

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ ИМ. А.П. ВИНОГРАДОВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИГХ СО РАН)

УДК 550.4:552.57/.58

Рег. № НИОКТР АААА-А17-117041910028-4

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИГХ СО РАН д.г.-м.н.

_____ А.Б. Перепелов

« ____ » _____ 2019 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ЭВОЛЮЦИЯ ЭКОСИСТЕМ ВНУТРЕННЕЙ АЗИИ В ПОЗДНЕМ КАЙНОЗОЕ –
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СЦЕНАРИИ»

(промежуточный)

Номер проекта в ИСГЗ ФАНО 0350-2016-0026

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

Программа IX.127.1. Факторы, определяющие изменение среды и климата
Центральной Азии в кайнозое

Руководитель проекта
гнс, доктор географ. наук.

_____ Е.В. Безрукова

Иркутск, 2019

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ:

Руководитель НИР, гнс., д-р географич. наук	_____	Е. В. Безрукова (реферат, введение, разделы 2,3 заключение, компиляция отчета)
Исполнители: мнс	_____	А.А. Амосова (раздел 1)
нс, канд. геол.-мин. наук	_____	М.А. Крайнов (раздел 2, оформление отчета по ГОСТу)
мнс, канд. геол.-мин. наук	_____	Е.В. Иванов (раздел 5)
снс, канд. биол. наук	_____	А.А. Мамонтов (раздел 4)
снс, канд. мед. наук	_____	Е.А Мамонтова (раздел 4)
снс, канд. геол.-мин. наук	_____	Г.В. Калмычков (раздел 6)

УДК 550.4:552.57/.58

Ключевые слова: научно-исследовательская работа, промежуточный отчет.

РЕФЕРАТ

Отчет 74 с., 1 кн., 33 рис., 11 табл., 56 источников, 3 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, современные почвы, пробы воздуха.

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

Ключевые слова: природная среда, плейстоцен и голоцен, ландшафты, климат, Восточная Сибирь, донные отложения, геохимические маркеры, биогеохимические циклы.

Проведено комплексное изучение кернов донных отложений из озер, торфов из разных районов гор Восточного Саяна методами абсолютной геохронологии, рентгенофлуоресцентного, палеомагнитного, палинологического, литологического анализов. Показана перспективность использования результатов гранулометрического состава, петрохимических характеристик, магнитных свойств донных отложений озер В.Саяна для комплексных реконструкций палеоэкологических условий седиментогенеза. Впервые для подгорно-равнинных районов В. Саяна получена детальная датированная запись изменения растительности и климата ранних этапов позднеледникового периода >15550 л.н. до 12900 л.н. Показана тесная связь этих изменений с глобальным климатом. Показана роль геохимических записей из донных отложений озера Байкал как индикаторов природной среды региона в позднем кайнозое.

Установлено, что причиной повышенных концентраций ПХБ южного Байкала является влияние ангарской промышленной зоны и, в большей степени, западный перенос вдоль южного берега Байкала через промышленные предприятия южного Байкала и особенно БЦБК. Изучен компонентный состав и изотопный состав углерода УВГ подводного нефтегазового проявления Горевой утес, где одновременно происходит разгрузка нефти и газа.

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.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
Основная часть.....	8
1. Оценка влияния гранулометрического состава озерно-болотных отложений из горных районов Восточного Саяна на погрешность определения основных породообразующих элементов.....	8
2. Гранулометрические и петромагнитные исследования озер высокогорной и предгорной зон Восточного Саяна	17
2.1. Гранулометрические и петромагнитные исследования оз. Енгаргинское.....	17
2.2. Гранулометрические исследования оз. Шас-Нур.....	21
3. Первая высокоразрешающая запись изменения природной среды юго-восточной части предгорий Восточного Саяна (Тункинская рифтовая долина) в начале позднеледникового времени.....	25
4. Изучение проявления локального переноса ПХБ и ХОС в системе почва – атмосферный воздух в горных массивах Южного Прибайкалья и факторов на него влияющих.....	31
5. Геохимические записи из донных отложений озера Байкал как индикаторы природной среды региона в позднем кайнозое.	44
6. Углеводородные газы подводного нефтегазового проявления Горевой утес (озеро Байкал)	54
Заключение.....	63
Список использованных источников.....	65
Приложение А. Список публикаций 2018 г. по теме исследований.....	70
Приложение Б. Конференции, на которых были представлены результаты исследований.....	72
Приложение В. Перечень статей, опубликованных по тематике проекта в соответствии с государственным заданием.....	74

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящем отчёте о НИР используются следующие сокращения и обозначения.

А – ампер

атм – атмосфера

БПТ – Байкальская природная территория

БЦБК – Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат

ед. – единица

г – грамм

г. – год

ГГ – газовые гидраты

ГОО – глубоководный обитаемый аппарат

гор. – город

ГХЦГ – гексахлорциклогексан

ДДТ – дихлордифенилтрихлорэтан

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

ЕОН – естественная остаточная намагниченность

ИК – инфракрасный

кал. – калиброванный

км – километр

л – литр

л.н. – лет назад

ЛПЗ – локальная пылевая зона

м – метр

макс. – максимальный

мас. – массовый

МВ – магнитная восприимчивость

мин. – минимальный

МИС – морская изотопная стадия

мкм – микрометр

мм – миллиметр

млн. – миллион

напр. – например

нг – нанограмм

ОВ – органическое вещество
оз. – озеро
ок. – около
отн. - относительный
ООН – Организация Объединенных Наций
пос. – поселок
п/п – по порядку
ПХБ – полихлорированные бифенилы
р. – река
СИ – Международная система единиц
скв. – скважина
см – сантиметр
СПС – спорово-пыльцевые спектры
СОЗ – стойкий органический загрязнитель
т.е. – то есть
ТМ – титановый модуль
т.к. – так как
тыс. – тысяча
УВГ – углеводородные газы
ХОП – хлорорганические пестициды
ХОС – хлорорганические соединения
ч – час
ЮНЕП – Программа ООН по окружающей среде
ARM – Anhysteretic Remanent Magnetization
са. – калиброванный
CIA – chemical index of alteration
MIS – marine isotope stage

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.

Для создания надежной основы понимания сути происходящих глобальных изменений, прогнозных сценариев природной среды и климата требуются новые данные об эволюции природной среды регионов, полученные с использованием современных научных методов и подходов к изучению региональной экологии прошлого и настоящего. 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.

Целями исследований 2018 гг. по проекту была реконструкция палеоэкологических условий осадконакопления в озерных и речных системах Восточного Саяна методами литологического, гранулометрического, геохронологического, биостратиграфического, геохимического анализов; изучение локального переноса ПХБ и ХОС в системе почва - атмосферный воздух в горах южного Прибайкалья и факторов на него влияющих; выяснение роли геохимических записей из донных отложений озера Байкал как индикаторов природной среды региона в позднем кайнозое; 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).

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

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1. Оценка влияния гранулометрического состава озерно-болотных отложений из горных районов Восточного Саяна на погрешность определения основных породообразующих элементов

При анализе минеральных веществ и материалов пробы обычно истираются до состояния пудры, имеющей размер частиц минеральных зерен менее 75 мкм (200 меш). Порошки торфяных отложений, представляющие собой смесь минеральных частиц и органического компонента почв и осадков, в отношении поглощения рентгеновского излучения представляют собой гетерогенные системы, поскольку размеры частиц пробы сопоставимы с глубиной проникновения рентгеновского излучения. Влияние гетерогенности минеральных порошковых проб главным образом обусловлено двумя факторами: влиянием гранулометрического состава на интенсивность рентгеновской флуоресценции (эффект микроабсорбционной неоднородности) и распределением элементов в минералах с различным содержанием (минералогический эффект).

Для оценки влияния гранулометрического состава на интенсивность рентгеновской флуоресценции были выполнены расчеты зависимости интенсивности I от размера частиц d в порошковой смеси минералов. Расчеты выполнены для модельной смеси минералов и целлюлозы в равных долях (50 мас. %). На рисунках 1.1–1.5 приведены зависимости интенсивности рентгеновской флуоресценции для различных групп минералов, обычно присутствующих в значительных содержаниях в образцах торфяных отложений для некоторых выбранных аналитических линий. Интенсивности на рисунках приведены в относительных единицах, нормированных на интенсивность излучения при размере частиц 5 мкм.

Из анализа данных гранулометрического состава стандартных образцов осадочных горных пород и данных о гранулометрическом составе истертых образцов торфяных отложений пойм реки Сенцы и Енгарга следует, что средний размер частиц варьирует от 10 до 60 мкм. На Рисунках 1.1–1.5 вертикальными линиями ограничен соответствующий интервал изменения размеров частиц.

В областях средних размеров частиц 10-60 мкм интенсивность флуоресценции аналитической линии Mg изменяется на 3% в доломите и палыгорските; для линии Si в анортите и альбите на 17%, в кварце на 13%, в ортоклазе на 15%; для линии K в альбите на 20%, в микроклине и ортоклазе на 19%; для линии Ca в доломите на 2%, в кальците на 8%; для линии Fe в лимоните и клинохлоре на 3%. Отметим, что максимальные изменения интенсивности аналитической линии наблюдаются для Si и K.

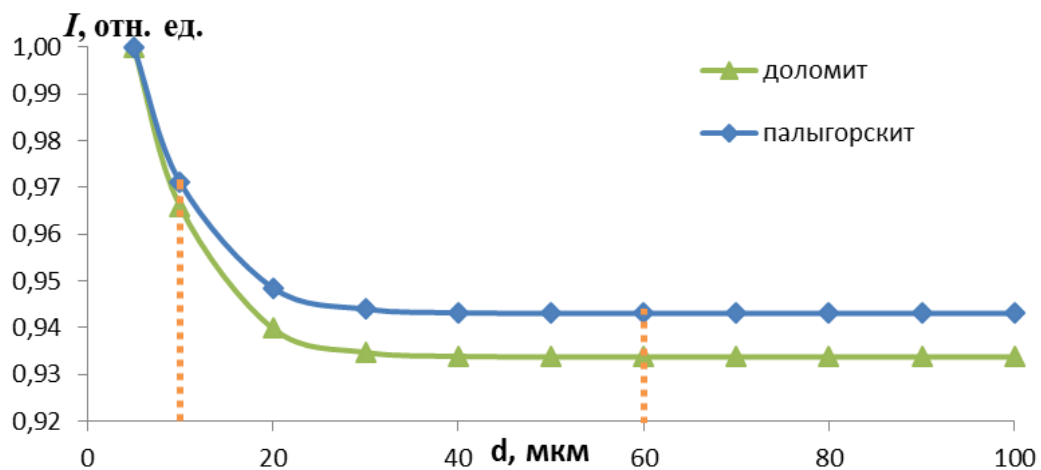


Рисунок 1.1 – График зависимости интенсивности флуоресценции от размера частиц для аналитической линии Mg

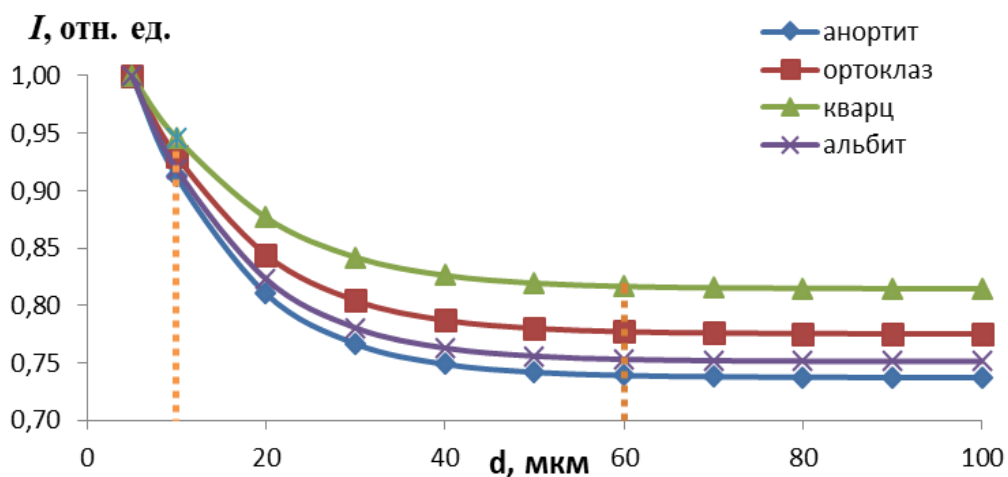


Рисунок 1.2 – График зависимости интенсивности флуоресценции от размера частиц для аналитической линии Si

Для таких элементов, как Mg и Si зависимость интенсивности флуоресценции в области размеров частиц более 50 мкм значительно меньше, чем для области размеров менее 50 мкм. Однако для аналитических линий таких элементов, как K, Ca и Fe зависимость интенсивности флуоресценции в области размеров частиц более 50 мкм довольно значима. Кроме того, при фиксированном размере частиц зависимость интенсивности флуоресценции элементов в различных минералах может отличаться на 5–10%. Таким образом, измельчение не позволяет значительно ослабить влияние эффекта гранулометрического состава одновременно для всех элементов.

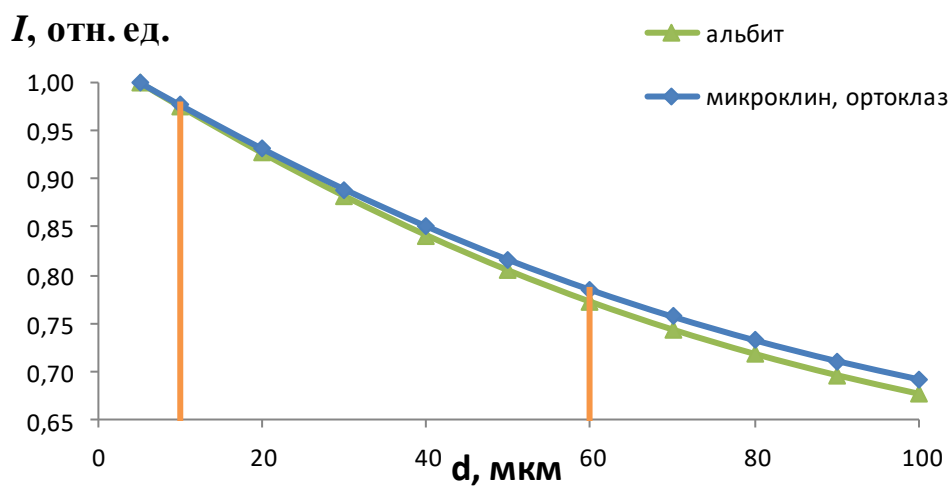


Рисунок 1.3 – График зависимости интенсивности флуоресценции от размера частиц для аналитической линии К

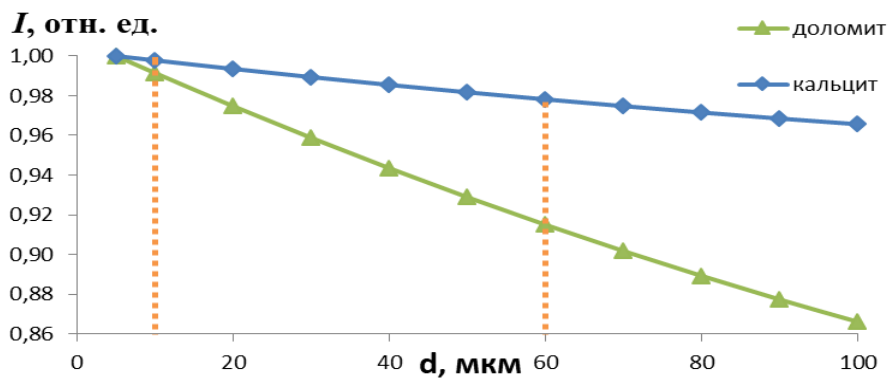


Рисунок 1.4 – График зависимости интенсивности флуоресценции от размера частиц для аналитической линии Са

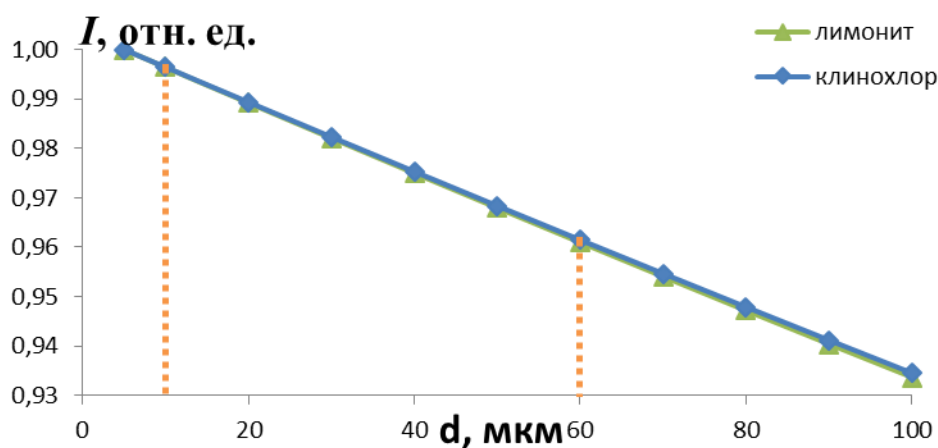


Рисунок 1.5 – График зависимости интенсивности флуоресценции от размера частиц для аналитической линии Fe

Для изучения влияния гранулометрического состава были отобраны пробы торфяных отложений поймы реки Сенцы, истертые в яшмовой ступке. Для определения гранулометрического состава использовали лазерный анализатор размеров частиц Analysette 22 (Fritsch, Германия).

На рисунке 1.6 в качестве примера представлен протокол определения гранулометрического состава для однократно истертой в яшмовой ступке пробы торфа реки Сенцы с глубины 15-16 см. Распределение частиц по размерам является бимодальным. Максимумы мод соответствуют значениям примерно 30 и 100 мкм. В пробе также присутствуют частицы размером до 300 мкм.

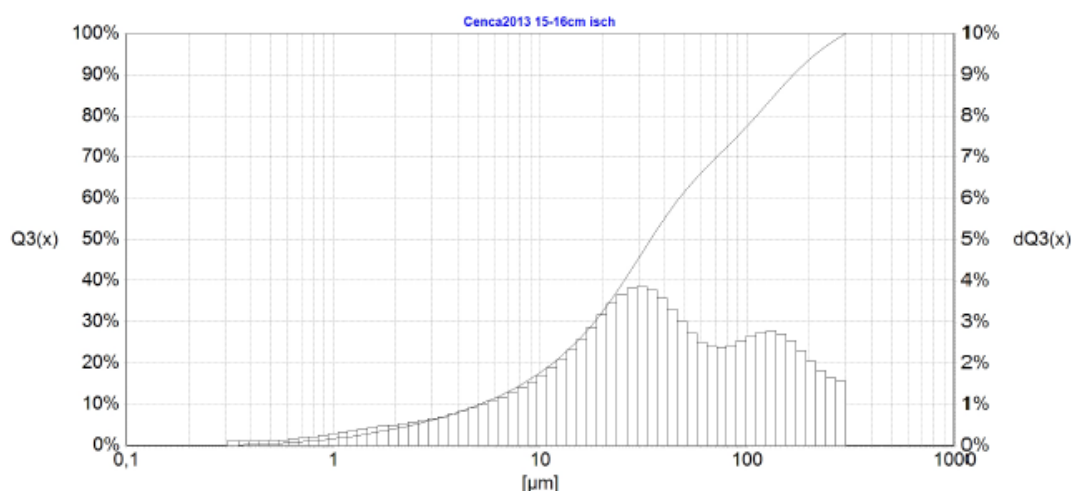


Рисунок 1.6 - Протокол гранулометрического состава исходной пробы торфа реки Сенцы (глубина 15-16 см)

В таблице 1.1 приведены средние размеры частиц трех однократно истертых проб торфа поймы реки Сенцы.

Таблица 1.1 – Гранулометрический состав проб торфа реки Сенцы после однократного истирания

№ п/п	Глубина, см	Средний размер частиц в однократно истертой пробе, мкм
1	9-10	62,6
2	15-16	62,5
3	39-40	49,7

Оценки погрешностей пробоподготовки и измерения аналитических линий, обусловленных вариациями гранулометрического состава, были выполнены по схеме

однофакторного дисперсионного анализа для проб торфа реки Сенцы. Использовали 8 имеющих достаточную массу образцов торфа из разреза, с диапазоном потерь при прокаливании (LOI^{950}) от 24,5 до 63,2%. Поскольку в пробах торфяных отложений поймы реки Сенцы по данным рентгенофазового анализа карбонатных минералов не обнаружено, ППП обусловлены главным образом вариацией органической составляющей. Были приготовлены по два излучателя каждой пробы, каждый из которых был измерен 3 раза для оценки суммарного коэффициента вариации (V_{Σ}), который был представлен в виде суммы составляющих: коэффициента вариации пробоподготовки ($V_{ПП}$) и коэффициента вариации измерения интенсивности аналитических линий (V_B):

$$V_{\Sigma}^2 = V_{ПП}^2 + V_B^2 \quad (1.1)$$

В Таблице 1.2 приведены коэффициенты вариации $V_{ПП}$ и V_B проб торфяных отложений поймы реки Сенцы и допустимые средние квадратические отклонения результатов анализа $\sigma_{д,г}(\Delta)$ для средних значений каждого диапазона содержаний определяемого компонента, регламентированные отраслевым стандартом.

Таблица 1.2 – Данные однофакторного дисперсионного анализа проб торфяных отложений поймы реки Сенцы

Компонент	однократно истертые пробы		Среднее в диапазоне определяемых содержаний, мас. %	$\sigma_{д,г}(\Delta)$, % отн. (для диапазона, мас. %)
	$V_{ПП}$, %	V_B , %		
Na ₂ O	2,8	0,8	1,6	10 (1,0-1,9)
MgO	2,7	0,9	2,8	6,5 (2,0-4,9)
Al ₂ O ₃	2,5	0,7	10,7	3,5 (10,0-19,9)
SiO ₂	2,2	0,5	33,0	1,3 (30,0-39,9)
P ₂ O ₅	2,1	1,6	0,3	8,2 (0,20-0,49)
K ₂ O	1,9	0,6	1,1	10 (1,0-1,9)
CaO	2,1	0,5	4,0	6,8 (2,0-4,9)
TiO ₂	1,9	0,7	0,8	9,0 (0,50-0,99)
MnO	н/з	1,4	0,05	21 (0,020-0,049)*
Fe ₂ O ₃	1,0	0,6	5,8	4,3 (5,0-9,9)

* - допустимое среднее квадратичное отклонение и диапазон даны для содержания Mn в соответствии с ОСТ 41-08-212-04

Для проверки однородностей найденных дисперсий значение $F_{табл}$ для уровня значимости $\alpha=0,01$ равно $F(0,01, 8, 32)=5.2$. Для случая определения MnO значение F -критерия меньше чем $F_{табл}$, поэтому дисперсии однородны, коэффициент $V_{ПП}$ не значим и в таблице 1.2 приведен только коэффициент вариации V_B . Из таблицы 1.2 видно, что основной

вклад в погрешность рентгенофлуоресцентного анализа вносит пробоподготовка, включающая этапы измельчения и прессования. При определении SiO_2 коэффициент вариации пробоподготовки превышает допустимое значение $\sigma_{d,r}(\Delta)$, для остальных определяемых компонентов величины V_B и V_{III} не превышают допустимые средние квадратичные отклонения результатов анализа.

