

На правах рукописи



Алокла Рияд Эйтанович

**ГЛИНИСТЫЕ МИНЕРАЛЫ В ЗОНЕ ГИПЕРГЕНЕЗА БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ
СИСТЕМЫ**

Специальность 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы
поисков полезных ископаемых

Автореферат

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск, 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Иркутский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ИГУ»), г. Иркутск

**Научный
руководитель:**

Рассказов Сергей Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой динамической геологии Иркутского государственного университета (ФГБОУ ВО «ИГУ») и заведующий лабораторией изотопии и геохронологии, главный научный сотрудник Института земной коры Сибирского отделения РАН (ИЗК СО РАН), г. Иркутск

**Официальные
оппоненты:**

Солотчина Эмилия Павловна, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геологии кайнозоя, палеоклиматологии и минералогических индикаторов климата. Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН), г. Новосибирск

Канева Екатерина Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Рентгеновских методов исследования» Института геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИГХ СО РАН), г. Иркутск

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук — научный институт РАН (ИГЕМ РАН), г. Москва

Защита диссертации состоится « 06 » октября 2023 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета 24.1.053.01 Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ИГХ СО РАН)

по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1А
e-mail: amosova@igc.irk.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУН Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН и на сайте <http://www.igc.irk.ru>.

Автореферат разослан «___» 2023 г.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять учёному секретарю совета к.г.-м.н. по адресу 664003, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1А

Учёный секретарь
диссертационного совета, к.х.н.



А.А. Амосова

Введение

Актуальность работы. Глинистые минералы – самые распространенные и исключительно разнообразные компоненты в зоне гипергенеза верхней (осадочной) оболочки литосферы. Они относятся к семейству филлосиликатов и, по оценкам разных авторов, составляют до 11% всего объема земной коры, около 70% пород осадочного чехла континентов и 15% – океанов [Солотчина, 2009]. Интерес к этим образованиям в настоящее время возрос в связи с ростом возможностей аналитического оборудования и разработки новых методов исследований [Осипов, Соколов, 2013].

В донных отложениях оз. Байкал идентифицированы глинистые минералы чрезвычайно разнообразного состава [Голдырев, 1970, 1982]. Более ограниченный состав глинистых минералов определялся в разновозрастных осадочных отложениях побережья Байкала [Ломоносова, 1972; Литология..., 1973]. Глинистые минералы исследовались в сапропелевых илах малых озер юга Сибири [Солотчина, 2009; Зыкина, Зыкин 2012; Леонова и др., 2018; Мальцев и др., 2019], но в породах контрастного состава (лессах и лессовидных породах) не изучались. Литологические исследования донных отложений Байкала, проведенные с использованием новых методов и подходов в изучении глинистых минералов, показали чувствительность глинистых фаз к контрастным вариациям палеоклимата в квартере [Fagel et al., 2003]. В озерных отложениях, вскрытых 600-метровой скважиной ВДР-98 на подводном Академическом хребте, в нижней части разреза (возраст до 8 млн лет), в отличие от верхней, установлено проявление гиббсита [Кузьмин и др., 2000, 2014; Кашик, Ломоносова, 2006]. В основных стратонах осадочных отложений суходольных впадин байкальского типа глинистые минералы пока остаются слабо изученными.

Актуальность работы определяется высокой информативностью глинистых минералов для изучения процессов в зоне гипергенеза Байкальской рифтовой системы (БРС) – новейшей внутриконтинентальной структуры, характеризующейся контрастными тектоническими движениями коры на протяжении неогена и квартера, необходимостью определения глинистых минералов как характеристики основных стратонов осадочных отложений во впадинах байкальского типа и как показателя современных литогенетических процессов, проявляющихся в суходольных впадинах.

Цель работы – определить состав и характер соотношений глинистых минералов в разновозрастных осадочных слоях зоны гипергенеза БРС.

Основные задачи:

- 1) провести сравнительный анализ глинистых минералов, образовавшихся в контрастных условиях – в сапропелевых илах современного озера и в лессовидных отложениях;
- 2) выявить отличия глинистых минералов при переходе от сапропелевых илов современного озера и лессовидных отложений к осадочным отложениям верхней (плиоцен-четвертичной) части разреза;
- 3) определить характер глинистых минералов в основных стратонах осадочных отложений осевых впадин байкальского типа;
- 4) выполнить корреляцию разреза осадочных отложений Баргузинской долины с разрезом осадочных отложений оз. Байкал по составу глинистых минералов.

Научная новизна.

- 1) Впервые выполнены систематические исследования структуры и состава глинистых минералов осадочных стратонов суходольных впадин БРС методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) при комплексировании с данными рентгенодифракционного анализа и других методов изучения глинистых минералов.
- 2) В разрезе осадочного заполнения установлена смена состава глинистых минералов при переходе от танхойской свиты к ановской.
- 3) Впервые определен состав глинистых минералов в лессовидных отложениях Тункинской впадины БРС и выявлено различие состава глинистых минералов в отложениях, образовавшихся в анаэробных и аэробных условиях зоны гипергенеза.

Фактический материал и методы исследований. Глинистые минералы изучались в разрезах осадочных толщ Баргузинской долины, вскрытых скважинами (более 50 образцов), озерно-эоловых и лессовидных отложений, покрывающих склоны вулкана Хурай-Хобок (18 образцов), лессовидных

отложений в разных частях Тункинской долины и лечебных грязей (пелоидов) оз. Саган-Нур (25 образцов) Тункинской впадины.

В осадочных породах выполнены определения петрогенных оксидов комплексом методов классического химического анализа [Сизых, 1985]. Микроэлементный состав пород определен методом индуктивно-связанной плазменной масс-спектрометрии (ИСП МС) с использованием масс-спектрометра Agilent 7500с [Ясныгина и др., 2015]. Проведено рентгенодифракционные исследование фазового состава глинистых частиц и гранулометрический анализ. Рассчитан модельный состав осадочных отложений из разреза стратонов с использованием программного комплекса «Селектор». Изучена структура глинистых минералов из разновозрастных отложений методом СЭМ с использованием сканирующего электронного микроскопа Quanta-200 FEI Company с ЭДС-спектрометром.

Достоверность результатов работы обосновывается представительным объемом фактических материалов, полученных при изучении обнажений и по скважинам, использованием данных, полученных современными аналитическими методами с использованием уникального оборудования центра коллективного пользования ЛИН СО РАН (г. Иркутск), а также оборудования специализированных лабораторий ИЗК СО РАН по изучению осадочных отложений и химическому анализу материалов (г. Иркутск).

Защищаемые положения:

1. Граница между танхойской свитой миоцена-нижнего плиоцена и аносовской свитой верхнего плиоцена-эоплейстоцена Баргузинской долины выражается в смене глинистых минеральных фаз. Для пород танхойской свиты характерны хлорит и монтмориллонит, для пород аносовской свиты и переходного слоя – глауконит, вермикулит, иллит и сепиолит.

2. Современные субаквальные анаэробные условия образования сапропелевых илов и субаэральные аэробные условия накопления лессовидных отложений Тункинской впадины отражаются в составе глинистых минералов. В сапропелевых илах распространяется каолинит, хлорит, иллит и сепиолит, в лессовидных отложениях – каолинит, монтмориллонит и палыгорскит. В верхней части разреза осадочного заполнения Тункинской впадины обозначается литогеохимический переход от плиоцен-четвертичных осадочных отложений к лессовидным породам и современным сапропелевым илам.

3. Смена миоценовых отложений плиоцен-четвертичными в разрезе Баргузинской долины коррелируется с возрастной сменой донных отложений оз. Байкал на подводном Академическом хребте по исчезновению хлорита и переходу от стабильного распространения монтмориллонита и иллита к спорадическому.

Практическая значимость.

Результаты изучения глинистых минералов составляют основу для стратиграфического расчленения разрезов кайнозойских осадочных толщ в суходольных впадинах БРС.

Исследования ассоциаций глинистых минералов в осадочных летописях составляют важную часть комплексного подхода к реконструкциям палеоклимата. Этот подход успешно используется при изучении осадочных пород всех континентов. Его применение наиболее перспективно в тех случаях, когда изучается осадочный материал в глубоких (например, нефтеразведочных) скважинах и требуется определение источника сноса осадочного вещества. Кроме того, данные, полученные в результате исследований лессовидных отложений, могут использоваться для инженерно-геологических изысканий. Изучен элементный состав лечебных грязей из оз. Саган-Нур, которые используются на местном курорте Аршан Тункинской впадины. Данные, полученные по составу глинистых минералов, могут быть полезны для определения терапевтических эффектов и общей систематики образований этого типа, используемых в настоящее время для лечения населения в Байкальском регионе.

Личный вклад соискателя:

Определены глинистые минералы–маркеры основных стратонов суходольных впадин БРС на примере разреза Баргузинской долины. Изучена микроструктура глинистых минеральных фаз из лессовидных отложений, идентифицированы элювиальные и осадочные генетические типы глинистых минералов. Усовершенствован метод пробоподготовки образцов глин, способствующий качественному определению характера микроструктуры частиц глинистых минералов методом СЭМ.

Апробация работы и публикации. По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 3 статьи в журналах из перечня ВАК, 3 статьи в новом журнале ИГУ. Основные результаты работы апробированы: на региональной научной конференции студентов и молодых ученых по наукам о Земле (Иркутск, ИГУ, 2016 г.), на совещании "Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)" (Иркутск, ИЗК СО РАН, 2016 г.), на региональной научной конференции студентов и молодых ученых по наукам о Земле (Иркутск, ИГУ, 2017 г.), на XXVII Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» с участием исследователей из других стран (Иркутск, ИЗК СО РАН, 2017 г.), на V Всероссийской молодежной научно-практической школе–конференции «Науки о Земле. Современное состояние» (Новосибирск, НГУ, 2018 г.), на конференции «Осадочная геология Урала и прилегающих регионов: сегодня и завтра. 12 Уральское литологическое совещание» (Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 2018 г.), на XXVIII Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, ИЗК СО РАН, 2019 г.) и на IV Всероссийском симпозиуме с участием иностранных ученых, посвященном 90-летию со дня рождения академика Н.А. Логачева «Рифтогенез, орогенез и сопутствующие процессы» (Иркутск, ИЗК СО РАН, 2019 г.).

Структура и объем работы.

Работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Объем основного текста работы составляет 108 страниц, включая 51 рисунок, 6 таблиц и одно приложение. Список литературы состоит из 126 наименований.

