



Серия «Науки о Земле»
2019. Т. 29. С. 24–38
Онлайн-доступ к журналу:
<http://izvestiageo.isu.ru/ru>

ИЗВЕСТИЯ
Иркутского
государственного
университета

УДК 548.7+548.3+551.7

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.29.24>

Микроструктуры глинистых минералов осадочного наполнения Баргузинской долины: данные растровой электронной микроскопии

Р. Алокла

*Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия
Университет Алеппо, г. Алеппо, Сирия*

И. С. Чувашова, С. В. Рассказов

*Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия
Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия*

М. В. Данилова

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Изучение глин долгое время отставало от потребности практики, что связано с их высокой дисперсностью, требующей использования высокоразрешающей исследовательской аппаратуры больших увеличений. Исследование микроструктуры минералов стало возможным с развитием метода растровой электронной микроскопии (РЭМ). Авторами изучены глинистые минералы осадочных отложений, вскрытых скважинами 513 и 508, пройденных в районе Уро (Читканская впадина), в южной части Баргузинской долины. Определены микроструктурные характеристики глин в стратиграфической последовательности отложений (снизу вверх) озерного (танхойская свита) и аллювиального, охристого (аносовская свита) стратонев. Для выделения глинистой фракции использован метод отмучивания. Обработка материала проводилась в совместной лаборатории современных методов исследования в динамической и инженерной геологии ИГУ и ИЗК СО РАН. Исследования глинистых минералов выполнялись на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) с ЭДС-спектрометром в Лимнологическом институте СО РАН. В образцах идентифицированы каолинит, монтмориллонит, хлорит и три разновидности гидрослюды. По результатам исследований определена граница между танхойским и аносовским стратонами Баргузинской долины. Полученные данные о составе глинистых минералов скоррелированы с данными по составу глинистых минералов донных отложений, вскрытых скв. ВDP-98 на Академическом хребте оз. Байкал.

Ключевые слова: глинистые минералы, Байкал, Баргузинская долина, сканирующая электронная микроскопия, ЭДС-анализ.

Для цитирования: Микроструктуры глинистых минералов осадочного наполнения Баргузинской долины: данные растровой электронной микроскопии / Р. Алокла, И. С. Чувашова, С. В. Рассказов, М. В. Данилова // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2019. Т. 29. С. 24–38. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.29.24>

Введение

Наука о глинах прошла долгий путь. Ее развитие было обусловлено, во-первых, потребностью в фундаментальных знаниях о глинах и глинистых минералах как части минеральной системы земной коры, во-вторых, возможностью использования уникальных свойств глинистых минералов в практике как важнейшего сырья и компонента окружающей среды. Начало знаний о глине было заложено в трудах естествоиспытателей XVIII в., исследования получили развитие с 30-х гг. прошлого столетия в связи с использованием рентгеновского анализа, а позднее – электронной микроскопии. В этот период были получены выдающиеся результаты в области кристаллохимии и структурной минералогии, позволившие открыть и классифицировать различные виды глинистых минералов, изучить особенности их строения, условия образования и свойства.

При оценке поведения и свойств гетерогенных природных систем роль структуры исключительно велика. Изучение структуры глин долгое время отставало от потребности практики в связи с отсутствием технических возможностей использования высокоразрешающей исследовательской аппаратуры больших увеличений. Исследование микроструктуры глинистых образований – от современных илов до уплотненных аргиллитов, алевролитов и сланцев – стало возможно с появлением СЭМ (сканирующей электронной микроскопии). Начальное использование СЭМ было ограничено изучением формы глинистых частиц при большом увеличении [Borst, Keller, 1969; Gillot, 1969; Pusch, 1970]. Развитие СЭМ способствовало рождению метода полноценного изучения состава и свойств глинистых материалов [Осипов, Соколов, 1989; Осипов, Соколов, 1984]. СЭМ дает возможность получения изображений исследуемой микроструктуры, выполнения различных операций по их обработке и количественной оценке морфометрических и геометрических признаков микроструктуры, а в сочетании с ЭДС-анализом позволяет получить информацию об элементном составе локальных исследуемых областей. Находится в удобном диапазоне между оптическим микроскопом и просвечивающим электронным микроскопом. Однако наиболее важным является то, что полученная глубина фокуса составляет порядка десятков микрон. Метод позволяет выполнять исследования на небольшом образце в широком диапазоне увеличений от оптических (10×) до электронно-оптических (50 000× и более).

В настоящей работе приводятся результаты изучения микроструктуры глинистых минералов с использованием СЭМ в стратонах осадочного заполнения Баргузинской долины. Полученные данные о глинистых минералах сопоставляются с данными по глинистым минералам донных отложений Академического хребта оз. Байкал.