Несмотря на то, что средний размер частиц порошковых проб торфов по данным таблицы 1.1 менее 75 мкм, истирание проб в яшмовой ступке не обеспечивает требование к размеру частиц для геохимических проб. Поэтому провели дополнительную оценку влияния гранулометрического состава проб на этапе измельчения с помощью однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа в два этапа. Использовали пробы торфяных отложений поймы реки Енгарги, с диапазоном LOI^{950} от 6 до 66%, имеющиеся в достаточном количестве.

В качестве примера на рисунке 1.7 приведен гранулометрический состав выбранной пробы торфяных отложений поймы реки Енгарга после однократного истирания в яшмовой ступке (рисунок 1.7а) и дополнительного истирания в планетарной мельнице PULVERISETTE 5 (Fritsch) (рисунок 1.7б).

Как видно из рисунка 1.7а, для выбранной пробы мода распределения размеров частиц приблизительно соответствует 30 мкм и присутствуют частицы размером до 300 мкм. Измельчение пробы в планетарной мельнице (рисунок 1.7б) позволяет существенно уменьшить размер частиц порошковой пробы, мода распределения размеров частиц приблизительно соответствует 20 мкм и максимальный размер частиц не превышает 50 мкм.

В таблице 1.3 приведен средний размер частиц для пяти проб торфов после однократного истирания в яшмовой ступке и дополнительного истирания в планетарной мельнице.

Пробы, средний размер частиц которых представлен в таблице 1.3, были разделены на две подпробы для измерений и проведения дисперсионного анализа.

На первом этапе для оценки погрешности пробоподготовки образцов по схеме однофакторного дисперсионного анализа были выбраны десять однократно истертых в яшмовой ступке проб. Затем каждая проба была подвергнута дополнительному истиранию в планетарной мельнице PULVERISETTE 5 с использованием размолочных шаров и мелющих стаканов из карбида вольфрама в течение 30 минут. Из каждого образца однократно истертой пробы и дополнительно истертой пробы приготовили по три излучателя, каждый из которых был измерен 3 раза для оценки коэффициентов вариации V_{III} и V_B .

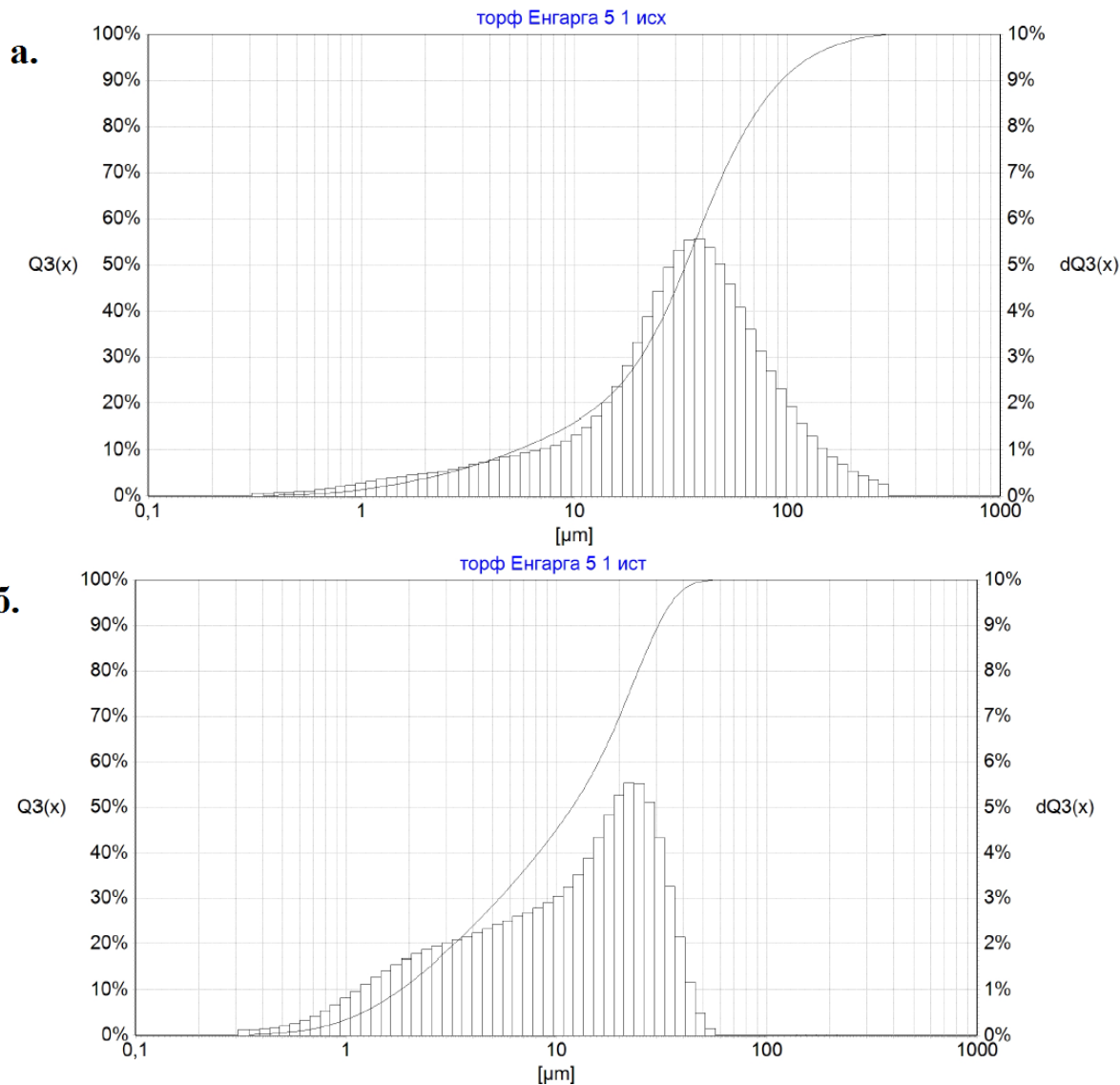


Рисунок 1.7 - Протокол гранулометрического состава пробы торфяных отложений реки Енгарга после однократного (а) и дополнительного истирания (б)

Таблица 1.3 – Средний размер частиц порошковых проб торфяных отложений поймы реки Енгарга после однократного и дополнительного истирания

№ п/п	Средний размер частиц в однократно истертой пробе, мкм	Средний размер частиц после дополнительного истирания пробы, мкм
1	77	11
2	57	13
3	46	14
4	52	16
5	44	14

В таблице 1.4 приведены результаты однофакторного дисперсионного анализа для однократно истертых и дополнительно истертых проб. Приведены коэффициенты вариации

V_{III} и V_B торфяных отложений поймы реки Енгарга и допустимые средние квадратические отклонения результатов анализа $\sigma_{Д,r}(\Delta)$. Как видно из таблицы 1.4, дополнительное истирание проб в планетарной мельнице позволяет существенно уменьшить коэффициент вариации, характеризующий погрешность пробоподготовки. При определении SiO_2 и MnO при анализе однократно истертых проб коэффициенты вариации V_{III} превышают допустимые значения, а для остальных определяемых компонентов величины V_B и V_{III} для обоих способов истирания не превышают допустимые средние квадратические отклонения результатов анализа.

Таблица 1.4 – Данные однофакторного дисперсионного анализа проб торфяных отложений поймы реки Енгарга

Компонент	однократно истертые пробы		дополнительно истертые пробы		Среднее в диапазоне определяемых содержаний, мас. %	$\sigma_{Д,r}(\Delta)$, % отн. (для диапазона, мас. %)
	$V_{III}, \%$	$V_{B1}, \%$	$V_{III2}, \%$	$V_{B2}, \%$		
Na_2O	4,1	1,1	0,5	0,8	1,2	10 (1,0-1,9)
MgO	1,7	0,8	0,8	0,7	2,0	6,5 (2,0-4,9)
Al_2O_3	2,1	0,7	0,8	0,6	6,6	5,4 (5,0-9,9)
SiO_2	2,1	0,4	0,8	0,5	29,7	1,9 (20,0-29,9)
P_2O_5	4,7	1,3	1,1	0,4	0,2	8,2 (0,20-0,49)
K_2O	1,5	1,0	0,6	0,8	1,0	10 (1,0-1,9)
CaO	1,7	0,4	0,6	0,5	13,9	3,2 (10,0-19,9)
TiO_2	6,3	0,7	1,1	0,8	0,5	9,0 (0,50-0,99)
MnO	6,0	1,3	0,7	1,0	0,2	3,4 (1,0-1,9)*
Fe_2O_3	2,9	0,3	0,3	0,4	4,5	7,0 (2,0-4,9)

* - допустимое среднее квадратическое отклонение и диапазон даны для содержания Mn в соответствии с ОСТ 41-08-212-04

На втором этапе был проведен двухфакторный дисперсионный анализ. Суммарный коэффициент вариации (V_{Σ}) представлен в виде суммы трех составляющих:

$$V_{\Sigma}^2 = V_B^2 + V_{HP}^2 + V_{ИСТ}^2, \quad (2)$$

где V_B – коэффициент вариации, характеризующий воспроизводимость измерения интенсивности аналитической линии; V_{HP} – коэффициент вариации, характеризующий влияние подготовки проб прессованием; $V_{ИСТ}$ – коэффициент вариации, характеризующий влияние истирания пробы.

В таблице 1.5 приведены коэффициенты вариации, полученные по результатам двухфакторного дисперсионного анализа торфяных отложений поймы реки Енгарга.

Таблица 1.5 – Результаты двухфакторного дисперсионного анализа проб торфяных отложений реки Енгарга

Компонент	$V_B, \%$	$V_{HP}, \%$	$V_{ИСТ}, \%$
Na ₂ O	1,0	2,3	18,1
MgO	0,8	1,3	3,5
Al ₂ O ₃	0,7	1,4	9,2
SiO ₂	0,5	1,3	15,4
P ₂ O ₅	1,4	4,0	17,1
K ₂ O	0,9	1,1	9,2
CaO	0,4	1,3	6,6
TiO ₂	0,8	4,7	9,2
MnO	1,2	4,3	2,7
Fe ₂ O ₃	0,4	2,1	3,0

* - допустимое среднее квадратическое отклонение и диапазон даны для содержания Mn в соответствии с ОСТ 41-08-212-04

Коэффициенты вариации V_B , характеризующие воспроизводимость измерения интенсивности аналитической линии, по результатам однофакторного дисперсионного анализа (таблица 1.4) сопоставимы с коэффициентами V_B (таблица 1.5) по результатам двухфакторного дисперсионного анализа. Уровень коэффициентов вариации V_{HP} , характеризующих влияние подготовки проб прессованием, практически сопоставим с уровнем коэффициентов вариации пробоподготовки $V_{ПП}$ для однократно истертых проб в яшмовой ступке по результатам однофакторного дисперсионного анализа. Вариации коэффициента $V_{ИСТ}$, характеризующего влияние истирания пробы, обусловленные вариациями гранулометрического состава достигают 9–18% при определении главных компонентов (Al, Si, K и Na), а для остальных элементов превышают 2%. Суммарные коэффициенты вариации при определении Na, Al, Si, P, Ca, Ti и Mn превышают допустимые значения.

Таким образом, невозможность обеспечить контролируемое и регламентированное изменение гранулометрического состава анализируемых образцов может приводить к значительным погрешностям определения основных породообразующих элементов при анализе различных образцов торфяных отложений.

2. Гранулометрические и петромагнитные исследования озер высокогорной и предгорной зон Восточного Саяна

2.1. Гранулометрические и петромагнитные исследования оз. Енгаргинское

Объектом настоящего исследования стало оз. Енгаргинское (рисунок 2.1.1), расположенное в Койморском многоозёрье Тункинской впадины и являющееся большим озёровидным расширением речного русла [1]. Бурение осуществлялось со льда в марте 2014 года. В ходе работ был получен керн длиной 4,07 метров в трёх лайнерах.

В 2018 году было проведено изучение физических, гранулометрических и петромагнитных свойств донных отложений озера, вскрытых этим керном. Результаты анализа приведены на рисунке 2.1.2.

Донные осадки оз. Енгаргинского представлены биогенными илами с различным содержанием створок диатомовых водорослей, торфом, глинистым алевритом и мелкозернистым песком. В разрезе встречаются углефицированные древесные остатки.

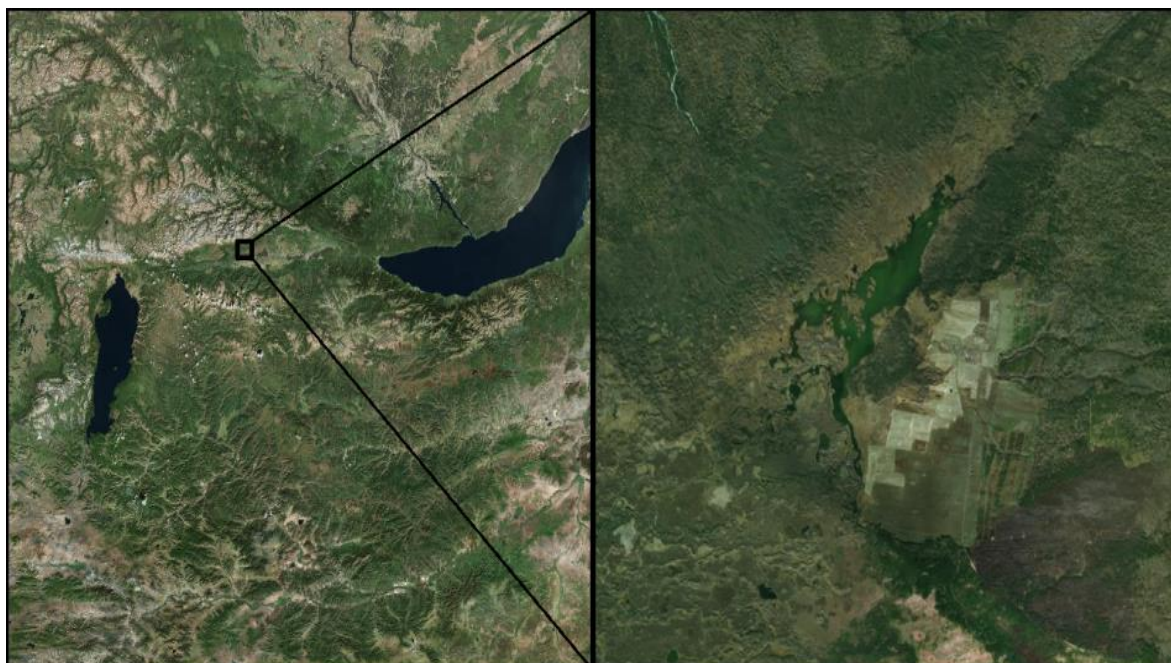


Рисунок 2.1.1. Местоположение оз. Енгаргинское.

Результаты показали, что в интервале 0–71 см значения влажности превышают 60%, при этом в осадках из верхних 40 см они достигают экстремально высоких показаний - 85-94%. С глубины 73 см по направлению вниз величина влажности резко падает до 18–30%, оставаясь такой низкой до глубины 144 см, с которой начинается восходящий тренд показателей влажности осадка. В интервале 144–243 см значения влажности снова достигают 80%, в среднем изменяясь от 60 до 75%. С глубины 244 см и до основания разреза отмечается новый

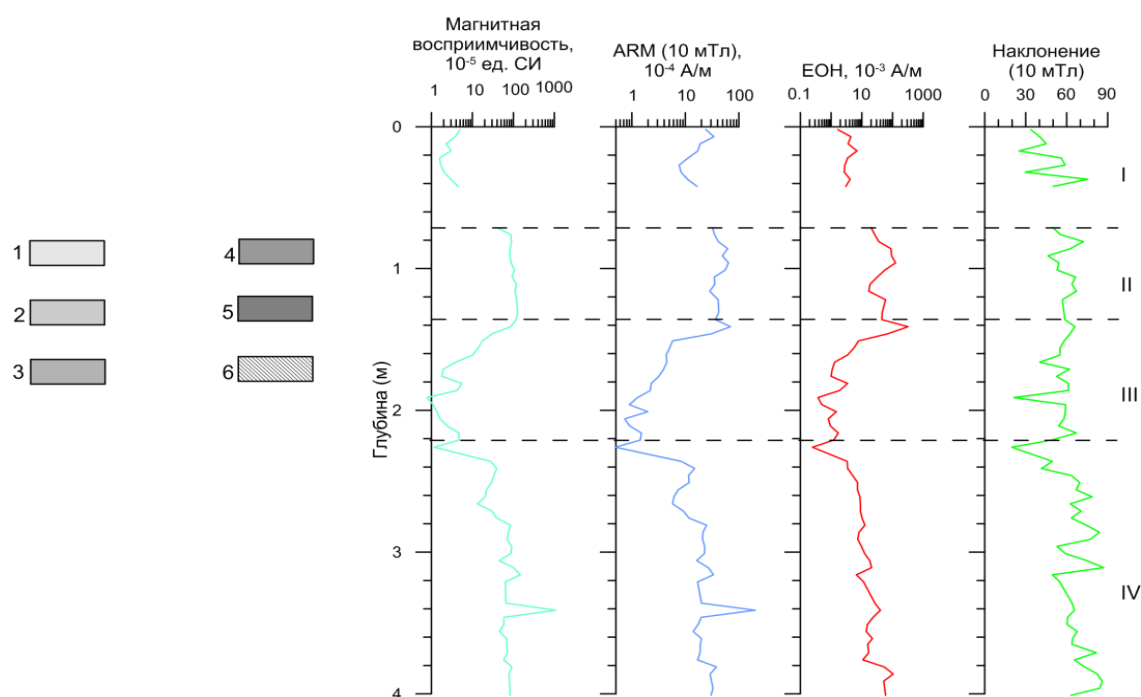
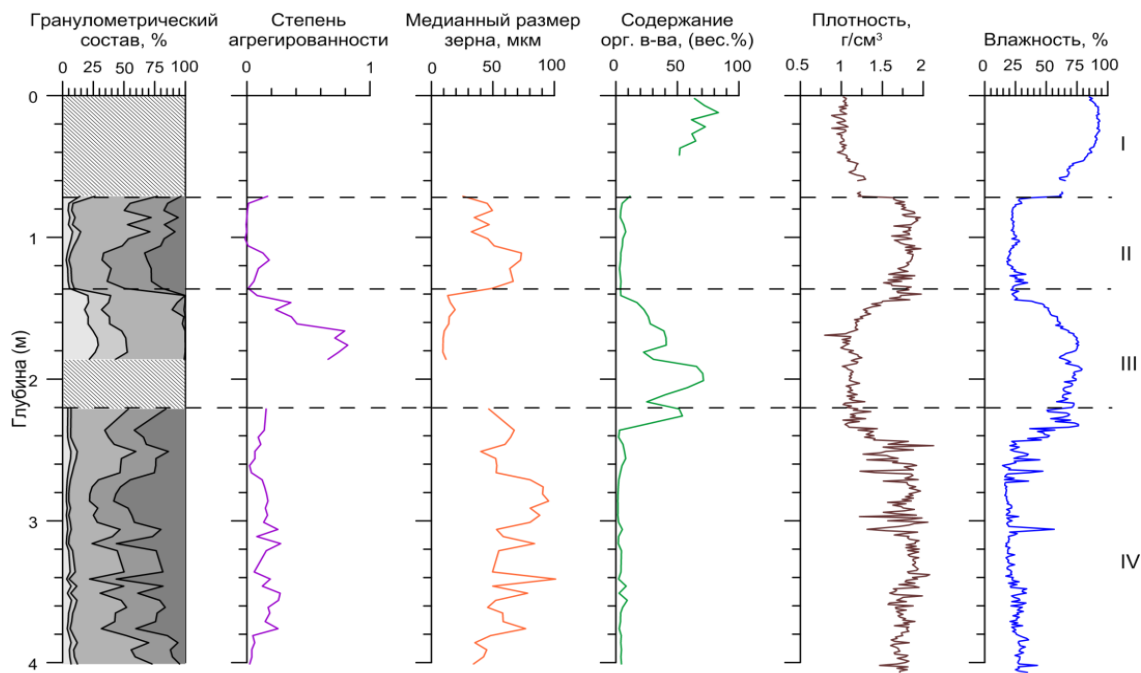


Рисунок 2.1.2. Физические, гранулометрические и петромагнитные свойства донных отложений оз. Енгаргинское. 1 – мелкопелитовая фракция (<5 мкм), 2 – крупнопелитовая фракция (5–10 мкм), 3 – мелкоалевритовая фракция (10–50 мкм), 4 – крупноалевритовая фракция (50–100 мкм), 5 – фракция мелкозернистого песка (>100 мкм), 6 – участки с околонулевым содержанием терригенного материала. Римскими цифрами отмечены интервалы с различными свойствами осадка, упоминаемые в тексте.

интервал снижения влажности до 15–30% (единичный выброс на глубине 306–307 см отмечает начало третьего лота и не несёт информации об осадке).

Плотность сухого вещества осадка в целом ведёт себя обратно влажности: так в интервале 0–70 см она составляет 0,95–1,3 г/см³. В интервале 71–144 см вырастает до 1,7–1,9 г/см³; ниже, на глубине 145–243 см снова снижается до 1,0–1,4 г/см³, а в нижней части разреза вновь возрастает до 1,6–2,1 г/см³.

Особенностями измеренных показателей физических свойств осадка в керне из донных отложений оз. Енгаргинское являются высокие значения влажности и низкие – плотности в интервалах, представленных биогенными илами и торфом. При этом слои глинистого алеврита и мелкозернистого песка характеризуются низкими значениями влажности и высокими – плотности.

В осадках оз. Енгаргинское наблюдаются два интервала с высоким содержанием органического материала (0–41 см и 145–226 см), и два с низким (71–141 см и 236–401 см). Низкие значения (менее 10%) наблюдаются в слоях глинистого алеврита и мелкозернистого песка; высокие (20–80%) значения характерны для горизонтов биогенных илов и торфа. При этом следует учитывать, что в эти величины не включена масса древесных углефицированных остатков; с её учётом доля органического вещества в диапазоне 191–216 см приближается к 100%.

При гранулометрических исследованиях мы были вынуждены исключить два интервала отложений в керне: выше 70 см и 191–216 см из-за почти полного отсутствия в отложениях этих интервалах минерального материала. Верхняя часть разреза характеризуется высоким содержанием органического вещества (свыше 90%), в то время как доля минерального составляет 3–4%. Интервал на глубине 191–216 см от поверхности керна представлен торфяными осадками с большим количеством углефицированных остатков и крайне низким содержанием минеральной части (рисунок 2.1.2).

