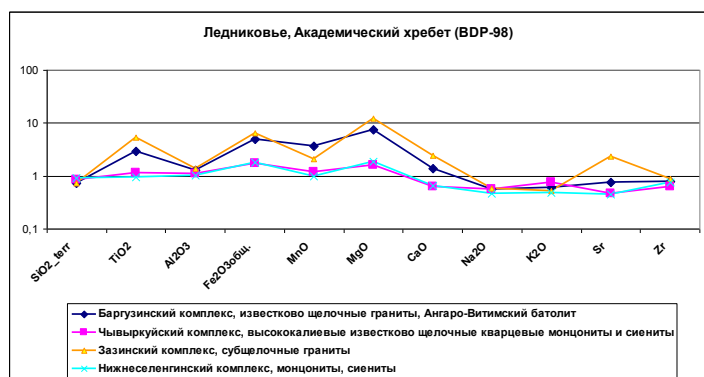


Рис. 3.6 – Диаграмма нормирования среднего состава петрогенных элементов ледниковых интервалов донных осадков Академического хребта (разрез BDP-98) на средний состав гранитоидов Забайкалья.

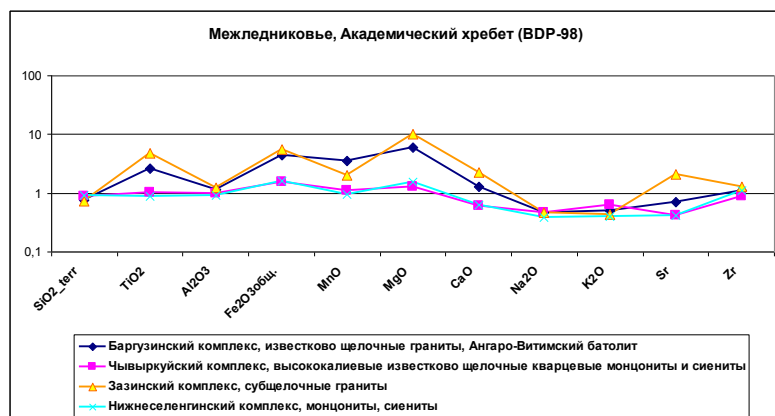


Рис. 3.7 – Диаграмма нормирования среднего состава петрогенных элементов межледниковых интервалов донных осадков Академического хребта (разрез BDP-98) на средний состав гранитоидов Забайкалья.

При нормировании среднего состава донных осадков на породы западного, юго-восточного и центрального флангов Байкальской впадины по петрогенным элементам выявляется тенденция к сближению составов отложений Академического хребта с гранитами шарыжалгайского комплекса и метаморфическими породами шарыжалгайского комплекса (рис. 3.8). Аналогичная тенденция прослеживается при нормировании среднего состава донных отложений на микроэлементный состав пород указанных выше флангов (рис. 3.9). Если для гранитов саянского и приморского комплексов пород расхождение составов фиксируется по группе V, Cr, Co, Ni, то для метаморфических пород слюдянского и ольхонского комплексов наблюдается резкое в сторону увеличения расхождение составов по группе редкоземельных элементов: Pr, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Lu. Для метаморфических пород святоносского комплекса, расположенного в непосредственной близости от точки бурения (скважина BDP-98), также наблюдается существенное расхождение по редкоземельной группе (Pr, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Lu). При этом близость составов отложений к породам шарыжалгайских комплексов по микроэлементам находит свое подтверждение. Поскольку локализация пород шарыжалгайской серии простирается вдоль западного борта Южной котловины озера возникает вопрос о причинах подобного генетического сходства с осадками Академического хребта. Ответом здесь могут служить результаты подводных исследований, проведенные с помощью глубоководных обитаемых аппаратов «Пайсис» в 1990-91 году, по результатам которых была составлена схема геологического строения подводной части центральной впадины озера Байкал [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. «Анализ этой геолого-тектонической схемы демонстрирует, что центральная котловина Байкала, включающая в себя о.Ольхон, Академический хребет, Ушканьи острова и прилегающее восточное и западное побережье, вскрывает древнюю зону коллизионного взаимодействия фундамента Баргузинского микроконтинента (максимихинская, святоноская, черногривинская толщи) и Сибирской платформы (шарыжалгайский, сарминский метаморфические комплексы, приморские гранитоиды)». Таким образом, выявляется зависимость состава отложений от пород древнего фундамента платформы, проявленных в области Байкальского рифта или их аналогов.

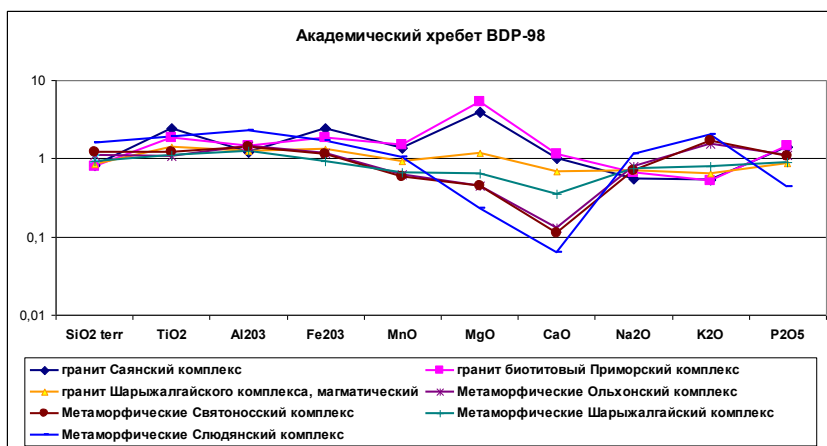


Рис. 3.8 – Диаграмма нормирования среднего состава петрогенных элементов донных осадков Академического хребта (разрез BDP-98) на средний состав комплексов пород обрамления (западный, юго-восточный фланги).

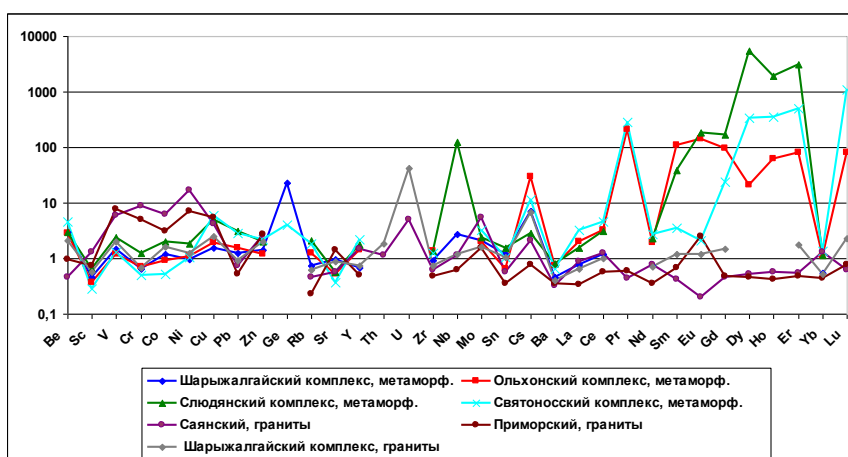


Рис. 3.9 – Диаграмма нормирования среднего состава микроэлементов донных осадков Академического хребта (разрез BDP-98) на средний состав комплексов пород обрамления (западный, юго-восточный фланги).

Для сравнения составов отложений байкальских скважин между собой использованы кларки верхней континентальной коры [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Для нормирования петрохимического состава использован валовый состав по разрезам BDP - 98, 99, для микроэлементного - по разрезу BDP-99 использован состав пелитовой фракции (<0,2 мкм), для BDP-98 – валовый состав (рис. 3.10, 3.11).

Из анализа спайдер-диаграмм становится очевидным чрезвычайная близость составов отложений подводных перемычек Байкала друг другу. Незначительное расхождение по микроэлементному составу, по-видимому, и фиксирует весьма слабое различие между условиями осадконакопления исследуемых морфоструктур. При этом хорошо проявляется

урановая аномалия, фиксируемая ранее в осадках озера [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Если предположить, что источником поступления урана является крупнозернистая фракция, то очевиден и нисходящий тренд в пелитовой фракции отложений разреза BDP-99.