Общая характеристика района исследований

Баргузинская долина находится в центральной части Байкальской рифтовой зоны между поднятиями Баргузинского и Икатского горных хребтов и простирается в направлении на северо-северо-восток на 200 км при ширине

от 20 до 35 км (рис. 1). Мощность кайнозойских отложений в долине достигает 2500 м. Вместе с сопутствующими бассейнами и обрамляющими хребтами Баргузинская долина представляет собой рифт, для которого характерна ярко выраженная байкальская асимметрия, наиболее отчетливо проявленная в ее сочленении с обрамляющими горными сооружениями. На северо-западе ложе Баргузинской долины сочленяется с высоким поднятием Баргузинского хребта, имеющего максимальную отметку 2841 м. На юго-востоке ложе долины плавно переходит в склоны Икатского хребта и Голодинских гольцов. Абсолютные отметки этих горных сооружений не превышают 1000 м.

В осадочном наполнении Баргузинской долины представлены (снизу вверх): угленосные (преимущественно озерные) отложения, которые обычно рассматриваются в составе танхойской свиты, к вышележащим аллювиальным охристым отложениям, которые объединяются в аносовскую (или шанхаихинскую) свиту, а также полифациальная четвертичная толща. На большей части днища долины распространен сплошной покров четвертичных образований. Дочетвертичные осадки вскрыты скважинами, а в естественных обнажениях встречаются фрагментарно только у подножия Икатского поднятия (дер. Алга, с. Бодон и др.) и на Шаманской перемычке, расчлененной долиной р. Баргузин [Замараев, 1979].

Нижний и средний стратоны датировались соответственно миоценом – нижним плиоценом и верхним плиоценом – эоплейстоценом [Логачев, 1974]. В нижней части разреза стратотипа аносовской свиты (р. Аносовка), однако, были отмечены отложения верхнего миоцена, поэтому было предложено сменить стратотип охристых отложений. В качестве нового стратотипа аллювиальной охристой свиты под названием «шанхаихинская» был обозначен разрез средне-верхнеплиоценовых отложений на междуречье Шанхаиха – Хара-Мурин [Мац, Уфимцев, Мандельбаум, 2001]. С учетом сложившейся возрастной неопределенности перехода от танхойской свиты к аносовской (шанхаихинской) первоочередное значение приобретает точная фиксация литологического перехода между этими стратонами. На этапе литологических исследований перехода вместо географических названий свит рационально пользоваться их характеристикой по преобладающим фациям во впадинах: озерной для танхойского уровня и аллювиальной – для аносовско-шанхаихинского.

Резкий переход от сероцветных озерных отложений к аллювиальным охристым был зафиксирован в скважинах района с. Бодон средней части Баргузинской долины [Пирокластик как показатель ... , 2016; First study of ... , 2019]. Подобный переход выявляется и в осадочном наполнении ее южного окончания, вскрытом скважинами 513 и 508 в междуречье Уро и Читкан филиалом «Сосновгеология» Федерального государственного унитарного геологического предприятия «Урангеологоразведка» в 2012 г. Скважина 513 находится на водоразделе, скв. 508 – в долине р. Уро (рис. 1). Скважина 513, пройденная до глубины 288,5 м (абсолютная высота 207,5 м) от устья с абсолютной отметкой 496 м, не достигла фундамента.