Сумма гранулометрических характеристик разрезов оз. Енгаргинское позволяет подразделить его осадочную толщу на три хорошо различимых интервала: II – 70–135 см, III – 140–185 см и IV – 221–401 см.

При этом в литологическом разрезе интервалам II и IV отвечает глинистый алеврит и мелкозернистый песок, а интервалу III – биогенный ил. Медианный размер зёрен меняется в диапазоне 30–80 мкм в интервале II, 15–25 мкм в интервале III и 35–120 мкм в интервале IV. Степень агрегированности осадочного материала имеет минимальные (0–0,2) значения в интервале II и максимальные (до 0,8) - в интервале III; в интервале IV они меняются в диапазоне 0–0,25. Фракция мелкозернистого песка (>100 мкм) на интервале II составляет 5–

30%, в интервале III падает до нуля, в интервале IV возрастает до 20–60%, снижаясь до 5–15% на нижних 20 см разреза. Крупноалевритовая фракция (50–100 мкм) в интервале II незначительно меняется от 20 до 35%; в интервале III колеблется 0–10%, в интервале IV вновь возрастает до 20–35%. Содержание мелкоалевритовой фракция (10–50 мкм) менее всего подвержено изменению по разрезу: на интервалах II и III оно меняется от 30 до 60%, на интервале IV – от 17 до 60 %. Крупнопелитовая фракция (5–10 мкм) в интервалах II и IV представлена слабо (2–5%), в интервале III её количество возрастает до 15–25%. Мелкопелитовая фракция (<5 мкм) в интервалах II и IV присутствует в количестве 2–9%, в интервале III ~15%.

Петромагнитные параметры осадочных отложений оз. Енгаргинское меняются в таких широких пределах, что для их графиков была использована логарифмическая шкала (рисунок 2.1.2). По сумме магнитных характеристик осадочные отложения можно разделить на 4 интервала, соответствующие таковым в вышеприведённом описании результатов гранулометрических исследований. К ним лишь добавлен интервал I (0–42 см), для которого не удалось провести гранулометрические исследования, а интервал III дополнен отрезком 185–221 см, для которого также не были проведены гранулометрические исследования. В интервалах I и III значения магнитной восприимчивости минимальны ($<10 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ), падая в отдельных образцах менее $1 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. В интервалах II и IV они возрастают в среднем до $30\text{--}100 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ с уникальным выбросом на глубине 341 см $1082 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Значения ARM в интервалах I, II, IV меняются в пределах $10\text{--}70 \cdot 10^{-4}$ А/м с единичным выбросом $200 \cdot 10^{-4}$ А/м на глубине 341 см. В интервале III значения ARM минимальны и составляют в среднем $1\text{--}5 \cdot 10^{-4}$ А/м. Стоит обратить внимание, что если в интервалах II, III и IV рост и падение магнитной восприимчивости и идеальной намагниченности совпадают, то в верхнем интервале I низким значениям соответствуют достаточно высокие значения ARM.

Величина ЕОН меняется синхронно со значением ARM, при этом диапазон изменения ЕОН значительно выше: $0,2\text{--}300 \cdot 10^{-3}$ А/м. Стоит обратить внимание, что на глубине 341 см данные по ЕОН никак не коррелируют с выбросом значений k и ARM, что, возможно, обусловлено привнесением в осадок мелкозернистого песка какого-то магнитного минерала.

Величина наклона магнитного поля по всему разрезу положительна, как это характерно для эпохи прямой полярности Брунес. Значительные снижения величины наклона в отдельных интервалах могут быть обусловлены малым количеством магнитного материала для формирования качественной записи, а не реальным проявлением глобальных изменений магнитного поля Земли.

Полученные результаты позволяют сформулировать некоторые предварительные выводы. Во-первых, измеренные величины компонент гранулометрического состава и петромагнитных характеристик донных отложений оз. Енгаргинское демонстрируют значительные изменения по глубине керна, а, значит, и во времени, следовательно, они обусловлены изменениями условий седиментогенеза. Во-вторых, выявленные различные условия седиментогенеза могут зависеть от внешних (климат, растительность, тектоника бассейна озера) и внутренних (напр., диагенез отложений, изменение глубины воды, состав аквальной биоты) причин. В-третьих, неоднородность полученных характеристик и их зависимость от комплекса экзо- и эндогенных факторов должна позволить реконструировать относительный вклад этих причин в условия озерного седиментогенеза. Эта задача будет решаться в следующем году.

2.2. Гранулометрические исследования оз. Шас-Нур

Оз. Шас-Нур (рисунок 2.2.1) находится в высокогорном поясе Восточного Саяна, в долине р. Сенца (приток Оки, республика Бурятия). Оз. Шас-Нур имеет ледниковое происхождение, расположено на морене, но в его формировании принимали участие и аллювиальные процессы р. Сенца. Бурение осуществлялось в августе 2013 года, в результате которого был получен керн длиной 189 см.

Результаты изучения физических свойств и гранулометрических исследований данного керна, проведённые в 2018 году, отображены на рис. 2.2.2.



Рисунок 2.2.1. Местоположение оз. Шас-Нур.

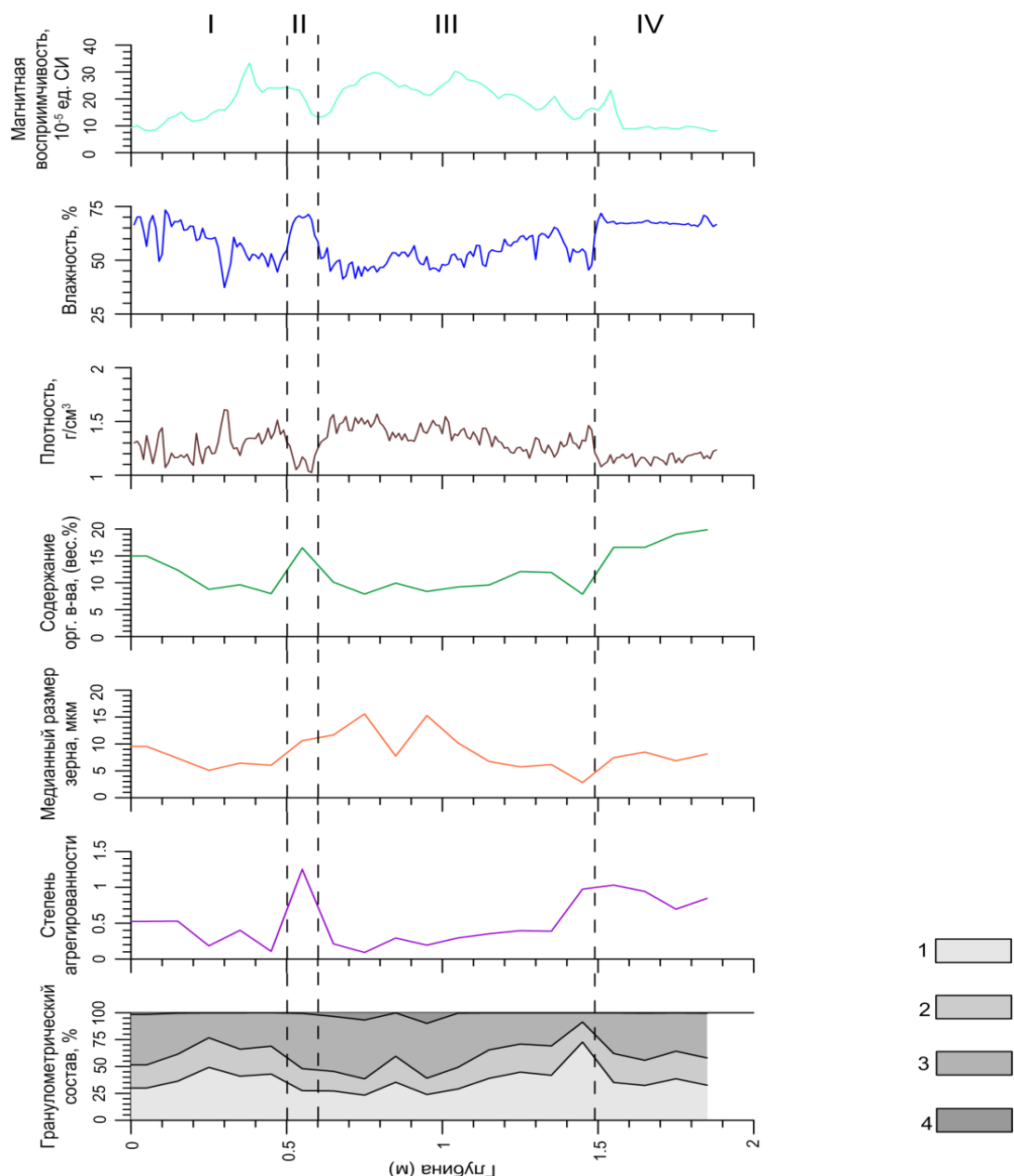


Рисунок 2.2.2. Физические и гранулометрические свойства и магнитная восприимчивость отложений донных оз. Шас-Нур. 1 – мелкопелитовая фракция (<5 мкм), 2 – крупнопелитовая фракция (5–10 мкм), 3 – мелкоалевритовая фракция (10–50 мкм), 4 – крупноалевритовая фракция (50–100 мкм). Римскими цифрами отмечены интервалы с различными свойствами осадка, упоминаемые в тексте.

Осадки оз. Шас-Нур в керне представлены биогенными илами. В ходе ранее проведённых исследований был установлен возраст основания скважины: 6019 ± 72 калиброванных лет [2].

Изменения характеристик осадочного разреза позволяет разделить его на 4 интервала: I (0–50 см), II (51–60 см), III (61–148 см) и IV (149–189 см).

Влажность отложений в интервале I постепенно снижается от 70 до 45%. В интервале II её значения вновь повышаются до ~70%, а затем вновь понижаются до 40–65% в интервале III. Для самого нижнего, IV интервала, характерна незначительная изменчивость значений влажности, остающихся в пределах 65–70%. Плотность в интервале I постепенно повышается, изменяясь в диапазоне 1,1–1,5 г/см³. В интервале II плотность резко падает до 1,1 г/см³. Интервал III вновь характеризуется увеличением плотности до 1,2–1,5 г/см³, а интервал IV – её снижением до ~1,2 г/см³.

Содержание органического вещества в интервале I постепенно снижается с 15 до 10%, а в интервале II снова возрастает до 15%. Интервал III характеризуется незначительными колебаниями её величины, интервал IV – ростом содержания органики до 15–20%. Медианный размер зёрен меняется по разрезу плавно. Диапазон изменений составляет 5–15 мкм, при этом не наблюдается связи данных изменений с вышеописанными интервалами. Степень агрегированности вещества в интервале I невелика и равна 0,2–0,5. В интервале II резкий скачок данной величины до 1,25, с последующим падением в интервале III до 0,2–0,5. Значительный рост степени агрегированности до 0,7–1,0 начинается на 10 см выше, чем IV интервал.

В целом, гранулометрический состав вскрытых донных отложений оз. Шас-Нур относительно стабилен по всему керну. Содержание мелкопелитовой фракции меняется от 30 до 50%, крупнопелитовой – от 15 до 25%, мелкоалевритовой – от 30 до 50%. Крупноалевритовая фракция в большей части разреза отсутствует, лишь на отдельных горизонтах достигая 10%. Выделяется интервал на глубине 145 см, где содержание мелкопелитовой фракции достигает 73%.

Изменения магнитной восприимчивости (МВ) в целом по разрезу не носят взаимосвязанного характера с выделенными интервалами данного разреза и меняются от 10 до $30 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Лишь начиная с глубины 162 см можно выделить особый характер поведения магнитной восприимчивости – она практически перестаёт изменяться и до основания разреза сохраняется на уровне $\sim 9 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ.

Сумма полученных результатов гранулометрического, радиоуглеродного анализов и измерения магнитной восприимчивости позволяет провести первые предварительные реконструкции условий седиментогенеза в оз. Шас-Нур за последние 6000 лет. Этот временной интервал включает финал среднего и поздний голоцен. Возрастные границы выделенных этапов рассчитаны исходя из средней скорости осадкообразования в озере (31,5 см/тыс. лет) и с допущением, что эта скорость была примерно постоянной за время аккумуляции отложений в керне, т.е., за последние 6000 лет.

Этап IV – высокое содержание органического вещества, пелитовой фракции наряду с высокой степенью агрегированности отложений и влажностью, и минимальными значениями МВ предполагает пониженные скорости эрозии в водосборном бассейне озера и пониженный же объем поступления в озеро терригенных отложений. Также предполагается, что МВ может служить косвенным показателем стабильности растительного покрова в бассейне озера [3]. Следовательно, на протяжении самого раннего, IV этапа седиментогенеза, в бассейне оз. Шас-Нур существовал стабильный и густой растительный покров. Допуская относительно равномерные средние скорости седиментации за последние 6000 лет, IV этап может соответствовать временному интервалу около 6000-4700 л.н. Имеющиеся реконструкции климата этого времени для бассейна оз. Хара-Нур, расположенного в нескольких десятках км западнее оз. Шас-Нур, свидетельствуют о развитии в его бассейне кедрово-лиственничных лесов с елью в условиях умеренно-холодного и влажного климата [4]. Такой благоприятный климат соответствует нашим выводам и об относительно спокойном седиментогенезе в оз. Шас-Нур.

Расчетный возраст этапа III может укладываться в рамки от 4700 до 2000 л.н. Возросшая в это время крупность зерна в отложениях наряду с повысившимися значениями МВ, плотности и несколько пониженным содержанием ОВ может индцировать повышенное поступление в водную толщу с берегов озера минеральной составляющей. Временной интервал ~4700–2000 л.н. соответствует наступлению неогляциального периода голоцена, повышению континентальности регионального климата, как показывают реконструкции для бассейна оз. Хара-Нур [4].

Возможно, что этап II может соответствовать кратковременному локальному улучшению наземных условий около 2000–1600 л.н., благоприятствовавших повышению продуктивности озерной системы, аккумуляции ОВ в оз. Шас-Нур, снижению поступления минерального потока с берегов. Последние примерно 1500 лет, или этап I, характеризуются нестабильными условиями седиментогенеза.

Проведение более надежно обоснованных реконструкций палеоэкологических условий Восточно-Саянской горной страны за время формирования отложений изученных озер и торфяников позволят исследования следующего года. Эти реконструкции будут привязаны к надежной возрастной шкале и опираться на результаты детального палинологического и геохимического анализов.

3. Первая высокоразрешающая запись изменения природной среды юго-восточной части предгорий Восточного Саяна (Тункинская рифтовая долина) в начале позднеледникового времени

В Байкальском регионе существует очевидная проблема отсутствия надежных палеоэкологических записей изменения природной среды и климата в конце последнего оледенения и в переходном периоде от оледенения к современному межледниковому периоду. Между тем большое количество датированных палеоэкологических записей для этого времени, полученных для Европы, европейской части России, Китая свидетельствуют о том, что в это время глобальная климатическая система испытывала серию резких, кратковременных и глубоких вариаций, приводивших к кардинальному изменению состава и структуры регионального климата и ландшафтов. Такие кратковременные события рассматриваются как возможные аналоги современных резких изменений климата. С этой точки зрения поиск и изучение подобных записей на юге Восточной Сибири, в частности, в Тункинской долине, особенно актуальны. Их актуальность повышается еще и в связи с богатой археологической историей этого района. Однако до сих пор нет надежно обоснованных записей, расшифровывающих условия обитания локальных палеолитических обществ, понимания их стратегий адаптации к суровым климатическим условиям позднеледникового с его частыми и резкими климатическими сдвигами.

Цель настоящего исследования – реконструкция растительности и климата предгорий Восточного Саяна в позднеледниковье.

Задачи:

- изучить состав спорово-пыльцевых спектров из слоя погребенного торфа, вскрытого в разрезе Шимки;
- реконструировать состав растительности и структуру ландшафтов изученного интервала времени;
- реконструировать качественные изменения климата юго-западной части Тункинской долины.

Разрез расположен на левобережье приустьевой части р. Тайтурка, впадающей в р. Иркут на юго-западном окончании Тункинской впадины одноименной рифтовой долины. Здесь вскрывается толща песчано-глинистых отложений, слагающих 7-8-метровой высоты первую надпойменную террасу. В верхней части разреза залегают субэральные супеси с горизонтами невыдержанных по простиранию, расщепляющихся и выклинивающихся погребенных почв. Ниже следуют русловые косослойчатые пески, подстилаемые глиной и торфом, по которому ранее была получена ^{14}C дата 11180 ± 70 лет (13100 кал. л.н.) [5]. В

подошве разреза вскрываются охристые галечники горного аллювия. В современной растительности района преобладают сосновые и лиственничные леса. Ленточные ельники развиты по долинам рек.

Описание разреза (сверху вниз):

Слой торфа темно-коричневого цвета с прослоями горизонтально слоистого песка, а также сизых оглеенных глин залегает на глубине около 6 м от поверхности разреза. Мощность в месте отбора составила 30 см. Ниже слоя торфа залегают пески крупно- и среднезернистые сильно ожелезненные.

Опробованный слой имеет следующее строение (сверху вниз):

0–12 см – почва оторфованная, средней плотности, цвет от черного до темно-серого;

12–19 см – сизые плотные глины;

19–24,5 см – почва оторфованная, плотная, почти черная;

24,5–25,5 см – сизые плотные глины;

25,5–26,5 см – почва оторфованная, плотная, почти черная;

26,5–30 см – сизые плотные глины.

Для целей палинологического анализа был отобран каждый второй сантиметр вскрытого слоя почвенно-торфяных отложений. Всего 14 образцов. Сумма подсчитанных зерен пыльцы и спор изменялась от 200 до 330 зерен. Процентное содержание индивидуальных таксонов пыльцы деревьев, кустарников и трав рассчитано от суммы пыльцы наземных растений, принятой за 100%. Спорово-пыльцевая диаграмма и выделение на ней локальных спорово-пыльцевых зон (рисунок 3.1) построена с использованием пакета программ TILIA-TILIAGRAF [6].

Геохронология почвенно-торфяного слоя основана на трех AMS¹⁴C датах (таблица 3.1), полученных в радиоуглеродной лаборатории корейского института геонаук и минеральных ресурсов KIGAM (Южная Корея) по общему органическому веществу. Даты были откалиброваны в программе OxCal v 4.3.2 [7] с использованием IntCal13 атмосферной кривой [8].

Результаты.

ЛПЗ-4 – в спорово-пыльцевых спектрах (СПС) доминирует пыльца трав и кустарников. В группе кустарников преобладает пыльца ивы *Salix*, меньше - кустарниковой березки *Betula nana*-типе и ольховника *Duschekia fruticosa*. В группе трав доминирует пыльца осок Сурегасеае, менее значимо обилие пыльцы маревых Chenopodiaceae и полыней *Artemisia*.

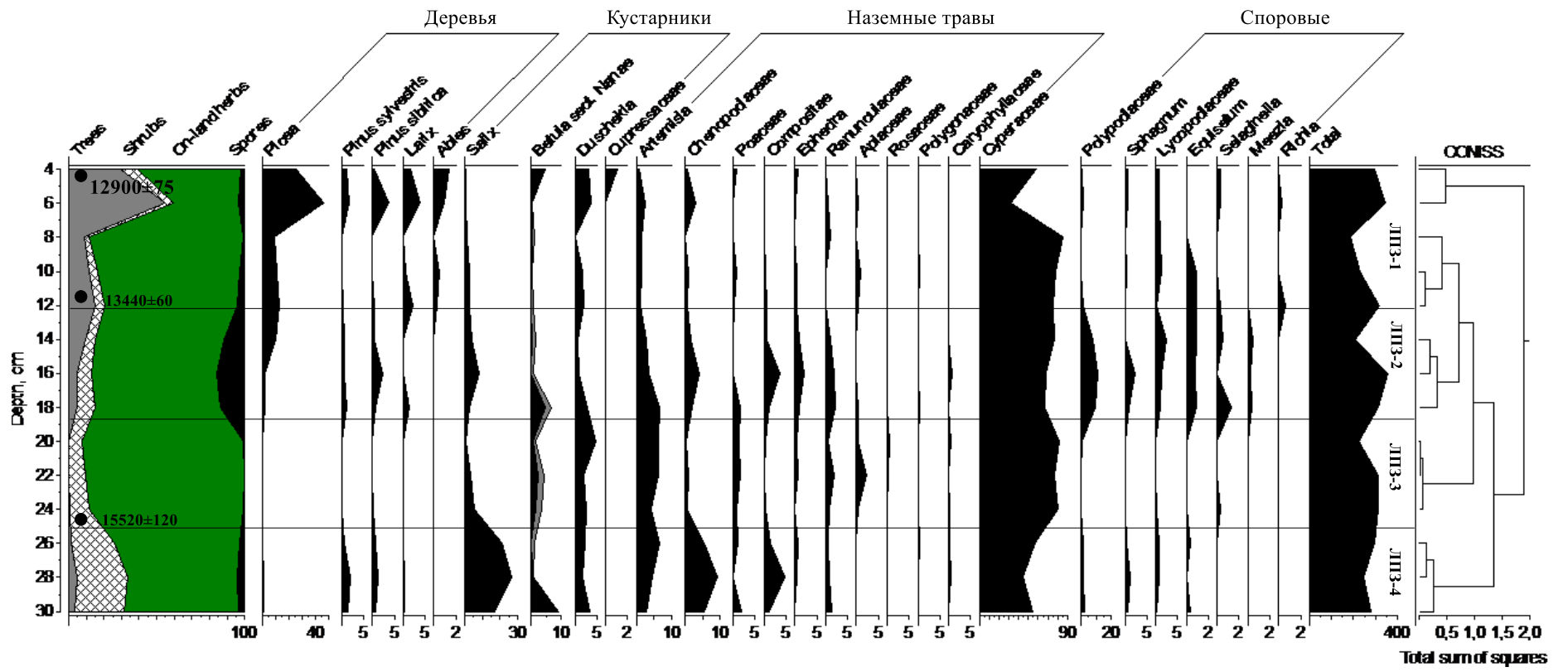


Рисунок 3.1. Спорово-пыльцевая диаграмма торфяных отложений разреза Шимки.

Таблица 3.1 – Радиоуглеродные даты и калиброванные значения возраста для разреза Шимки

Глубина от поверхности секции	¹⁴ C значение возраста	Калиброванные значения возраста	Лабораторный номер образца
0-4 см	11040±50	12904±74	KGM-ISa170087
10-13 см	11610±50	13439±58	KGM-ISa170088
24-25 см	12980±50	15520±118	KGM-ISa170089

ЛПЗ-3 – выделяется на основании почти полного господства в СПС пыльца трав, главным образом, Сурегасеае.