Благодарности. Работа выполнялась в рамках аспирантской подготовки на кафедре динамической геологии ИГУ при использовании аналитических возможностей Совместной лаборатории современных методов исследований в динамической и инженерной геологии ИГУ и ИЗК СО РАН. Использовался керн скважин, пройденных в осадочном наполнении Баргузинской долины Байкальским филиалом «Сосновгеология» ФГУГП «Урангеологоразведка» и керн скв. Тунка-13, пройденной за счет средств РФФИ. Аналитические исследования проводились с использованием масс-спектрометра Agilent 7500se, сканирующего электронного микроскопа Quanta-200 FEI Company с ЭДС-спектрометром ЦКП «Ультрамикроанализ» ЛИИ СО РАН и рентгеновского дифрактометра ДРОН-3.0 ЦКП «Геохронология и геодинамика» ИЗК СО РАН. Автор выражает глубокую и искреннюю благодарность научному руководителю профессору, д.г.-м.н. С.В. Рассказову и доценту, к.г.-м.н. И.С. Чувашовой за предоставленные материалы и обсуждение полученных результатов, Т.А. Ясныгиной и М.Е. Марковой (ИЗК СО РАН) – за выполненные аналитические определения микроэлементов в породах методом ИСП-МС, химикам-аналитикам Г.В. Бондаревой и М.М. Самойленко (ИЗК СО РАН) – за выполненные аналитические определения петрогенных оксидов в породах, В.В. Акуловой и М.В. Даниловой (ИЗК СО РАН) – за предоставленную возможность гранулометрического анализа, материалы и обсуждение полученных результатов, М.Н. Рубцовой и Т.С. Филевой (ИЗК СО РАН) – за выполненные рентгенодифракционные анализы, А.В. Ощепковой (ИГХ СО РАН, ИГУ) – за расчет минерального состава с помощью физико-химического моделирования по программе «Селектор», К.Ю. Арсентьеву (ЛИИ СО РАН) – за помощь в изучении и фотографировании глинистых минералов осадочных толщ методом СЭМ

Глава 1. Обзор предшествующих исследований

1.1. Осадочные отложения впадин байкальского типа и изучение их глинистых минералов. Осадочные отложения впадин байкальского типа расчленяются на четыре стратона: угленосную (танхойскую) свиту миоцена-нижнего плиоцена, охристую (аносовскую) свиту верхнего плиоцена-эоплейстоцена, вулканогенно-осадочную (ахаликскую) свиту эоплейстоцена и песчаную свиту квартара [Логачев, 1958, 1974]. В Баргузинской долине, кроме перечисленных стратонов впадин БРС, обнаружен олигоценый (дотанхойский) стратон, который коррелируется с кулариктинской свитой Витимского плоскогорья [Хассан и др., 2022]. Начало знаний о составе глин осадочных отложений было положено в трудах естествоиспытателей еще в XVIII веке и получило развитие, начиная с 30-х годов прошлого столетия, в связи с использованием рентгенодифракционного анализа. В 1972 г. была защищена кандидатская работа Т.К. Ломоносовой, в которой приводились результаты изучения минерального состава глин из нижнекайнозойских отложений Прибайкалья. Исследование минерального состава глин в донных отложениях впадины

оз. Байкал началось в 50-х годах прошлого столетия. Сначала изучался верхний 20-ти сантиметровой слой, затем 2-х метровый интервал, и к 1970-м годам колонки осадков углубились до 14 м от поверхности дна [Голдырев, 1982]. Наиболее представительная информация по глинистым фазам донных отложений получена по 600-метровой скважине ВДР-98, пройденной на подводном Академическом хребте [Кузьмин и др., 2000, 2014; Кашик, Ломоносова, 2006].

1.2. Лессовые и лессовидные отложения и изучение их состава. Лессы и лессовидные породы являются важным архивом континентальных отложений, в котором наиболее детально отражены глобальные и региональные изменения палеоклимата и палеосреды в позднем кайнозое. В начале прошлого века была предложена общая классификация для европейских и азиатских лессовых пород, в которой выделялся первичный эоловый лесс и вторичные лессовидные породы. Подобное подразделение эоловых отложений проводилось в работах 50-х годов такими геологами, как М.Н. Ломоносов, И.И. Трофимов, В.В. Попов [Мавлянов, 1958; Лукашев, 1961]. Позднее эту точку зрения разделяли и разделяют в настоящее время многие исследователи. К лессам относятся образования разного генезиса, встречающиеся в виде покровов различной мощности (от нескольких сантиметров до десятков и даже сотен метров) на всех элементах рельефа, но чаще всего – склонов речных долин. Физико-химические и физико-механические свойства лессовых и глинистых грунтов во многом определяются глинистыми минералами, которые находятся в составе тонкодисперсной (<0,001 мм) фракции [Осипов, 1979; Осипов, Соколов, 2013]. Пониженное содержание карбонатов в слоях лессовидных отложений свидетельствует о влажных и относительно умеренных климатических условиях и развитии почвообразовательных процессов [Рященко, Ухова, 2008]. Для лессовидных пород характерна пониженная степень выветривания материала [Лессовые грунты..., 2014]. Изучению стратиграфии и состава лессовых отложений Забайкалья, в районах Селенгинского среднегорья, в долинах рек Селенга, Хилок, Чикой, Итанцы, посвящены работы [Иванов, 1966; Базаров, 1986; Базаров и др., 1974; Рященко и др., 2014]. Состав глинистой фракции лессов и лессовидных отложений территории специально не изучался.

1.3. Лечебные грязи (пелоиды), сапропелевые илы и изучение их глинистых минералов. Лечебные грязи использовались в 19 и 20 столетиях в Крыму [Требухов, 1985, 1996, 2000]. На юге Западной Сибири, в Западном Прибайкалье и в Бурятии изучались сапропелевые илы малых озер с точки зрения состава, содержания органогенных компонентов и других характеристик. В органогенных осадках озер установлен восстановительный тип диагенеза, в ходе которого происходит деструкция органического вещества при участии сульфатредуцирующих микроорганизмов с уменьшением содержания SO_4^{2-} в поровых водах вниз по разрезу с образованием аутигенного пирита [Леонова и др., 2018]. Изучались закономерности образования карбонатных и глинистых минералов, химический состав, микроэлементы и стабильные изотопы донных осадков оз. Цаган-Тырм и других малых озер Приольхонья в связи с исследованиями палеоклимата голоцена [Скляр и др., 2010; Гаськова и др., 2011; Страховенко и др., 2015; Солотчина и др., 2015]. Исследовался элементный состав лечебных грязей оз. Нуху-Нур в Баяндаевском районе Иркутской области [Ясныгина и др., 2022]. В озерах Тункинской впадины сапропелевые илы не изучались.

Глава 2. Объекты исследований

Объектом исследования являются осадки из зон гипергенеза в Тункинской и Баргузинской долинах БРС (рис. 1).

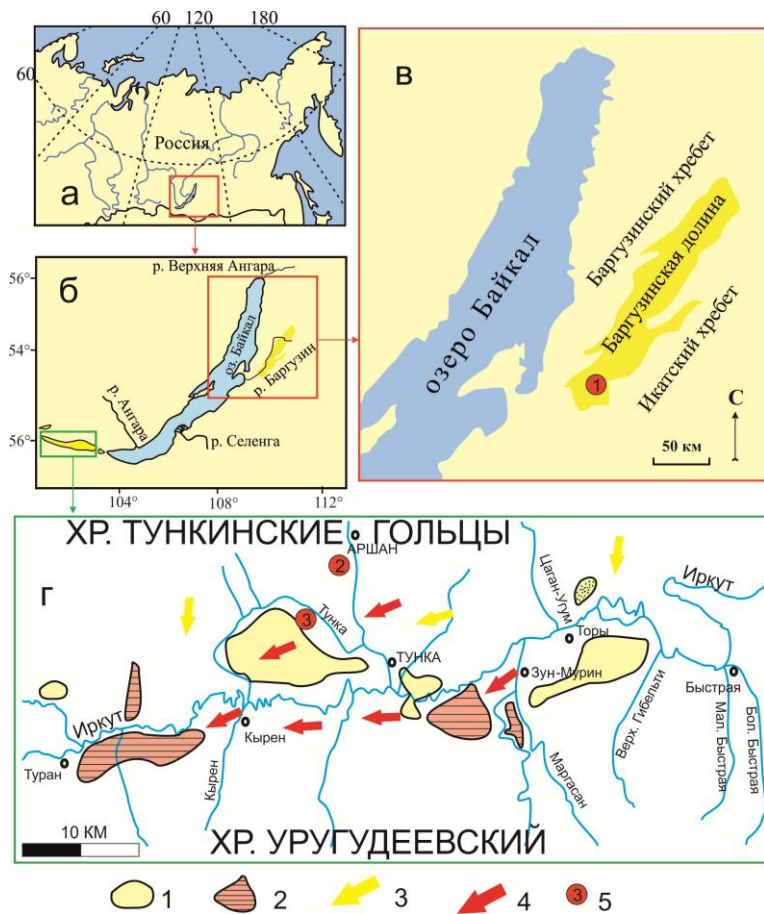


Рис. 1. Схемы расположения: *а* – района работ; *б* – Баргузинской и Тункинской долин по дистали Южно-Байкальской впадины, *в* – скважин 513 и 508 в Баргузинской долине (точка 1 в красном кружке) и *г* – разрезов Хурай-Хобок и оз. Саган Нур в Тункинской долине (соответственно, точки 2 и 3 в красных кружках). На схеме *г* выделены области: 1 – позднечетвертичной и современной дефляции и аккумуляции с донно-котловинным рельефом оголенных и заросших растительностью песков; 2 – аккумуляции с бугристо-западинным рельефом субэвральнх покровов лессовидных отложений. Воздушные потоки: 3 – не содержащие пыли; 4 – с высоким содержанием пыли. 5 – объекты исследований.

Скважины 513 и 508 пройдены в районе Уро Баргузинской долины. Сква. 513 находится на водоразделе рек Уро и Читкан, сква. 508 – в долине р. Уро. В разрезе представлены: дотанхойская толща, танхойская свита (N_{1m}) и ановская свита (N_{2an}), перекрытые четвертичными отложениями (Q_{III-IV}) [Хассан и др., 2022]. Скважина 513 пройдена от устья с абсолютной отметкой 496 м на глубину 288,5 метров (до абсолютной высоты 207,5 м). Она не достигла фундамента. Переход между свитами вскрыт в интервале глубин 183,5–178,0 м (интервал абсолютных высот 312,5–318 м). Скважина 508, пробуренная в 4,5 км восточнее сква. 513 от устья с абсолютной отметкой 467 м до глубины 240,8 метров (до абсолютной высоты 251,2 м), вскрыла породы фундамента на глубине 215,8 м. Переход между свитами вскрыт на глубине 107,2 м (абсолютная высота 359,8 м).

Основное маркирующее значение в разрезе имеет линза однородных темно-серых озерных алевролитов танхойской свиты (пакет 3 в сква. 513 и пакет 1 в сква. 508) (рис. 2). В сква. 508 эта линза составляет 65,4 м, в сква. 513 она увеличивается до 87,3 м. В сква. 508 она занимает абсолютные отметки 294,4–359,8 м, в сква. 513 опускается до абсолютных отметок 225,2–312,5 м. Ниже озерной линзы вскрыты разные слои. В сква. 508 озерная линза подстилается 9-метровым слоем охристых песков (пакет 2) и нижележащим 28-метровым слоем серых крупнозернистых песчаников (пакет 1). В сква. 513 ниже озерной линзы охристых отложений не встречено. Слои серых крупнозернистых песчаников, находящиеся частично в переслаивании с алевролитами, имеют окраску, не отличающуюся от окраски алевролитов (рис.2).