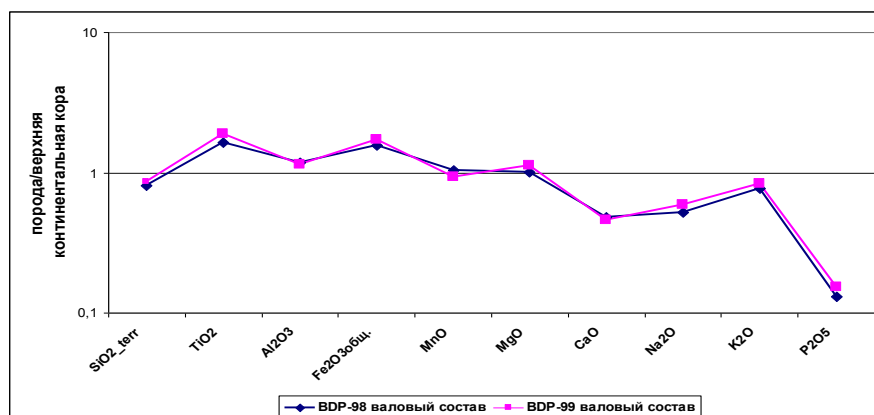


Рис. 3.10 – Тренд нормализованных [Ошибка! Источник ссылки не найден.] содержаний петрогенных элементов для отложений Академического хребта и Селенгино – Бугульдейской перемычки.

Таким образом, составы отложений подводных перемычек Байкала несут в себе информацию о преимущественно гранитных источниках сноса, в том числе монзонит – сиенитовых гранитоидных комплексах Забайкалья.

При определении источников сноса терригенного вещества на подводные перемычки Байкала следует учитывать усреднение составов отложений при выщелачивании на водосборной площади, поскольку подводные поднятия аккумулируют преимущественно тонкую переработанную фракцию, поступающую из водной толщи по отношению к краевым частям Байкальской впадины и её котловинам.

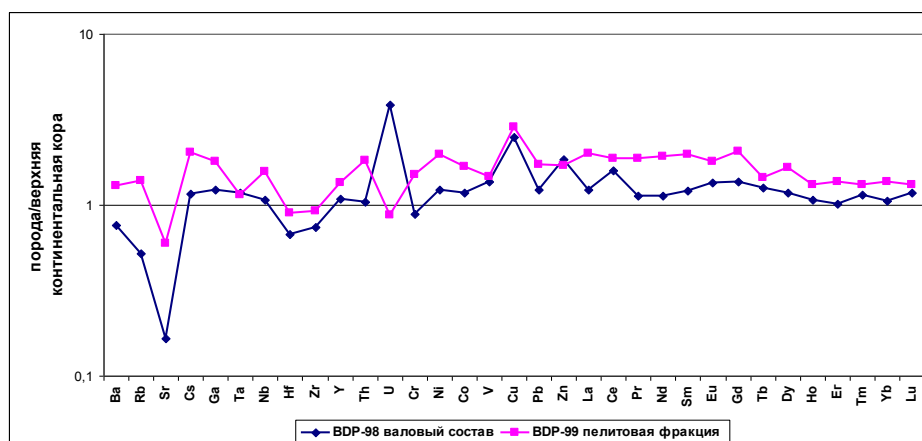


Рис. 3.11 – Тренд нормализованных [Ошибка! Источник ссылки не найден.] содержаний микроэлементов для отложений Академического хребта и Селенгино – Бугульдейской перемычки.

Состав отложений Академического хребта демонстрирует сходство с породами шарыжалгайского метаморфического и гранитного комплексов, тем самым, демонстрируя зависимость от пород древнего фундамента платформы, проявленных в Байкальской рифтовой зоне.

Элементный состав отложений обоих разрезов демонстрирует чрезвычайную близость друг другу, при этом основные источники поступления терригенного вещества остаются неизменными как в исследуемом диапазоне возрастов 4 – 0,01 млн. лет, так и при изменении климатических условий в это время.

4. Реконструкция палеоэкологической модели эволюции Ивано-Арахлейского заказника за последние 15 тыс. лет методами биостратиграфического, био- и геохимического анализов

Понимание возможного влияния природно-климатических условий на динамику общества, его культурные традиции, стратегии адаптации является важной задачей, в том числе и геоархеологических исследований. В связи с этим палеоэкологические исследования и основанные на них реконструкции среды обитания человека для разных регионов остаются актуальны. Донные отложения сравнительно небольших озер в мире рассматриваются как ценнейшие природные архивы. Осадки оз. Арахлей уже позволили реконструировать природную среду Беклемишевской котловины за последние 13 тыс. лет [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Однако для более глубокого понимания имеющихся представлений об изменениях природной среды данного региона требуется повышение временного разрешения реконструкций и новые возрастные модели с большим числом датировок. Цель настоящего исследования заключается в получении новой, более детальной палеоэкологической модели развития растительности и климата в Беклемишевской котловине на основе дополнительных радиоуглеродных датировок для донных отложений оз. Арахлей.

Озеро Арахлей является самым крупным и глубоким в системе Ивано-Арахлейских озёр (рис. 4.1). Оно располагается на высоте 965 м н.у.м. в Беклемишевской котловине. Максимальная глубина озера достигает 17 м, площадь зеркала озера составляет 58 кв. км. Климат в бассейне оз. Арахлей резко континентальный, со среднегодовой суммой атмосферных осадков около 350 мм. Горно-котловинный рельеф стал основой организации растительного покрова бассейна озера в высотные пояса. В растительности преобладают горно-таёжные леса из лиственницы Гмелина, редко – с примесью ели. Небольшие площади

заняты сосновыми и берёзовыми лесами с лиственницей. По берегам озера распространены мезоксерофильные степи и лугово-болотная растительность. Ивово-ерниковые ассоциации обычны для пологих склонов и речных русел [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

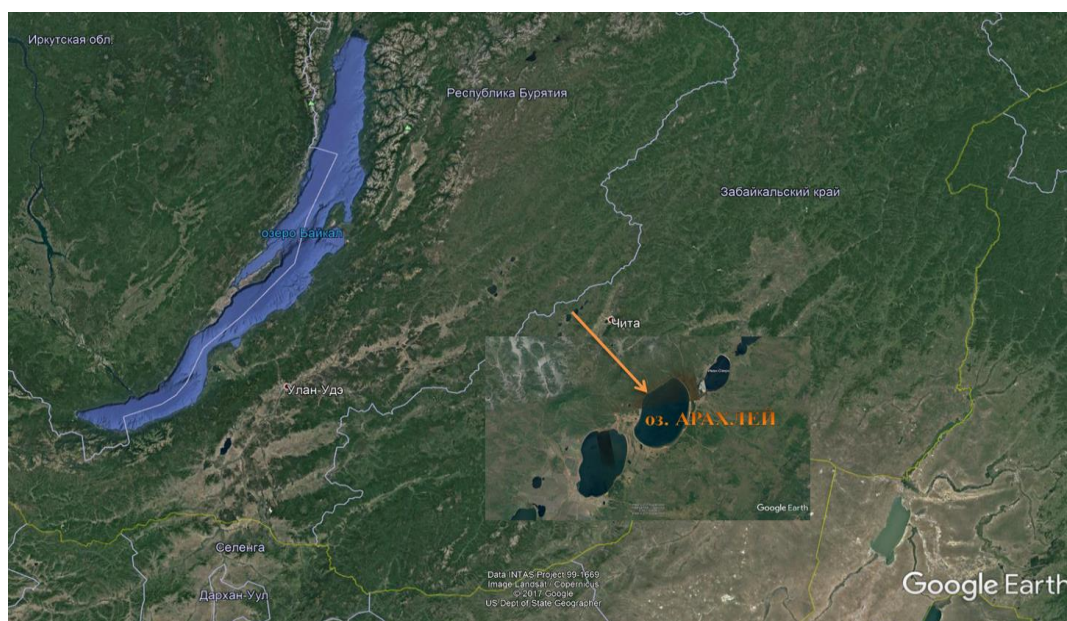


Рис. 4.1 – Место положения озера Арахлей в системе Ивано-Арахлейских озер.

Керн озёрных отложений длиной 128 см был отобран в северо-восточной части озера. Верхние 110 см осадка в керне представлены глинисто-органогенными илами черно-зеленого цвета, нижние 18 см – плотной глиной с органикой светло-коричневого цвета. Для палинологического анализа опробован каждый второй сантиметр отложений в керне. При расчёте процентного содержания индивидуальных таксонов в спектрах за 100 % принималась сумма пыльцы наземных растений без учёта спор и водорослей, обилие которых рассчитано от суммы всех подсчитанных в образце пыльцы и спор.

Возрастная модель разреза базируется на шести УМС ^{14}C датах. Датирование отложений выполнено по общему органическому веществу в радиоуглеродной лаборатории г. Познань, Польша. В тексте все возрастные оценки приведены в калиброванном летоисчислении.