ЛПЗ-2 – в СПС продолжает доминировать пыльца трав семейства Сурегасеае. Заметно участие в СПС спор папоротников Polypodiaceae, незначительно – сфагновых мхов *Sphagnum*, плаунов Lycopodiaceae, плаунок *Selaginella*, хвощей *Equisetum*. Самая важная черта СПС этой зоны – устойчивый тренд появления и повышения обилия пыльцы древесных – ели *Picea*, а также присутствие пыльцы *Larix*, *Salix*, *Betula nana*-type.

ЛПЗ-1 – выделяется повышением обилия пыльцы древесных, в основном, *Picea obovata*. Максимальное обилие пыльцы *Picea obovata* содержится в верхних 5 см отложений. Ей сопутствует пыльца пихты *Abies sibirica*, и обеих сосен *Pinus sibirica* *Pinus sylvestris*, В группе трав доминирует Сурегасеае.

Обсуждение

Изменения в составе СПС позволили выделить четыре локальные пыльцевые зоны (ЛПЗ), соответствующие четырем этапам развития природной среды в изучаемом районе.

Финал последнего оледенения

Нижний слой сизых плотных глин и перекрывающий его тонкий слой торфа (30-25,5 см) накопились ранее 15520 л.н. Растительность этого времени в приустьевой части р.Тайтурка была представлена ивовыми пойменными группировками, ерниковыми сообществами и заболоченными осоковыми обитаниями. Разнотравно-полынно-маревые с участием эфедры *Ephedra* ксерофитные сообщества развивались на прогреваемых летом возвышенных участках. Постоянное присутствие единичных зерен *Picea obovata* и лиственницы *Larix* предполагает произрастание островков древесной растительности в долине реки. Известно, что для пыльцы *Larix* характерна низкая способность к транспортировке, поэтому даже незначительное количество пыльцы лиственницы может означать локальное присутствие деревьев. Единичные зерна способной к дальнему заносу ветром пыльцы *Pinus sibirica* и *Pinus sylvestris* свидетельствуют об отсутствии этих древесных в юго-западной части Тукинской долины ранее 15520 л.н. Такой состав

растительности позволяет реконструировать преобладание в юго-западной части Тункинской впадины безлесных ландшафтов, сформированных кустарниковыми тундрами с участками степей и лесотундр в холодном и резко континентальном климате с близким залеганием многолетней мерзлоты. Имеющиеся определения абсолютного возраста позволяют отнести время к финалу сарганской стадии (МИС 2) оледенения.

Пре-Беллинг

Позднее 15530 л.н. уровень воды в реке резко менялся, что нашло отражение в смене типа отложений – сначала сформировался один см оторфованной почвы (26,5–25,5 см), а за ней – один см сизой глины (25,5–24,5 см). В составе растительности это не нашло видимого отражения.

В интервале 24,5–19 см снова стала накапливаться оторфованная почва. Практически полное отсутствие в этих отложениях даже способной к дальнему заносу ветром пыльцы обеих сосен индицирует очень суровые условия. В долине р. Тайтурка в это время преобладали заболоченные осоковые травянистые тундры, чередующиеся с кустарниковыми тундрами из ольховника и ерника. Сильное снижение по сравнению с предыдущей ЛПЗ обилия пыльцы *Chenopodiaceae* предполагает сокращение ксерофитной растительности. Состав реконструированной растительности предполагает холодный климат времени ее формирования с более низкими, чем ранее, суммами годовых атмосферных осадков, высокую заболоченность района.

Возможно, что этот короткий интервал следует соотнести со сдвигом на юг путей атлантического переноса ок. 15000-14500 л.н., ассоциированным с похолоданием Древнейший Дриас в GISP2 [9], и усилением Сибирского антициклона (СА). Устойчивое влияние на климат юга Сибири СА приводило к холодным и малоснежным зимним сезонам и в Тункинской долине. В этот короткий интервал похолодания происходило снижение уровня озер на северо-востоке Тибетского плато [10].

Устойчивый тренд расширения древесной растительности имел место во время формирования слоя сизых глины в интервале 12-19 см. Состав СПС предполагает некоторое расширение редкостойных лиственничников с участием ели, ерников. Появление дальнезаносной пыльцы обеих сосен может означать расширение их площади в Тункинской долине, но вряд ли вблизи изучаемого района. Позднее, в локальной растительности повышается значение лугово-степного разнотравья. Однако заболоченные осоковые обитания продолжали господствовать в приустьевой части долины р. Тайтурка. Состав реконструированной растительности предполагает менее холодный, чем ранее климат.

Имеющиеся даты позволяют соотнести этот интервал развития региональной растительности с потеплением климата в интерстадиал Беллинг. Начало интерстадиала в ледовом керне из Гренландского щита датируется са. 14700 л.н. и показывает повышение амплитуды температур на 10 °С за несколько лет [11].

В заключительный интервал формирования изученного разреза, 13500-12900 л.н., накопилась оторфованная почва. Состав СПС из отложений, возрастом 13500 л.н. предполагает существование редкостойных ельников в пойме реки с участием лиственницы, ольховника. Заболоченные осоковые обитания продолжали господствовать в приустьевой части долины р. Тайтурка. Состав реконструированной растительности предполагает постепенно прогрессирующее улучшение климатических условий позднее 13500 л.н. Хронологически региональное улучшение климата соотносится с интерстадиала Аллеред, начало которого в ледовом керне из Гренландского ледника датируется са. 13900 л.н.

Во время аккумуляции верхних 6 см торфянистой почвы ранее 12900 л.н., в долине р. Тайтурка развивались лиственнично-еловые леса. Пихта, пыльца которой, как правило, оседает в пределах ареала, могла появиться на высоких террасах Иркутка. Сокращение осоковых группировок может индцировать снижение заболоченности в пойме реки по разным причинам. Состав реконструированной растительности предполагает новый этап существенного улучшения климата региона в Аллереде. Наши новые данные подтвердили широкое развитие еловых лесов в долине р. Тайтурка около 13000 л.н., полученные ранее (Трофимов и др., 1995).

Возможно, что сокращение лесной растительности позднее 12900 л.н. началось в отчет на глобальное похолодание в Позднем Дриасе.

Заключение.

Таким образом, новые детальные результаты палинологического анализа разреза Шимки позволили впервые для юго-западной части Тункинской рифтовой долины выявить основные события позднеледникового времени и определить их хронологические рамки.

Результаты имеют очевидную научную новизну, заключающуюся в фундаментальном увеличении суммы наших знаний о понимании ранних этапов заселения региона в периоды резких и коротких климатических изменений переходного периода от последнего оледенения к современному межледниковому периоду.

4. Изучение проявления локального переноса ПХБ и ХОС в системе почва - атмосферный воздух в горных массивах Южного Прибайкалья и факторов на него влияющих

Материалы и методы.

На 32 станциях пробоотбора (рисунок 4.1), в южной котловине озера Байкал проведен отбор проб и дальнейшее определение представителей класса хлорорганических соединений (ХОС), стойких органических загрязнителей (СОЗ) (полихлорированных бифенилов (ПХБ) и хлорорганических пестицидов (ХОП)) в почвах, воздухе, растительности, дождевых, речных и талых водах. В таблице 4.1 приведен перечень станций и сред опробованных на них СОЗ. Пробы почв отбирались методом конверта согласно описанным ранее требованиям к пробоотбору проб почв для определения СОЗ [12]. Отобранные почвы были высушены при нормальных условиях до постоянного веса, просеяны через сито, фракция 0–2 мм была использована для дальнейшего анализа. Дождевые воды (12–18 л), речная вода (200 л) и снеговая талая вода (18 л) пропускались через картриджи сорбента ХАД-2. Затем, картриджи транспортировались в лабораторию, где экстрагировались смесью ацетон/гексан 1/1.

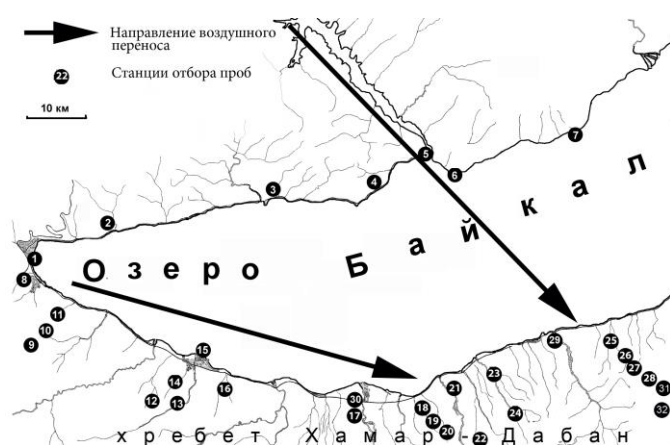


Рисунок 4.1. Схема расположений станций отбора проб.

Пробы воздуха отбирались методом пассивного воздушного пробоотбора. Диски картриджи для пассивных воздушных пробоотборников предварительно были очищены синтетическими моющими средствами, а затем последовательно ацетоном и метиленом хлористым в аппаратах Сокслета в течении 8 ч. Пробоотборники устанавливали на два месяца. Пробы хвои пихты, кедрового стланика и листьев березы отбирались на высоте 1,5 метров над землей. В лаборатории сушились при нормальных условиях до постоянного веса.

Все подготовленные к анализу пробы, до начала аналитических работ хранились в морозильной камере при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблица 4.1 – Пробы, отобранные для определения СОЗ

Станции	Почва	Дождевые воды	Речная вода	Снег	Воздух	Хвоя кедрового стланика	Хвоя пихты	Листья березы
1-13,15, 16, 18-24, 30	+							
14, 17	+	+	+					
25 (51)	+				+		+	+
26 (50)	+				+		+	
27 (49)	+	+	+	+	+	+	+	
28 (48)	+				+	+		+
29			+					
31 (125)	+				+	+		+
32 (132)	+				+	+		

Анализ СОЗ включал в себя экстракцию смесью ацетон/гексан в аппаратах Сокслета, отделение высокомолекулярных веществ с использованием гельпроникающей хроматографии, очистку на колонках с окисью алюминия и силикагелем. Дальнейший анализ ПХБ, α - и γ -ГХЦГ, *pp'*-ДДТ и его метаболитов осуществлялся на газовом хроматографе (НР 5890) с электрозахватным детектором.

Стандартные образцы конгенов ПХБ и хлорорганических пестицидов приобретались в компании “Dr. Ehrenstorfer” (Германия), окись алюминия и силикагель – в компании “MERCK” (Германия). Для оценки возможного загрязнения в ходе пробоподготовки и для оценки частоты реактивов и оборудования для пробоподготовки использовались холостые пробы. Холостые пробы анализировались тем же методом, что и отобранные пробы.

Содержание органического углерода определялось персульфатным окислением [13].

Статистическая обработка полученных результатов (корреляционный и факторный анализ) проведена с использованием программы “STATISTICA’6”.

Результаты и обсуждение.

Из всех исследованных сред, почва является самой стабильной средой, как по своему физическому состоянию, так и по способности задерживать транспорт СОЗ в наземных экосистемах. Поэтому основной упор в исследованиях был сделан на почвы.

Исследования локального переноса СОЗ в системе почва -атмосферный воздух в горных массивах Южного Прибайкалья позволили выяснять, что уровни полихлорированных бифенилов (ПХБ) и хлорорганических пестицидов (ХОП) в почвах горных массивов Южного Прибайкалья (рис. 4.2, таблицы 4.2–4.4) распределены не равномерно, формируются в результате, преобладающего в районе, воздушного переноса СОЗ северо-западного и западного направлений от локальных источников Иркутско-Черемховской промышленной зоны и предприятий побережья Южного Байкала.

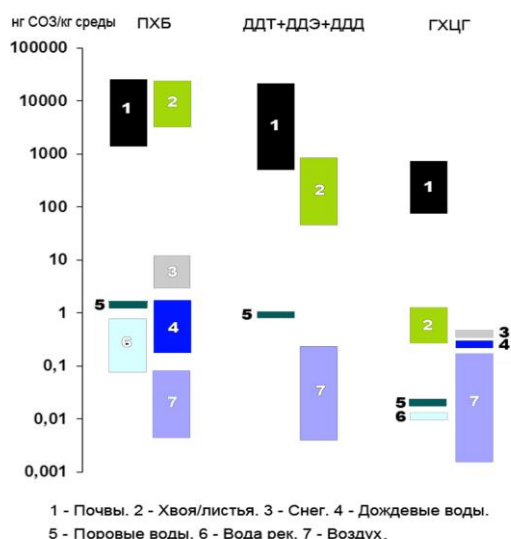


Рисунок 4.2 – Диапазоны концентраций основных групп СОЗ в различных средах горных массивов южного Байкала.

Таблица 4.2 – Сумма всех конгенов ПХБ (нг/см²) обнаруженных в почвах южного Байкала

Номер / год	1997	2002	2006	2012	2016
1	3,13				
2		5,04		11,31	5,44
3	2,09			9,18	2,62
4		10,07		6,16	6,06
5	8,76			8,55	9,65
6	10,65			17,92	11,77
7		14,56		3,99	2,85

Продолжение таблицы 4.2

Номер / год	1997	2002	2006	2012	2016
8				14,97	4,04
9			3,88		7,62
10			9,07		6,58
11			26,54		5,92
12	0,96				
13	3,34				
14				21,99	15,33
15	48,23				15,16
16				24,22	23,27
17				7,35	6,47
18				7,68	6,63
19				5,66	7,49
20				6,47	3,92
21			18,73		
22			75,38		
23			68,89		
24			80,41		
25		10,71			14,15
26		15,05			9,73
27		12,78			12,25
28		19,73			10,22

Таблица 4.3 – Концентрации (нг/см²) гексахлорциклогексана (α-НСН / γ-НСН) в почвах южного Байкала (н.д. – не детектировано)

Номер / год	2002	2006	2012	2016
1				
2	0,98 / 0,21		0,45 / н.д.	0,30 / 0,10
3			0,43 / н.д.	н.д. / н.д.
4	1,81 / 0,37		0,15 / н.д.	0,46 / н.д.
5			н.д. / н.д.	0,26 / н.д.
6			н.д. / н.д.	2,98 / 0,61
7	2,23 / 0,40		н.д. / н.д.	1,12 / н.д.
8			0,53 / 0,39	0,11 / н.д.
9		н.д. / н.д.		н.д. / н.д.
10		н.д. / н.д.		0,69 / 0,19

Продолжение таблицы 4.3

Номер / год	2002	2006	2012	2016
11		н.д. / н.д.		1,14 / н.д.
12				
13				
14				0,72 / 0,22
15				0,34 / 1,12
16			0,90 / 0,40	н.д. / 0,12
17			0,34 / 1,18	0,29 / 0,10
18			0,27 / 0,24	н.д. / 1,28
19			0,20 / 0,25	0,56 / 0,25
20			0,26 / 0,11	0,14 / 0,09
21			н.д. / н.д.	
22			0,76 / н.д.	
23		0,89 / н.д.		
24		н.д. / н.д.		
25	2,00 / 0,45			0,01 / 0,41
26	1,92 / 0,48			0,96 / н.д.
27	1,23 / 0,39			0,80 / н.д.
28	0,38 / 0,14			0,47 / 0,18

Таблица 4.4 – Концентрации ДДТ/ДДЭ/ДДД (нг/см²) в почвах Южного Байкала

Номер / год	2002	2006	2012	2016
1				
2	0.98 / 0.71 / 0.07		н.д. / 0.63 / н.д.	0.64 / 0.75 / н.д.
3			н.д. / н.д. / н.д.	0.51 / 0.61 / н.д.
4	1.97 / 0.69 / 0.13		н.д. / 0.59 / н.д.	1.94 / 1.39 / н.д.
5			н.д. / 5.90 / н.д.	2.86 / 1.80 / н.д.
6			н.д. / 11.04 / н.д.	6.38 / 1.62 / н.д.
7	5.59 / 1.11 / 0.10		н.д. / 3.59 / н.д.	2.04 / 0.46 / н.д.
8			5.04 / 1.79 / н.д.	0.54 / 0.47 / н.д.
9		н.д. / 3.56 / н.д.		14.95 / 2.72 / н.д.
10		н.д. / 3.84 / н.д.		4.60 / 1.42 / н.д.
11		н.д. / 2.12 / н.д.		1.09 / 1.10 / н.д.
12				
13				
14			1.45 / 0.88 / н.д.	1.31 / 1.00 / н.д.
15				0.68 / 0.45 / н.д.
16			2.11 / 1.24 / н.д.	32.69 / 1.04 / н.д.

Продолжение таблицы 4.4

Номер / год	2002	2006	2012	2016
17			0.57 / 0.64 / н.д.	0.94 / 22.03 / н.д.
18			0.50 / 1.04 / н.д.	н.д. / н.д. / н.д.
19			0.41 / 0.67 / н.д.	2.04 / 1.25 / 0.70
20			1.06 / 0.70 / н.д.	0.80 / 1.39 / н.д.
21		1.68 / 5.08 / н.д.		
22		16.62 / 3.67 / н.д.		
23		1.98 / 6.42 / н.д.		
24		н.д. / 16.58 / н.д.		
25	3.62 / 0.70 / 0.05			11.59 / 2.31 / н.д.
26	4.67 / 1.56 / 0.07			6.49 / 2.29 / н.д.
27	4.54 / 3.10 / 0.10			3.85 / 5.81 / н.д.
28	3.97 / 1.54 / н.д.			3.65 / 3.13 / н.д.

Поступившие в горные районы воздушные массы, содержащие СО₃, испытывают на себе воздействие ряда факторов, ответственных за их распределение в экосистеме. Важнейшим из них является температура. Средняя разница температур подножия гор и вершин хребтов составляет около 9 °С. Этого вполне достаточно для формирования градиента возрастания поступления СО₃ в почвы с высотой. Еще одним значимым фактором является повышенная влажность горного массива южного Байкала. Туманы, дожди и снег не только способствуют поступлению СО₃ в почвы горного района из атмосферы, кроме непосредственно сухого осаждения, но и в результате промывки почв избыточными водными массами, способствуют выносу с водами рек и подземным стоком значительной части СО₃ в Байкал.

Было найдено, что концентрации суммы ПХБ в пробах почв южного Байкала с 1997 по 2016 годы изменялись по годам и районам исследований в диапазоне от 0,96 нг/см² (0,63 нг/г) до 80,41 нг/см² (25,60 нг/г) (таблица 4.2). Среднее значение суммы 25 наиболее часто встречающихся конгенов ПХБ в почвах южного Байкала составило 5,77 нг ПХБ / г сухой почвы. Это незначительно превышает мировые, средние, фоновые концентрации, составляющие согласно [14] 5.47 нг ПХБ / г сухой почвы и почти в 5 раз выше, чем было найдено для среднего и северного Байкала в 2012 году (1,24 нг/г) [15].

В точках 5,6 и 7, как и для Усолья-Сибирского [15] наблюдается слабая тенденция снижения концентраций. Такая же тенденция имеет место по всему северному побережью южного Байкала (точки 1-4), в районе городов источников ПХБ – Слюдянки (точка 1) и

Байкальска (точки 14, 15 и 16). Самым максимальным падением концентраций ПХБ (до 10 раз) с 2011 по 2016 годы в наземных экосистемах, было описано ранее [16] вблизи точки 23. Если в случае с северным Байкалом мы имели поток несущий ПХБ в поперечнике имеющий 200 км, то в настоящем случае мы имеем всего 30 километровый, по ширине «коридор» высоких концентраций по речкам Аносовка (точки 23, 24) и Выдриная (точки 21, 22). Тем не менее, нижние горизонты расположенных рядом разрезов 18-20 и 25-28 демонстрирует некоторое повышение концентраций – единственное во всем районе исследований. Это означает и наличие процесса вымывания дождевыми водами СОЗ из почв, и наличие тенденции расплзания пятна локального загрязнения через повторный воздушный перенос с территорий с более высокими концентрациями.

Высотное распределение.

В настоящем исследовании найдены два основных сценария распределения СОЗ по высоте опоясывающих озеро Байкал гор в зависимости от их увлажнения.

Во-первых, это обычное, согласующееся с теорией глобального перераспределения СОЗ [17], высотное распределение СОЗ [18]. В настоящем исследовании оно представлено разрезом точек 9–11, высоты 1800, 1300, 1100 м пика Черского (2090 м). В таблице 4.2 (точки 9–11) видно что если в 2006 г. в районе гор. Слюдянка, действовал или был сравнительно недавно закрыт некий локальный источник ПХБ, то за 10 последующих лет его ослабления или прекращения работы, произошло значительное перераспределение СОЗ в соответствии с их физическими свойствами. Теперь максимальные концентрации СОЗ приходятся уже на высоты в 1800 м – самая холодная станция разреза. Можно прогнозировать, что спустя еще 5–10 лет произойдет дальнейшее увеличение различий концентраций СОЗ по высоте и уменьшение в нижних горизонтах.

Во втором сценарии (высотные разрезы точек 18–20 и 25–28) кроме эффекта конденсации с высотой во все более холодных зонах все большего количества полуплетучих веществ, сказывается эффект вымывания СОЗ из атмосферы, почв и с растений, дождевыми водами и туманами. Эти высотные разрезы расположены в отличии от пика Черского (точки 9–11) в зоне выпадения значительного (до 1000–1200 мм в год) количества осадков, количество которых увеличивается с высотой [19]. Таким образом, обычного для высотного распределения, повышения концентраций СОЗ с высотой мы уже не наблюдаем. По этой же причине можно ожидать и более быстрого падения концентраций СОЗ на этих разрезах в случае ослабления атмосферного воздействия от Иркутско-Черемховской промышленной зоны, местных источников и глобального фона.

Конгенерный состав ПХБ в горных почвах южного Байкала.

Южная часть центральной зоны БПТ по уровню содержания СОЗ в почвах, как было показано выше, занимает промежуточное место между районом значительных концентраций ангарской (Иркутско-Черемховской) промышленной зоны и фоновыми территориями среднего и северного Байкала. Такое ее положение объясняется не только близостью Иркутско-Черемховской промышленной зоны, но и наличием собственных больших и малых источников, расположенных как в достаточно крупных промышленных городах, так и рассредоточенных по всей территории южной части центральной зоны БПТ в виде элементов электрооборудования, гидравлических жидкостей и других содержащих ПХБ продуктов промышленного производства.

Технические смеси ПХБ на территории БПТ представлены отечественными маслами на основе совола, эквивалентного Арохлору 1254 [20] с максимальным количеством конгенов, содержащих от 4 до 6 атомов хлора. При этом в технической смеси присутствует всего около 70 конгенов ПХБ от ПХБ-0, до ПХБ-209 из 209 возможных хлорированных вариантов. В практике аналитических определений в природных средах БПТ встречаются уже только 25–40 индивидуальных соединений ПХБ (конгенов). ПХБ, содержащие в большинстве 3–5 атомов хлора согласно теории глобального перераспределения [17] и по полученным данным в широтах умеренного климата имеют достаточную летучесть, что бы возгоняться с поверхностей в атмосферу летом и переноситься на значительные расстояния. Более «тяжелые» ПХБ (8–9) способны переноситься по воздуху почти исключительно на частицах аэропромышленных выбросов или на частицах дыма лесных пожаров. Такие «тяжелые» ПХБ оседают обычно вблизи источников и в дальнейшем уже не способны вернуться в воздушную среду при нормальных условиях умеренных широт даже резко континентального климата, создавая при этом основу пятен промышленного загрязнения почв промышленных зон. Дальнейший их путь направлен в донные отложения водоемов, куда они попадают, вымываемые талыми и дождевыми водами. Кроме количества атомов хлора в молекуле, строение самой молекулы, расположение атомов хлора внутри молекулы так же имеет значение для индивидуальных свойств каждого индивидуального соединения, его физико-химических и токсикологических свойств. Таким образом, реальный состав ПХБ в природных матрицах значительно отличается от исходной смеси ПХБ и эта разница увеличивается со временем и силой воздействующих факторов среды.