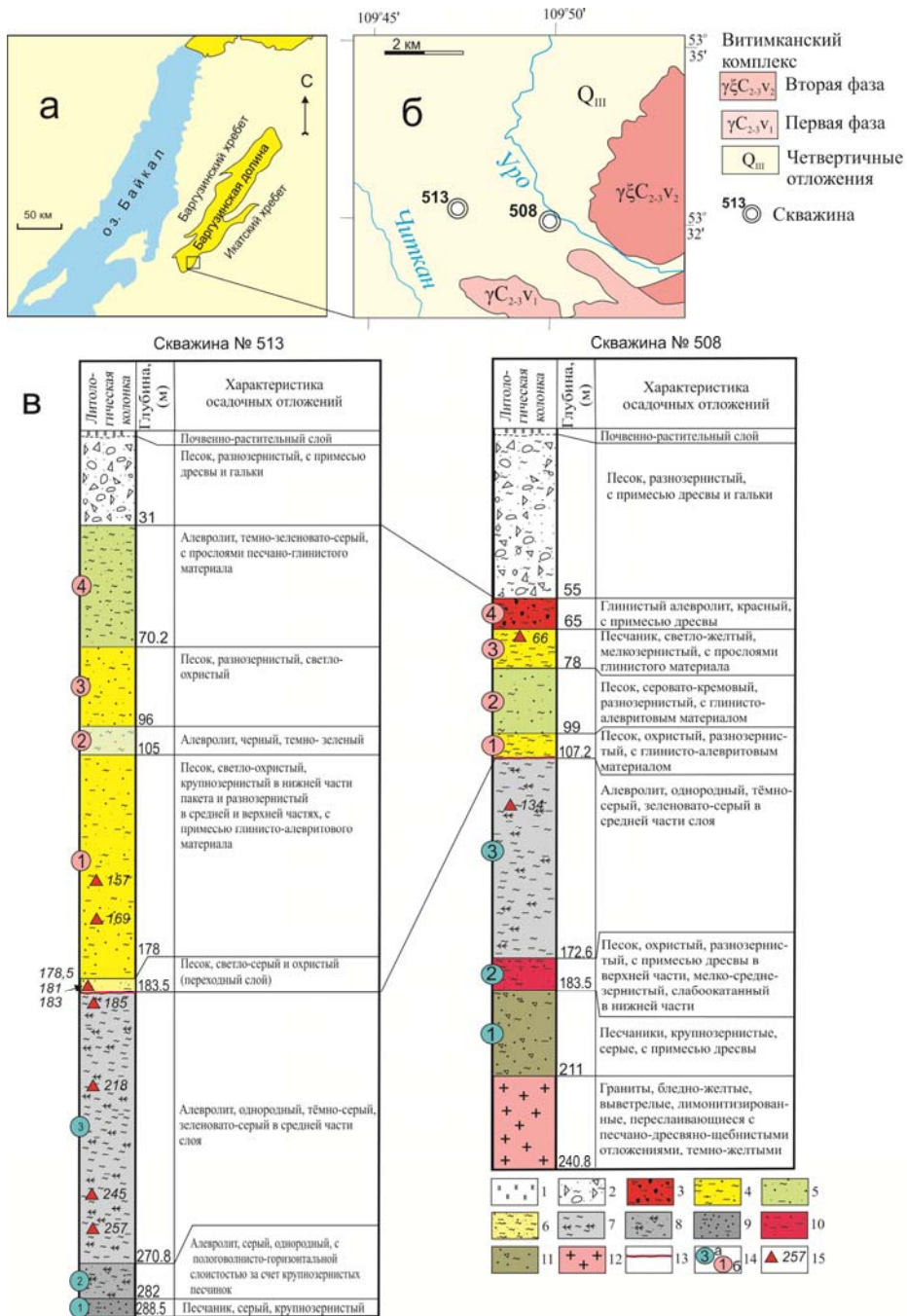


Рис. 1. Местоположение объектов исследования (а, б) и литологические колонки скважин 508 и 513 (в). 1–2 – четвертичные полифациальные отложения; 3–5 – аллювиальные охристые отложения; 6 – переходный слой; 7–11 – озерные отложения; 12 – породы фундамента; 13 – граница между стратонами; 14 – номера пакетов нижнего (озерного) стратона (а) и среднего (аллювиального охристого) (б)

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 скв. 513 до глубины 240,8 м (абсолютная высота 251,2 м) от устья с абсолютной отметкой 467 м, вскрыла породы фундамента на глубине 215,8 м. Переход между свитами вскрыт на глубине 107,2 м (абсолютная высота 359,8 м).

Маркирующее значение в разрезе имеют однородные темно-серые озерные алевролиты (пакет 3) (см. рис. 1). Мощность этих отложений составляет 65,4 м в скв. 508 и увеличивается до 87,3 м в скв. 513. Этот пакет занимает абсолютные отметки 294,4–359,8 м в скв. 508 и опускается до абсолютных отметок 225,2–312,5 м в скв. 513. Здесь озерная толща подстилается 9-метровым слоем охристых песков (пакет 2) и нижележащим 28-метровым слоем серых крупнозернистых песчаников (пакет 1). В скважине 513 ниже озерной толщи охристых отложений не встречено. Слои серых крупнозернистых песчаников, находящиеся частично в переслаивании с алевролитами, имеют окраску, не отличающуюся от окраски алевролитов. Выше озерных алевролитов в обеих скважинах залегает охристая преимущественно песчаная толща, сменяющаяся полифациальными четвертичными отложениями. В целом в скв. 508 наблюдаются слои озерных и аллювиальных охристых отложений с сокращенной мощностью относительно мощности таких же слоев скв. 513.