Содержание общего органического углерода ООУ и общего неорганического углерода ОНУ измерено для каждого сантиметра отложений. ООУ анализировался с помощью LECO Truspec Macro элементного анализатора. ОНУ - на анализаторе Woesthoff Carmhograph C16. Результаты датирования показали, что возраст отложений в керне

изменяется от почти современного до 15500 лет. Содержание ООУ варьирует в широких пределах - 2-22%, а ОНУ – 0.1-0.4% (рис. 4.2).

Спорово-пыльцевая диаграмма для отложений оз. Арахлей построена с использованием программы Tilia/Tilia-Graph/TGView [Ошибка! Источник ссылки не найден.] и подразделена на четыре локальные пыльцевые зоны методами визуального контроля и применения CONISS [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Краткая характеристика палинозон и вариаций в геохимической записи приведена для облегчения понимания интерпретации результатов.

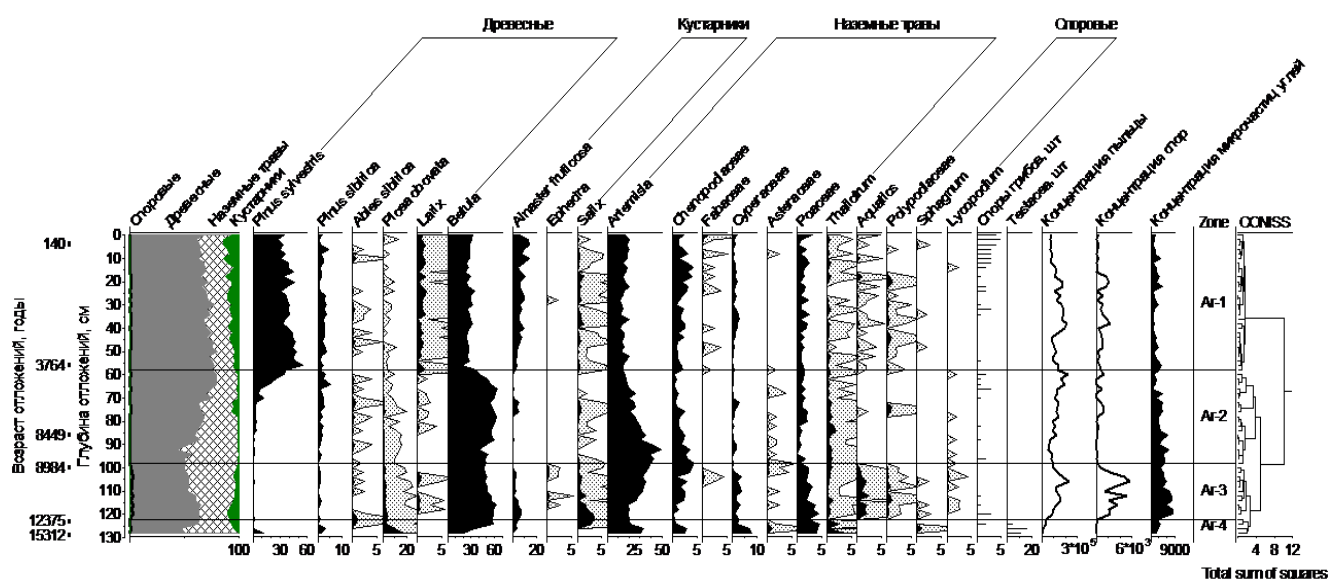


Рис. 4.2 – Спорово-пыльцевая диаграмма отложений оз. Арахлей.

Палинозона Ar-4 (128-125 см, ~15500-12500 л.н.) - Poaceae-Cyperaceae-Picea-Betula. В СПС также много пыльцы лютиковых Ranunculaceae. В группе древесных преобладает пыльца ели, берёзы, есть пыльца обеих сосен, отмечено и высокое содержание пыльцы ивы Salix и ольховника *Duschekia fruticosa*. Постоянно встречаются створки панцирных амеб. Значения ООУ и ОНУ резко меняются от относительно высоких к самым низким за все время формирования отложений в керне.

Палинозона Ar-3 (125-97 см, ~12500-8800 л.н.) - Artemisia-Poaceae-Cyperaceae-Betula. В этой зоне отмечен максимум пыльцы высших водных растений Aquatics. Значительно возрастает содержание ООУ и ОНУ.

Палинозона Ar-2 (97-57 см, ~8800-4000 л.н.) - Artemisia-Betula. В СПС зоны позднее примерно 6000 л.н. начинает быстро и значительно повышаться обилие пыльцы сосны *Pinus sylvestris*, с ее максимум около 4000 л.н. Содержание ООУ и ОНУ продолжает повышаться.

Палинозона Ag-1 (57-0 см, ~4000 л.н.-современность) – Pinus-Larix-Betula. В СПС зоны также в значительном количестве есть пыльца трав, кустарников. Содержание ООУ достигает максимальных значений, а ОНУ значительно снижается.

Новая комплексная запись из донных отложений оз. Арахлей отражает эволюцию природной среды в Беклемишевской котловине за последние почти 15500 лет, что соответствует части позднеледникового времени и всему голоцену. В этом разделе изменения состава СПС и геохимических данных обсуждаются в плане динамики локальной, региональной растительности и климата региона за это время.

Максимум обилия пыльцы Cyperaceae, Salix означает существование заболоченных берегов близко к точке бурения керна. Высокое содержание Ranunculaceae в СПС зоны Ag-4, створки панцирных амеб показывают более низкий, чем современный, уровень озера ~15500-12500 л.н., и подтверждает более близкое нахождение точки бурения керна к береговой линии озера. Резкая смена значений ОНУ, скорее всего, соответствует возросшему образованию кальцита в летнее время, когда пониженный объем воды в озере прогревался сильнее. Сравнение изменений природной среды в Беклемишевской котловине с европейскими записями позволяет соотнести интервал ~15500-12500 л.н. с кратковременными колебаниями климата от GS-2a до GS-1 [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**], что согласуется и с ранее полученным палеоботаническим записями из Байкальского региона [**Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.**] и самого оз. Арахлей [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Позднее, около 12500-8800 л.н. многократно сократились площади еловых, ольховниково-ивовых группировок, но при этом возросла роль лиственных и, особенно, березовых с одновременной экспансией Artemisia, Chenopodiaceae, с участием хвойника Ephedra. Резкое сокращение кустарниковых и расширение травянистых ассоциаций свидетельствует о снижении зимних атмосферных осадков, активизации многолетней мерзлоты. В хронологической шкале этот интервал соответствует стадиям GS-1 [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Характер реконструированной региональной растительности позволяет предположить, что климат этого времени в Беклемишевской котловине стал холоднее и ариднее. Состав СПС свидетельствует о значительном участии в растительности вблизи разреза кустарниковых и травяных тундр с островками лесотундровой растительности из лиственницы и ели. Сравнение характера растительности Молодого Дриаса в Беклемишевской котловине с Западным Забайкальем и Прибайкальем показывает аналогичный характер растительности повсюду. Обилие пыльцы высших водных растений, особенно рода Alisma, которые произрастают на мелководных участках, болотистых лугах

соответствует реконструкциям более аридного климата, поддерживавшего низкий уровень воды в оз. Арахлей. Небольшое повышение ООУ, сопровождающееся возрастанием значений ОНУ в отложениях этого времени также отражает понижение уровня воды в озере и, возможно, повышение биологической продуктивности мелководной зоны озера (рис. 4.3).

Березовые (лесные и кустарниковые) и разнотравно-попынные ассоциации продолжали доминировать в бассейне оз. Арахлей ~8800-4000 л.н. Однако, примерно с 6000 л.н. начинают быстро распространяться леса с *Pinus sylvestris*, с максимум около 4000 л.н. Такие изменения в составе растительности означали появление обширных сухих и теплых мест обитания для сосны. Очевидно, что климат региона позднее 6000 л.н. изменился. Летние сезоны стали более теплыми и продолжительными, что обеспечивало глубокое протаивание многолетнемерзлых пород и широкое развитие сухих и теплых мест обитания для лесных ландшафтов с сосной обыкновенной. Развитие наземной растительности и формирование относительно богатых почв способствовало усилению образования органического углерода в бассейне озера. Последующий экспорт наземного углерода мог приводить к повышению ООУ в отложениях озера. Для оз. Арахлей связь между повышением роли лесной растительности и увеличением содержания ООУ очевидна.