В районе больших и малых источников южной части центральной зоны БПТ доминируют «тяжелые» ПХБ с ПХБ-118 по ПХБ-138, расположенных по порядку уменьшения их летучести. По мере убывания это; район гор. Байкальск (точки 15,14,16), гор. Слюдянка (точка 8), пос. Лиственничное (точка 6) и пос. Порт Байкал (точка 5). На всех

горных склонах, так же доминирует подобный состав. Для разреза 9–11 причина – близость гор. Слюдянка, для разрезов 18–20 и 25–28 влияние дождей, вымывающих преимущественно легкие ПХБ с ветроударных склонов.

Во временном аспекте проблемы, на всех станциях пробоотбора кроме точек 7 и 15 настоящего исследования имеется в большей или меньшей степени изменение конгенерного состава в сторону потери легких ПХБ (с ПХБ - 6 по ПХБ - 74) с 2002/2012 гг. по 2016 г. Эта особенность связывается нами именно с остановкой работы БЦБК, поскольку до своего закрытия в 2013 г. он являлся самым большим постоянно действовавшим на протяжении почти 50 лет источником именно «легких» ПХБ во всей центральной зоне БПТ [21, 22]. Интересно отметить, что в непосредственной близости от БЦБК (1,5-2 км, точка 15), где должны выпадать преимущественно именно «тяжелые» ПХБ, при 5-кратном падении суммы концентраций всех конгенернов, за 19-ти-летний период, конгенерный состав не претерпел значительных изменений. Это означает, что БЦБК являлся самым значительным источником не только «легких», как это предполагалось ранее [21], но всего исходного, технического состава ПХБ.

Закрытие комбината является и причиной начала общего понижения концентраций всех ПХБ в почвах всего южного Байкала.

Точка 7, как и точки 2,3,4, является фоновой, тем не менее, находится на границе воздушного переноса локального влияния Иркутско-Черемховской промышленной зоны (точки 4,5,6,7) и является первой точкой отражающей преимущественно глобальный перенос и мелкие местные случайные источники, как и практически все точки северного и среднего Байкала, рассмотренные ранее [15]. В настоящем исследовании, в точке 7, было найдено резкое возрастание процентного содержания низкохлорированных ПХБ. Это вероятнее всего является следствием не только ослабления достаточного мощного в точках 5 и 6 локального ангарского переноса, но и результатом того, что летом 2015 г. территория БПТ севернее точки 7 была подвержена воздействию большого количества лесных пожаров [23]. Дым этих пожаров, вероятно, явился причиной значительного роста процентного содержания «легких» ПХБ в точке 7.

Взаимосвязь концентраций ПХБ с содержанием общего углерода в почвах.

Как показали работы 1997-2012 гг. [15], синхронность изменений концентраций содержания ПХБ и общего углерода на совмещенном графике зависит от интенсивности поступления ПХБ в исследуемый район. То, что углерод способен положительно влиять на концентрирование СОЗ широко известно, тем не менее, ни почвы, ни торфяники не являются депонирующими средами, которые бы обеспечивали полное или хотя бы значительное

прекращение дальнейшей миграции СОЗ при воздействии дождевых вод или в результате температурной возгонки СОЗ с поверхности. Влияние углерода почв на динамику распределения СОЗ в окружающей среде скорее можно охарактеризовать как оказывающих тормозящее воздействие на скорость их перемещения. Так в более ранних работах [14, 15] было найдено, что для падения пиковых концентраций ПХБ в почвах региона в 10 и более раз до фоновых, вполне достаточно 5–8 лет, естественно при условии прекращения работы источника.

В настоящем исследовании самыми полными данными по соотношению углерода и ПХБ оказалась съемка 2016 года (рисунок 4.3). По ее результатам и полученному графику можно говорить о том, что на период съемки не было выявлено действующих катастрофических источников. Действующие в настоящее время источники, такие как перенос СОЗ по долине реки Ангара на Байкал (точки 5,6) и эмиссия от промышленно-загрязненного района БЦБК (точки 14–16), в целом не представляют серьезных угроз на настоящее время и возможно со временем эти угрозы будут уменьшаться в результате процессов естественного распада и выноса СОЗ. Тем не менее, в случае каких либо катастроф (предположительно пожаров или селей), в результате которых зараженные почвы будут термически обработаны или будут вынесены в Байкал, возможно значительное ухудшение ситуации.

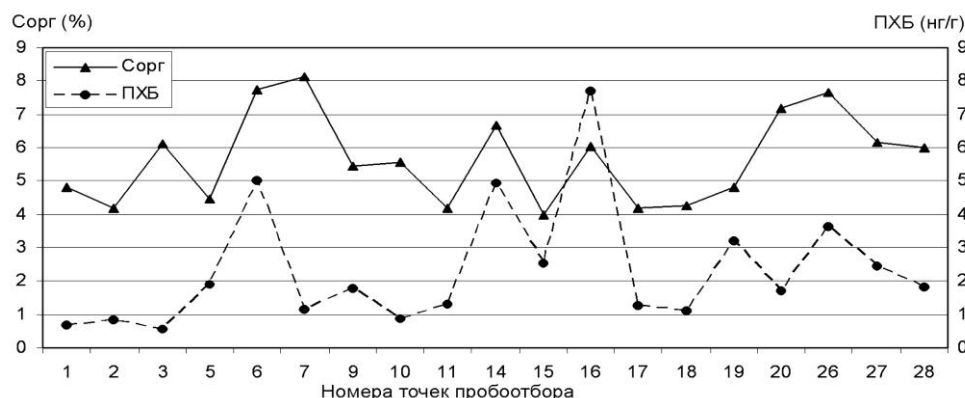


Рисунок 4.3. Соотношение концентраций процентного содержания общего углерода в почве и содержания ПХБ (нг/г) в 2016 г.

Из особенностей прошлых лет, можно отметить повышенное поступление ПХБ, в точках 21–24 в 2006 г. Связано ли это с особенностями осаждения СОЗ на ветроударных склонах или локальным антропогенным загрязнением, неизвестно. Тем не менее, это пятно загрязнения коснулось торфяников побережья Байкала, стало причиной повышения концентраций ПХБ в нижних горизонтах станций 18–20 и отразилось избыточно

повышенным поступлением ПХБ в точке 19. Соотношение процентного содержания углерода и ПХБ в точках 5,6 и 15–16 (рисунок 4.3) свидетельствует о продолжающейся эмиссии СОЗ от источников ангарской промышленной зоны и особенно промышленной зоны закрытого ныне БЦБК.

Содержание хлорорганических пестицидов (ХОП) в почвах Южного Байкала.

Содержание ХОП в почвах исследованного района в среднем было ниже содержания ПХБ и изменялось в широком диапазоне, составляющем до 2-х порядков величины. Доминирующее значение имели пестициды группы ДДТ (таблица 4.4). Соотношение ДДТ/ДДЭ изменялось от пробы к пробе, и в большинстве случаев было больше 1. Это означает свежее поступление ДДТ. Исходя из того, что максимальные концентрации ДДТ приходились почти исключительно на пробы высокогорных районов и вблизи места расположения карт накопителей г. Байкальска (точка 16), было предположено что ДДТ имеет происхождение как в результате глобального переноса, так и в результате проблем с его нахождением в промышленном районе г. Байкальска. Подтверждением этого предположения является и повышенные концентрации ДДЭ в точке 17 (22,03 нг/см²), расположенной по направлению преобладающих ветров от места максимального значения ДДТ в точке 16 (32,69 нг/см²). Динамика изменений концентраций ХОП в почвах исследованного района (рисунок 4.4) в настоящее время не позволяет сделать однозначный прогноз о дальнейшем изменении концентраций. Обращает на себя внимание то, что увеличение концентраций ПХБ в 2006 г. сопровождалось и увеличением концентраций ХОП. При этом в технологической цепи и донных отложениях пруда аэратора БЦБК ХОП обнаружены не были. Таким образом, появление больших значений ДДТ в районе БЦБК с одной стороны никак не связано с его деятельностью, с другой стороны предварительный вывод о глобальном переносе, как источнике ДДТ в регионе может быть лишь предварительной и не основной версией. Версия локального использования или проблемы с хранением ДДТ в районе БЦБК в настоящее время видится главной.

Наиболее подвижные из всех СОЗ настоящего исследования, α - и γ -ГХЦГ, присутствовали во всех средах. Наибольшее их процентное соотношение было найдено в воздухе, а наибольшие концентрации в почвах (рисунки 4.2, 4.5 и 4.6).

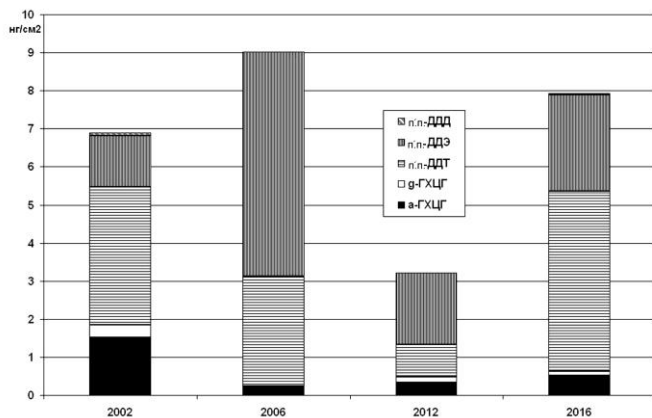


Рисунок 4.4. Состав и средние значения концентраций ХОП по годам исследований.

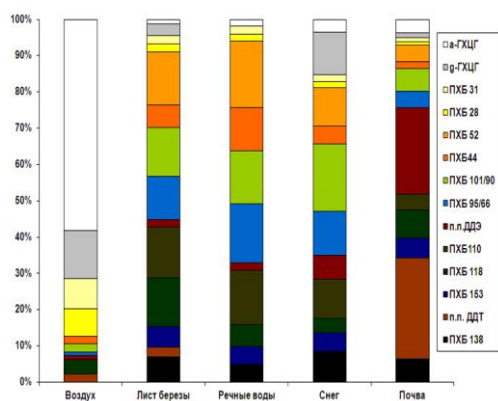


Рисунок 4.5. Процентное соотношение некоторых СОЗ в различных средах.

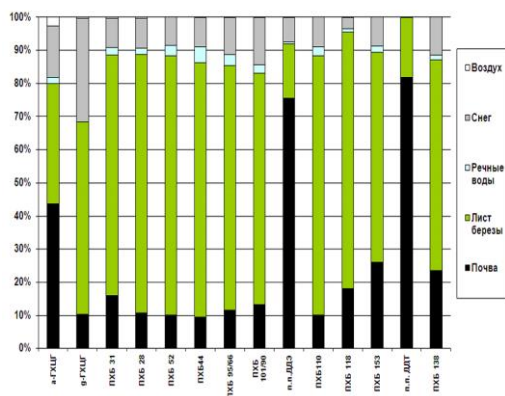


Рисунок 4.6. Процентное распределение некоторых индивидуальных СОЗ в основных средах горной части Южного Прибайкалья на станции 27.

СОЗ в воздухе, атмосферных осадках и речных водах Южного Байкала. Взаимосвязь с почвами.

Диапазоны концентраций основных групп СОЗ во всех исследованных средах представлены на рисунке 4.2. Исследование показало, что воздух содержит все СОЗ, которые были найдены в почвах. Этим подтверждается, что именно воздушный транспорт обеспечивает приток токсикантов в горные районы южного Байкала. Более 85% по массе – это легкие ПХБ-31, ПХБ-28, альфа и гамма ГХЦГ (рис. 4.5). Растительность, представленная в настоящем исследовании хвоей кедрового стланика, пихты сибирской и листьями березы, накапливает в себе СОЗ в многократно большем количестве (по массе), чем в ниже расположенных почвах (рис. 4.6). Таким образом, сорбция СОЗ на фотосинтезирующих частях растений и последующее их опадение по окончании жизненного цикла является важнейшим механизмом поступления ПХБ и ХОП в почвы. Состав СОЗ снега оказался отличным от состава воздуха наличием значительно большего числа «тяжелых» СОЗ и близок к составу речных вод, показывая этим, что значительное количество поступивших в зимний период СОЗ смывается вместе с тальми водами. Важным отличием состава СОЗ почв от других сред, является наличие большого количества соединений группы ДДТ (до 60% от всех СОЗ). Причина такого распределения, вероятно, кроется в том, что соединения группы ДДТ имеют сравнительно более низкую устойчивость в окружающей среде чем ПХБ, что демонстрируется практически полным отсутствием исходного ДДТ в снеге, речных водах и сравнительно низким количеством в растительности.

Выводы.

Уровень содержания ПХБ в почвах южного Байкала соответствует фоновому уровню почв индустриально развитых стран северного полушария.

Причиной превышения концентраций ПХБ южного Байкала над концентрациями среднего и северного Байкала, является как влияние ангарской промышленной зоны, так и в большей степени западный перенос вдоль южного берега Байкала через промышленные предприятия южного Байкала и особенно БЦБК.

В настоящее время наблюдается тенденция к снижению концентраций ПХБ в почвах южного Байкала и основная причина этого – закрытие в 2013 г. БЦБК.

Фотосинтезирующие части горной растительности являются естественным фильтром сорбирующим СОЗ из атмосферного воздуха.

Основными факторами, определяющими концентрации СОЗ в горных экосистемах Южного Байкала являются:

- наличие источников CO₂ в регионе и их расположение по отношению к преобладающим в регионе ветрам;
- особенности горного рельефа, определяющие температуру окружающей среды в каждой точке горного района;
- влажность воздуха и количество атмосферных осадков;
- наличие густой растительности на склонах гор, играющей значительную роль в сорбции CO₂.

5. Геохимические записи из донных отложений озера Байкал как индикаторы природной среды региона в позднем кайнозое

Цель исследований – реконструкция изменений природной среды Байкальского региона на основе изучения макро- и микроэлементного состава осадков из кернов скважин глубокого бурения озера Байкал; установление источников поступления осадочного материала в водоем в зависимости от условий природной среды и климата за последние 5 млн. лет.

Главными задачами для реализации цели исследований стали: определение петрохимического состава отложений из скважин BDP-99 и BDP-98; затем, на этой основе проведение реконструкций условия осадконакопления и процессов выветривания в водосборном бассейне озера в позднем плиоцене – плейстоцене; выяснение механизма зависимости условий осадконакопления от вариаций климатических и тектонических процессов в водосборном бассейне оз. Байкал; оценка вклада источников терригенного вещества среди пород обрамления озера на формирование осадочной толщи озера Байкал по изотопным характеристикам Sr и Nd в осадочных горизонтах Академического хребта (скважина BDP-98).

Результаты

На рисунке 5.1 представлены элементы детальной геохимической модели донных осадков озера Байкал в интервале 4 – 0,01 млн. лет назад. Модель учитывает пиковые значения каждой климатической стадии позднего плиоцена – плейстоцена, определяемые по концентрации биогенного кремнезема (SiO_{2 bio}) и основана на исследовании донных отложений с подводного Академического хребта (скв. BDP-98).

Изменение химического индекса преобразования CIA ($Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O) * 100$) в ледниковую стадию G6 (2,73 млн. лет назад) свидетельствует о начале похолодания в Байкальской горной области и поступлении в донные отложения озера фракций осадка, являющихся продуктами деструкции верхних

горизонтов коры выветривания на водосборной площади. На примере титанового модуля (ТМ, TiO_2/Al_2O_3), а также других компонентов модели установлено – глубокий сдвиг в сторону увеличения тренда ТМ в интервале 2,8–1,5 млн. лет свидетельствует о поступлении титансодержащих грубозернистых фракций осадков и отображает расчленение Приморского и Байкальского хребтов в это время. Активный тектонический процесс полностью согласуется по времени с «дооформлением» горных систем Азии (Тянь-Шань, Тибет) и свидетельствует о взаимодействии местных и удаленных геодинамических механизмов.

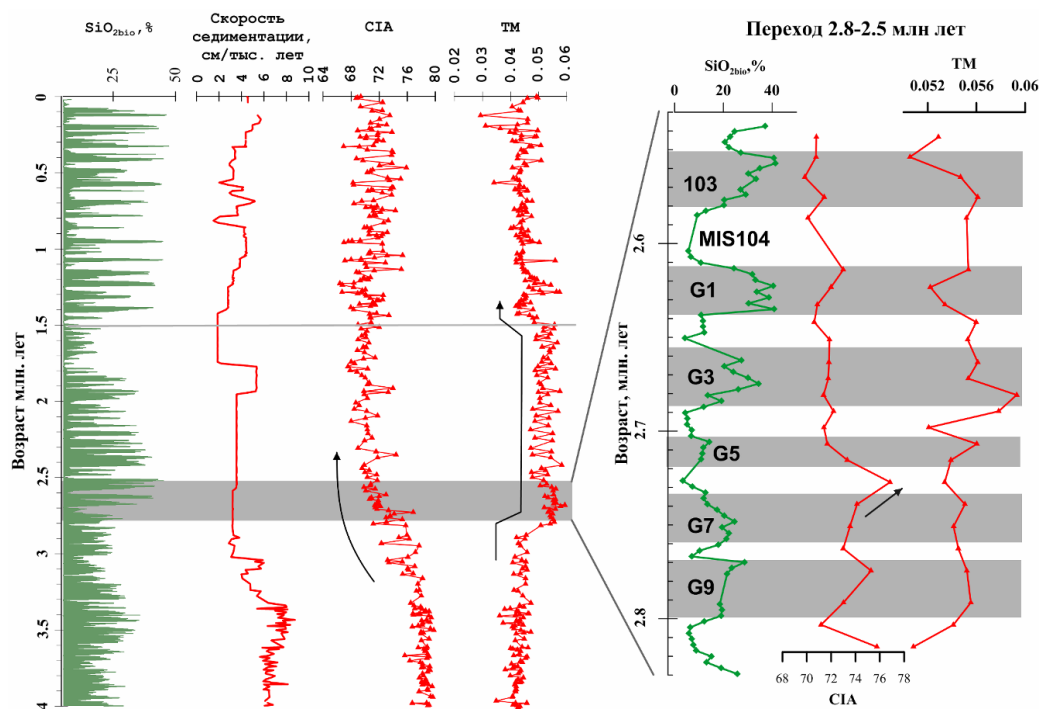


Рисунок 5.1 – Поведение модуля ТМ и индекса выветривания CIA для осадочной толщи озера Байкал за последние 4 млн. лет (Академический хребет, скважина BDP-98). Стрелкой справа выделен первый отклик индекса CIA на изменения климатических и тектонических условий, стрелки слева – изменения при переходе от плейстоцена к кватернеру

Также оценены сходства и различия в условиях осадконакопления на Академическом хребте (скв. BDP-98) и Селенгино-Бугульдейской перемычке (скв. BDP-99) по петрохимическим данным. На классификационной диаграмме М. Херрона в координатах $\log(Fe_2O_3/K_2O) - \log(SiO_2/Al_2O_3)$ осадки Академического хребта классифицируются в поле глинистых сланцев (рисунок 5.2). Эта характеристика близка к первоначальному структурно-текстурному описанию отложений, данному при литолого-стратиграфической документации.

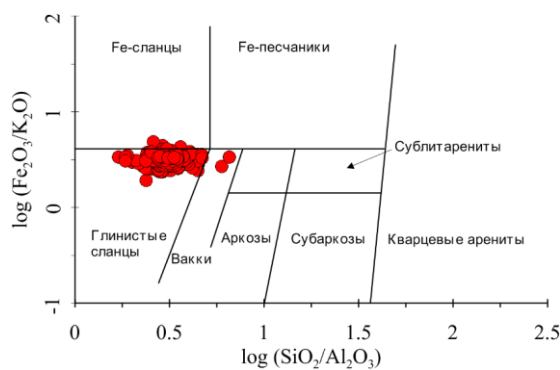


Рисунок 5.2 – Классификационная диаграмма [24] для скв. BDP-98 (Академический хребет)

Незначительным отличием осадочных разностей пород Академического хребта от пород Селенгино-Бугульдейской перемычки является относительно более железистый их состав. Здесь нужно учитывать, что накопление железа, как, впрочем, и марганца в осадочной толще напрямую связано не только с концентрациями этих элементов в осадке, но и в поровых водах. Процесс аккумуляции этих элементов контролируется окислительно-восстановительными (редокс) условиями, связанными с Fe-Mn окисляющими бактериями в момент прохождения редокс границы при седиментогенезе. Немаловажную роль в этом процессе занимает скорость осадконакопления и размерность частиц осадка, поскольку от этого зависит мощность окислительного слоя. Чем выше скорость осадконакопления, тем, как правило, крупнее тонкая фракция (матрикс) осадка и тем, соответственно, тоньше окислительная зона. Именно поэтому концентрации, в частности, железа в осадках Академического хребта, где наблюдаются более низкие скорости осадконакопления, выше, чем в осадках Селенгино-Бугульдейской перемычки (рисунок 5.3).

На диаграмме Я.Ю. Юдовича, примененной для разграничения глинистых пород (в координатах TiO_2/Al_2O_3 (ТМ) – TiO_2), донные отложения Академического хребта в диапазоне до 4 млн. лет локализуются в центре поля существенно гидрослюдистых осадков и одновременно затрагивают верхние границы поля существенно монтмориллонитовых глинистых отложений (рисунок 5.3). Подобное поведение подтверждается данными по дифракционному анализу тонких фракций донных отложений Байкала. Согласно количественным определениям гидрослюды и смектиты (от 20 до 50% образцов) являются одними из основных компонентов тонких фракций осадка. Поскольку монтмориллонит входит в группу смектитов (не разделяемых по литературным данным для осадков озера Байкал), то результаты построения можно считать корректными.