Подобно разрезу Бодон [Пирокластика как показатель ... , 2016], переход от озерных сероцветных отложений к аллювиальным охристым отложениям выражается возрастанием отношения Fe_2O_3/FeO от интервала 1,0–2,5 до интервала 3–7 (скв. 513). В отложениях скв. 508 резко снижаются содержания MgO и CaO от 2,0–2,5 до 0,2 мас. %.

Метод СЭМ

В настоящее время разработано программное обеспечение и аппаратура для количественного анализа изображений поверхности скола образца в электронном микроскопе с применением энергодисперсионного спектрометра. Однако в зависимости от методики подготовки образцов, выбора режимов работы СЭМ получаются различные результаты. В связи с тем что в большинстве СЭМ микроструктура изучается в условиях глубокого вакуума (вакуум в камере образцов составляет 10^{-3} – 10^{-4} Па), образцы исследуемых пород полностью обезвоживались. Сушка пород не вызывала заметного изменения линейных и объемных размеров образцов.

Процесс исследования микроструктуры в СЭМ основан на сканировании электронного зонда по поверхности образца, в результате чего формируется сигнал вторичных электронов, который в дальнейшем фиксируется соответствующим детектором, усиливается, преобразуется и воспроизводится в виде растрового изображения на экране видеомонитора [Beutelspacher, Van Der Marel, 1968]. Если электронный зонд сканирует по поверхности неэлектропроводных образцов, в том числе сухих глинистых пород – типичных диэлектриков, на его поверхности начнет скапливаться

наведенный электростатический заряд. В результате на СЭМ-изображении появятся артефакты в виде ярких светлых пятен, искажающих изображение микроструктуры. Для предотвращения эффекта зарядки поверхности образца и улучшения качества изображений на образцы в вакууме напылялась пленка золота толщиной 5–10 нм.

Изучена структура глинистых минералов 11 образцов. Механическая примесь удалялась. Отобранный материал содержал разное количество глинистой составляющей. Образцы отмучивались в воде при комнатной температуре в соответствии с методикой, позволяющей сохранить микроструктуру глинистых минералов:

1) использовалось 100 г образца и с помощью молотка раздавливались (разбивались) крупные куски на более мелкие, чтобы они могли легко разойтись в воде;

2) полученный материал помещался в банку и заливался большим количеством воды, размешивался до получения взвеси;

3) в течение 1–3 суток тяжелые частицы оседали на дно, а сверху оставались только легкие частицы, взвешенные в воде, которые перемещались в другую емкость;

4) в течение нескольких часов (до суток) глинистые частицы осаждались, две трети объема воды сливалось, а оставшаяся часть помещалась в специальную посуду для удаления оставшейся воды (испарения при комнатной температуре) и получения глинистой составляющей.

Для исследований микроструктуры образцов на растровом электронном микроскопе применялись три методики. Согласно первой методике на стекло, обернутое скотч-фольгой (двухсторонний электропроводный скотч), наносился образец порошка в сухом виде. Для получения более качественного изображения производилось напыление золотом. По второй методике часть образца дополнительно разводилась в воде. Разные концентрации накапывались на специальный столик. В соответствии с третьей методикой вместо воды использовался спирт. Пробы сутки высушивались, после чего производилось напыление золотом [Hughes and Bohor, 1970]. Исследования проводились с использованием сканирующего электронного микроскопа Quanta-200 FEI Company с приставкой рентгеновского микроанализа EDAX.

Диагностика

По структуре глинистые частицы разных минералов могут быть подобны между собой, что затрудняет их идентификацию. В каждом глинистом минерале определялся химический состав. Полученная количественная оценка состава использовалась с целью определения минерального состава глинистой частицы.

Для описания микроструктуры по СЭМ-изображению применялись количественные показатели (табл. 1). Тонкодисперсные кристаллиты (глинистые частицы) отличались размером и формой с максимальной длиной в плоскости 001 структуры минерала. Толщина частицы в зависимости от количества слагающих элементарных слоев характеризовалась поперечным размером слоев. Длина глинистых частиц менялась в широком диапазоне от

сотых долей до нескольких микрометров. Наименьшую длину имели частицы монтмориллонита, а наибольшую – частицы хлорита. В качестве важной морфометрической характеристики глинистых частиц принималась их форма (габитус) – от тонких пластинок до чешуек, трубок и листовидных образований [Gillot, 1969; Pusch, 1970; Methods of analysing morphology ... , 1986].