Распространение сосны обыкновенной на огромной территории бассейна оз. Байкал 7000–6000 л. н. рассматривается как важнейший региональный палеоэкологический рубеж голоцена [**Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Позднее 4000 л.н. по направлению к современности отмечается сокращение лесной растительности. При этом леса из *Larix* и кустарниковые ассоциации стали важнейшим элементом региональных и локальных ландшафтов. Реконструкции ландшафтов и климата Беклемишевской котловины для этого временного периода, полученные ранее [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**], демонстрируют аналогичные тенденции. Существенное снижение значений ОНУ могло быть следствием увеличения воды в озере, повышения его уровня.

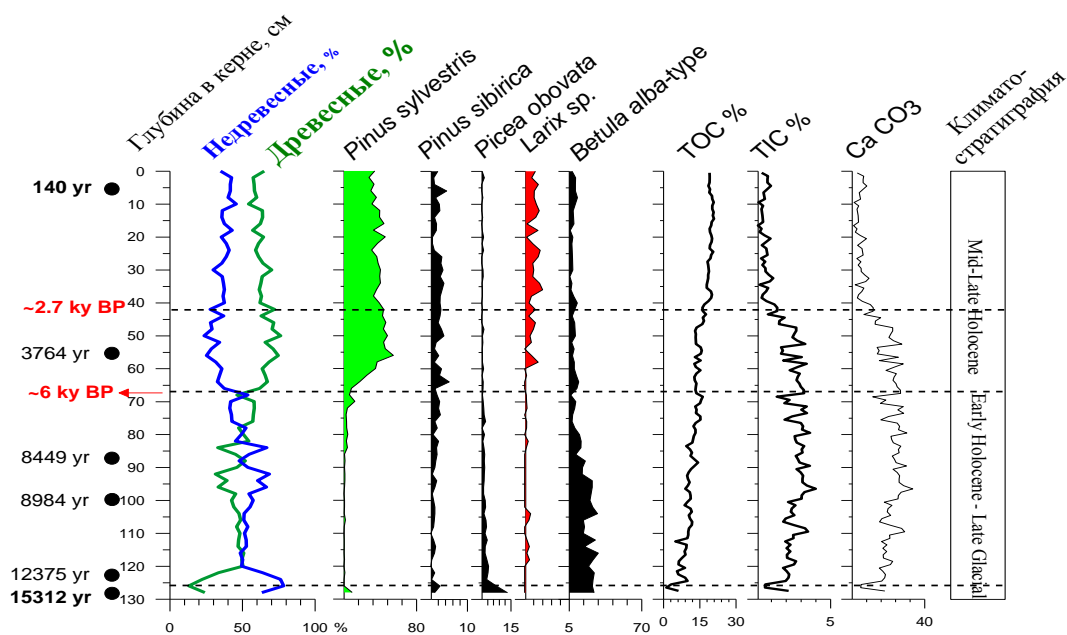


Рис. 4.3 – Обобщающая диаграмма избранных палинологических и геохимических показателей изменения природной среды бассейна оз. Арахлей. Слева от шкалы глубин в керне черными кружками показаны датированные уровни в керне донных отложений озера. Значения возраста выражены в калиброванных годах.

Новая комплексная запись эволюции природной среды Беклемишевской котловины имеет некоторую хронологическую неопределенность для позднеледникового времени. Эта проблема может быть решена получением дополнительных дат для уровней важных изменений природной среды. Кроме того, следует повысить и временное разрешение записей для лучшего понимания разномасштабных реакций растительности на изменения климата.

Проведенные исследования показали, что, новая запись эволюции природной среды и климата Беклемишевской котловины однозначно указывает на высокую чувствительность региональных ландшафтной к климатическим изменениям, подчеркивая, что современное глобальное потепление может вызвать резкую реорганизацию наземных и аквальных экосистем в ближайшем будущем, создавая тем социально-экономические проблемы в регионе, например, с дефицитом питьевой воды. Смягчить последствия таких проблем и призван полученный палеоэкологический сценарий реакции водных экосистем котловины на глобальные изменения климата.

5. Реконструкция растительности Евразии от последнего ледникового максимума до настоящего времени

Оценки растительного покрова в континентальном масштабе, включая свойства поверхности земли и биогеографические тенденции, отражают реакцию видов растений на изменение климата за последние тысячелетия. Эти оценки могут помочь оценить эффективность моделирования изменения климата с использованием методов прямого и обратного моделирования. С появлением переходных и пограничных временных срезов палеоклимата желательно использовать наборы растительных данных с аналогичными временными качествами.

Международный коллектив палеоэкологов, в котором участвуют и сотрудники ИНГ СО РАН, собрали имеющиеся записи анализа содержания пыльцы ископаемой пыльце в осадках озер, торфяников Европы и Азии к северу от 40° с.ш. Возраст осадков охватывает последнюю 21 тысячу лет. Далее, из собранной базы данных были извлечены спорово-пыльцевые спектры, представляющие 1000-летние срезы для интервала времени от 21 тысячи лет до настоящего времени. Затем к каждому набору спектров, сформировавшемуся с интервалов в 1000 лет, был применен подход биомизации для определения наиболее вероятного растительного биома (ландшафта) для определенного интервала времени.

Затем реконструированные биомы (ландшафты) были отображены в форме 22 карт для 22 временных срезов (для каждой тысячи лет), соответственно, и ключевые функциональные типы растений (составляющие биомов) были отслежены во времени для регионов Европы и Азии, расположенных к северу от 40° с.ш.

Результаты реконструкций показали, что 21 тыс. лет назад на всей огромной территории Европы и Азии к северу от 40° с.ш. доминировали открытые ландшафты с господством травянистых тундр и лугов. С начала дегляциации (17-18 тыс. лет назад) на некоторых территориях в Европе регистрируются лесные ландшафты, особенно на юге изучаемой территории, и доля лесных ландшафтов со временем постепенно увеличивается к 14 тыс. лет назад. В этот же период лесные, степные и тундровые ландшафты, чередуясь в зависимости от высоты местности, существовали в горах Центральной Азии, и лесные ландшафты встречаются в прибрежных районах Тихого океана.

Встречаемость таких лесных ландшафтов, наряду с данными по макроостаткам растений, указывают на то, что некоторые популяции деревьев постоянно существовали в южной и восточной Европе и центральной и восточной Евразии, начиная, по крайней мере. С 17-18 тыс. лет назад.

Состав функциональных типов растительности открытых травяных ландшафтов подчеркивает значительный вклад разнотравья в состав безлесных ландшафтов. Повышение доступной растений влаги (воздуха и почвы) около 14 тыс. лет назад стало причиной

перехода в господству лесной растительности и увеличить количества участков, где стали развиваться озера и болота, особенно в Европейской части региона.

Реконструкции показали, что обезлесение в Западной Европе стало особенно заметно в последние два тысячелетия. Скорее всего, сокращение лесных ландшафтов здесь может быть связано с расширением сельского хозяйства.

Полученные научные результаты стали важным вкладом в мировую базу данных, используемую для повышения надежности прогнозных моделей климата и растительности.

На рис. 5.1. в качестве примера показана карта доминирующих 12 тысяч лет назад ландшафтов.

5.1.

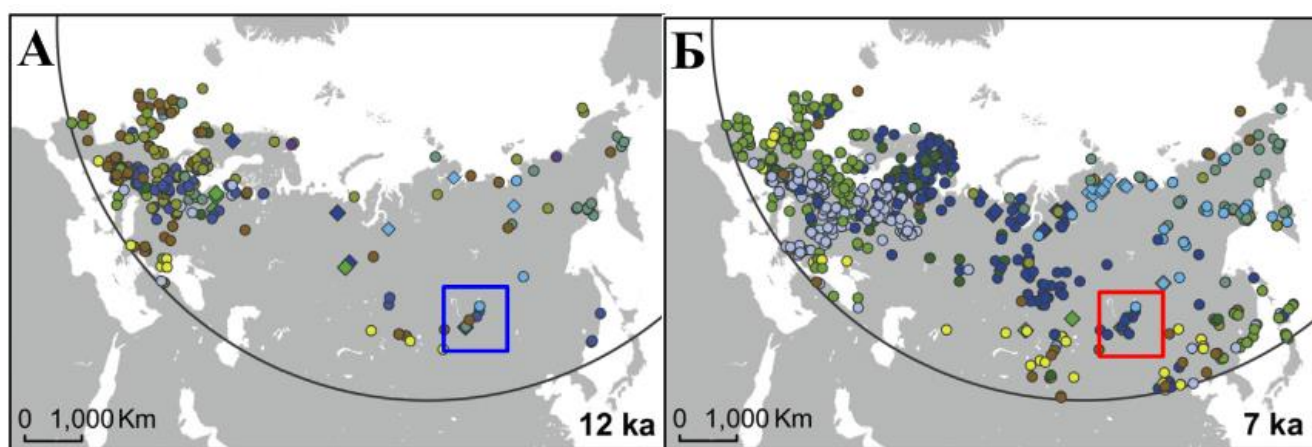


Рис. 5.1. А - разнотравно-злаковые и кустарниковые тундры (коричневые кружки), холодные лиственничные леса (голубые кружки) с участками хвойной тайги (темно-синие кружки). 12 ka – 12 тысяч лет назад, в финале оледенения; Б - темнохвойная тайга из кедрово-елово-лиственничных лесов (темно-синие кружки) в оптимум современного межледниковья.