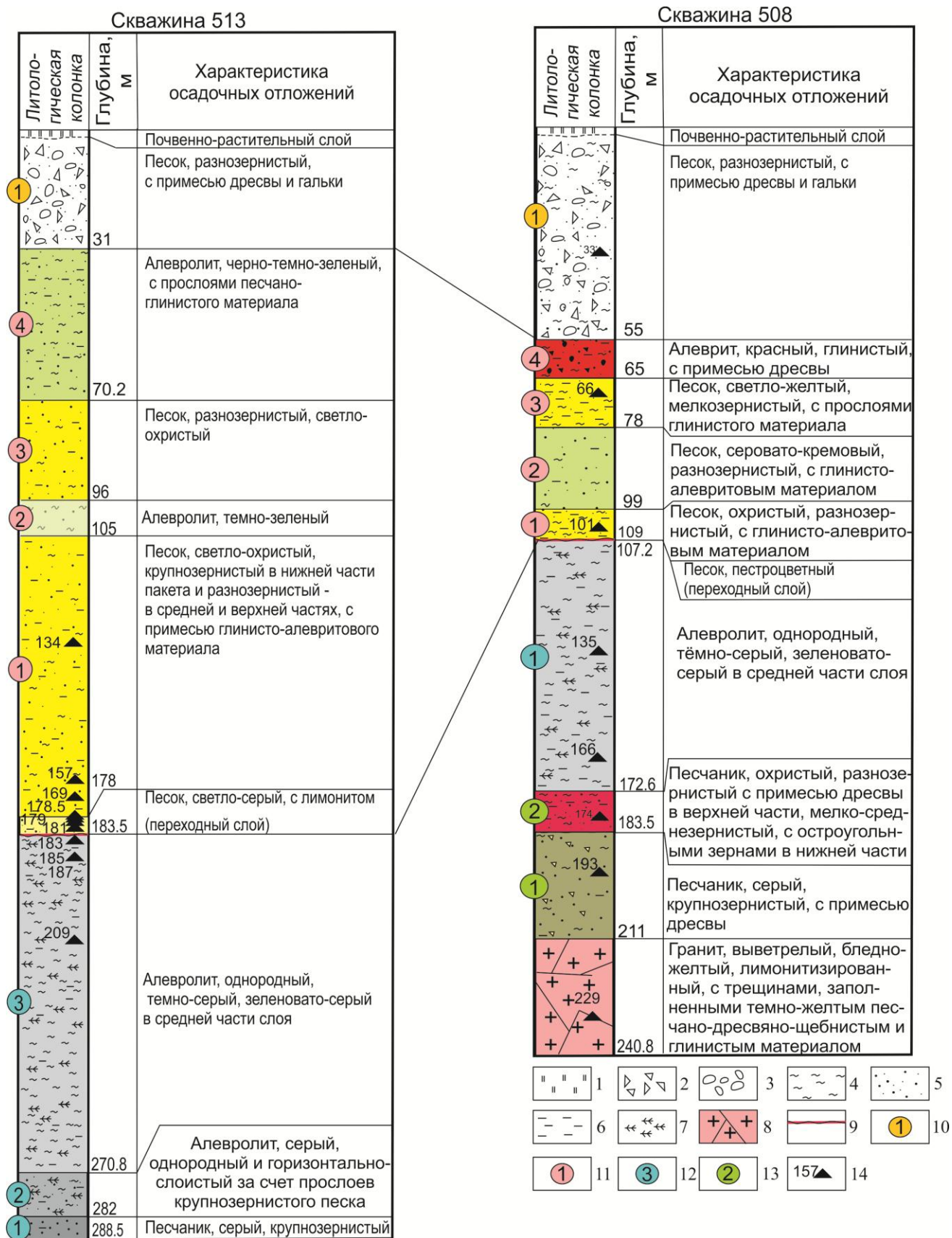


Рис. 2. Литологические колонки скважин 513 и 508. 1 – почвенно-растительный слой; 2 – дресва; 3 – гальки; 4 – алевролиты; 5 – песок разнозернистый; 6 – глины; 7 – органика; 8 – гранит; 9 – переходный слой от танхойской свиты к аносовской; 10 – номера пакетов четвертичных отложений; 11 – номера пакетов аносовской свиты; 12 – номера пакетов танхойской свиты; 13 – номера пакетов дотанхойской толщи; 14 – номера образцов, отобранных на рентгенодифракционные исследования состава глин.

Осадочные отложения, перекрывающие край постройки вулкана Хурай-Хобок в Тункинской впадине, идентифицируются на предмет их субаквального и эолового происхождения с сопоставлением их состава с подобными эоловыми (лессоподобными) отложениями, образующими обширные покровы на северном склоне Ургудеевского хребта и в сопредельной части Тункинской долины. При переносе микрочастиц скорость ветра здесь могла достигать 46 м/с. Современные эоловые процессы проявляются на 28 % площади Тункинской котловины [Выркин, 1998]. Для характеристики зоны криптогипергенеза Тункинской впадины показательны осадки оз. Саган-Нур, расположенного в 10 км к юго-западу от вулкана Хурай-Хобок.

Разрез лессовидных отложений вскрыт в ложбине, образовавшейся с южной стороны шлаковой постройки Хурай-Хобок. Их накопление явилось результатом переноса ветром частиц с севера на юг и отложением в подветренной части вулканической постройки (см. рис. 1). Во влажном состоянии отложения имеют коричневый цвет, а при высыхании приобретают желтовато-коричневую окраску. Сверху вниз документируются слои (рис. 3): 1 – песок, неоднородный, пылеватый, желтовато-коричневый (интервал 0,0–0,24 м); 2 – слой песка пылеватого, коричневого во влажном состоянии, желтовато-коричневого в сухом виде, с темно-коричневым прослоем, имеющим раздувы мощностью до 20 см (интервал 0,24–1,0 м); 3–4 – слои песка, коричневого, осветленного, тонкослоистого (интервал 1,0–1,65 м) и 5 – слой песка, коричневого, однородного (интервал 1,65–2,8 м).

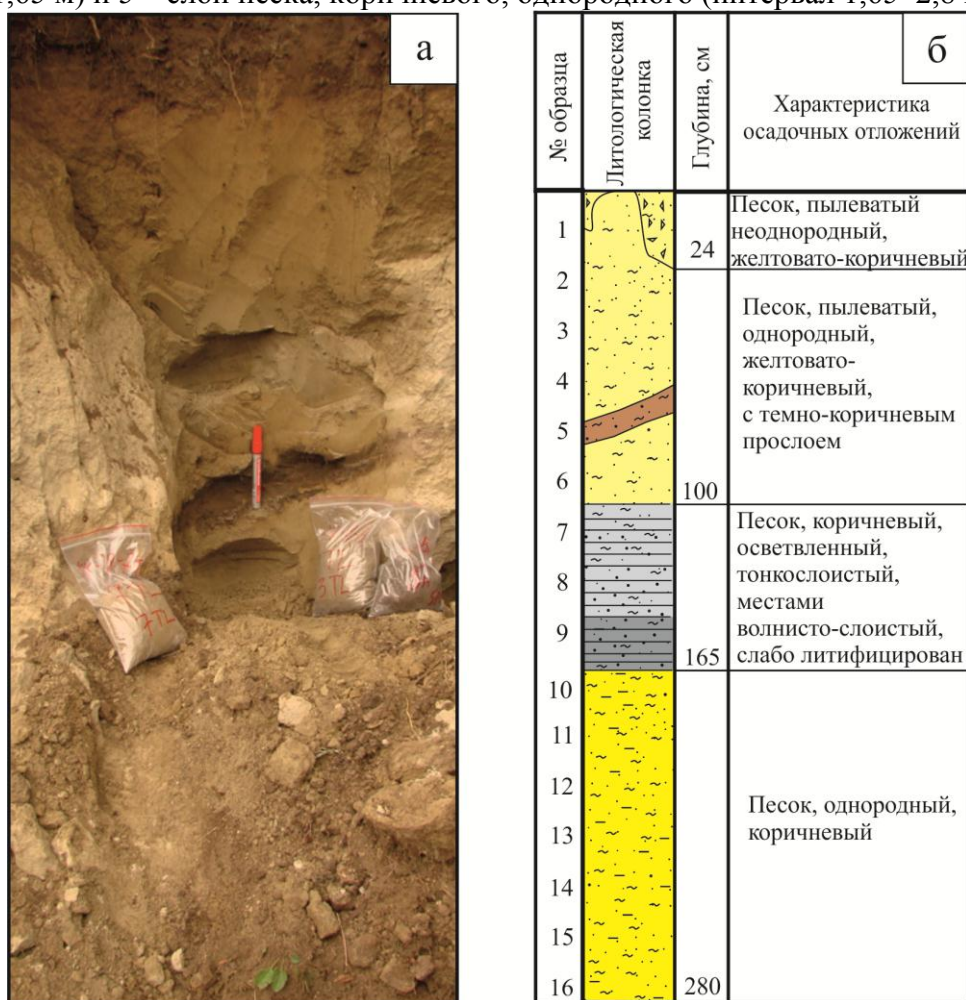


Рис. 3. Фотография фрагмента вскрытой верхней части разреза осадочных отложений, перекрывающих склон вулкана Хурай-Хобок (а) и общая литологическая колонка разреза (б). Влажные породы имеют коричневый цвет, сухие – желтовато-коричневый. Красным маркером показан темно-коричневый прослой (обр. 5), прослеживающийся вдоль всего обнажения.

Из озера Саган-Нур отобраны три колонки донных осадков на расстоянии 1–2 м от берега. Четвертая колонка отобрана из-под дерна на расстоянии 30 м от берега. В колонках выделяется верхний слой черного и темно-серого цвета, насыщенный органическим материалом (глубина от 30 до 45 см) и подстилающие озерные отложения (рис. 4). Образцы грязи из колонок, отобранные с интервалом 3–10 см, высушивали и анализировали комплексом методов.

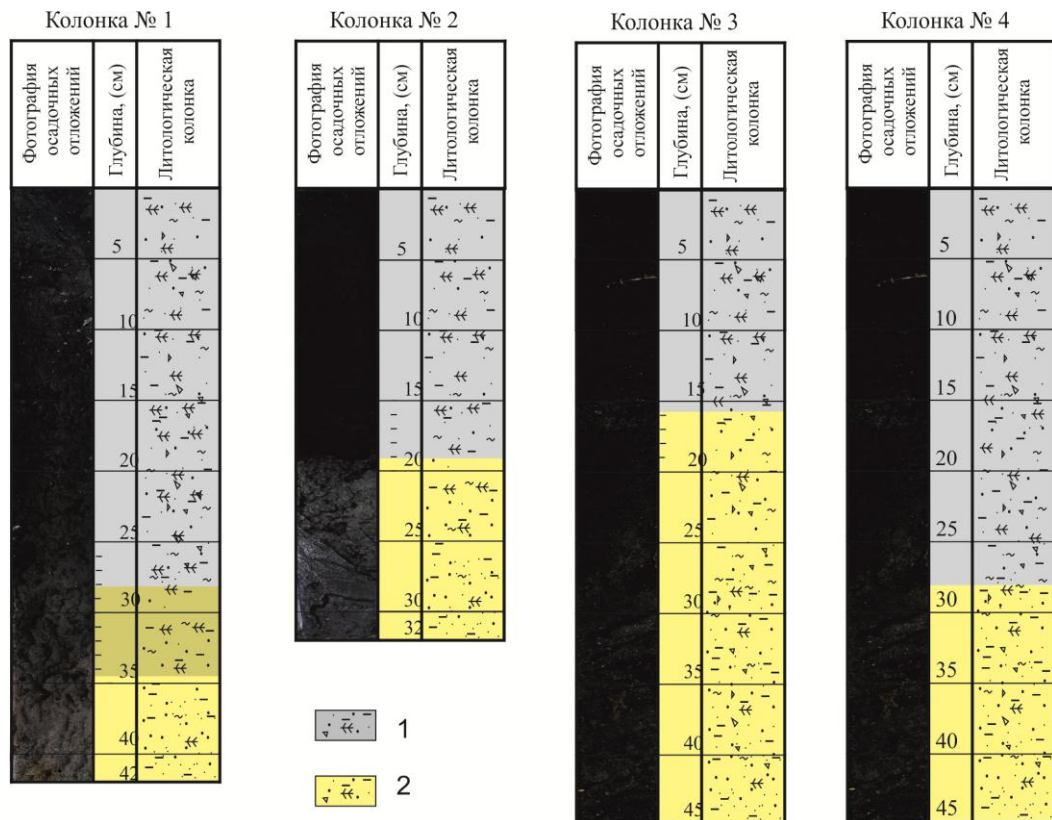


Рис. 4. Литологические колонки донных осадков оз. Саган-Нур. 1 – пелоид, черный до темно-серого, насыщенный органическим материалом; 2 – алевритистый песок, темно-желтый, с включениями органического материала.