Таблица 1

Размеры частиц глинистых минералов [Осипов, Соколов, 2013]

Минерал	Длина, мкм	Толщина, мкм
Каолинит	4,00–0,08	2,00–0,50
Галлуазит	2,00–0,10	0,20–0,05
Монтмориллонит	0,10–0,01	0,05–0,001
Иллит	3,00–0,10	0,10–0,03
Глауконит	1,00–0,20	0,10–0,05
Вермикулит	0,50–0,05	0,10–0,01
Хлорит	8,00–0,10	1,00–0,05
Палыгорскит	2,00–0,10	0,10–0,05
Сепиолит	20,00–3,00	0,20–0,30

Каолинит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (группа каолинита) обладает пластинчатой формой в виде шестигранника. Хорошо видны контуры плоских ограненных частиц и их микроагрегатов. Галлуазит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ отличается от каолинита формой частиц. Они имеют вид трубок.

Монтмориллонит $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe})_2[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (группа смектита) обычно наблюдается не в виде отдельных частиц, а в виде микроагрегатов и ультрамикроагрегатов. Сростки этого минерала имеют на краях завихрения или шиповидные выросты.

Из минералов группы гидрослюдов в исследуемых породах обнаружены глауконит, вермикулит и иллит. Частицы глауконита $(\text{K}, \text{H}_2\text{O})(\text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_3[(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ имеют глобулярный вид микроагрегатов, хорошо различимых под электронным микроскопом, что позволяет легко определять этот минерал. Вермикулит $(\text{Mg}^{+2}, \text{Fe}^{+2}, \text{Fe}^{+3})_3[(\text{AlSi})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ трудно отличить от частиц слюдов, поэтому электронно-микроскопическая диагностика его со слюдистыми минералами весьма затруднительна. Иллит $(\text{Mg}, \text{Fe})_3[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ имеет удлиненные или изометричные пластинки.

Частицы хлорита $(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{OH})_6$ (группа хлорита) имеют изометричную форму с четкими контурами и многочисленными ступенями скола.

Результаты и обсуждение

Характеристика глинистых фаз

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 поверхно-

стью (рис. 2, *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. 2 *б*, *в*).

В составе глин идентифицируются кристаллы каолинита (рис. 3, *а*, *б*, *в*), имеющие вид гексагональных пластин 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. Агрегаты каолинита (рис. 3, *а*) встречаются чаще, чем отдельные кристаллы (рис. 3, *б*). Каолинит обнаружен во всех образцах, имеет кристаллы хорошей сохранности и варьирующие размеры (рис. 3, *в*).

Гидрослюды представлены тремя минеральными видами: глауконитом, вермикулитом и иллитом. Минералы группы гидрослюд отличаются между собой морфологией. В верхнем (охристом) стратоне встречаются частицы глауконита в виде глобулярных микроагрегатов на разных глубинах (рис. 3, *г*). Размер частиц 0,2–1,0 мкм. Частицы вермикулита визуально не отличаются от частиц других гидрослюд и идентифицируются по элементному составу (например, рис. 3, *д*, *е*). Иллит имеет удлиненные или изометричные пластинки, реже встречается в виде частиц щепковидной формы длиной до нескольких микрон. Длина обнаруженных микрокристаллов изменяется от нескольких мкм до 0,1 мкм.

В образце 513/169 в массе обнаружен глинистый минерал волокнистого вида, нехарактерный 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. Палыгорскит – типичный аутигенный минерал хемогенных отложений, богатых Si, Ca, Mg, фосфатом кальция, но бедных оксидами и гидроксидами Fe и Al. Под микроскопом 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, Дронова, Толпешта, 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 невозможно. С волокнами ассоциируются кубические микрокристаллы соли (рис. 4 *а*, *б*). Идентифицированы также микрокристаллы кальцита и арагонита (рис. 4, *в*).

В целом каолинит встречен в образцах всего разреза. Глауконит, вермикулит, иллит характерны для пород аллювиального охристого стратона и переходного слоя, хлорит и монтмориллонит – только для озерного стратона.

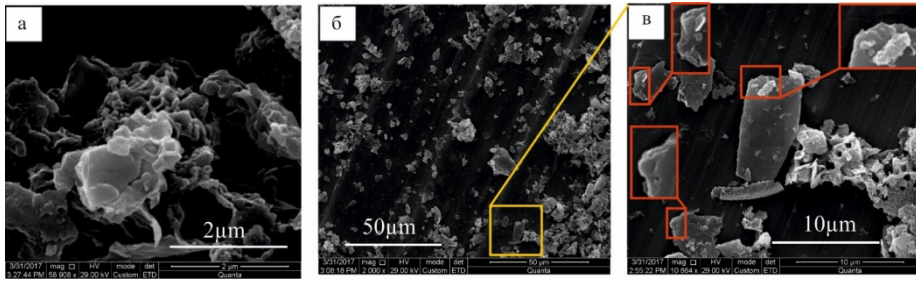


Рис. 2. В образце 513/185 (озерный стратон): а – монтмориллонит при максимальном увеличении; б – общий вид хлорита при увеличении 2000×; в – детальный фрагмент хлорита при увеличении 11 000×