6. Изучение значения атмосферного транспорта ОВ природного и антропогенного происхождения в донных отложениях Малого моря (оз. Байкал)

В 2017 г. были проведены исследования распределения органического вещества (ОВ) природного и антропогенного происхождения в водах, донных отложениях пролива Малое море (оз. Байкал), его притоках и малых озерах, снеге и почвах материкового побережья пролива и на о. Ольхон (рис. 5.1).

Результаты показали, что уровень трофности зал. Мухор соответствует эвтрофному водоему. Остальная часть Малого моря, за исключением зал. Мухор, не может быть отнесена к эвтрофному водоему. Прослеживается влияние притоков и поселков на материковом и Ольхонском побережье на состав вод пролива. На основе стехиометрического отношения С, N и P подтверждено, что лимитирующими компонентами в развитии фитопланктона являются азот, и фосфор. Изучены источники, определяющие содержание органического вещества и биогенных элементов в Малом море (атмосферные осадки (снег), почвы, донные отложения, притоки и их русловые отложения).

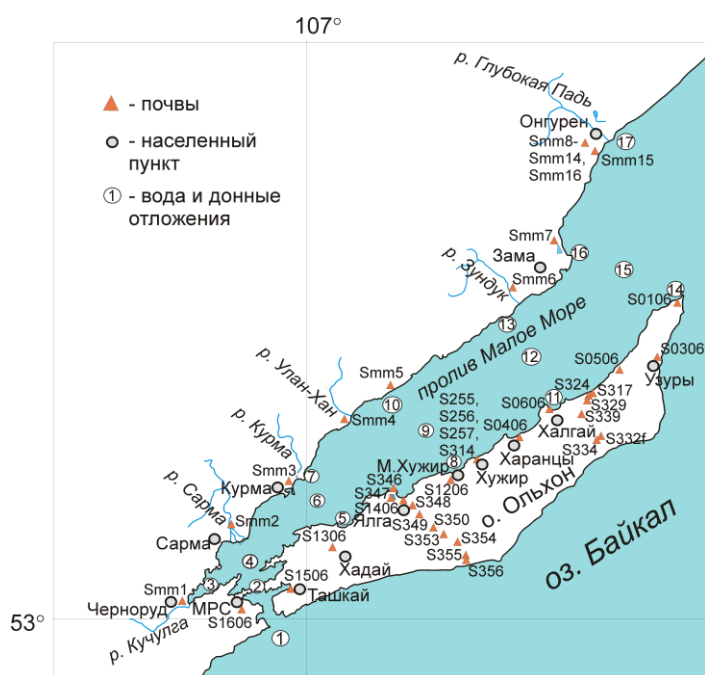


Рис. 6.1 – Схема отбора проб воды и донных отложений в проливе Малое море, его притоках и малых озерах, а также почв на о. Ольхон и материковом побережье Малого моря.

По результатам кластерного анализа [Ошибка! Источник ссылки не найден.] состава С, N, P в воде Малого моря, рек, малых озер и колодцев, донных отложениях и снеговой воде (рис. 5.2) можно выделить 3 основные группы. К первой группе относятся воды прибрежных станций, расположенных ближе к материковому склону, испытывающие влияние рек и течений с севера на юг под действием сил Кориолиса. Состав органического вещества и биогенных элементов донных отложений формируется в результате влияния водного гумуса планктонного происхождения и частично почв и пород побережья. Кроме того, состав вод в оз. Эхе-Нур близок составу вод колодцев п. Онгурен. Во второй и третьей группах объединены воды рек, станций центральной части пролива и тяготеющие к о.

Ольхон. Они характеризуются низким содержанием нитратного азота, повышенным содержанием органического азота, низкими величинами отношений C:N, что позволяет сделать вывод о преобладании развития синезеленых водорослей. Влияние атмосферных осадков на состав ОВ и БЭ в воде и донных отложениях Малого моря незначительное.

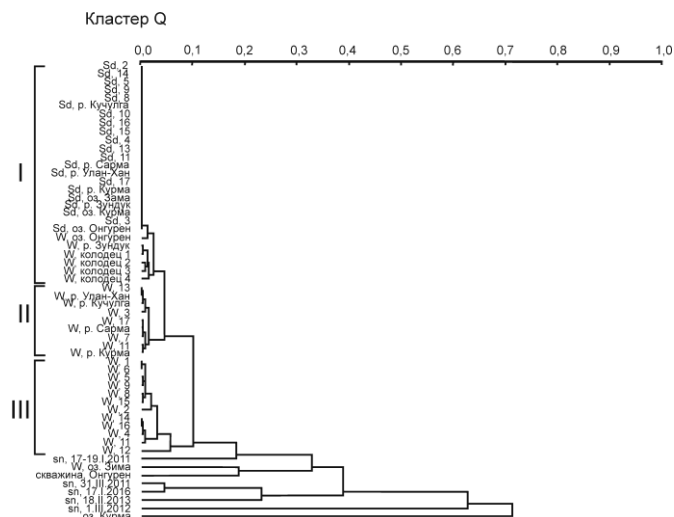


Рис. 6.2. Группирование химических анализов вод, донных отложений и снега кластер методом.

Кроме того, исследовано содержание ГХБ, α - и γ -изомеров ГХЦГ, Σ ДДТ и его метаболитов и Σ ПХБ в донных отложениях Малого моря в северной глубоководной (Sd-15) и в южной мелководной части (Sd-4) пролива. Полученные концентрации пестицидов и ПХБ в донных отложениях мелководной части сравнимы и ниже найденных в южном Байкале и Иркутском водохранилище (рис. 5.3). В глубоководной части отмечено превышение концентраций γ -ГХЦГ найденных ранее в регионе, что в сочетании с отношением α/γ -ГХЦГ в донных отложениях в Байкале в начале 1990 гг. (2-5,9) и в Малом море сейчас – 0,48-0,69, предполагает продолжение поступления линдана (γ -ГХЦГ) в экосистему Байкала. Кроме того, в донных отложениях Малого моря найден исходный ДДТ. Отношение ДДЭ/ДДТ в пробах донных отложений в Малом море составляет 1,1-1,5, в южном Байкале – 1,2-30, а в Иркутском водохранилище ДДТ не обнаружен. Это предполагает, что поступление ДДТ в экосистему Малого моря происходило дольше, чем в южном Байкале.

Концентрации всех исследованных стойких органических загрязнителей (СОЗ) в донных отложениях в южной части пролива и ДДТ и ПХБ в донных отложениях в глубоководной части ниже нормативов, принятых в Канаде [22]. Уровни линдана (γ -ГХЦГ), ДДТ и ДДЭ в донных отложениях северной части пролива выше нормативов, принятых в

Канаде, но ниже уровня, при котором вероятно негативное воздействие на биоту. По сравнению с Нормами и критериями оценки донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга концентрации α -ГХЦГ и сумма ДДТ и его метаболитов в южной части и ГХБ и ПХБ на обеих станциях ниже целевого уровня и донные отложения по этим показателям относятся к чистым (класс 0).