Глава 3. Методики аналитических исследований

В лабораторных исследованиях терригенных песчано-глинистых пород использовались методы анализа, дающие информацию для определения их генезиса и фациальных, палеогеографических реконструкций (гранулометрический, минералогический, рентгеноструктурный спектральный, электронно-микроскопический и химический). Для обработки данных химического состава пород применялся факторный анализ с использованием программы Statistica 12 методом главных компонент без ротации. Гранулометрический состав глинистых отложений определялся в лаборатории инженерной геологии и геоэкологии ИЗК СО РАН В.В. Акуловой (г. Иркутск) методом пипетки (по скорости падения частиц в воде) двумя способами подготовки образца: полудисперсным (стандартным) и дисперсным [Ломтадзе, 1990]. Первый способ предполагает предварительное кипячение водной суспензии образца с добавлением (1 см³) раствора аммиака (25%), второй проводится с добавлением (5 см³) водного пирофосфата натрия (6.7%). В результате анализа определяется содержание (%) пяти фракций (мм): среднеспесчаной (0.5–0.25); тонко– мелкпесчаной (0.25–0.05); крупнопылевой (0.05–0.01); мелкпылевой (0.01–0.002); тонко– грубоглинистой (<0.002). Принимались названия отложений по классификации глинистых пород В.В. Охотина, в основу которой положено содержание глинистой фракции (<0.002 мм) и отношение между песчаной и пылевой фракциями по результатам гранулометрического анализа со стандартным способом подготовки образца [Иванов, 1990].

Минералогический состав глинистых фракций определялся рентгенодифракционным и электронно–микроскопическим методами. Рентгенодифракционный анализ выполнялся методом порошковой дифракции на рентгеновском дифрактометре ДРОН–3.0. Для идентификации глинистых минералов подготавливался ориентированный материал пробы осаждением глинистой фракции на стеклянной подложке прогреванием при температуре 550° в течение 3-х часов и насыщением этиленгликолем [Рентгеновские методы..., 1965]. В расчетах по корундовым числам методом RIR [Hubbard C.R., Snyder R.L. RIR, 1988] получались данные полуколичественного анализа фаз порошковых проб. Расчет минерального состава с помощью физико-химического моделирования проведено на основании химического состава пород, что позволит выявить наиболее перспективные

для дальнейшего изучения интервалы зерна. Такой метод разработан [Карпов, 1981] и реализован в универсальном программном комплексе (ПК) «Селектор» [Чудненко, 2010]. Электронно-микроскопический анализ выполнялся на сканирующем электронном микроскопе Quanta-200 FEI Company с ЭДСпектрометром. Метод позволяет выполнять исследования на небольшом образце в широком диапазоне увеличений от оптических (увеличение 10×) до электроннооптических (увеличение 50 000× и более).

Определения петрогенных оксидов в породах выполнялись методом «мокрой химии». Просушиванием пробы при температуре 105 °С удалялась гигроскопическая вода (H₂O⁻) и прокаливанием при температуре 950 °С – другие летучие компоненты (ППП). Высокотемпературным прогревом из осадочных пород извлекалась конституционная вода минералов (в том числе глинистых) и отжигался детритовый органический материал. Микроэлементный состав пород определялся методом индуктивно-связанной плазменной масс-спектрометрии (ИСП–МС) на приборе Agilent 7500se. Методика охарактеризована в работе [Рассказов и др., 2012].

Глава 4. Результаты исследований и их обсуждение

4. 1. Отложения танхойской и аносовской свит Баргузинской долины

Химический состав пород

После литологического изучения пород из зерна двух скважин были отобраны представительные образцы из разновозрастных толщ (более 75) для определения химического состава. Был определен состав петрогенных оксидов и микроэлементов. В скважине 508 в осадочных отложениях аносовской свиты разброс концентраций петрогенных оксидов по сравнению с концентрациями в отложениях танхойской свиты увеличивается. Отчетливо коррелируются содержания MgO и CaO: в верхней части танхойской свиты концентрации общих оксидов повышаются (соответственно, до 2,0 и 2,5 мас. %), в переходном слое снижаются до 0,2 мас. % и менее и остаются на этом уровне в вышележащих отложениях аносовской свиты. В скв. 513 отношения Fe₂O₃/FeO в осадках танхойской свиты составляют от 1 до 3, в осадках аносовской свиты возрастают до интервала 3–44.

Литогеохимические индексы

Для анализа отложений в разрезе используются показатели (мас. %): Chemical Index of Alteration (CIA = [Al₂O₃/(Al₂O₃+CaO+Na₂O+K₂O)]*100), [Nesbitt, Young, 1982], Chemical Index of Weathering (CIW = [Al₂O₃/(Al₂O₃+CaO+Na₂O)]*100) и Index of Compositional Variability (ICV = [(Fe₂O₃+K₂O+Na₂O+CaO+MgO+TiO₂)/Al₂O₃]) [Cox, 1995; Potter, 2005]. Отложения аносовской толщи характеризуются высокими значениями ICV (от 0,68 до 1,46 при среднем значении 0,9). значениями В отложениях танхойской свиты значения ICV меняются от 0,51 до 0,98 при среднем значении 0,73. Пониженные значения CIA и CIW в отложениях аносовской свиты, в сравнении со значениями в отложениях танхойской свиты, свидетельствуют о смене условий теплого влажного климата холодным и аридным.

Состав пелитовой фракции осадочных пород по данным рентгенодифракционного анализа

По результатам рентгенодифракционных исследований пород скв. 513 выявлены изменения состава глинистых минералов по разрезу, что позволило точно определить границу между аносовской и танхойской свитами. Во всех пробах идентифицированы обломочные минералы: кварц, альбит и каолинит. Микроклин определен только в отложениях переходного слоя и вышележащих отложениях аносовской свиты. Отсутствие микроклина в отложениях нижележащей танхойской свиты свидетельствует о повышенной степени выветривания пород в источнике сноса. В пелитовой фракции танхойской свиты содержится хлорит и монтмориллонит, не характерные ни для аносовской свиты, ни для переходного слоя. В пелитовой фракции переходного слоя и аносовской свиты содержится иллит и смешанослойные глинистые минералы, не выявленные в нижележащей танхойской свите. Во всех пробах скв. 508 идентифицированы обломочные минералы: кварц, альбит, глинистые минералы, каолинит и гидрослюда. В пелитовой фракции танхойской свиты содержится смектит, хлорит и гетит, не характерный ни для аносовской свиты, ни для переходного слоя. В пелитовой фракции переходного слоя и аносовской свиты содержатся смешанослойные глинистые минералы, не выявленные в нижележащей танхойской свите. Минеральный состав отложений переходного слоя маркирует смену условий осадконакопления от танхойского времени к

аносовскому. По составу глинистых минералов переходный слой сопоставляется с минералогическими характеристиками аносовской свиты.

Моделирование вариаций минеральных фаз в программном комплексе «Селектор»

По результатам физико-химического моделирования (ФХМ) во всех пробах отложений скв. 513 идентифицирован кварц. В танхойской свите определены хлорит и монтмориллонит, в аносовской свите и переходном слое – иллит, микроклин и биотит, не свойственные танхойской свите. Мусковит входит в состав отложений танхойской свиты в небольших количествах (до 18 %), а в вышележащих его содержание возрастает (18–40 %).

Результаты моделирования распределения минералов по разрезу скв. 508 показывают характерные минеральные фазы озерных отложений танхойской свиты – хлорит и монтмориллонит. Выше по разрезу (в переходном слое, аносовской свите и четвертичных отложениях) и ниже по разрезу (в дотанхойских отложениях) эти минеральные фазы не выявляются, лишь в дотанхойской толще слабо проявлен монтмориллонит. По данным ФХМ (для дотанхойской толщи, переходного слоя, аносовской свиты, четвертичных отложений) характерно присутствие иллит, биотита и микроклина (за исключением четвертичных отложений). По результатам ФХМ, данные минералы в отложениях танхойской свиты отсутствуют. Подобно относительному распределению в разрезе микроклина и биотита количество мусковита в танхойской свите невелико и немного возрастает в дотанхойских отложениях и в аносовской свите. Относительное распределение кварца коррелируется с распределением микроклина, биотита и мусковита, что в целом отражает повышение роли обломочного материала в нижней (дотанхойской) и верхней (аносовской, четвертичной) частях разреза и снижение – в средней (танхойской).

Полученные расчетные данные ФХМ вариаций минеральных фаз в разрезе осадочной толщи в целом согласуются с данными прямых рентгенодифракционных исследований пелитовой фракции отложений. Для озерной толщи танхойской свиты получены несколько отличающиеся ассоциации минеральных фаз, что, по-видимому, отражает накопление осадков сокращенной мощности в скв. 508 на поднимавшемся дне озера и большей мощности в скв. 513 на опускавшемся дне. Очевидно, что скважины, пройденные на поднятых участках дна озера, в том числе на междувпадинных перемычках, вскрывают осадки, отличающиеся по составу глинистой фракции от осадков глубоких частей озера.

Определения глинистых фаз методом СЭМ

В образцах глин озерного стратона установлено различное распределение кристаллов монтмориллонита и сопутствующих минералов. Размер агрегатов составляет 20–120 мкм. При максимальном увеличении частицы имеют вид высушенных листьев разной толщины со сморщенной поверхностью (рис. 5,а). Кристаллы монтмориллонита хорошо определяются по форме и структурным особенностям. Они обнаружены в образцах из скв. 513 (185, 245, 257, 218) и скв. 508 (135).

Кристаллы хлорита обнаружены только в отложениях нижнего стратона. Они имеют четкие изометричные контуры и многочисленные ступени скола. Их длина до 8 мкм, толщина – 0.05–1 мкм (рис. 5 б, в).

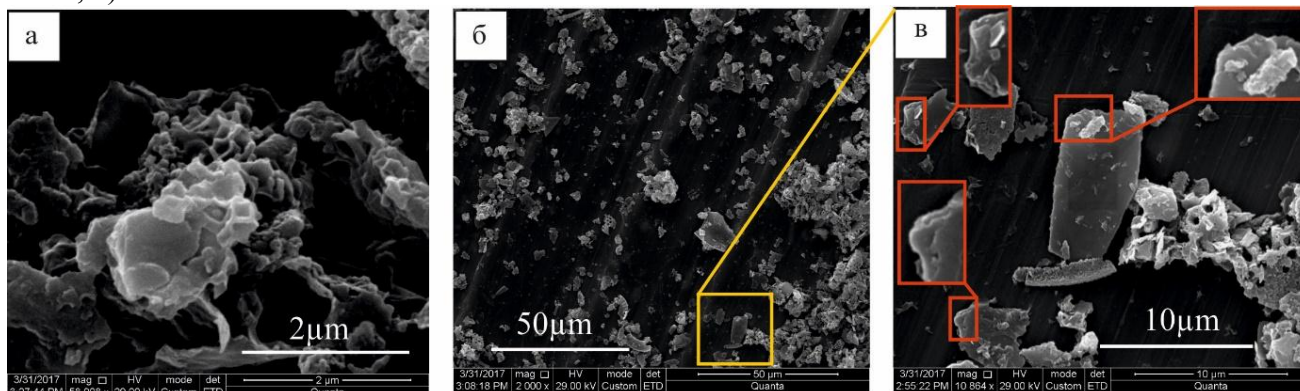


Рис. 5. Микрофотографии СЭМ структуры глинистых минералов в образце 513/185 (озерный стратон): а – монтмориллонит при максимальном увеличении; б – общий вид хлорита при увеличении $\times 2000$; в – детальный фрагмент хлорита при увеличении $\times 11000$.

В составе глинистой фракции идентифицируются кристаллы каолинита, имеющие вид гексагональных пластинок с четко выраженными всеми или несколькими гранями и углами шестигранника. Контуры частиц четкие, длина колеблется от 4 до 0.08 мкм, хорошо видны контуры их микроагрегатов. Размер агрегатов составляет 10–70 мкм. Чаще в образцах наблюдаются агрегаты каолинита и реже, отдельные кристаллы. Каолинит встречен во всех образцах. Он имеет варьирующие размеры и кристаллы хорошей сохранности.