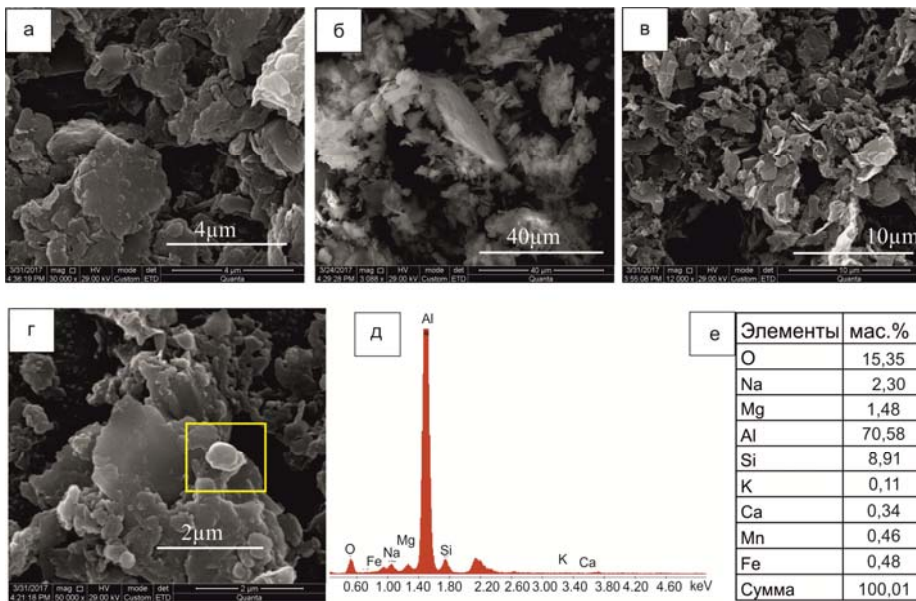


Рис. 3. Общий вид частиц каолинита (а–в): а – обр. 513/157 (аллювиальный охристый стратон); б – в обр. 513/183 (переходный слой); в – обр. 513/185 (озерный стратон). Общий вид частиц глауконита (обр. 513/157) (г–е): г – общий вид; д – интенсивности пиков элементов (пик алюминия связан с фоном подложки); е – процентные соотношения элементов

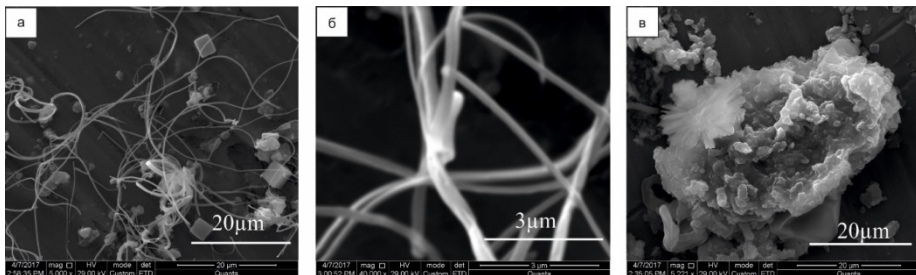


Рис. 4. В обр. 513/169 (охристый стратон): а – общий вид палыгорскита, б – детальное строение палыгорскита; в – карбонат из аносовской свиты (арагонитовая розочка)

Плохая кристалличность и нарушенность микрокристаллов в нижнем стратоне свидетельствуют 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.

Корреляция с глинистыми фазами отложений Академического хребта оз. Байкал

В глинистой фракции отложений Академического хребта оз. Байкал, вскрытых скв. ВDP-98, хлорит идентифицирован в отложениях нижней части разреза (203–600 м). Высокое содержание гидрослюды, смектита и хлорита, определенных в нижней части разреза, служило характеристикой формирования осадков в сравнительно теплых климатических условиях. Сохранения минералов слюды, частично иллита и полевых шпатов в верхней части разреза связывалось с переходом к умеренно холодному климату [Кашик, Ломоносова, 2006].

Нижняя часть отложений Академического хребта рассматривалась как результат накопления осадков в авандельте р. Пра-Баргузин. Смена литологического состава отложений интерпретировалась как показатель смены источника сноса материала с баргузинского на северобайкальский. Присутствие хлорита в отложениях нижней части разреза (203–600 м) и его отсутствие в верхней части (0–203 м) донных отложений Академического хребта, а также вариации содержания гидрослюды (иллита) сопоставляются с изменением глинистых фаз в осадочном наполнении Баргузинской впадины. Исчезновение хлорита и изменение содержания гидрослюды в верхней части разреза (0–183 м) Баргузинской долины обусловлены изменениями от теплого влажного климата середины миоцена к его аридизации.