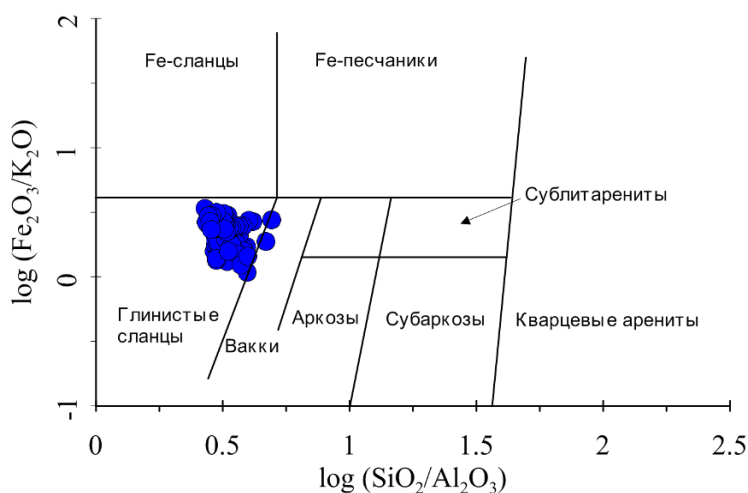


Рисунок 5.3 – Классификационная диаграмма [24] для скв. BDP-99 (Селенгино-Бугульдейская перемычка)

На рисунке 5.4а составы отложений скважины BDP-98 разделены по возрастному критерию, где интервал 4–2,8 млн. лет характеризует спокойную седиментационную обстановку в относительно теплом и влажном климате плиоцена, а интервал 2,8–0,01 млн. лет – период климатических и тектонических изменений. Разделение подобным способом не приводит к отличиям в составах отложений т.к. осадки разреза локализируются преимущественно в поле 3, соответственно, разделение отложений по критерию ледниковые/межледниковые также не приведет к разграничению фигуративных точек данным способом. С одной стороны, подобное поведение составов отложений подтверждается ранее проведенными исследованиями, не выявившими закономерностей в концентрациях глинистых минералов в осадках Байкала как индикаторов изменения климата. Единичные фигуративные точки плиоценовых разностей (6 образцов) классифицировались в поле низко модульных каолинитовых глин – продуктов катагенетических преобразований монтмориллонитового или каолинитового субстрата. С другой стороны, так как диаграмма в координатах TiO_2 – TiO_2 основана на характеристиках титанистости в тонкодисперсных каолинитовых и монтмориллонитовых глинах связанных с процессами химического выветривания необходимо учитывать влияние позднекайнозойского тектогенеза при формировании осадочной толщи связанного с увеличением потоков титана (зернистой фракции) в интервале 2,8–1,5 млн. лет и моложе 0,3 млн. лет (рисунок 5.1).

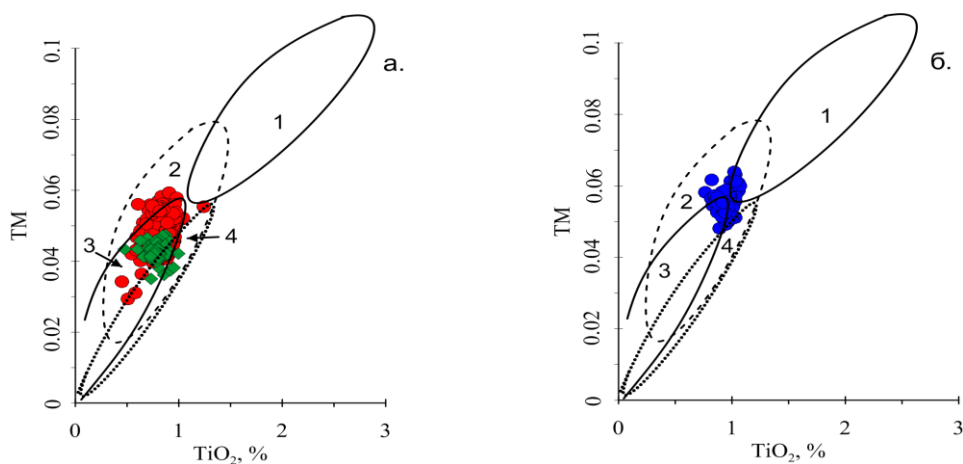


Рисунок 5.4 – Диаграммы в координатах $TM - TiO_2$ [25] для скв. BDP-98, 99. Условные обозначения: а. – Академический хребет, разделение по возрастному критерию, ромбы – 4–2,8 млн. лет; кружки – 2,8–0,01 млн. лет; б. – отложения Селенгино-Бугульдейской перемычки; поля – цифрами: 1 – каолиновых глин; 2 – существенно гидрослюдястых глин; 3 – существенно монтмориллонитовых глин; 4 – низко модульных каолиновых глин – продуктов катагенетических преобразований монтмориллонитового или каолинового субстрата

Для сравнения с осадками Академического хребта приведена аналогичная диаграмма для Селенгино-Бугульдейской перемычки (скважина BDP-99) (рисунок 4б). Единственным отличием составов отложений в этой части Байкала является сдвиг в поле более каолиновых разностей, что не подтверждается литературными данными, поскольку в разновозрастных осадках Бугульдейской скважины BDP-93 (стадии MIS 1,2,3) и в стадии MIS 11 скважины BDP-99 объемы каолинита не превышают 8% (стадия MIS 2). В среднем объемы каолинита имеют сходные характеристики как на Академическом хребте, так и на Селенгино-Бугульдейской перемычке и варьируют в диапазонах 2–8% в скважине BDP-93 (MIS 1–3), 1,5–7% скважина BDP-96/2 (MIS 1–6, 11). Здесь нужно учитывать, что в Байкале зафиксирован рост содержания каолинита в ледниковых интервалах по сравнению с межледниковыми, что является нетипичным, т.к. каолинит ведет себя как обломочный минерал, и, по-видимому, является продуктом выветривания мусковита на палеоводосборе. Также стоит учесть отсутствие детальных данных по дифракционному анализу и ИК-спектроскопии глин на всю мощность пробуренных разрезов.

Геохимические реконструкции демонстрируют присутствие более каолиновых разностей осадков в разрезе скв. BDP-99 в среднем и позднем плейстоцене по отношению к скв. BDP-98. Для сравнения с отложениями Академического хребта приведена диаграмма для осадков скважины BDP-99 (Посольская банка) (рисунок 5.5).

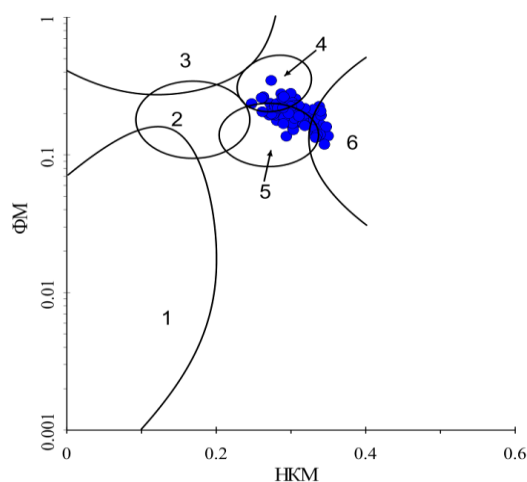


Рисунок 5.5 – Диаграмма в координатах ФМ-НКМ [25] для разреза BDP-99. Условные обозначения цифрами для полей как на рисунке 5.4

Как и одновозрастные осадки Академического хребта, существенная часть верхнеплейстоценовых осадков разреза экспонируется в 2 поля: 4 и 5 – хлорит-монтмориллонит-гидрослюдистого состава и преимущественно гидрослюдистого с примесью тонкозернистых полевых шпатов соответственно, однако третья часть фигуративных точек экспонируется в поле 6 – гидрослюдистых глинистых пород с тонкодисперсной примесью полевых шпатов. При разграничении глинистых отложений подобным способом выявляется отличие плейстоценовых осадков южной оконечности Селенгино-Бугульдейской перемычки от осадков Академического хребта, заключающееся в большем поступлении обломков полевых шпатов. Причина подобного отличия связана с близким расположением дельты р. Селенги, оказывающей существенное влияние на формирование осадочной толщи Селенгино-Бугульдейской перемычки.

На основании вышеизложенного можно предположить, что одним из основных отличий между терригенными отложениями изученных разрезов, и горизонтами, маркирующими ледниковые и межледниковые периоды в них, заключается в размерности частиц материала осадков, поступающих в водоем и, соответственно, их зависимость от способа транспортировки отложений на подводные перемычки озера Байкал.

Для разграничения парагенетических ассоциаций осадочных пород континентального генезиса, сформированных в условиях аридного и гумидного климата, показательным является применение тройной диаграммы в координатах $Al_2O_3 - (Fe_2O_3 + FeO) - (CaO + MgO + K_2O + Na_2O)$. Ранее эти диаграммы успешно применялись для широкого спектра осадочных пород от песчано-алевритовых осадков прибрежно-континентальных равнин и песчано-алеврито-глинистых осадков литоральных зон до различных типов палеопочв. В

плиоцен-плейстоценовых отложениях Академического хребта озера Байкал фигуративные точки распределяются преимущественно в поле, отвечающем гумидному климату, лишь четвертая часть фигуративных точек отвечает аридным разностям (рисунок 5.6). Попытки разделения исходных данных как по возрастным параметрам (плиоцен/плейстоцен) (рисунок 5.6), так и по этапам ледниковье/межледниковье (рисунок 5.7), не являются необходимым условием для разграничения аридных и гумидных разностей донных отложений подобным способом. В оба климатических поля попадают обогащенные и обедненные биогенным кремнеземом ($\text{SiO}_{2\text{bio.}}$) разности пород. Так же не выявляется принципиальная зависимость климатических свойств изученных отложений от возраста пород.

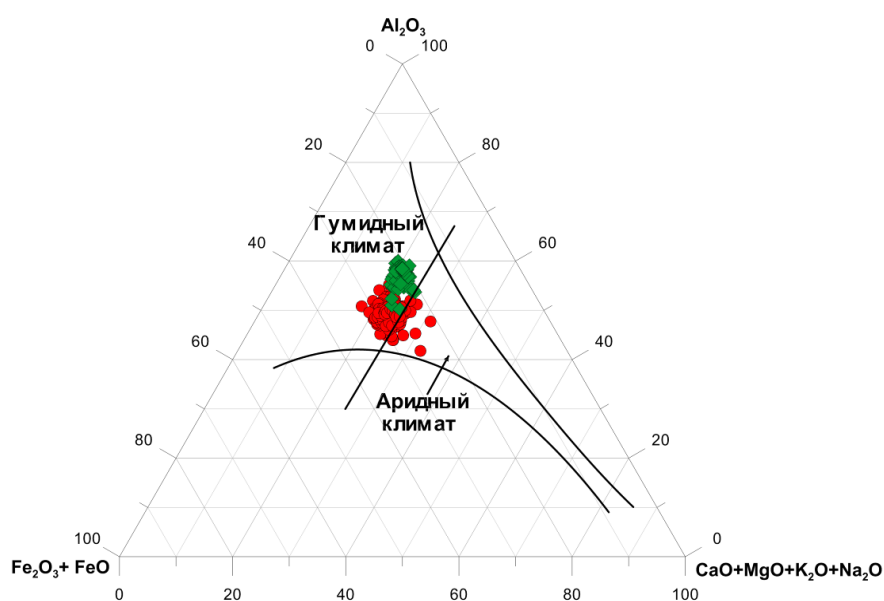


Рисунок 5.6 – Диаграмма Ерофеева – Цеховского [26]. Скважина ВДР-98, разделение петрогенных характеристик отложений по возрастному критерию, ромбы – 4–2,8 млн. лет; кружки – 2,8–0,01 млн. лет

В таблице 5.1 приведены разности пород отчетливо отвечающие аридному и гумидному климату. Из 304 проб, задействованных в построениях, наиболее контрастными свойствами обладают 14 проб. Примечательным является группировка ряда образцов по 3–4 образца применительно к определенному временному отрезку. Наиболее заметным из которых является начало перехода от плиоцена к плейстоцену 2,8–2,7 млн. лет и, соответственно, к необратимым изменениям в климате Земли в это время. Не смотря на группировку ряда образцов в определенные временные интервалы, связь между фактическим климатическим статусом интервала и типом климата по петрохимическим свойствам не

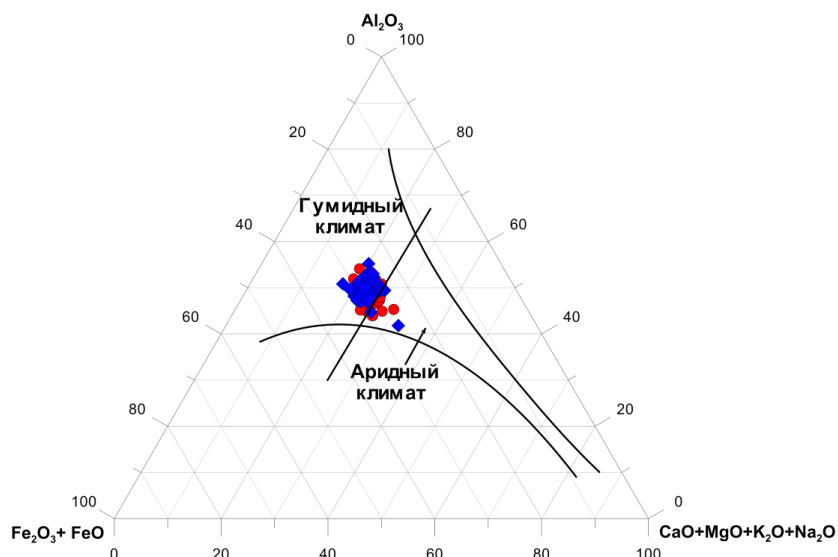


Рисунок 5.7 – Диаграмма Ерофеева – Цеховского [26]. Скважина BDP-98, разделение петрогенных характеристик ледникового/межледникового в интервале до 1,5 млн. лет, ромбы – ледниковые периоды; кружки – межледниковые периоды

Таблица 5.1 – Примеры корреляции отложений разреза BDP-98 отвечающих различным изотопным стадиям и типом климата в них по геохимическим данным

Возраст млн. лет	Глубина м.	SiO ₂ Бю	Стадия	Климат	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ общ.	∑ Ca, Mg, K, Na
0,07	3,13	4,38	холодная	гумидный	21,02	7,20	13,17
0,12	6,91	42,23	теплая	аридный	17,32	6,29	9,75
0,42	20,00	33,16	теплая	аридный	12,86	7,95	7,85
1,08	43,26	25,73	теплая	аридный	12,90	7,74	8,70
1,14	45,75	24,06	теплая	аридный	17,00	11,14	9,40
1,21	47,96	5,57	холодная	аридный	17,41	13,48	10,83
2,73	97,42	3,60	холодная	аридный	17,77	9,37	7,59
2,75	98,18	19,40	теплая	аридный	14,33	7,69	6,85
2,77	98,94	22,60	теплая	аридный	14,23	9,27	6,30
2,89	102,78	14,35	холодная	гумидный	19,85	7,62	8,87
2,90	103,14	16,06	теплая	гумидный	15,70	5,68	6,52
2,95	104,46	23,51	теплая	гумидный	16,81	6,09	6,58
2,99	105,93	24,11	теплая	гумидный	16,93	5,97	6,82
3,41	127,90	7,66	холодная	гумидный	23,76	7,65	8,23

прослеживается. Таким образом, суммируя вышеизложенное, можно подтвердить вывод о значительном смещении петрокомпонентов ледниковых и межледниковых отложений водосборной площади при транспортировке в конечный водоем стока. Основным механизмом транспортировки материала являлся эоловый перенос значительного количества разновозрастного и разного по генезису (в основном регионального) терригенного вещества преимущественно в ледниковые периоды в довершение процессов экзарации и крио-аридизации.

На рисунке 5.8 представлены породы Селенгино-Бугульдейской перемычки (скважина BDP-99) до 1,2 млн. лет. Результат примечателен разделением фигуративных точек разреза пропорционально в оба поля. Так как разрез BDP-99 по возрастным параметрам не превышает 1,2 млн. лет, логичным объяснением подобной картины является ритмичное чередование различных фракций осадка, связанное с изменением динамики речного стока в периоды потеплений и похолоданий и, тем самым, пропорциональное распределение горизонтов разреза, отвечающих аридным и гумидным литохимическим свойствам.

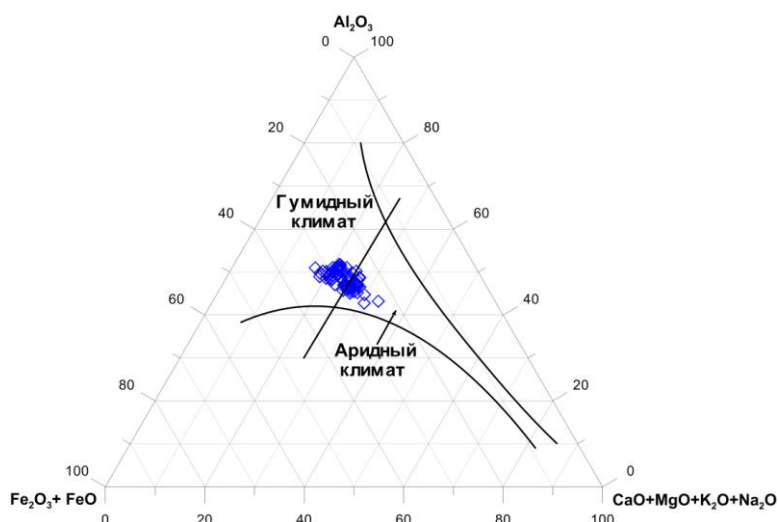


Рисунок 5.8 – Диаграмма Ерофеева - Цеховского [26]. Скв. BDP-99

◇ – различные типы отложений разреза в интервале до 1 млн. лет

Применение тройной диаграммы выветривания в координатах $(CaO+Na_2O)-Al_2O_3-K_2O$ позволило выявить тенденцию направленности выветривания отложений водосборной площади, являющихся источником терригенного материала для донных осадков озера Байкал.

В донных отложениях озера Байкал тренд выветривания, рассчитанный для описываемых морфоструктур и интервалов, соответствующих различным возрастным и

климатическим параметрам, отображает основную фазу по потере K_2O и смещением фигуративных точек в направлении угла Al_2O_3 . В целом, процесс разложения исходных пород данной диаграммы основан на динамике разрушения калиевого полевого шпата, плагиоклаза и железо-магниевого силиката.

При разделении составов отложений Академического хребта по возрастному критерию (рисунок 5.9), где границей раздела отложений выбран рубеж 2,588 млн. лет, соответствующий границе плиоцена и плейстоцена, фигуративные точки, относящиеся как к «теплым», так и к «холодным» интервалам, проявляют тенденцию к разделению. Это связано с тем, что более древние осадки плиоцена демонстрируют большую степень разложения относительно более молодых осадков плейстоцена. Подобная тенденция очевидна и вытекает из утверждения о более теплом климате плиоцена, а, соответственно, и более агрессивной обстановке химической эрозии в это время. Соизмеримая тенденция к разделению составов проявляется в лессовых отложениях Китая, где подстилающие лёссовые горизонты красной глины возрастом 6–2,8 млн. лет располагаются в верхней части тренда, демонстрируя более высокую степень разложения исходных пород. Любопытным является и различие в направленности трендов для осадков Байкала и лёссов Китая. Если отложения озера Байкал демонстрируют тренд основного выветривания в плоскости $K_2O - Al_2O_3$, то для лёссов Китая характерна начальная стадия выветривания, параллельная стороне $(CaO + Na_2O) - Al_2O_3$ и близкая по поведению к тренду выветривания среднего гранита.

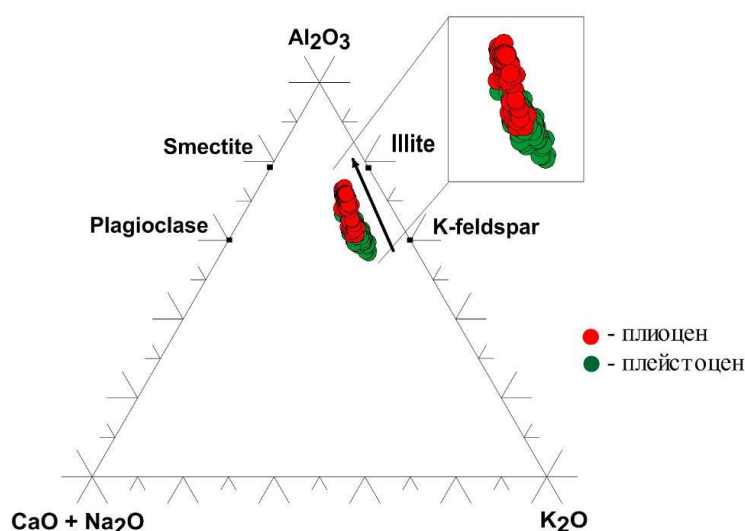


Рисунок 5.9 – Диаграмма направленности выветривания [27, 28] для отложений разреза BDP-98 (Академический хребет). Осадки разделены по возрастному критерию – плиоцен/плейстоцен. Стрелкой указано направление выветривания

Для выявления условий выветривания на водосборной площади при поступлении терригенной фракции в отложения Академического хребта и поиска корреляционных связей приведен тренд выветривания, характеризующий осадки Селенгино-Бугульдейской перемычки (скважина BDP-99) (рисунок 5.10). Поскольку разделить осадки данного разреза по климатическому фактору не представляется возможным из-за отсутствия детальной записи биогенного кремнезема ($\text{SiO}_{2\text{bio}}$), на диаграмме приведен весь массив данных до 1,2 млн. лет.

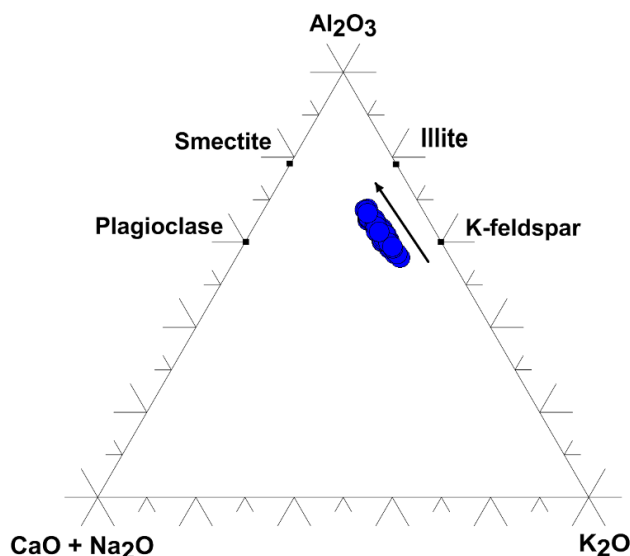


Рисунок 5.10. Диаграмма направленности выветривания [27, 28] для отложений скв. BDP-99. Стрелкой указано направление выветривания

Расположение тренда и длина его простираия в схожих с осадками Академического хребта координатах свидетельствует о чрезвычайной близости составов продуктов выветривания на обеих перемычках Байкала. Различия заключаются в слабом изменении направления тренда в сторону линии $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}) - \text{Al}_2\text{O}_3$ демонстрирующей более значительное присутствие слабовыветрелой кластической компоненты в осадках разреза, что полностью согласуется с интерпретацией диаграммы ФМ-НКМ (рисунок 5.5).