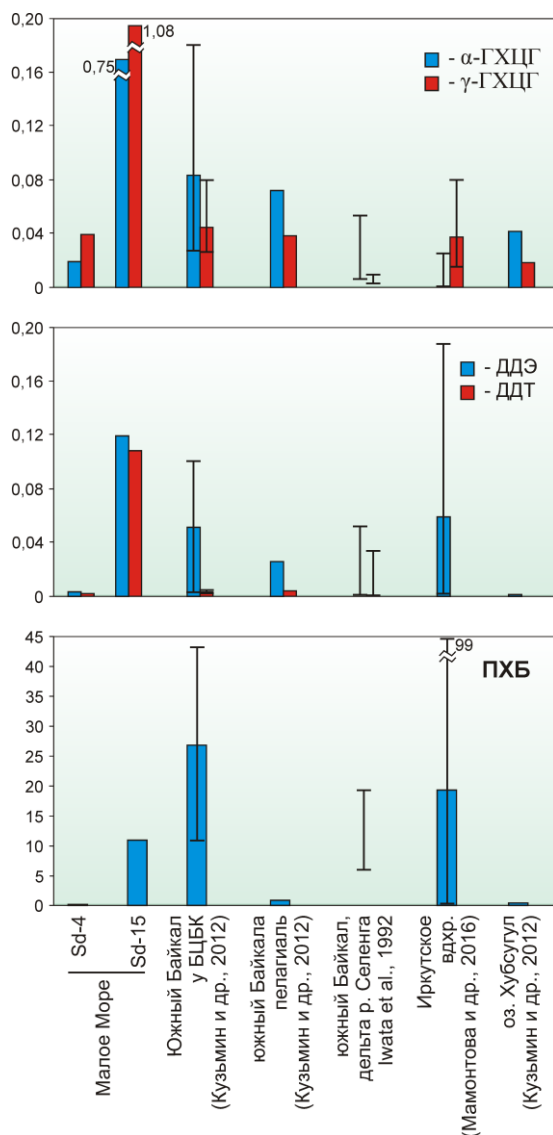


Рис. 6.3 – Сравнение концентраций СОЗ в донных отложениях региона (нг/г) по данным разных авторов [19-21].

Концентрации линдана (γ -ГХЦГ) в пробах с обеих станций и α -ГХЦГ и сумма ДДТ и его метаболитов в поверхностных донных отложений северной глубоководной части пролива и выше предельного, целевого и проверочного уровней соответственно, но ниже уровня вмешательства, что соответствует умеренно загрязненным α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ и сильнозагрязненным ДДТ донным отложениям.

чем в группе I. Почвы, отобранные на остальных территориях, снеговые пробы, отдельные пробы атмосферного воздуха, а также донные отложения входят в одну группу I. Т.е., можно предположить, что состав ПХБ в современных поверхностных донных отложениях пролива формируется в результате смыва накопленных ранее ПХБ с поверхности почв побережий, а также при таянии снега. Небольшое влияние атмосферного переноса (группа III) на состав ПХБ в донных отложениях в настоящее время также возможно.

7. Изучение компонентного состава газа и изотопного состава углерода метана подводного нефтегазового проявления Горевой утес (оз. Байкал)

В 2017 году было проведено обобщение полученных ранее результатов исследования углеводородных газов (УВГ) нефтегазового проявления Горевой утес, расположенного в Центральной котловине озера Байкал. В этом районе озера на поверхности воды наблюдаются многочисленные нефтяные пятна диаметром до 1 м, образующиеся при растекании всплывающих шариков нефти. При изучении нефтегазового проявления с использованием ГОА “Мир” на дне озера были найдены многочисленные битумные постройки конусообразной формы высотой до 1 м и диаметром до 1,5 м. На некоторых из них шла одновременная разгрузка нефти и газа (действующие постройки) [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**3].

Изучен компонентный состав газа растворенного в поровых водах, пузырьков газа и гидратного газа, а также изотопный состав углерода метана. Определение УВГ в осадке проведено методом Head-Space. Полевой материал был отобран в рейсах НИС “Верещагин”, организованных Лимнологическим институтом СО РАН.

Основным компонентом газа является метан (C_1). Содержание гомологов $C_2 - C_4$ (C_{2+}) в образцах газа из кернов, отобранных донными трубками варьирует от 0,04 % до 1,22 %. Примерно такие же концентрации C_{2+} (0,12% - 0,70%) характерны для ГГ, а также для пузырьков газа, выделяющиеся из действующей битумной постройки и на плоском дне (0,81% и 0,44% соответственно).

Компонентный состав C_{2+} газа растворенного в поровых водах крайне неоднородный. В некоторых образцах гомологи метана представлены только этаном, часть проб газа наряду с этаном содержит *изо*-бутан и/или пропан и лишь примерно в трети образцов зафиксированы гомологи от этана до *n*-бутана включительно. Большинство таких образцов газа была отобрана в кернах, где присутствовали примазки нефти.

Среднее значение $\delta^{13}C$ метана нефтегазового проявления (газ, растворенный в поровых водах, ГГ, пузыри газа) составляет -44,86‰ (мин. -53,90‰; макс. -38,84 ‰), а $\delta^{13}C$

этана варьирует в диапазоне $-23,4\text{‰} \div -33,3\text{‰}$ (среднее = $-28,3\text{‰}$). Такие значения $\delta^{13}\text{C}$ метана и этана характерны для термогенного газа см. напр. [Ошибка! Источник ссылки не найден.4, Ошибка! Источник ссылки не найден.5], который может образоваться на глубинах порядка 2-3 км, т. е. в главной зоне нефтеобразования [Ошибка! Источник ссылки не найден.6].

Вместе с тем на диаграмме Бернарда, которая позволяет проводить генетическую типизацию метана, большинство исследованных образцов газа попадает в поле геометрически расположенное выше области термогенного метана (рис. 6.1), и такая низкая примесь C_{2+} нетипична для термогенного газа ассоциированного с нефтью. Низкая влажность газа в верхних слоях осадка обусловлена, на наш взгляд, целым рядом вторичных процессов, таких как смешение термогенного газа с микробным, биодеградацией гомологов метана и молекулярным фракционированием при перемещении, приводящее к сегрегации C_{2+} . Эти процессы реализуются во многих газовых системах, где происходит разгрузка термогенного газа. Например, в наземных грязевых вулканах [Ошибка! Источник ссылки не найден.7].

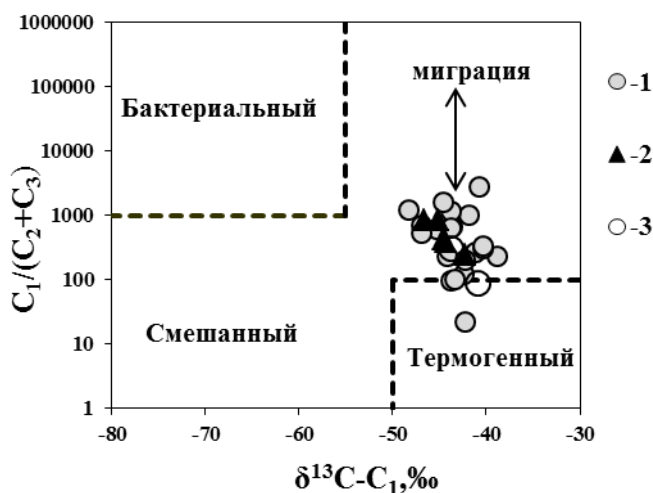


Рис. 6.1 – Генетическая характеристика метана из осадков нефтегазового проявления Горевой утес (по [Ошибка! Источник ссылки не найден.]). 1- газ, растворенный в поровых водах; 2 – газовые гидраты; 3 – пузыри газа

Смешение термогенного метана с микробным, который образуется на меньших глубинах, приводит к снижению концентрации C_{2+} и значения $\delta^{13}\text{C}-\text{C}_1$ в смеси. На Байкале интенсивное образование метана начинается уже в самых верхних, приповерхностных слоях осадка, поэтому газ, отобранный в верхних горизонтах исследованных кернов, всегда

содержит примесь микробного метана, что и подтверждают наши данные. Так, образцы газа в приповерхностных слоях осадка за счет смешения с микробным газом имеют более изотопно-легкий углерод метана (< -50 ‰). Образцы, с нижних интервалов загрязнены микробным метаном в меньшей степени и, в принципе, содержат информацию относительно свойств газа на глубоких горизонтах донных отложений, особенно при высокой мощности потока термогенного газа снизу. Несмотря на то, что процесс смешения протекает на всем пути миграции термогенного газа от источника к поверхности дна, можно утверждать, что, в целом, смешение не оказывает катастрофического влияния на свойства исходного газа, о чем свидетельствует высокое, характерное для термогенного метана значение $\delta^{13}\text{C}-\text{C}_1$ в образцах, отобранных на нижних интервалах исследованных кернов.

Сегрегация C_{2+} также приводит к уменьшению влажности исходного термогенного газа. Однако изотопный состав углерода метана при этом не претерпевает существенных изменений. На рисунке наблюдается практически вертикальный тренд значений $\text{C}_1/(\text{C}_2+\text{C}_3)$, что может свидетельствовать о главенствующей роли сегрегации C_{2+} в формировании компонентного состава углеводородных газов нефтегазового проявления Горевой утес.

Анаэробная биodeградация гомологов метана, в результате которой, происходит предпочтительное удаление *n*-алканов (пропан, *n*-бутан и т.д.) [Ошибка! Источник ссылки не найден.8, Ошибка! Источник ссылки не найден.9, 30] также приводит снижению влажности термогенного газа. При этом микробное сообщество практически не затрагивает метан и этан. Наиболее легко подвержен биodeградации пропан, обладающий наибольшей растворимостью в воде по сравнению с другими *n*-алканами, что делает его более доступным для микроорганизмов.