Сейсмическими профилями в разрезе донных отложений зафиксированы стратиграфические несогласия [Sedimentation and subsidence ... , 1997]. Для вскрытой 600-метровой толщи донных отложений Академического хребта предложены различные варианты подгонки палеомагнитных инверсий под возрастные интерпретации полученного разреза от 7 до 11 млн лет [Кашик, Ломоносова, 2006; Химический состав осадков ... , 2014; Kravchinsky, 2017]. Имеющаяся неопределенность в датировании разреза требует дополнительной аргументации предложенных вариантов построений и следующих из них корреляций.

Заключение

Осадочное наполнение южной части Баргузинской долины представлено нижним (озерным), средним (аллювиальным, охристым) и верхним (полифаціальным) стратонами. Граница между нижним и средним стратонами отчетливо маркируется литологически и обозначается сменой глинистых минералов, определенных с помощью СЭМ. Для нижнего из них характерен хлорит. В переходном слое (от нижнего к среднему стратону) и в среднем стратоне определены гидрослюды, представленные глауконитом и вермикулитом, отличающимися между собой по морфологии частиц. Содержание

иллита, монтмориллонита и хлорита в отложениях нижнего стратона указывает на теплые влажные климатические условия, а содержание гидрослюдов (глауконит и вермикулит), частично слюдов (мусковит и биотит) и микроклина в отложениях среднего стратона – на аридизацию климата. Каолинит встречен по всему разрезу в виде пластинчатых кристаллов размером от долей до нескольких микрон.

Глинистые частицы из отложений нижнего стратона нарушены, в отличие от глинистых частиц из отложений среднего стратона, обладающих совершенной кристалличностью и малой нарушенностью. Эти отличия свидетельствуют о преобразовании озерных отложений наложенными процессами и об отсутствии подобных преобразований аллювиальных отложений.

Переход от озерного стратона к аллювиальному, охристому в Баргузинской долине, обозначенный сменой состава глинистых минералов, в целом сопоставляется с подобной сменой состава глинистых минералов в скв. BDP-98 Академического хребта Байкальской впадины.

Работа выполнена по госзаданию проекта Института земной коры СО РАН № 0346-2016-0005 с частичной поддержкой грантом РФФИ № 18-35-00417 мол. а. Исследования на сканирующем электронном микроскопе Quanta-200 FEI Сотрапу с приставкой рентгеновского микроанализа EDAX проводились в ЦКП «Ультрамикроанализ» Лимнологического института СО РАН К. Ю. Арсентьевым. Авторы выражают благодарность К. Ю. Арсентьеву за помощь в проведении исследований.

Список литературы

- Кашик С. А., Ломоносова Т. К.* Кайнозойские отложения подводного Академического хребта в озере Байкал // Литология и полезные ископаемые. 2006. № 4. С. 339–353.
- Логачев Н. А.* Саяно-Байкальское становое нагорье // Нагорья Прибайкалья и Забайкалья. М. : Наука. 1974. С. 7–163.
- Мац В. Д., Уфимцев Г. Ф., Мандельбаум М. М.* Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: строение и геологическая история. Новосибирск : Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2001. 252 с.
- Осипов В. И., Соколов В. Н.* Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств. М. : ГЕОС, 2013. 576 с.
- Осипов В. И., Соколов В. Н., Румянцева Н. А.* Микроструктура глинистых пород / под ред. Е. М. Сергеева. М. : Недра, 1989. 211 с.
- Осипов В. И., Соколов В. Н.* Изучение структурных связей пород и контактных взаимодействий : метод. пособие / под ред. Е. М. Сергеева. 2-е изд. М. : Изд-во МГУ. 1984. Т. 2. С. 218–230.
- Пирокластика как показатель поднятия Икатского хребта относительно Баргузинской впадины Байкальской рифтовой зоны / С. В. Рассказов, И. С. Чувашова, Т. А. Ясньгина, М. В. Усольцева, Н. А. Руднева, Д. Ю. Митькин, А. Ю. Федин // География и природ. ресурсы. 2016. № 5. С. 117–127.
- Соколова Т. А., Дронова Т. Я., Толпешта И. И.* Глинистые минералы в почвах : учеб. пособие. Тула : Гриф и К., 2005. 336 с.
- Соотношение древней и кайнозойской структур в Байкальской рифтовой зоне / С. М. Замираев, А. М. Мазукабзов, Е. П. Васильев, В. В. Ружич, Г. В. Рязанов. Новосибирск : Наука, 1979. 124 с.