6. Углеводородные газы подводного нефтегазового проявления Горевой утес (озеро Байкал)

Естественные выходы газа на Байкале широко распространены по всей акватории озера [29–31]. Известны подводные высачивания нефти у юго-восточного побережья Байкала напротив устья рек Стволовая, Большой и Малой Зеленовской. Летом присутствие нефти

видно по нефтяным пленкам на поверхности воды, а весной – по пятнам нефти на льду. Эти нефтепроявления подробно изучены [32–34]. При эхолотировании дна озера в этом районе акустических аномалий в виде газовых “факелов” нами не обнаружено.

В 2005 году в Центральной котловине Байкала (глубина воды порядка 900 м) на поверхности воды были обнаружены многочисленные нефтяные пятна диаметром до 1 м, образующиеся при растекании всплывающих капель нефти. На экране эхолота четко фиксировалась подводная акустическая аномалия высотой до 500 м. Пробы воды, отобранные в области факела, имели высокую концентрацию метана, что доказало его газовую природу. Таким образом, на Байкале впервые обнаружен район, где со дна озера одновременно происходит разгрузка нефти и газа. Это проявление получило название “Горевой утес”.

В дальнейшем этот объект был всесторонне исследован, в том числе и с использованием глубоководных обитаемых аппаратов (ГОО) Мир. Получены первые данные по изотопным характеристикам метана [35]. Проведено изучение состава нефти [33], [36] и биоты [37, 38].

В данном отчете обобщены результаты исследования углеводородных газов (УВГ) этого уникального для Байкала района. Работы проводились в содружестве с Егоровым А.В. (Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН), Хачикубо (Kitami Institute of Technology) и Хлыстовым О.М. (Лимнологический институт СО РАН)

Район работ и методика исследований

Подводное нефтегазовое проявление “Горевой утес” расположено на склоне восточного берега Средней котловине Байкала (рисунок 6.1) на траверсе мыса Горевой утес на глубине 870–920 м [31, 36].

Строение дна в этом районе Байкала подробно изучено геофизическими методами [36]. Согласно полученным данным никаких морфологически выраженных структур, за исключением оползня, внутри которого находился отдельно стоящий холм высотой до 10 м и диаметром 50 м, не обнаружено. В районе холма наблюдались газовые факела. При изучении нефтегазового проявления с использованием ГОО “Мир” (2008 - 2009 гг.) на дне озера были найдены многочисленные битумные постройки конусообразной формы высотой до 1 м и диаметром до 1.5 м [37], [39]. На некоторых из них шла одновременная разгрузка нефти и газа. На основании геофизических данных сделано предположение, что нефть формируется не в районе нефтегазового проявления, а в осадках средней части Байкала и мигрирует в направлении восточного борта до проницаемой зоны разломов, где и происходит ее разгрузка [36].

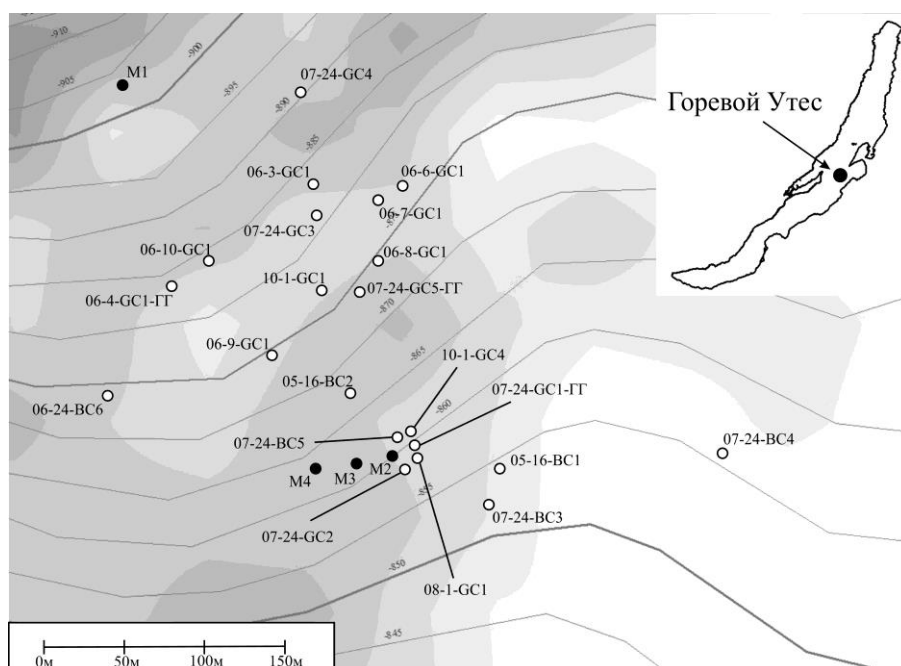


Рисунок 6.1 – Схема опробования газа из осадков нефтегазового проявления Горевой утес

Термобарические условия на нефтегазовом проявлении Горевой утес ($T = 3.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $P \approx 90 \text{ атм}$) благоприятны для образования газовых гидратов (ГГ), а в местах разгрузки газа, где поровые воды насыщены метаном, формирование ГГ в осадках неизбежно и, действительно, эти соединения были обнаружены [40].

Работы велись на полигоне размером 400 x 400 м (рисунок 6.1) в основном с борта НИС “Г.Ю. Верещагин”. Отбор осадка проводили гравитационной (GC) донной трубкой (длина керна до 5 м) и трубкой типа “Бентос” (BC). Два керна отобраны штатным оборудованием ГОА “Мир” (станции M1 и M2). Во время погружения глубоководных аппаратов были также собраны пузырьки газа с плоского дна (станция M3) и из действующей битумной постройки (станция M4). Для отбора и транспортировки на поверхность пузырьков газа использовали специальную ловушку [41].

Определение УВГ в осадке проводили методом парофазового анализа (Head-Space Analysis) [42]. Концентрации УВГ были измерены на хроматографе “ЭХО-ПИД” с пламенно-ионизационным детектором (2 метровая насадочная колонка с внутренним диаметром 2 мм; сорбент – Порарак, режим изотермический, $T = 100^{\circ}\text{C}$). Измерение $\delta^{13}\text{C}$ проводили в Лаборатории изотопно-аналитических методов Института геологии и минералогии СО РАН.

Результаты и обсуждение.

Основным компонентом газа является метан (C_1). Содержание гомологов $\text{C}_2 - \text{C}_4$ (C_{2+}) в образцах газа из кернов, отобранных донными трубками варьирует от 0,04% до 1,22%. Для

ГГ характерны концентрации C_{2+} изменяющиеся в интервале 0,12% - 0,70%, для пузырьков газа, выделяющихся из действующей битумной постройки (М4) и на плоском дне (М3) содержания составляют 0,81% и 0,44% соответственно. Несколько выше (2,14%) содержание C_{2+} газе из керна М1, отобранном на плоском дне, где присутствовали бактериальные маты.

На фоне этих в целом невысоких концентраций C_{2+} выделяется газ из керна М2 (отобран в непосредственной близости от битумной постройки), где содержание C_{2+} составляет 10,30%. Однако результаты анализа данного образца не отражают истинный состав газа, растворенного в поровых водах, поскольку в соответствующем керне присутствовало большое количество нефти (визуальная оценка). В результате избежать попадания нефти в сосуд для проведения анализа методом Head-Space не удалось. В итоге определялся состав смеси газа растворенного в поровых водах и нефти. Результаты анализа компонентного состава образца М2 для дальнейших построений не использовались.

Компонентный состав растворенного в поровых водах газа крайне неоднороден. В некоторых образцах гомологи метана представлены только этаном, часть проб газа наряду с этаном содержит *i*-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‰ ÷ -33,3‰ (среднее = -28,3‰). Газ с такими значениями $\delta^{13}C$ метана и этана классифицируется как термогенный [43, 44] и может образоваться на глубинах порядка 2–3 км, т. е. в главной зоне нефтеобразования [33].

На Байкале газ с аналогичными изотопными характеристиками обнаружен также в осадках Посольской банки [45].

Следует отметить, что в районе нефтепроявлений у юго-восточного побережья Байкала (устье рек Стволовая, Большая и Малая Зеленовская), где разгрузки газа не происходит, в осадках зафиксирован лишь газ микробного происхождения ($^{13}C-C_1 = -71,6 \text{ ‰} \div -64,3 \text{ ‰}$, среднее = -69,63 ‰; $C_1/C_2 = 17000 \div 109000$ среднее = 48000).

На диаграмме Бернарда [46], которая позволяет проводить генетическую типизацию метана, большинство исследованных образцов газа попадает в поле геометрически расположенное выше области термогенного метана (рисунок 6.2). Столь низкое содержание C_{2+} нетипично для газа, ассоциированного с нефтью. В нефтяной залежи газ может

находиться в свободном состоянии (газовая шапка) и/или быть растворенным в нефти и такой газ всегда характеризуется высоким содержанием гомологов метана [47].

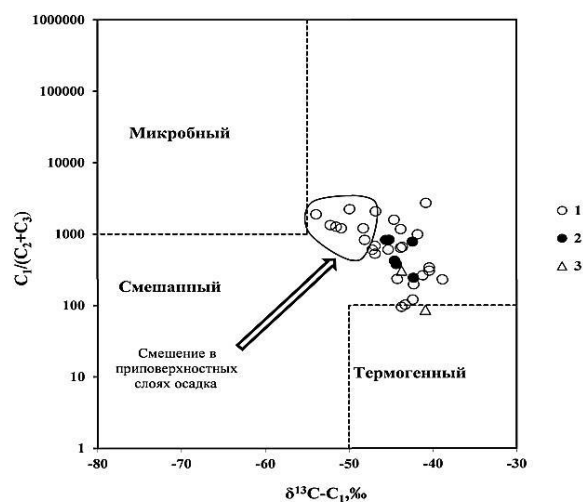


Рисунок 6.2 – Генетическая характеристика метана из осадков нефтегазового проявления Горевой утес (по [46]). 1 - газ, растворенный в поровых водах; 2 – газовые гидраты; 3 – пузыри газа

В осадках проявления Горевой утес газ с низким содержанием C_{2+} может образоваться в результате дегазации нефти при высачивании на поверхность дна. При перемещении нефти в верхние горизонты осадка за счет снижения давления всегда будет выделяться газ, обогащенный метаном, который по сравнению с гомологами имеет наименьшую растворимость в нефти. Отделившийся газ существует как самостоятельная фаза, а также частично растворяется в поровых водах. Перемещение газа может происходить отдельно от нефти или совместно с ней.

Такой сценарий отчасти объясняет низкое содержание гомологов метана и высокую неоднородность компонентного состава C_{2+} . Однако низкое содержание гомологов метана в термогенном газе может быть обусловлена и целым рядом вторичных процессов, таких как смешение термогенного газа с микробным, молекулярное фракционирование при перемещении, приводящее к сегрегации C_{2+} и анаэробная биodeградация гомологов метана. Эти процессы реализуются во многих газовых системах, где происходит разгрузка термогенного газа. Например, в наземных грязевых вулканах [48].

Смешение термогенного метана с микробным, который образуется на меньших глубинах, приводит к снижению концентрации C_{2+} и значения $\delta^{13}C-C_1$ в смеси. Этот процесс протекает на всем пути миграции термогенного газа от источника к поверхности дна. На Байкале интенсивное образование метана начинается уже в самых верхних,

приповерхностных слоях осадка [49]. Поэтому газ, отобранный в верхних горизонтах исследованных кернов, загрязнен микробным метаном, что иллюстрируют данные приведенные на рисунке 6.3.

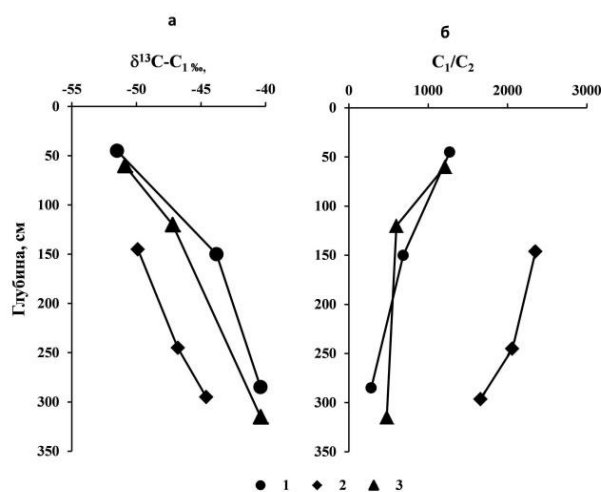


Рисунок 6.3 – Изменение $\delta^{13}\text{C}-\text{C}_1$ (а) и отношения C_1/C_2 (б) с глубиной осадка. 1 – станция 07-24-GC-3; 2 – станция 07-24-GC-4; 3 – станция 08-1-GC-1

Видно, что за счет смешения восходящего потока термогенного газа с образующимся в верхних горизонтах осадка микробным метаном происходит увеличение отношения C_1/C_2 и снижение значения $\delta^{13}\text{C}-\text{C}_1$. Образцы газа с нижних интервалов загрязнены микробным метаном в меньшей степени и несут ценную информацию о свойствах газов из глубоких горизонтов донных отложений. Таким образом, можно утверждать, что смешение не оказывает существенного влияния на свойства исходного газа, о чем свидетельствуют характерные для термогенного метана значения $\delta^{13}\text{C}$ в образцах, отобранных на нижних интервалах исследованных кернов.

Молекулярное фракционирование при перемещении газа от источника в придонные горизонты осадка может приводить к снижению концентрации гомологов метана. При этом значение $\delta^{13}\text{C}-\text{C}_1$ не претерпевает существенных изменений. Смешение и молекулярное фракционирование протекают, как правило, одновременно. Какой процесс является преобладающим можно определить с помощью схемы предложенной авторами работы [50], которая основана на анализе зависимости C_2/C_1 от $\delta^{13}\text{C}-\text{C}_1$. В случае смешения термогенного и микробного метана наблюдается практически линейная связь между отношением C_2/C_1 и значением $\delta^{13}\text{C}-\text{C}_1$, если же преобладающим процессом является молекулярное фракционирование, приводящая к удалению C_{2+} , то зависимость между этими параметрами описывается выпуклой кривой.

Наши данные показывают, что линейная связь между C_2/C_1 и $\delta^{13}C-C_1$ отсутствует и наблюдается практически вертикальный тренд C_2/C_1 (рисунок 6.4), что свидетельствует о том, что основную роль в формировании компонентного состава углеводородных газов нефтегазового проявления Горевой утес играет молекулярное фракционирование при перемещении газа в верхние горизонты осадка.

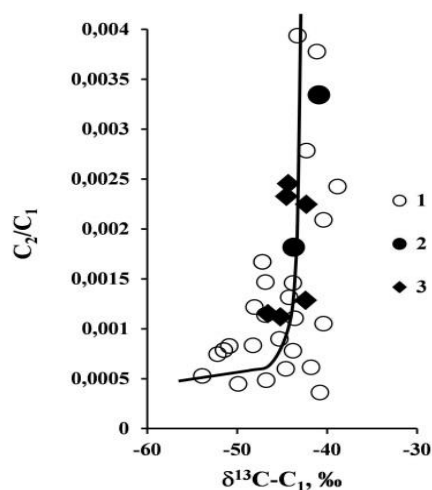


Рисунок 6.4 – Диаграммы в координатах C_2/C_1 - $\delta^{13}C-C_1$ (по [50]). 1 – газ, растворенный в поровых водах; 2 – пузыри газа; 3 – газовые гидраты

Высокая неоднородность компонентного состава C_{2+} , на наш взгляд, связана с молекулярным фракционированием при миграции газа от расположенных на различных глубинах локальных участков, где он отделяется от нефти. Высокая неоднородность компонентного состава C_{2+} , на наш взгляд, связана с молекулярным фракционированием при миграции газа от расположенных на различных глубинах локальных участков, где он отделяется от нефти.

Снижение концентрации C_{2+} в термогенном газе может быть связано и с анаэробной биodeградацией гомологов метана, в результате которой, происходит предпочтительное удаление *n*-алканов (пропан, *n*-бутан и т.д.) [51–55]. При этом микробное сообщество в меньшей степени затрагивает метан и этан.

В газе, не подверженном бактериальной переработке, происходит монотонное увеличение значения $\delta^{13}C$ в ряду метан – *n*-бутан. При бактериальном разложении *n*-алканов остаточные компоненты обогащаются изотопом ^{13}C [51], и соответствующая зависимость нарушается. В результате соответствующая кривая становится изломанной, что и является индикатором процессов биodeградации УВГ.

$\delta^{13}\text{C}$ гомологов метана из-за их низких концентраций в газе из осадков нефтегазового проявления удалось измерить только в единичных образцах и ГГ. Измерения проведены А. Хачикубо по методике [56], позволяющей определить значение $\delta^{13}\text{C}$ при концентрациях гомологов $< 0,1\%$ относительно метана.

Результаты измерений $\delta^{13}\text{C}$ гомологов метана (рисунок 6.5) показывают, что пропан и *n*-бутан аномально обогащены изотопом ^{13}C относительно этана и *i*-бутана. Это является свидетельством активной биodeградации *n*-алканов в осадках нефтегазового проявления.

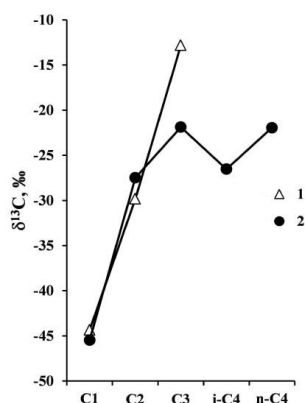


Рисунок 6.5 – $\delta^{13}\text{C}$ гомологов метана. 1 – газ, растворенный в поровых водах (станция 10-1-GC-1); 2 – гидратный газ (станция 10-1-GC-4)

Примечательно, что значение $\delta^{13}\text{C}$ -C₃ в газе, растворенном в поровых водах, существенно выше, чем в гидратном газе (-12,8‰ и -21,9‰ соответственно). Станции опробования газа, растворенного в поровых водах (10-1-GC-1) и ГГ (10-1-GC-4) находятся на расстоянии примерно 100 м друг от друга. Маловероятно, что различие изотопного состава углерода пропана на этих станциях связано с неравномерным распределением в осадках микроорганизмов ответственных за биodeградацию алканов. На наш взгляд, причиной такого различия является различная мощность восходящего потока газа на этих станциях. При высоких потоках газа степень бактериальной переработки углеводородных газов будет ниже, поскольку микробное сообщество не успевает переработать большое количество углеводородов. Поэтому значение $\delta^{13}\text{C}$ -C₃ в ГГ, для образования которых необходима высокая концентрация метана в поровых водах, т.е. высокий поток газа снизу, существенно ниже, чем $\delta^{13}\text{C}$ -C₃ в газе, растворенном в поровых водах.

Заключение.

Изучен компонентный состав и изотопный состав углерода УВГ подводного нефтегазового проявления Горевой утес, где одновременно происходит разгрузка нефти и газа.

На основании полученных данных установлено, что метан в осадках этого района Байкала имеет термогенной происхождение. Вместе с тем он имеет низкую примесь C_{2+} , что нехарактерно для газа, ассоциированного с нефтью. Сделано предположение, что такой газ образуется при дегазации нефти в процессе высачивания на поверхность дна.

Дополнительно к снижению содержания C_{2+} приводит ряд вторичных процессов, в первую очередь молекулярное фракционирование при перемещении газа в приповерхностные слои осадка. Определенный вклад в формирование компонентного состава УВГ вносит и анаэробная биодегградация гомологов метана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новые научные результаты проведенных исследований вносят значимый вклад в понимание эволюции экосистем Внутренней Азии в позднем кайнозое. Так, оценка влияния гранулометрического состава озерно-болотных отложений из горных районов Восточного Саяна на погрешность определения основных породообразующих элементов впервые позволила выяснить, что основной вклад в погрешность рентгенофлуоресцентного анализа вносит пробоподготовка, включающая этапы измельчения и прессования.

Впервые проведенные гранулометрические, петромагнитные исследования, измерение МВ донных отложений озер высокогорной и предгорной зон Восточного Саяна показали перспективность научного потенциала этих результатов для стратиграфического расчленения донных отложений и реконструкции детальных палеоэкологических моделей региона.

Новая детальная палинологическая запись разреза Шимки позволили впервые для юго-восточной части предгорий Восточного Саяна выявить кратковременные и резкие климатические события позднеледникового времени, определить их хронологические рамки, установить их связь с глобальным климатом.

Макро- и микроэлементный состав донных отложений оз. Байкал из кернов глубоководного бурения ВDP-93 и ВDP-98 стал основой установления источников осадочного материала в озеро за последние 5 млн. лет в зависимости от условий природной среды и климата.

Исследование современного состояния экосистем байкальского региона методами органической геохимии показали, что уровень содержания ПХБ в почвах южного Байкала соответствует фоновому уровню почв индустриально развитых стран северного полушария. Причиной превышения концентраций ПХБ южного Байкала над концентрациями среднего и северного Байкала, является как влияние ангарской промышленной зоны, так и в большей степени западный перенос вдоль южного берега Байкала через промышленные предприятия южного Байкала и особенно БЦБК. В настоящее время наблюдается тенденция к снижению концентраций ПХБ в почвах южного Байкала и основная причина этого – закрытие в 2013 г. БЦБК.

Изучение компонентного и изотопного состава углерода УВГ подводного нефтегазового проявления Горевой утес в оз. Байкал, где одновременно происходит разгрузка нефти и газа, позволило установить, что метан в осадках этого района Байкала

имеет термогенной происхождение. Вместе с тем он имеет низкую примесь C_2^+ , что нехарактерно для газа, ассоциированного с нефтью. Сделано предположение, что такой газ образуется при дегазации нефти в процессе высачивания на поверхность дна.

Таким образом, все полученные результаты имеют очевидную научную новизну, вносящую весомый вклад в увеличение суммы региональных знаний о понимании эволюции природной среды большой территории Внутренней Азии в позднем кайнозое.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Щетников А.А., Уфимцев Г.Ф. Структура рельефа и новейшая тектоника Тункинского рифта (Юго-Западное Прибайкалье). – М.: Научный мир. – 2004. – 160 с.
- 2 Щетников А.А., Безрукова Е.В., Филинов И.А., Иванов Е.В., Кербер Е.В. Озёрный морфолитогенез в долине Вулканов (Восточный Саян) // География и природные ресурсы. – 2016. – №3. – С. 37–48.
- 3 Stockhausen H., Zolitschka B. Environmental changes since 13,000 cal. BP reflected in magnetic and sedimentological properties of sediments from Lake Holzmaar (Germany) // Quaternary Science Reviews. – 1999. – V. 18. – P. 913-925.
- 4 Безрукова Е.В., Щетников А.А., Кузьмин М.И., Шарова О.Г., Кулагина Н.В., Летунова П.П., Иванов Е.В., Крайнов М.А., Кербер Е.В., Филинов И.А., Левина О.В. Первые данные об изменении природной среды и климата Жомболокского вулканического района (Восточный Саян) в среднем-позднем голоцене // Доклады Академии Наук. – 2016. – Т. 468, №3. С. 323-327.
- 5 Трофимов А.Г., Кулагина Н.В., Попова С.М., Шибанова И.В. Новые данные по плейстоцену Тункинских впадин // Российский фонд фундаментальных исследований в Сибирском регионе. Тезисы докладов, Т. 1. Иркутск: РФФИ-ИЗК СО РАН. – 1995. – С. 50-51.
- 6 Grimm E.C., TGView. Illinois State Museum, Research and Collections Center, Springfield, 2004.
- 7 Bronk Ramsey Ch. Methods for Summarizing Radiocarbon Datasets // Radiocarbon. – 2017. – 59(06). – P. 1-25 DOI: 10.1017/RDC.2017.108
- 8 Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk R.C., Buck C.E., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Haflidason H., Hajdas I., Hatté C., Heaton T.J., Hoffmann D.L., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., Manning S.W., Niu M., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Staff R.A., Turney C.S.M.; van der Plicht J. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP // Radiocarbon. – 2013. – vol.55, N 4. – P. 1869-1887.
- 9 Stuiver, M., Grootes, P.M., Braziunas, T.F. The GISP2 d18O climate record of the past 16,500 years and the roles of the sun, ocean and volcanoes. Quat. Res. – 1995. – 44. – P. 341-354.