Гидрослюды представлены двумя минеральными видами: глауконитом и иллитом. Минералы группы гидрослюд отличаются между собой морфологией. В верхнем (охристом) стратоне встречаются частицы глауконита в виде глобулярных микроагрегатов на разных глубинах. Размер частиц 0.2–1.0 мкм. Иллит имеет удлиненные или изометричные пластинки, реже встречается в виде частиц щепковидной формы длиной до нескольких мкм. Длина обнаруженных микрокристаллов изменяется от нескольких мкм до 0.1 мкм. Частицы вермикулита визуально не отличаются от частиц гидрослюд и идентифицируются по элементному составу. В образце 513/169 в массе обнаружен глинистый минерал волокнистого вида, не характерный для изученной серии образцов. По форме он наиболее близок к сепиолиту и палыгорскиту. Сепиолит – водный алюмосиликат магния, наряду с монтмориллонитом, один из возможных компонентов бентонитовых глин. Кристаллическая структура минерала имеет промежуточный тип между ленточными и слоистыми силикатами. Строение агрегатов минерала спутанно-волокнистое. Под микроскопом они имеют вид тонких, длинных волокон, более узких, чем у сепиолита. Обычно их длина составляет 3–5 мкм, а ширина 0,2–0,3 мкм. По данным [Соколова и др., 2005], максимальная длина частиц сепиолита может достигать 20 мкм. Размеры обнаруженных индивидов значительно превышают максимальные размеры образований сепиолита, прежде описанных в литературе. Волокна чрезвычайно тонкие, поэтому определение их состава не возможно. С волокнами ассоциируются кубические микрокристаллы соли (рис. 6а,б). Идентифицированы также микрокристаллы кальцита и арагонита (рис. 6,в).

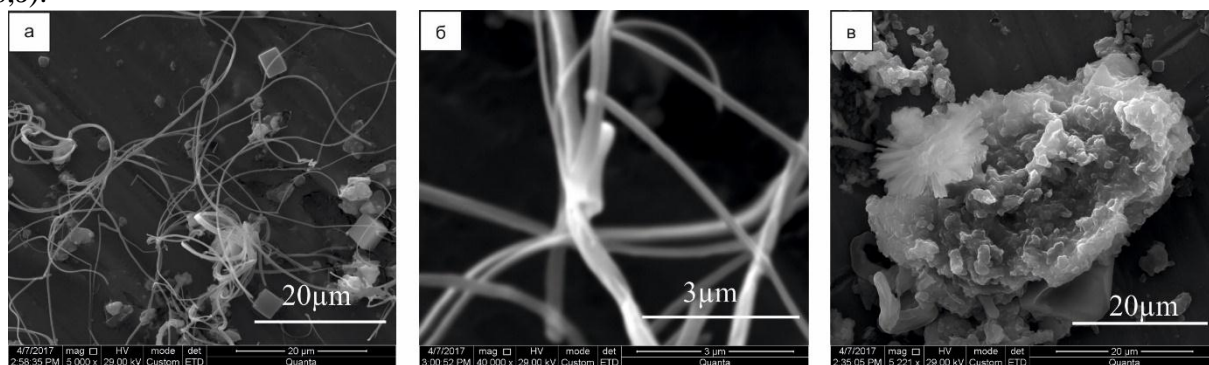


Рис. 6. Микрофотографии СЭМ в образце 513/169 (охристый стратон): а – общий вид сепиолита, б – детальное строение сепиолита; в – карбонат из ановоской свиты (кальцитовая розочка).

При исследованиях с использованием электронного микроскопа каолинит встречен в образцах всего разреза. Гидрослюды, представленные глауконитом и иллитом, вермикулит, и сепиолит обнаружены в породах ановоской свиты и переходного слоя, хлорит и монтмориллонит – только в породах танхойской свиты. Плохая кристалличность и нарушенность микрокристаллов в нижнем стратоне свидетельствует об их образовании в условиях наложенных процессов. В среднем (охристом) стратоне, наоборот, наблюдаются глинистые минералы с хорошей кристалличностью и малой нарушенностью, что отражает их формирование без наложенных эффектов.

Из результатов выполненных работ следует вывод: граница между танхойской свитой миоцена-нижнего плиоцена и ановоской свитой верхнего плиоцена-эоплейстоцена Баргузинской долины выражается в смене глинистых минеральных фаз. Для пород танхойской свиты характерны хлорит и монтмориллонит, для пород ановоской свиты и переходного слоя – глауконит, иллит вермикулит и сепиолит.

4.2. Лессовидные отложения Тункинской долины

Содержания петрогенных оксидов в породах

В разрезе Хурай-Хобок значения CIA осадочных отложений находятся в интервале 57,7–45,7 и значения CIW – в интервале 63,6–49,1, значениями ICV – в интервале 1,39–1,84. Эти параметры в целом соответствуют слабой степени выветривания материала и слабой химической зрелости отложений при высоком содержании обломочных минералов. На диаграммах CIA – SiO₂ и CIA – ППП* вскрытая часть основания разреза (обр. 10–16) имеет сравнительно однородный состав. Неоднородность проявляется в вышележащих слоях 2 и 3 слегка осветленного песка, обладающего тонкой полосчатостью. В обр. 9 значение CIA возрастает при слабом относительном снижении содержания SiO₂. В обр. 7 и 8 значение CIA резко снижается, хотя содержания SiO₂ и ППП* не отличаются от содержаний в обр. 9. Резко меняется состав четвертого снизу слоя (обр. 2–6), в котором возрастает и CIA, и SiO₂, но снижается ППП*. Прослой темно-коричневого песка (обр. 5) имеет наиболее высокое отношение Fe₂O₃/FeO (2,7). Самый верхний слой (обр. 1), распространенный фрагментарно, имеет низкое значение CIA при высоком содержании ППП* (низком CO₂) и низком содержании SiO₂.

Гранулометрический состав пород

По данным гранулометрического анализа с полудисперсным способом подготовки образцов, в отложениях верхней и нижней частей разреза определено близкое содержание глинистой фракции (соответственно, 7,2 и 7,0 %). В отложениях верхней части разреза преобладает пылеватая фракция 0,05–0,002 мм (53,8%), доля которой в нижней части разреза существенно ниже (40,2 %). В отложениях нижней части разреза содержания песчаной и пылеватой фракций близки (соответственно, 46,5 и 40,2 %).

Оценки, полученные по результатам гранулометрического анализа с дисперсным способом подготовки образцов, свидетельствуют об изменении реальной глинистости изученных образцов от 13,0 до 15,8%, что отвечает глине сильнопесчаной, пылеватой в верхней части разреза (обр. КК-18-2) и глине сильнопесчанистой в его нижней части (обр. КК-18-10).

Минеральный состав отложений по данным рентгенодифракционного анализа

Содержание глинистых компонентов (<0,001 мм), по данным рентгенодифракционного анализа образцов, отобранных по разрезу (4 образца), колеблется в пределах от 10 до 20 % и редко достигает 30 %, т.е. собственно глинистые частицы в отложениях имеют крайне ограниченное распространение. Среди них присутствует четырехкомпонентная смесь: следы гидрослюда, смектит, каолинит и смешанослойная фаза (иллит-смектит). Песчано-алевритовая примесь в глинах имеет полевошпатно-кварцево-слюдистый состав при явном преобладании слюд и кварца.

Результаты определения минерального состава отложений показали, что кварц в разрезе отражает содержание песчаной и крупнопылеватой фракции. Это свидетельствует об усилении песчаности и пылеватости элементарного слоя, что можно связать с эоловым привносом материала. Постепенное увеличение кварца отмечается в верхней части разреза, затем следует стабильная зона с меньшим содержанием кварца, которая совпадает с интервалом верхней погребенной почвы. Содержание глинистых фракций отражается в содержании алюминия и приурочено к интервалу верхней погребенной почвы. Этот горизонт содержит больше глин в связи с ослаблением эоловых и усилением почвообразовательных процессов.

Различные содержания карбонатов выражаются в вариациях содержания CaO. Из почвенных горизонтов вымывается CaCO₂, который скапливается в средней и нижней частях лессовидного слоя. Заметные вариации минерального состава в разрезе лессовидных отложений могут свидетельствовать об изменении источников питания и/или климатических факторов на разных этапах седиментации.

Минеральный состав отложений по данным СЭМ

С помощью СЭМ в составе отложений выявляются глинистые минералы (каолинит, монтмориллонит и палыгорскит), обломочные минералы, карбонаты и фрагменты микрофлоры и микрофауны. Основную массу тонкой фракции изученных образцов составляют глинистые (аллотигенные) минералы.

Каолинит имеет различное распределение при одинаковой структуре микрочастиц. На рис. 7а показан вермикулярный каолинит, растущий в порах песчаника. Каолинит этого типа образуется в

результате выветривания слюды или полевого шпата (Keller, 1977; Fitzpatrick, 1984; Banfield and Eggleton, 1988; Singh and Gilkes, 1992; Jeong et al., 1995). Прямое образование вермикулярного каолинита из раствора происходит во время выветривания полевого шпата. При увеличении, частицы вермикулярного каолинита имеют вид пакетиков из набора пластин (рис. 7б), которые являются кристаллами. Размер агрегатов составляет 10–40 мкм. Каолинит, обнаруженный во всех образцах, имеет варьирующие размеры и сохранность кристаллов.

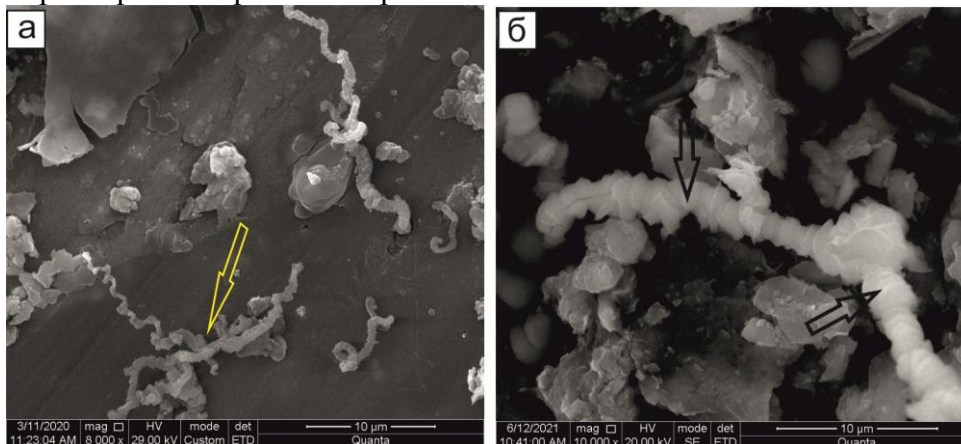


Рис. 7 Микрофотографии СЭМ частиц вермикулярного каолинита (а–б): а – обр. КК-18-7; б – обр. КК-18-4.

На снимках СЭМ в образце КК-18-10 распространены частицы, отчетливо ограненные по «каолинитовому типу», более однородные и по размеру, и по форме, чем в образце КК-18-7. Иными словами, в обр. КК-18-10 содержится каолинит с более совершенной структурой, чем в обр. КК-18-7 (рис. 8).

Кристаллы хлорита обнаружены в образцах глины из лессовидных отложений. Они имеют четкие изометричные контуры и многочисленные ступени скола на базальной поверхности. Их длина достигает 6–8 мкм, толщина – 0,05–1 мкм. Точная диагностика хлорита, так же, как и смешанослойных минералов, возможна только при дополнительном исследовании с применением рентгенодифракционного анализа или определением состава химических элементов.