В газе, не подверженном бактериальной переработке, в ряду метан – *n*-бутан происходит монотонное увеличение значения $\delta^{13}\text{C}$ в виде гладкой прогрессии. В процессе же бактериального разложения *n*-алканов продукты реакции обогащаются изотопом ^{12}C , а остаточные компоненты - изотопом ^{13}C и эта закономерность нарушается.

Из-за низких концентраций C_{2+} в газе из осадков нефтегазового проявления $\delta^{13}\text{C}$ гомологов метана удалось измерить в ГГ и единичных образцах газа, растворенного в поровых водах. Измерения проведены А. Хачикубо по методике, описанной в работе [Ошибка! Источник ссылки не найден.1], позволяющей определить значение $\delta^{13}\text{C}$ при концентрациях гомологов $< 0,1\%$ относительно метана.

Результаты измерений показали, что пропан аномально обогащен изотопом ^{13}C относительно этана и *изо*-бутана ($\delta^{13}\text{C}-\text{C}_3$ до $-12,8\%$). Это является свидетельством того, что процесс биодegradации *n*-алканов в осадках нефтегазового проявления реализуется.

Таким образом, установлено, что метан в осадках нефтегазового проявления Горевой утес имеет термогенное происхождение. Вместе с тем он характеризуется невысокой примесью C_{2+} , что нехарактерно для газа, ассоциированного с нефтью. Низкая влажность газа в верхних слоях осадка обусловлена влиянием ряда вторичных процессов. В первую очередь молекулярным фракционированием газа в процессе его высачивания на поверхность дна, а также биодegradацией гомологов метана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате реализации плана научно-исследовательских работ 2017 года

- подтверждено обнаружение экскурсов Гётеборг и Моно Лейк в записи озёрных отложений оз. Баунт;
- показано, что экскурс Гётеборг может рассматриваться как глобальное палеомагнитное событие, которое на севере Забайкальского региона, согласно нашим исследованиям, имело место в интервале 13,3–13,1 тыс. лет назад;
- установлено, что возраст экскурса Моно Лейк составляет 26,1–25,9 тыс. лет, и это позволяет отделить его от происходившего на 10–20 тыс. лет ранее экскурса Лашамп.
- впервые проведено изучение гранулометрического состава многослойного местонахождения фауны Малые Голы;
- показано, что впервые определенная для отложений разреза Малые Голы суммарная степень агрегированности может служить важным параметром, характеризующим вклад химических процессов в формирование и преобразование отложений;
- установлено, что геохимический состав донных отложений позднего кайнозоя на подводных возвышенностях оз. Байкал (Академический хребет, Посольская банка) почти аналогичен. Незначительные расхождения по микроэлементному составу, по-видимому, могли быть обусловлены различными условиями осадконакопления на исследуемых морфоструктурах;
- разработана палеоэкологическая модель эволюции Ивано-Арахлейского заказника за последние 15 тыс. лет методами биостратиграфического и геохимического анализов; эта

модель указывает на возможность резкой реорганизации наземных экосистем региона в ответ на глобальное потепление;

- изучены источники, определяющие содержание органического вещества (ОВ) и биогенных элементов (БЭ) в Малом Море; установлено, что влияние атмосферных осадков на состав ОВ и БЭ в воде и донных отложениях Малого Моря незначительно;

- установлено, что метан в осадках нефтегазового проявления Горевой утес (оз. Байкал) имеет термогенное происхождение. Вместе с тем он характеризуется невысокой примесью C_{2+} , что нехарактерно для газа ассоциированного с нефтью. Низкая влажность газа в верхних слоях осадка обусловлена влиянием ряда вторичных процессов.

Таким образом, все задачи проекта выполнены полностью. Полученные результаты являются новыми и вносят существенный вклад в понимание эволюция экосистем Внутренней Азии в позднем кайнозое, закономерностей их длительного функционирования, 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 Логачев Н.А. Кайнозойские отложения Иркутского амфитеатра [Текст] / Н.А. Логачев, Т.К. Ломоносова, В.М. Климанова.– М.: Наука, 1964.– 195 с.
- 2 Структура и история развития Предбайкальского предгорного прогиба [Текст].– М.: Наука, 1976.– 134 с.
- 3 Раукас А.В. Классификация обломочных пород и отложений по гранулометрическому составу [Текст] / А.В. Раукас.– Таллин: ИГ АН ЭССР, 1981.– 14 с.
- 4 Гиббард Ф.Л. Четвертичная система (период) и ее основные подразделения [Текст] / Ф.Л. Гиббард // Геология и геофизика.– 2015.– Т.56.– № 4.– С. 873-875.
- 5 Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones [Text] / M.R. Bhatia // Journal of Geology.– 1983.– Vol. 91.– N 6.– P. 611-627.
- 6 Левицкий В.И. Петрология и геохимия метасоматоза при формировании континентальной коры [Текст] / В.И. Левицкий.– Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2005.– 340 с.

- 7 Цыганков А.А. Позднепалеозойские гранитоиды Западного Забайкалья: последовательность формирования, источники магм, геодинамика [Текст] / А.А. Цыганков // Геология и геофизика.– 2014.– Т. 55.– № 2.– С. 197-227.
- 8 Бухаров А.А. Геологическое строение дна Байкала. Взгляд из «Пайсиса» [Текст] / А.А. Бухаров, В.А. Фиалков.– Новосибирск: Наука.– 1996.– 118 с.
- 9 McLennan S.M. Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust [Text] / S.M. McLennan // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*.– 2001.– Vol. 2.– N4.
- 10 Гавшин В.М. Урановые аномалии в глубоководных отложениях озера Байкал [Текст] / В.М. Гавшин, В.А. Бобров, Ю.А. Богданов // Докл. РАН.– 1994.– Т. 334.– №. 3.– С. 356-359.
- 11 Vegetation of Central Transbaikalia in the Late Glacial Period and Holocene [Text] / S.A. Reshetova, E.V. Bezrukova, V. Panizzo, A. Henderson, A.B. Ptitsyn, A.V. Daryin, I.A. Kalugin // *Geography and Natural Resources*.– 2013.– Vol. 34.– N 2.– P. 172-178.
- 12 Ивано-Арахлейский заказник: природно-ресурсный потенциал территории [Текст] / отв. ред. В.П. Горпачев.– Чита: Поиск.– 2002.– 232 с.
- 13 Grimm E.C. Illinois State Museum, Research and Collections Center [Electronic resource] (TGView) / E.C. Grimm.– Springfield.– 2004.
- 14 Grimm, E.C. CONISS: A Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares [Text] / E.C. Grimm // *Comput. Geosci*.– 1987.– Vol. 13.– P. 13-35.
- 15 High resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the Last Interglacial Period [Text] / K. K. Andersen, N. Azuma, J.-M. Barnola, M. Bigler, P. Biscaye, N. Caillon, J. Chappellaz, H. B. Clausen, D. Dahl-Jensen, H. Fischer, J. Flückiger, D. Fritzsche, Y. Fujii, K. Goto-Azuma, K. Grønvold, N. S. Gundestrup, M. Hansson, C. Huber, C. S. Hvidberg, S. J. Johnsen, U. Jonsson, J. Jouzel, S. Kipfstuhl, A. Landais, M. Leuenberger, R. Lorrain, V. Masson-Delmotte, H. Miller, H. Motoyama, H. Narita, T. Popp, S. O. Rasmussen, D. Raynaud, R. Rothlisberger, U. Ruth, D. Samyn, J. Schwander, H. Shoji, M.-L. Siggard-Andersen, J. P. Steffensen, T. Stocker, A. E. Sveinbjörnsdóttir, A. Svensson, M. Takata, J.-L. Tison, Th. Thorsteinsson, O. Watanabe, F. Wilhelms & J. W. C. White // *Nature*.– 2004.– Vol. 431.– P. 147-151.
- 16 Late glacial and Holocene vegetation and regional climate variability evidenced in high-resolution pollen records from Lake Baikal [Text] / D. Demske, G. Heumann, W. Granoszewski, M. Nita, K. Mamakowa, P. Tarasov, H. Oberhänsli // *Global and Planetary Change*.– 2005.– Vol. 46.– P. 255-279.