- 10 Qiang M., Song L., Jin Y., Li Y., Liu L., Zhang J., Zhao Y., Chen F. A 16-ka oxygen-isotope record from Genggahai Lake on the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau: Hydroclimatic evolution and changes in atmospheric circulation // *Quaternary Science Reviews*. – 2017. – 162. – P. 72-87.
- 11 Blockley S. P. E., Lane C. S., Hardiman M., Rasmussen S. O., Seierstad I. K., Steffensen J. P., Svensson A., Lotter A. F., Turney C. S. M. & Bronk Ramsey C. Synchronisation of palaeoenvironmental records over the last 60,000 years, and an extended INTIMATE event stratigraphy to 48,000 b2k // *Quat. Sci. Rev.* – 2012. – 36.– P. 2-10.
- 12 Мамонтов А.А. Полихлорированные дибензо-пара-диоксины и родственные соединения в эко-системе озера Байкал. – Москва: Академия наук о Земле. – 2001. – 68 с.
- 13 Теория и практика химического анализа почв. – Москва: Изд-во ГЕОС. – 2006.
- 14 Meijer, S.N., Ockenden, W.A., Sweetman, A., Breivik, K., Grimalt, J.O., and Jones, K.C. Global distribution and budget of PCBs and HCB in background surface soils: Implications for sources and environmental processes // *Environ. Sci. Technol.*, – 2003. – V. 37. – (4). – P. 667-672.
- 15 Mamontov A.A., Tarasova E.N., Mamontova E.A., Kerber E.V., The Change of Polychlorinated Biphenyls Content in Soil of Coastal Zone of Lake Baikal in 1997–2012 // *Russian Journal of General Chemistry*, – 2015. – V. 85. – (13). – P. 2945–2951.
- 16 Мамонтов А.А., Тарасова Е.Н., Безрукова Е.В., Кузьмин М.И., Щетников А.А., Филинов И.А., Мамонтова Е.А., Иванов Е.В., Крайнов М. А., Кербер Е.В. Полихлорированные бифенилы (ПХБ) торфяника в устье р. Аносовка (южный Байкал). // В сб.: Экологический риск/ Материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием г. (Иркутск, 18-21 апреля 2017г.). - Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2017. – С. 184-185.
- 17 Wania F., Mackay D. The Global Fractionation of Persistent Organic Chemicals: NILU Technical Report; Norwegian Institute for Air Research: Kjeller, Norway, 1996: TR10/96.
- 18 Daly G. L., Wania F. Organic Contaminants in Mountains // *Environmental Science and Technology*., – 2005. – V. 39. – P. 385-398.
- 19 Атлас Байкала. – Москва: Изд-во Федеральная служба геодезии и картографии России. – 1993.
- 20 Ivanov V. and Sandell E. Characterization of polychlorinated biphenyl isomers in Sovol and Trichlorobiphenyl formulation by high-resolution gas chromatography with electron capture

- detection and high-resolution gas chromatography – mass spectrometry techniques // *Environmental Science and Technology*, – 1992. – V.26. – P. 2012-2017.
- 21 Митрошков А.В., Тарасова Е.Н., Ревельский И.А., Коморникова Н.В., Саркисян А.М. Анализ воды и биологических объектов оз. Байкал на содержание полихлорбифенилов и полихлордибензодиоксинов с применением масс-спектрометра низкого разрешения с химической ионизацией и регистрацией отрицательных ионов. // *Журнал Аналитической химии*. – 1997. – №.52(8). – С. 866-871
- 22 Тарасова Е.Н., Коморникова Н.В., Мамонтов А.А., Мамонтова Е.А., Митрошков А.В. Тез. Всероссийской научной конференции «Диоксины: экологические проблемы и методы анализа». (Уфа, 13-17 февраля, 1995г.), Уфа. – 1995. – С. 74-81.
- 23 Бюллетени космического мониторинга БПТ от 21 августа 2015 г. <http://www.geol.irk.ru/dzz/bpt/ice/150821/150821.jpg>
- 24 Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // *Journal of Sedimentary Petrology*. 1988. Vol. 58. P. 820–829.
- 25 Юдович Я.Э. Региональная геохимия осадочных толщ. – Л. : Наука. 1981. – 276 с.
- 26 Ерофеев В.С., Цеховский Ю.Г. Парагенетические ассоциации континентальных отложений (Семейство аридных парагенезов. Эволюционная периодичность) – М. : Наука. 1983. – 192 с.
- 27 Nesbitt H.W., Young G.M. Formation and Diagenesis of Weathering Profiles // *The Journal of Geology*. 1989. Vol.97. №. 2. P. 129–147.
- 28 Fedo C.M., Nesbitt H.W., Young G.M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance // *Geology*. 1995. Vol. 23. №. 10. P. 921–924.
- 29 Гранин Н. Г., Гранина Л. З. Газовые гидраты и выходы газов на Байкале // *Геология и геофизика*. – 2002. – № 7. – С. 629–637.
- 30 Исаев В.П., Коновалова Н.Г., Михеев П.В. Природные газы Байкала // *Геология и геофизика*. – 2002. – № 7. – С. 638–643.
- 31 Granin N.G., Makarov M.M., Kucher K.M., Gnatovsky R.Y. Gas seeps in Lake Baikal- detection, distribution, and implications for water column mixing // *Geo-Marine Letters*. – 2010. – Vol. 30, № 3-4. – P. 399–409.
- 32 Конторович А.Э., Дробот Д.И., Преснова Р.Н. Геохимия нефтидов и проблема генезиса байкальской нефти // *Сов. Геология*. – 1989. – № 2. – С. 21–29.

- 33 Конторович А.Э., Каширцев В.А., Москвин В.И., Бурштейн Л.М., Земская Т.И., Костырева Е.А., Калмычков Г.В., Хлыстов О.М. Нефтегазоносность отложений озера Байкал // Геология и геофизика. – 2007. – № 12. – С. 1346–1356.
- 34 Каширцев В.А., Конторович А.Э., Москвин В.И., Данилова В.П., Меленевский В.Н. Терпаны нефтей озера Байкал // Нефтехимия. – 2006. – № 4. – С. 243–250.
- 35 Калмычков Г.В., Егоров А.В., Кузьмин М.И., Хлыстов О.М. Генетические типы метана озера Байкал // Доклады Академии наук. – 2006.– № 5 (411). – С. 672 – 675.
- 36 Хлыстов О. М., Горшков А. Г., Егоров А. В., Земская Т. И., Гранин Н.Г., Калмычков Г. В., Воробьева С. С., Павлова О. Н., Якуп М. А., Макаров М. М., Москвин В. И., Грачев М. А. Нефть в озере мирового наследия // Доклады Академии наук. – 2007. – № 5 (414). – С. 656–659.
- 37 Хлыстов О. М., Земская Т. И., Ситникова Т. Я., Механикова И. В., Кайгородова И. А., Горшков А. Г., Тимошкин О. А., Шубенкова О. В., Черницына С. М., Ломакина А. В., Лихошвай А. В., Сагалевич А. М., Москвин В. И., Пересыпкин В. И., Беляев Н. А., Слипечук М. В., Тулохонов А. К., Граче М. А. Донные битумные постройки и населяющая их биота по данным обследования озера Байкал с глубоководных обитаемых аппаратов “Мир” // Доклады Академии наук. – 2009.– № 5 (428). – С. 682–685.
- 38 Ломакина А. В., Погодаева Т. В., Морозов И. В., Земская Т. И. Микробные сообщества зоны разгрузки газонефтеcодержащих флюидов ультрапресного озера Байкал // Микробиология. – 2014. – № 3. – С. 355–365.
- 39 Sagalevich AM, Rimskiy-Korsakov NA. MIR submersibles explore the bottom of Russia’s Lake Baikal // Sea Technology. – 2009. – Vol. 50, № 12. – P.15–19.
- 40 Khlystov O., De Batist M., Shoji H., Hachikubo A., Nishio S., Naudts L., Poort J., Khabuev A., Belousov O., Manakov A., Kalmychkov G. Gas hydrate of Lake Baikal: Discovery and varieties // Journal of Asian Earth Sciences. – 2013. – Vol. 62. – P. 162–166.
- 41 Егоров А.В., Нигматулин Р.И., Римский-Корсаков Н.А., Рожков А.Н., Сагалевич А.М., Черняев Е.С. Разрушение глубоководных метановых пузырей // Океанология. – 2010. – № 4. – С. 505–514.
- 42 Большаков А. М., Егоров А. В. Об использовании методики фазово-равновесной дегазации при газометрических исследованиях в акваториях // Океанология. – 1987. – № 5. – С. 861–862.
- 43 Whiticar M. J. Carbon and hydrogen isotope systematics of bacterial formation and oxidation of methane // Chemical Geology. – 1999. – Vol. 161. – P. 291–314.

- 44 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 // *Organic Geochemistry*. – 2005. – Vol. 36. – P. 681–702.
- 45 Калмычков Г. В., Покровский Б. Г., Хачикубо А., Хлыстов О. М. Геохимические характеристики метана из осадков подводной возвышенности Посольская банка // *Литология и полезные ископаемые*. – 2017. – № 2. – С. 121–129.
- 46 Bernard B.V., Brooks J.M., Sackett W.M. Natural gas seepage in the Gulf of Mexico // *Earth Planet Sci. Lett.* – 1976. – Vol. 31, № 1. – P. 48–54.
- 47 Справочник по геохимии нефти и газа. – Санкт-Петербург. – Недра. – 1998 – 576 с.
- 48 Etiope G., Feyzullayev A., Vaciu C. L. Terrestrial methane seeps and mud volcanoes: A global perspective of gas origin // *Marine and Petroleum Geology*. – 2009. – Vol. 26, № 3. – P. 333–344.
- 49 Намсараев Б.Б., Дулов Л.Е., Соколова Е.Н., Земская Т.И. Бактериальное образование метана в донных осадках озера Байкал // *Микробиология*. – 1995. – № 3. – С. 411–417.
- 50 Prinzhofer A. Pernaton E. Isotopically light methane in natural gas: bacterial imprint or diffusive fractionation? // *Chemical Geology*. – 1997. – Vol. 142. – P. 193–200.
- 51 James, A.T., Burns, B.J. Microbial alteration of subsurface natural gas accumulations // *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. – 1984. – Vol. 68. – P. 957–960.
- 52 Pallasser R.J. Recognising biodegradation in gas/oil accumulations through the $\delta^{13}\text{C}$ compositions of gas components // *Organic Geochemistry*. – 2000. – Vol. 31. – P. 1363–1373.
- 53 Katz B. J., Narimanov A., Huseinzadeh R. Significance of microbial processes in gases of the South Caspian basin // *Marine and Petroleum Geology*. – 2002. – Vol. 19. – P. 783–796.
- 54 Vandrer C., Cramer B., Gerling P., Winsemann J. Natural gas formation in the western Nile delta (Eastern Mediterranean): Thermogenic versus microbial // *Organic Geochemistry*. – 2007. – Vol. 38. – P. 523–539.
- 55 Huang H., Larter S. Secondary microbial gas formation associated with biodegraded oils from the Liaohe Basin, NE China // *Organic Geochemistry*. – 2014. – Vol. 68. – P. 39–50.
- 56 Hachikubo A., Yanagawa K., Tomaru H. et al. Molecular and Isotopic Composition of Volatiles in Gas Hydrates and in Sediment from the Joetsu Basin, Eastern Margin of the Japan Sea // *Energies*. – 2015. – Vol. 8, № 6. – P. 4647–4666.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Список публикаций 2018 г. по теме исследований

Статьи

- 1 Tian F., Cao X., Dallmeyer A., Lohmann G., Zhang X., Ni J., Andreev A., Anderson P.M., Lozhkin A.V., Bezrukova E., Rudaya N., Xu Q., Herzschuh U. Biome changes and their inferred climatic drivers in northern and eastern continental Asia at selected times since 40 cal ka BP // *Vegetation History and Archaeobotany*. – 2018. – Vol. 27. – P. 365-379.
- 2 Tarasov P.E., Pyashuk B.P., Leipe C., Muller S., Plessen B., Hoelzmann P., Kostrova S.S., Bezrukova E.V., Meyer H. Insight into the Last Glacial Maximum climate and environments of the Baikal region // *Boreas*. – 2018. – DOI: 10.1111/bor.12330
- 3 Solotchina E.P., Bezrukova E.V., Solotchin P.A., Shtok O., Zhdanova A.N. Late Pleistocene–Holocene sedimentation in lakes of Central Transbaikalia: implications for climate and environment changes // *Russian Geology and Geophysics*. – 2018. – Vol. 59. – Issue 11. – P. 1419-1432.
- 4 Анри О., Безрукова Е.В., Тетенькин А.В., Кузьмин М.И. Новые данные к реконструкции растительности и климата в Байкало-Патомском нагорье (Восточная Сибирь) в максимум последнего оледенения – раннем голоцене // *Доклады Академии наук*. – 2018. – Т. 478. – № 5. – С. 584-587.
- 5 Белов А.В., Безрукова Е.В., Соколова Л.П. Эволюционно-генетическая основа структурно-ценотического разнообразия современной растительности Предбайкалья // *География и природные ресурсы*. – 2018. – № 1. – С. 92-102.
- 6 Букин С.В., Павлова О.Н., Калмычков Г.В., Иванов В.Г., Погодаева Т.В., Галачянц Ю.П., Букин Ю.С., Хабуев А.В., Земская Т.И. Субстратная специфичность метаногенных сообществ из донных отложений оз. Байкал, ассоциированных с разгрузками углеводородных газов // *Микробиология*. – 2018. – Т. 87. – № 4. – С. 409-420.
- 7 Крайнов М.А., Безрукова Е.В., Щетников А.А., Кербер Е.В. Первые данные об установлении экскурсов Гётеборг и Моно Лейк в палеомагнитных записях из донных отложений озер Забайкальского региона (на примере оз. Баунт) // *Доклады Академии наук*. – 2018. – Т. 481. – № 4. – С. 407-409.
- 8 Ломакина А.В., Мамаева Е.В., Погодаева Т.В., Калмычков Г.В., Хальзов И.А., Земская Т.И. Окисление метана в анаэробных условиях при культивировании накопительных культур из глубинных осадков района грязевого вулкана Песчанка (Южный Байкал) // *Микробиология*. – 2018. – Т. 87, № 3. – С. 242-251

- 9 Мамонтова Е.А., Лепская Е.В., Тарасова Е.Н., Коваль М.В., Мамонтов А.А. Хлорорганические пестициды и полихлорированные бифенилы в тканях жилой формы нерки Толмачевского водохранилища, Камчатка // Биология внутренних вод. – 2018. – № 2. – С. 76-83.
- 10 Амосова А.А., Чубаров В.М., Пашкова Г.В. Рентгенофлуоресцентный анализ торфяных отложений р. Сенца для палеоклиматических исследований // Вопросы естествознания. – 2018. – № 1 (15). – С. 47-52.
- 11 Мамонтова Е.А., Жукова Т.В., Тарасова Е.Н., Мамонтов А.А. Стойкие органические загрязнители в национальном парке «Нарочанский», Республика Беларусь // Экологическая химия. – 2018. – Т. 27, № 1. – С. 31-38.
- 12 Мамонтов А.А., Тарасова Е.Н., Мамонтова Е.А. Стойкие органические загрязнители в почвах южного Байкала // Экологическая химия. – 2018. – Т. 27, № 2. – С. 65-75.
- 13 Мамонтова Е.А., Тарасова Е.Н., Мамонтов А.А., Иванов Е.В. Влияние растительного покрова и органического вещества почв на содержание хлорорганических соединений в почвах (на примере о. Ольхон, Байкал) // Теоретическая и прикладная экология. – 2018. – № 1. – С. 43-52.
- 14 Тарасова Е.Н., Мамонтова Е.А., Мамонтов А.А. Органическое вещество и биогенные элементы в объектах окружающей среды Ольхонского района Иркутской области // Экологическая химия. – 2018. – Т. 27, № 3. – С. 141-155
- 15 Чубаров В.М., Амосова А.А. Рентгенофлуоресцентный анализ кобальтоносных железомарганцевых образований // Вопросы естествознания. – 2018. – № 4 (18). – С. 120-126.

Монографии

- 1 Решетова С.А., Безрукова Е.В. Растительность и климат Забайкалья в позднеледниковье и голоцене (по палинологическим данным): монография. – Чита: ЗабГУБ, 2018. – 192 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Конференции, на которых были представлены результаты исследований

- 1 Амосова А.А., Чубаров В.М., Пашкова Г.В. Рентгенофлуоресцентный анализ торфяных отложений р. Сенца для палеоклиматических исследований // Вопросы естествознания. 2018. № 1 (15), С 47-52 // Спецвыпуск по материалам Всероссийской конференции молодых ученых «Современные проблемы геохимии» (Иркутск, 29 мая - 2 июня).
- 2 Amosova A.A., Chubarov V.M., Pashkova G.V. WDXRF analysis of peat sediments // EXRS-2018 European Conference on X-Ray Spectrometry. Ljubljana, Slovenia, 24-29 June 2018. Book of Abstracts. P. 328.
- 3 Amosova A.A., Chubarov V.M., Pashkova G.V. Wavelength dispersive X-ray fluorescence determination of major oxides in bottom and peat sediments for the paleoclimatic studies // 10th International Conference on the Analysis of Geological and Environmental Materials. 8-13 July, Sydney, Australia. P. 27.
- 4 Amosova A.A., Chubarov V.M., Pashkova G.V., Finkelshtein A.L. X-ray fluorescence analysis of peat sediments of the Sentca River for paleoclimatic studies // 5th International Conference on X-ray analysis. 12-14 September 2018, Ulaanbaatar, Mongolia. Book of abstracts. P. 28 .
- 5 Kostrova, S.S., Meyer, H., Bailey, H.L., Ludikova, A.V., Gromig, R., Kuhn, G., Shibaev, Yu.A., Kozachek, A.V., Ekaykin, A.A., Chaplgin, B. Holocene hydrological variability of Lake Ladoga, NW Russia as inferred by diatom oxygen isotopes // Unravelling the Past and Future of Lakes: Abstract book of IPA-IAL 2018 I Joint Meeting (Stockholm, June 18–21, 2018) – Stockholm University, 2018, p. 118.
- 6 Kostrova, S.S., Meyer, H., Bailey, H.L., Ludikova, A.V., Gromig, R., Kuhn, G., Shibaev, Y.A., Kozachek, A.V., Ekaykin, A.A., Chaplgin, B. Postglacial history of Lake Ladoga documented by diatom oxygen isotopes // Abstracts of the International Conference “Freshwater Ecosystems – Key Problems” (Irkutsk, September 10–14, 2018) – Irkutsk: LLC “Megaprint”, 2018, p. 57–58.
- 7 Мамонтова Е.А., Тарасова Е.Н., Мамонтов А.А. О проблеме загрязнения стойкими органическими соединениями г. Усолье-Сибирское // В сб.: Здоровье населения и окружающая среда / Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Иркутск, 13-14 декабря 2018). – Иркутск: ИНЦХТ, 2018. – С. 124-131
- 8 Мамонтова Е.А., Тарасова Е.Н., Мамонтов А.А. Полихлорированные бифенилы и хлорорганические пестициды в грудном молоке жительниц Байкальского региона // В

- сб.: Здоровье населения и окружающая среда / Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Иркутск, 13-14 декабря 2018). – Иркутск: ИНЦХТ, 2018. – С. 131-136
- 9 Bezrukova E.V., Kulagina N.V., Letunova P.P., Sharova O.G., Aisueva T.S., Amosova A.A., Shchetnikov A.A., Krainov M.A., Levina O.V., Tkachenko L.L., Kerber E.V., Filinov I.A., Ivanov E.V., Kuzmin M.I. Late Pleistocene-Holocene environmental and climatic changes in the Baikal region inferred from multi-proxy lacustrine records // *Paleolimnology of Northern Eurasia: experience, methodology, current status and young scientists school in microscopy skills in paleolimnology / Proceedings of the 3rd International Conference Kazan, Republic of Tatarstan, Russia, 1- 4th of October 2018, p. 18-20.*
 - 10 Shchetnikov A.A., Bezrukova E.V., Filinov I.A., Kerber E.V., Belozeroва O.Yu., Krainov M.A., Ivanov E.V. Volcanic activity within the Jom-Bolok river valley (East Sayan Mts., Baikal region) during the Late Glacial-Holocene: the first continuous tephrochronological record from lake sediments / *Proceedings of the 3rd International Conference Kazan, Republic of Tatarstan, Russia, 1- 4th of October 2018, p. 109-112.*
 - 11 Безрукова Е.В., Летунова П.П., Кулагина Н.В., Айсыева Т.С., Щетников А.А., Крайнов М.А., Кербер Е.В., Панов В.С., Шарова О.Г., Левина О.В., Ткаченко Л.Л., Иванов Е.В., Филинов И.А. История растительности и климата последнего оледенения и голоцена в бассейне озера Баунт, Республика Бурятия / *Геодинамика и минерагения Северной и Центральной Азии. Материалы V Всероссийской научной-практической конференции, г. Улан-Удэ, 27-31 августа 2018 г. – С. 56-59.*
 - 12 Harding, P., Mackay, A., Leng, M., Kostrova, S., Bezrukova, E., Shchetnikov, A. Diatom responses to abrupt Late Quaternary climate change in southern Siberia. 25th International Diatom Symposium. 25-30 June, 2018. Berlin. Abstracts. Berlin: Botanic Garden and Botanical Museum, Free University Berlin, 2018. p. 61.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

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	15
Количество публикаций в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (WEB of Science)	единиц	9
Количество монографий (глав в монографиях)	единиц	1
Количество публикаций в сборниках конференций	единиц	1
Число тезисов в конференциях	единиц	12