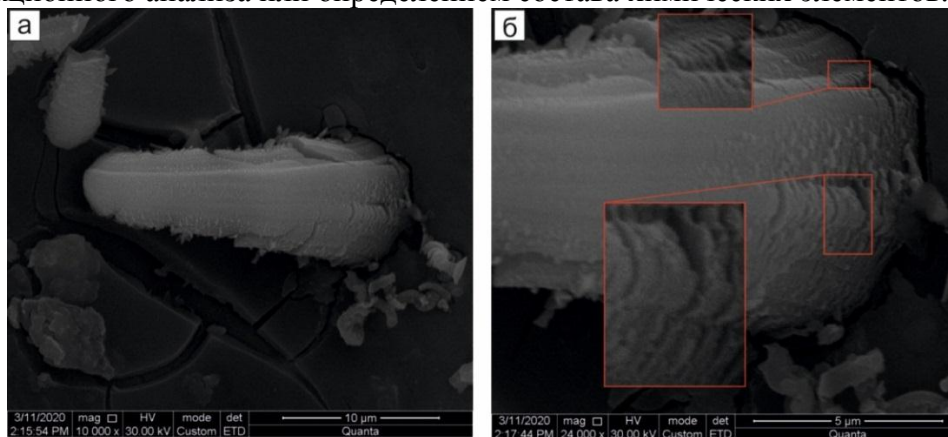


Рис. 8. Микрофотографии СЭМ каолинита (обр. КК-18-10): а – общий вид при увеличении $\times 10000$; б – детальный фрагмент при максимальном увеличении (красными прямоугольниками выделены участки кристаллов с доменной микроструктурой).

В лессовидных отложениях Тункинской долины частицы монтмориллонита имеют вид высушенных листьев разной толщины со сморщенной поверхностью (рис. 9).

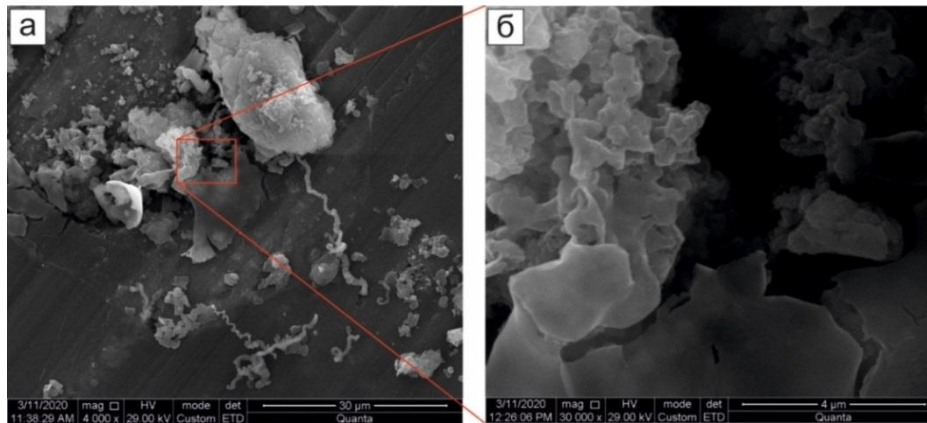


Рис. 9. Микрофотографии СЭМ частиц монтмориллонита (КК-18-7) из лессовидных отложений: а – общий вид при увеличении $\times 4000$; б – вид при увеличении $\times 30000$.

Палыгорскит – типичный аутигенный минерал хемогенных отложений, богатых Si, Ca, Mg, фосфатами кальция, но бедных окислами и гидроокислами Fe и Al. Частицы индивидов 0,1–2 мкм обнаруживаются в верхней части разреза и не встречены в его нижней части (рис. 10).

В ходе исследований методом СЭМ определены глинистые минералы, содержащие крупные минеральные отдельности и недефектные структуры. Такие глинистые минералы относятся к образованиям аутигенного происхождения. В зависимости от типов глинистых минералов, обнаруженных в изучаемых осадочных отложениях, которые в основном представляют собой каолинит, монтмориллонит и палыгорскит, можно сказать, что глинистые минералы являются продуктами выветривания пород кислого состава в холодных и умеренно холодных условиях. Каолинит с доменной микроструктурой может быть производным каолинитовой коры выветривания [Грабовска-Ольшевска и др., 1984].

В изученной верхней части разреза сначала, в условиях холодного до умеренного климата, накапливался слой делювиальных лессовидных отложений, а при похолодании и засухе, в условиях семиаридного холодного климата, накапливался слой делювиальных лессовидных пород.

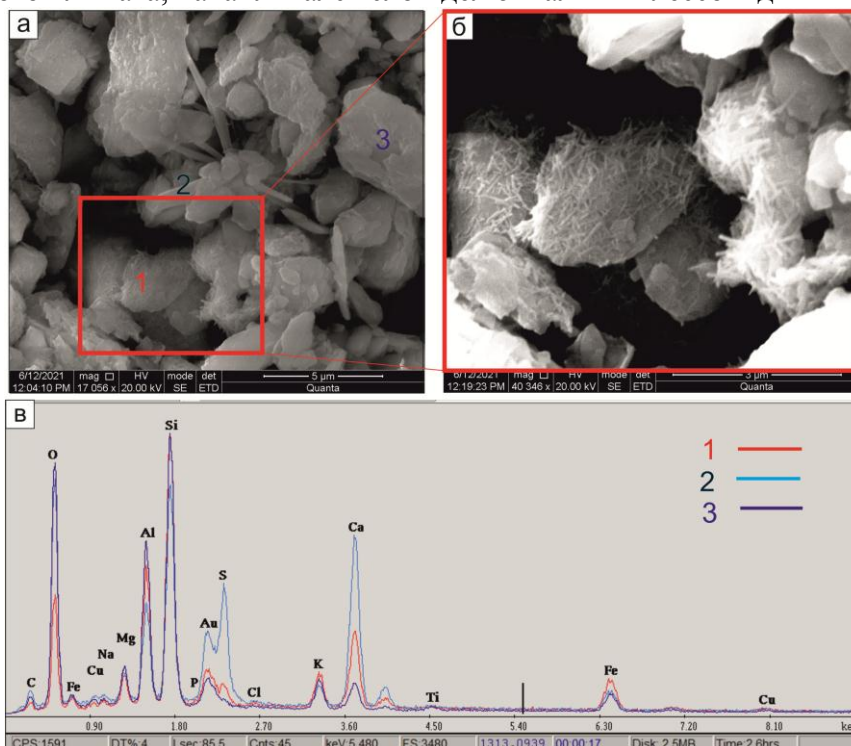


Рис. 10. Микрофотографии СЭМ аутигенного палыгорскита в образце КК-18-5: а – общий вид разных кристаллов; б – детальный фрагмент; в – интенсивности пиков элементов в трех точках измерения (пик алюминия связан с фоном подложки). Точки с цифрами 1, 2, 3 на панели а соответствуют графикам на панели в.

4. 3. Лечебные грязи Тункинской долины

Гранулометрический состав глинистой фракции

Результаты гранулометрического анализа с дисперсным способом подготовки образца позволяют судить о реальной глинистости и степени агрегированности отложений. В данном случае содержание глинистой фракции во всех представленных образцах составляет 10.2–12.2 %, что соответствует глине сильнопесчаной. Существенная часть глинистых частиц (37–52%) находится в агрегированном состоянии, т.е. участвует в создании агрегатов различной размерности.

Химический состав пород

На диаграмме факторного анализа петрогенных оксидов и микроэлементов отложений по факторам 1 и 2 группа Ge, W, Mo имеет значимую положительную корреляцию с серой. По отношению к этой группе большинство микроэлементов (Ba, Be, V, Co, Ni, Ga, Rb, Y, Nb, Cs, Ta, Th, Cu) вместе с петрогенными оксидами (TiO₂, MnO и K₂O) дает значимую обратную корреляцию. Промежуточное положение по фактору 1 занимают Sr, U и FeO_{общ.} Последние 2 компонента по фактору 2 тесно связаны с группой Ge, W, Mo, тогда как Sr резко отделяется от этой группы.

Минеральный состав пород по рентгенодифракционным данным

Рентгенодифракционный анализ показал состав легкой фракции (0.25–0.05 мм): кварц, плагиоклаз, калиевый полевой шпат, карбонаты (кальцит и доломит), а также глинистые минералы (хлорит, гидрослюда и каолинит). Кварц присутствует в осадках почти повсеместно (от 25 до 65 %). В большинстве проанализированных проб его содержание превышает суммарный процент полевых шпатов. При среднем количестве 40 %, максимальное содержание кварцевых обломков достигает 60 %. Калиевый полевой шпат составляет 15–25 %, плагиоклаз – 10–20 %. В осадках находятся обломки кристаллических пород, углефицированные ткани растений, остатки диатомовых панцирей и спикулов губок.

В верхнем (пелоидном) слое содержится меньше кварца, кальцита и глинистых минералов, чем в нижнем (песчаном). В нижнем слое кальцит отсутствует и появляется доломит. Присутствует сульфид (пирит).

Микроструктуры минералов по данным СЭМ

В образцах лечебных грязей установлено различное распределение кристаллов каолинита. Каолинит встречен во всех образцах верхних частей седиментационных колонок. Он имеет варьирующие размеры и сохранность кристаллов. Во всех образцах пелоидов обнаружены кристаллы хлорита. Они имеют четкие изометричные контуры и многочисленные ступени скола на базальной поверхности (рис. 11а). Их длина достигает 12 мкм при толщине 0,05–1 мкм. Хлорит диагностируется при дополнительном исследовании с применением рентгенодифракционного анализа или определения химического состава (рис. 11 б, в).

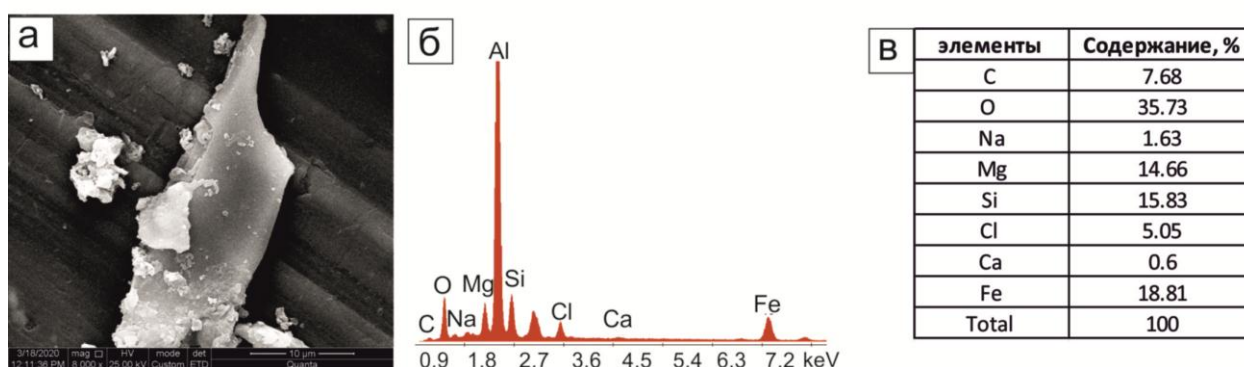


Рис. 11. Микрофотографии СЭМ частиц хлорита из нижнего слоя колонки 4: а – общий вид кристалла; б – интенсивности пиков элементов (пик алюминия связан с фоном подложки); в – процентные соотношения элементов.

В пелоидах встречен иллит. В отложениях верхней части колонки 2 частицы иллита имеют вид удлиненных или изометричных пластинок, реже – вид частиц щепковидной формы длиной до нескольких микрон. Длина обнаруженных микрокристаллов изменяется от нескольких мкм до 0.1 мкм. В образцах верхней части колонки 4 в массе обнаружен глинистый минерал волокнистого вида, который по форме наиболее близок к сепиолиту (рис. 12). Волокна очень тонкие, поэтому

определение их состава затруднено, но видно, что длинные стороны частиц параллельны и ширина пластинок к концам уменьшается, что характерно для сепиолита.