- 17 Tarasov P. Late Glacial and Holocene changes in vegetation cover and climate in southern Siberia derived from a 15 kyr long pollen record from Lake Kotokel [Text] / P. Tarasov, E. Bezrukova, S. Krivonogov // *Climata of the Past.*– 2009.– Vol. 5.– P. 285-295.
- 18 Гусев В.А. Алгоритм построения иерархической дендрограммы кластер-анализом в геолого-геохимических приложениях [Текст] / В.А. Гусев, И.К. Карпов, А.И. Киселев // *Изв. АН СССР, Сер. геол.*– 1974. – № 8.– С. 61-67.
- 19 Стойкие органические загрязнители в донных отложениях Южного Байкала [Текст] / М.И. Кузьмин, А.А. Мамонтов, Е.А. Мамонтова, Е.Н. Тарасова // *Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах: сб. науч. тр. / Материалы V Всероссийского симпозиума с международным участием, 10-14 сентября 2012 г., Петрозаводск, Республика Карелия, Россия. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН.*– 2012.– С. 55-56.
- 20 Мамонтова Е.А. Полихлорированные бифенилы и хлорорганические пестициды в донных отложениях Иркутского водохранилища [Текст] / Е.А. Мамонтова, А.А. Мамонтов, Е.Н. Тарасова // *Водные ресурсы.*– 2016.– Т. 42.– № 2.– С. 196-201.
- 21 Persistent organochlorine residues in air, water, sediments, and soil from the Lake Baikal Region, Russia [Text] / H. Iwata, S. Tanabe, K. Ueda, R. Tatsukawa // *Environ. Sci. Technol.*– 1995.– Vol. 29, N 3.– P. 792-801.
- 22 CCME. Canadian environmental quality guidelines. PN 1299 [Electronic resource] / Canadian Council of Ministers of the Environment.– Winnipeg.– 1999. ISBN 1_896997_34_1. http://www.ccme.ca/publications/ceqg_rcqe.html
- 23 Донные битумные постройки и населяющая их биота по данным обследования озера Байкал с глубоководных обитаемых аппаратов “Мир” [Текст] / О.М. Хлыстов, Т.И. Земская, Т.Я. Ситникова, И.В. Механикова, И.А. Кайгородова, А.Г. Горшков, О.А. Тимошкин, О.В. Шубенкова, С.М. Черницына, А.В. Ломакина, А.В. Лихошвай, А.М. Сагалевич, В.И. Москвин, В.И. Пересыпкин, Н.А. Беляев, М.В. Слипечук, А.К.Тулохонов, М.А. Грачев // *Доклады Академии наук.*– 2009.– Т. 428.– № 5.– С. 682-685.
- 24 Whiticar M.J. Carbon and hydrogen isotope systematics of bacterial formation and oxidation of methane [Text] / M.J. Whiticar M.J. // *Chemical Geology.*– 1999.– Vol. 161.– P. 291-314
- 25 Milkov A.V. Molecular and stable isotope compositions of natural gas hydrates: A revised global dataset and basic interpretations in the context of geological settings [Text] / A.V. Milkov // *Organic Geochemistry.*– 2005.– Vol.36.– P. 681–702

- 26 Нефтегазоносность отложений озера Байкал [Текст] / А.Э. Конторович, В.А. Каширцев, В.И. Москвин, Л.М. Бурштейн, Т.И. Земская, Е.А. Костырева, Г.В. Калмычков, О.М. Хлыстов // Геология и геофизика.– 2007.– Т. 48.– № 12.– С. 1346-1356
- 27 Etiope G. Terrestrial methane seeps and mud volcanoes: A global perspective of gas origin [Text] / G. Etiope, A. Feyzullayev, C.L. Vaciu // Marine and Petroleum Geology.– 2009.– Vol. 26.– N 3.– P. 333-344.
- 28 Bernard B.B. Natural gas seepage in the Gulf of Mexico [Text] / B.B. Bernard, J.M. Brooks, W.M. Sackett // Earth Planet Sci. Lett.– 1976.– V. 31.– N 1.– P. 48-54.
- 29 James A.T. Microbial alteration of subsurface natural gas accumulations [Text] / A.T. James, B.J. Burns // American Association of Petroleum Geologists Bulletin.– 1984.– Vol. 68.– P. 957-960.
- 30 Pallasser R.J. Recognising biodegradation in gas/oil accumulations through the $\delta^{13}C$ compositions of gas components [Text] / R.J. Pallasser // Organic Geochemistry.– 2000.– Vol. 31.– P. 1363-1373.
- 31 Hachikubo A.. Molecular and Isotopic Composition of Volatiles in Gas Hydrates and in Sediment from the Joetsu Basin, Eastern Margin of the Japan Sea [Text] / A. Hachikubo, K. Yanagawa, H. Tomaru, H. Lu, R. Matsumoto // Energies.– 2015.– Vol. 8.– N 6.– P. 4647-4666

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

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

индикатор	Ед. измерения	Всего
Количество публикаций в ведущих российских и международных журналах по результатам исследований, полученных в процессе реализации проекта	единиц	6
Количество публикаций в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (WEB of Science)	единиц	6
Количество монографий (глав в монографиях)	единиц	1
Количество публикаций в сборниках конференций	единиц	1
Число тезисов в конференциях	единиц	11

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

1. Mamontova E.A. PCBs and OCPs in human milk in Eastern Siberia, Russia: Levels, temporal trends and infant exposure assessment [Text] / E.A. Mamontova, E.N. Tarasova, A.A. Mamontov // Chemosphere.– 2017.– Vol. 178.– P. 239-248.

2. Vegetation of eurasia from the last glacial maximum to present: key biogeographic patterns [Text] / H. Binney, M. Edwards, J. Nield, M. Macias-Fauria, K. Willis, A. Lozhkin, P. Anderson, J.O. Kaplan, A. Andreev, E. Bezrukova, T. Blyakharchuk, V. Jankovska, I. Khazina, S. Krivonogov, K. Kremenetski, E. Novenko, N. Ryabogina, N. Solovieva, V. Zernitskaya // Quaternary Science Reviews.– 2017.– Vol. 157.– P. 80-97.

3. Возникновение вторичных зон локального загрязнения в юго-восточной части Байкальской природной территории [Текст] / А.А. Мамонтов, Е.Н. Тарасова, Е.В. Безрукова, А.А. Щетников, Е.В. Иванов, Е.А. Мамонтова, М.И. Кузьмин // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология.– 2017.– № 3.– С. 41-46.

4. Геохимические характеристики метана из осадков подводной возвышенности Посольская банка (озеро Байкал) [Текст] / Г.В. Калмычков, Б.Г. Покровский, А. Хачикубо, О.М. Хлыстов // Литология и полезные ископаемые.– 2017.– № 2.– С. 121-129.
5. Изменение природной среды северо-востока Республики Бурятия в пост-оптимальный период голоцена: первые результаты [Текст] / Е.В. Безрукова, А.А. Амосова, В.М. Чубаров, А.Л. Финкельштейн, Н.В. Кулагина Н.В. // Сибирский экологический журнал.– 2017.– Т. 24.– № 4.– С. 498-511.
6. Карбонатная седиментация в малых минеральных озерах Западного Забайкалья: отклик на изменения климата голоцена [Текст] / П.А. Солотчин, Е.В. Складов, Э.Р. Солотчина, Ю.Н. Маркова // Доклады Академии наук.– 2017.–, Т. 473.– № 6.– С. 703-708.
7. Определение основных породообразующих элементов, стронция и циркония рентгенофлуоресцентным методом для геохимической характеристики донных отложений [Текст] / А.А. Амосова, В.М. Чубаров, Е.В. Канева, Ю.Н. Маркова Ю.Н. // Аналитика и контроль.– 2017.– Т. 21.– № 1.– С. 16-24.
8. Первые результаты исследования донных отложений оз. Баунт (Северное Забайкалье) [Текст] / М.А. Крайнов, Е.В. Безрукова, Е.В. Кербер, О.В. Левина, Е.В. Иванов, А.А. Щетников, И.А. Филинов // Геология и геофизика.– 2017.– № 11.– С. 1764-1776.
9. Пространственное распределение и временная изменчивость химического состава вод озера Хубсугул (Монголия) [Текст] / Е.Н. Тарасова, Е.А. Мамонтова, А.А. Мамонтов, А.В. Горегляд, С.С. Цыпукова, Л.Л. Ткаченко // Экологическая химия.– 2017.– Т. 26.– № 2.– С. 87-100.
10. Термомагнитный анализ самородного железа верхних осадочных горизонтов озера Байкал, разрез GC-99 (Посольская банка) [Текст] / Д.М. Печерский, Д.М. Кузина, Е.В. Иванов, М.И. Кузьмин, Д.К. Нургалиев // Геология и геофизика.– 2017.– Т. 58.– № 12.– С. 1964-1974.