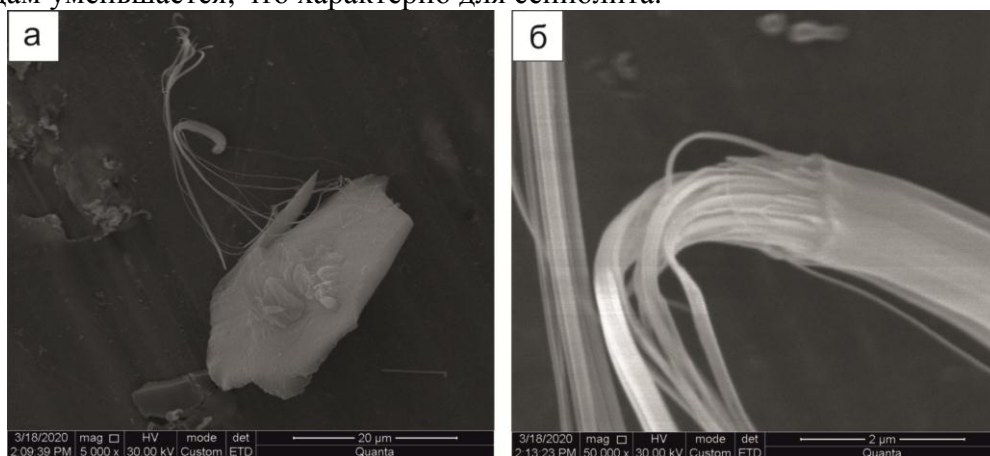


Рис. 12. Микрофотографии СЭМ сепиолита из верхней части колонки 4: а – общий вид, б – детальное строение.

В изученных колонках отложений содержания $\text{FeO}_{\text{общ}}$, K_2O и TiO_2 пелоидов изменяются с глубиной сходным образом. $\text{FeO}_{\text{общ}}$, TiO_2 , K_2O и большинство микроэлементов (Be, V, Co, Ni, Ga, Rb, Y, Nb, Cs, Ba, Ta, Th,) имеют значимую обратную корреляцию с содержанием серы, а группа трех микроэлементов (Ge, W, Mo) имеет с ней значимую положительную корреляцию. Результаты гранулометрического анализа лечебных грязей оз. Саган-Нур в Тункинской долине, позволяют судить о реальной глинистости и степени агрегированности отложений. Содержание глинистой фракции превышает 10 %. Существенная часть глинистых частиц (37–52 %) находится в агрегированном состоянии. Глинистые минералы относятся к образованиям аутигенного происхождения. При исследованиях с использованием рентгенодифракционного анализа и метода СЭМ в составе глинистых минералов определены в основном каолинит, хлорит и иллит. Идентифицирован типичный аутигенный минерал – сепиолит, а также карбонатные минералы – кальцит и доломит.

Глава 5. Сравнительный анализ

5. 1. Анаэробные и аэробные условия в зоне гипергенеза БРС

Область гипергенеза БРС подразделяется на 2 зоны: зону криптогипергенеза, в которой создается анаэробная обстановка, и собственно зону гипергенеза, связанную с аэробными условиями. Факторный анализ с использованием результатов микроэлементов показывает различия химического состава между отложениями анаэробных и аэробных условий (рис. 13). При исследованиях с использованием рентгенодифракционного анализа и СЭМ в составе глинистых минералов пелоидов современного озера определены в основном иллит, хлорит и сепиолит, а также карбонатные минералы.

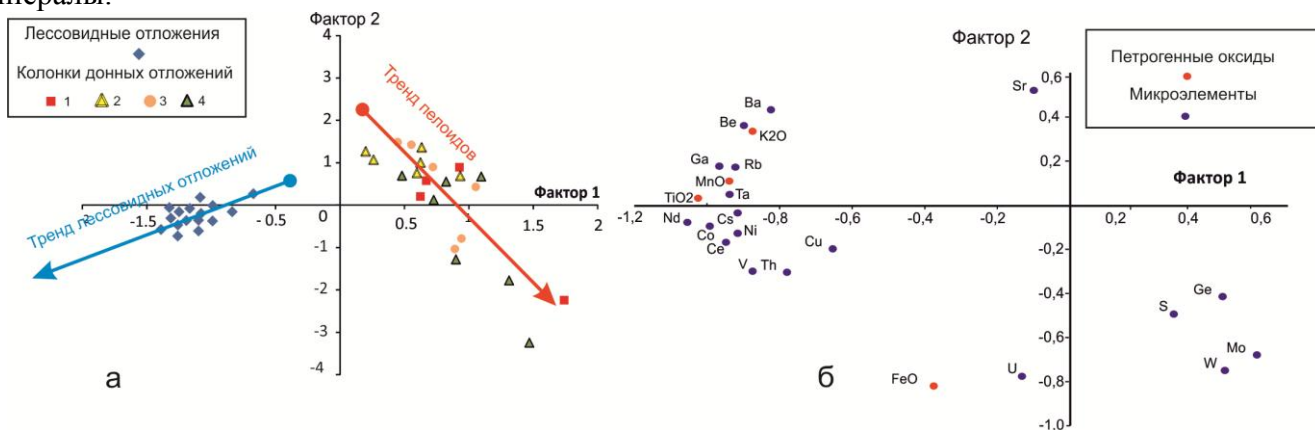


Рис. 13. Диаграмма соотношений факторов 1 и 2 проб (а) и факторных нагрузок для петрогенных оксидов и микроэлементов .

Глинистые минералы из лессовидных отложений представлены каолинитом и, в меньшей степени, смектитом и палыгорскитом. Глинистые минералы являются продуктами выветривания пород кислого состава в холодных и умеренно холодных условиях. Каолинит с доменной микроструктурой может быть производным каолинитовой коры выветривания. Глинистые минералы в обеих зонах гипергенеза содержат крупные минеральные отдельности и недефектные структуры.

5.2. Переход от плиоцен-четвертичных отложений верхней части разреза к лессовидным породам и современным сапропелевым илам

В Тункинской впадине, на окраине с. Никольское, была пройдена скважина Тунка-13, в которой была вскрыта (снизу вверх): базальтовый слой (возраст 15 млн лет) (глубина более 86,5 м), нижняя туфогенно-осадочная пачка темно-серых до черных алевритов с угловатыми обломками вулканического материала (глубины 86,5–73,7 м), пачки мелкозернистых слюдисто-алевритовых песков (глубины 66,1–50,0 м), пачки озерных алевритов с примесью мелкозернистого песка верхней части танхойской свиты (глубины 50,0–7,2 м), пачка красноцветных песков аносовской свиты (7,2–2,5 м) и перекрывающая пачка четвертичных серых разнозернистых песков (2,5–0 м) [Хассан и др., 2020].

Состав пород аносовской свиты и перекрывающей песчаной толщи разреза скв. Тунка-13, лессовидных отложений Тункинской долины и пелоидов оз. Саган-Нур анализировался с помощью факторного анализа (рис. 14). В координатах факторов 1 и 2 отчетливо выделяется тренд четвертичных и аносовских песков, направленный из правого нижнего квадранта в левый верхний квадрант. Фигуративные точки четвертичных песков занимают промежуточное положение между фигуративными полями четвертичных лессовидных пород и современных пелоидов оз. Саган-Нур. Таким образом, наблюдается литогеохимическая смена аносовских отложений четвертичными отложениями, которые имеют промежуточный литогеохимический состав между лессовидными отложениями и сапропелевыми илами. В промежуточном составе субаквальных четвертичных песков разреза Тунка-13 отразился, с одной стороны, золотой литогенетический фактор (фактор образования лессовидных пород), с другой стороны – субаквальный фактор (фактор образования донных озерных отложений).

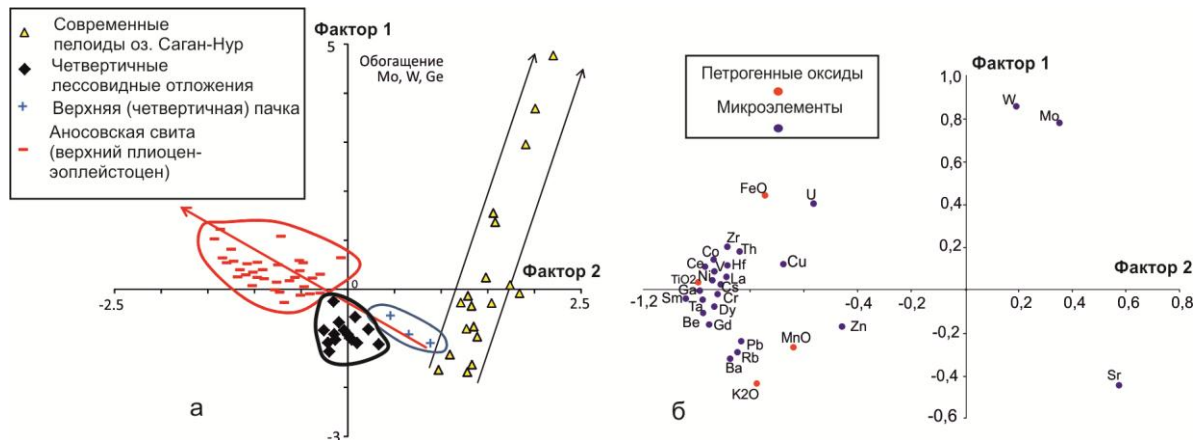


Рис. 14. Диаграмма факторов 1 и 2 проб (а) и факторных нагрузок для петрогенных оксидов и микроэлементов (б). Для сопоставления с лессовидными породами и пелоидами использованы данные, полученные для осадочных отложений верхней части разреза, вскрытых скв. Тунка-13 – верхняя (четвертичная) пачка и аносовская свита [Хассан и др., 2020].

Из результатов сравнительного изучения глинистых минералов в лессовидных породах и лечебных глинах Тункинской впадины и сравнительного литогеохимического анализа стратоней верхней части разреза следует второе защищаемое положение: Современные субаквальные анаэробные условия образования сапропелевых илов и субэральные аэробные условия накопления лессовидных отложений Тункинской впадины отражаются в составе глинистых минералов. В сапропелевых илах распространяется каолинит, хлорит, иллит и сепиолит, в лессовидных отложениях – каолинит, монтмориллонит и палыгорскит. В верхней части разреза осадочного наполнения Тункинской впадины обозначается литогеохимический переход от плиоцен-четвертичных осадочных отложений к лессовидным породам и современным сапропелевым илам.

5.3. Корреляция разрезов осадочных отложений Баргузинской долины и Байкальской впадины

Расчетные данные минерального состава отложений танхойской свиты Баргузинской долины, согласующиеся с данными рентгенодифракционного анализа и СЭМ, свидетельствуют о присутствии хлорита в отложениях танхойской свиты и его отсутствии в отложениях ановоской свиты. В глинистой фракции отложений Академического хребта, вскрытых скважиной BDP-98, хлорит устойчиво идентифицирован в отложениях нижней части разреза (203–600 м). Характеристикой формирования осадков этой части разреза в сравнительно теплых климатических условиях миоцена является высокое содержание хлорита, гидрослюды, смектитов и гиббсита. Содержания слюды, частично иллита и полевых шпатов в верхней части разреза связывалось с обстановкой перехода от умеренного к умеренно-холодному климату в плиоцене. Содержание хлорита становится неустойчивым [Кашик, Ломоносова, 2006] (рис. 15).

Распространение хлорита в нижней (танхойской) части разреза Баргузинской долины коррелируется с его распространением в отложениях нижней части разреза (203–600 м) донных отложений Академического хребта. Вариации содержаний гидрослюды (иллита), выявленные в отложениях по результатам ФХМ, также сопоставляются с вариациями этой глинистой фазы в донных отложениях Академического хребта. Ранние отложения Академического хребта относились к авандельте р. Пра-Баргузин. Смена литологического состава отложений интерпретировалась как показатель смены источника сноса материала с баргузинского на северо-байкальский [Кашик, Ломоносова, 2006]. Снижение роли хлорита и изменение содержания гидрослюды от нижней к верхней части разреза означает фактор изменений от теплого климата к холодному.

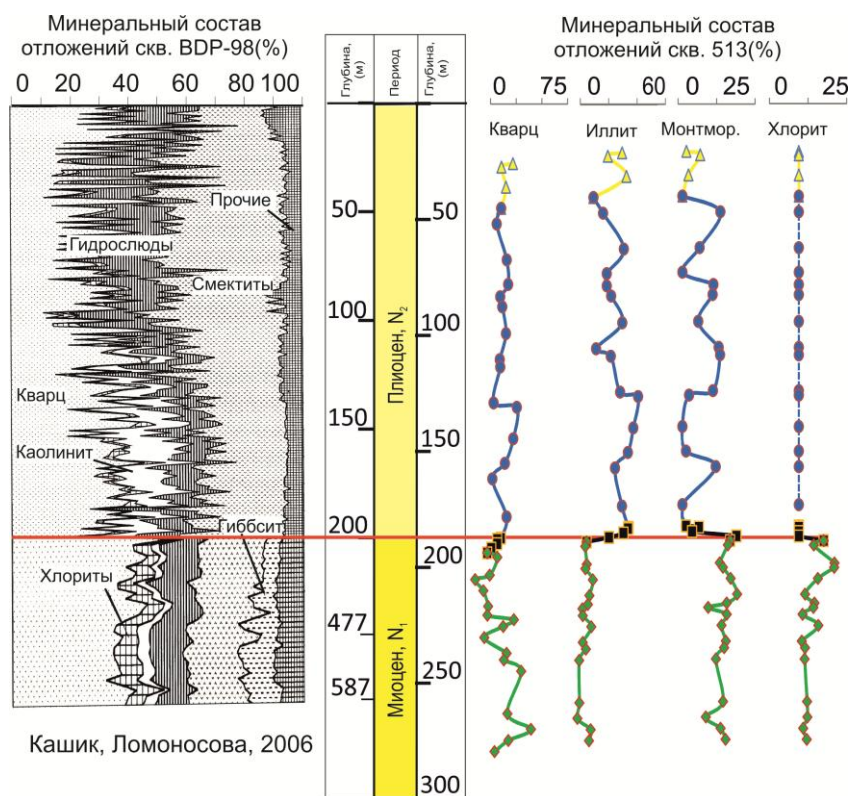


Рис.15. Минеральный состав: на рисунке слева – из отложений оз. Байкал, скв. BDP-98 [Кашик, Ломоносова, 2006]; справа – из отложений скв. 513. Монтмор. – монтмориллонит.

Из результатов сопоставления изменчивости состава глинистых минералов в стратонах Баргузинской долины и донных отложениях оз. Байкал следует третье защищаемое положение: Смена миоценовых отложений плиоцен-четвертичными в разрезе Баргузинской долины коррелируется с возрастной сменой донных отложений оз. Байкал на подводном Академическом хребте по исчезновению хлорита и переходу от стабильного распространения монтмориллонита и иллита к спорадическому.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изученный разрез осадочных отложений Баргузинской долины представлен последовательностью дотанхойского олигоценового стратона, озерных отложений танхойской свиты миоцена – нижнего плиоцена, охристой аносовской свиты верхнего плиоцена – эоплейстоцена и перекрывающих четвертичных отложений. Переход от озерных сероцветных отложений танхойской свиты к охристым отложениям аносовской свиты выражен возрастанием отношения Fe_2O_3/FeO от 1–3 до 3–44 (скв. 513). Граница между стратонами обозначается сменой глинистых минералов, определенных методами рентгенодифракционного анализа, ФХМ и СЭМ. Для танхойской свиты характерен хлорит и монтмориллонит. В переходном слое и в аносовской свите определены гидрослюды (представленные глауконитом и иллитом), вермикулит и смешанно-слоистые глинистые минералы. Монтмориллонит и хлорит в отложениях танхойского стратона обозначают образование глинистых минералов в условиях теплого влажного климата, а гидрослюды (глауконит и иллит) и вермикулит, а также микроклин и слюды (мусковит и биотит) в отложениях аносовского стратона – смену условий минералообразования при аридизации климата. Каолинит встречен по всему разрезу в виде пластинчатых кристаллов размером от долей до нескольких микрон. Глинистые частицы из отложений танхойского стратона нарушены, в отличие от глинистых частиц из отложений аносовского стратона, обладающих совершенной кристаллическостью и малой нарушенностью. Эти отличия свидетельствуют о преобразовании танхойских отложений наложенными процессами и об отсутствии подобных преобразований в аносовских отложениях.

Осадочные отложения, образовавшиеся в анаэробных и аэробных условиях в Тункинской долине, включают глинистые минералы, содержащие крупные минеральные отдельности и недефектные структуры, которые относятся к образованиям аутигенного происхождения. Глинистые минералы в лессовидных отложениях представляют собой каолинит и, в меньшей мере, монтмориллонит и палыгорскит. В пелоидах современного озера определены: иллит, хлорит и сепиолит, а также карбонатные минералы. Переход от осадочных отложений верхней части разреза суходольных впадин байкальского типа к лессовидным породам и современным пелоидам выражается литологически и обозначается сменой глинистых минералов. Для аносовской свиты характерны: иллит, каолинит и смешанно-слоистый минерал (гидрослюда-сметтит), карбонатные минералы, для лессовидных пород и современных пелоидов – иллит, каолинит, монтмориллонит, хлорит, сепиолит и палыгорскит.

Выявленная смена глинистых фаз от сероцветных озерных отложений танхойской свиты к красноцветным аллювиальным отложениям аносовской свиты в Баргузинской долине коррелируется с изменением ассоциации глинистых минералов в донных отложениях Академического хребта оз. Байкал – исчезновением хлорита и переходу от стабильного распространения монтмориллонита и иллита к спорадическому.

Список публикаций по теме диссертации:

Статьи в журналах из списка ВАК:

Алокла Р., Чувашова И.С., Рассказов С.В., Данилова М.В. Микроструктуры глинистых минералов осадочного заполнения баргузинской долины: данные растровой электронной микроскопии // Известия Иркутского Государственного Университета. Серия «Науки о земле». 2019. Т. 29. С. 24–38.

Алокла Р., Чувашова И.С., Рассказов С.В., Ощепкова А.В., Филева Т.С. Идентификация глинистых минералов в верхнекайнозойских стратонах Баргузинской долины Байкальской рифтовой зоны // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2020. № 2 (42). С. 68–80.

Алокла Р., Чувашова И.С., Рассказов С.В., Акулова В.В., Рубцова М.Н., Будаев Р.Ц. Лессовидные породы на вулканическом конусе Хурай-Хобок в Тункинской впадине // Известия Иркутского Государственного Университета. Серия «науки о земле». 2022. Т. 41. С. 3–20.

Статьи в других журналах:

Алокла Р., Чебыкин Е.П., Рассказов С.В., Ясныгина Т.А., Акулова В.В., Чувашова И.С., Йиминь Сунь Глинистые минералы пелоидов оз. Саган-Нур в Тункинской долине как показатели

анаэробных условий литогенетических процессов // Геология и окружающая среда. 2022. Т. 2, № 2. С. 47–60.

Рассказов С.В., Коломиец В. Л., Будаев Р.Ц., Чувашова И.С., Аль Хамуд А., Хассан А., **Алокла Р.** Новейшая активизация шовной зоны Сибирского кратона под Южным Байкалом: от мел-палеогенового орогена к неоген-четвертичному рифту // Геология и окружающая среда. 2021. Т.1, № 1. С. 6–14.

Чувашова И. С., **Алокла Р.**, Рассказов С. В. Инфильтрационный привнос глинистых минералов в поры и каверны неогеновых базальтов Восточного Саяна // Геология и окружающая среда. 2021. Т. 1, № 1. С. 15–26.

Другие опубликованные работы:

Алокла Р., Чувашова И. С., Рассказов С. В. Палеоклиматические сигналы в осадочных отложениях оз. Байкал: обзор основных результатов исследований керна скважин // Вестник Иркутского государственного университета, 2016. Вып. 19. С. 84–85.

Рассказов С.В., Миколайчук А.В., Коломиец В.Л., Будаев Р.Ц., Усольцева М.В., Сунь Йи-минь, Сие Чжэньхуа, Янг Чэнь, Чувашова И.С., Чикишева Т.А., Хассан А., Хамуд А. Аль, **Алокла Р.** Кайнозойские красноцветные осадочные отложения Внутренней Азии: литогенетическое значение вариаций содержаний Al_2O_3 и CO_2 // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Материалы совещания. Выпуск 14. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2016. С. 233–235.

Алокла Р., Чувашова И. С., Данилова М. В., Усольцева М. В., Арсеньев К. Ю. Структуры глинистых минералов из неогеновых осадочных отложений южной части Баргузинской долины по данным электронной микроскопии // Научная конференция студентов и молодых ученых по наукам о Земле. ИГУ, Иркутск, 2017, выпуск 20, С. 81–82.

Алокла Р., Ощепкова А., Чувашова И. Смена минерального состава осадочных отложений от танхойской свиты к ановской в Баргузинской долине // Строение литосферы и геодинамика. Материалы XXVII совещания. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2017. С. 26–27.

Алокла Р., Чувашова И.С., Рассказов С.В., Данилова М.В., Арсентьев К.Ю. сравнительное исследование состава основных стратонов осадочной толщи баргузинской долины байкальской рифтовой системы: соотношение глинистых минералов// V Всероссийская молодежная научно-практическая школа-конференция «Науки о Земле. Современное состояние», 30 июля – 5 августа, Новосибирск: ИПЦ НГУ. 2018. С. 161–163.

Алокла Р., Чувашова И.С., Рассказов С.В., Ощепкова А.В., Филева Т.С., Данилова М.В., Федин А.Ю. Сравнительное исследование состава основных стратонов осадочной толщи Баргузинской долины Байкальской рифтовой системы: соотношение глинистых минералов // Осадочная геология Урала и прилегающих регионов: сегодня и завтра. Материалы 12 Уральского литологического совещания. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 2018. С.11–14.

Алокла Р. обзор проблемы лессов в связи с изучением лессовидных отложений на склонах эоплейстоценовых вулканов тункинской впадины // XXVIII Всероссийская молодежная конференция Строение литосферы и геодинамика. Иркутск, 2019. С. 173–175.

Алокла Р., Рассказов С.В. Глинистые минералы осадочных отложений стратонов Баргузинской долины Байкальской рифтовой системы // Материалы IV Всероссийского симпозиума с участием иностранных ученых, посвященного 90-летию со дня рождения академика Н.А. Логачева «Рифтогенез, орогенез и сопутствующие процессы». Иркутск, ИЗК СО РАН. 14–15 октября 2019. С. 18–19.

Алокла Р., Чувашова И.С., Рассказов С.В. Сравнительный анализ глинистых минералов, образовавшихся в анаэробных и аэробных условиях зоны гипергенеза Байкальской рифтовой системы // Материалы IV Всероссийского симпозиума с участием иностранных ученых, посвященного 90-летию со дня рождения академика Н.А. Логачева «Рифтогенез, орогенез и сопутствующие процессы». Иркутск, ИЗК СО РАН. 14–15 октября 2019. С. 20–21.