Химический состав осадков глубоководных байкальских скважин как основа реконструкции изменений палеоклимата и окружающей среды / М. И. Кузьмин, В. А. Бычинский, Е. В. Кербер, А. В. Ощепкова, А. В. Горегляд, Е. В. Иванов // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 1. С. 3–22.

Beutelspacher H., Van Der Marel H. W. Atlas of electron microscopy of clay minerals and their admixture. Elsevier publ. Amsterdam ; London ; New York, 1968. 267 p.

Borst R. K., Keller W. D. Scanning electron micrographs of AP1 reference clay minerals and other selected samples: Proc. Intern. Clay Conf. Tokyo. Israel University Press, Jerusalem. 1969. Vol. 1. P. 871–901.

First study of fossil diatom flora from Middle Miocene-Lower Pliocene lacustrine sediments in Barguzin Valley, Baikal Rift Zone / A. Hassan, M. Usoltseva, S. Rasskazov, I. Chuvashova, L. Titova // Quaternary International. 2019. P. 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.03.024>.

Gillot J. E. Study of the fabric of fine-grained sediments with the scanning electron microscope // J. of Sedim. Petrology. 1969. Vol. 39, N 1. P. 90–105.

Hughes R. E., Bohor B. F. Random clay powders prepared by spray drying: Am. Mineralogist 55. 1970. N 9–10. P. 1780–1786.

Jolivet M., Boisgrollier T. D., Petit C. How old is the Baikal Rift Zone? Insight from apatite fission track thermochronology // Tectonics. 2009. Vol. 28. P. 1–21.

Kravchinsky V. A. Magnetostatigraphy of the Lake Baikal sediments: A unique record of 8.4 Ma of continuous sedimentation in the continental environment // Global and Planetary Change. 2017. Vol. 152. P. 209–226. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.04.002>.

Methods of analysing morphology of kaolinites; relations between crystallographic and morphological properties / J. M. Cases, P. Cunin, Y. Grillet, C. Poinson, J. Yvon // Clay minerals. 1986. Vol. 21. P. 55–68.

Pusch R. Clay microstructure. National Swedish Building Research // Document D8. 1970. P. 93–101.

Sedimentation and subsidence patterns in the central and north basins of Lake Baikal from seismic stratigraphy / Jr. T. C. Moore, K. D. Klitgord, A. J. Golmshtok, E. Weber // Geological Society of America Bulletin. 1997. Vol. 109, N 6. P. 746–766. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1997\)109<0746:SASPIT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1997)109<0746:SASPIT>2.3.CO;2).

Microstructures of Clay Minerals from Sedimentary Infilling of Barguzin Valley: Data of Scanning Electron Microscopy

R. Alokla

*Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation
University of Aleppo, Aleppo, Syria*

I. S. Chuvashova, S. V. Rasskazov

*Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation
Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russian Federation*

M. V. Danilova

Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The study of clay for a long time lagged behind the needs of practice, which was due to their high dispersion, requiring the use of high-resolution research equipment to view them at high magnifications. Only with the advent of scanning electron microscopy (SEM), it became possible to study the microstructural features of clay minerals. In this paper, clay miner-

als were studied from sediments exposed by wells 513 and 508 in the Uro region (Chitkan Depression), in the south of Barguzin Valley. Microstructural characteristics of clay minerals were studied in a stratigraphic sequence of the lacustrine (Tankhoi Formation) and alluvial, ocher (Anosovskaya Formation) units. The clay fraction was extracted by an elutriation method. The processing of the material was carried out in the joint laboratory of modern research methods in dynamic and engineering geology of the ISU and IEC SB RAS. Studies of clay minerals were performed on a scanning electron microscope (SEM) with an EMF spectrometer at the Limnological Institute SB RAS. In the samples, kaolinite, montmorillonite, chlorite, and three types of hydromica are identified. According to the results of the research, the boundary between the Tankhoi and Anosovska Formations in Barguzin Valley was defined. The data obtained on clay mineral compositions were correlated with those of bottom sediments detected in the well BDP-98 on the Academic Ridge of Lake Baikal.

Keywords: clay minerals, Baikal, Barguzin valley, scanning electron microscope, EMF analysis.

For citation: Alokla R., Chuvashova I. S., Rasskazov S.V., Danilova M.V. Microstructures of Clay Minerals From Sedimentary Infilling of Barguzin Valley: Data of Scanning Electron Microscopy. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2019, vol. 29, pp. 24-38. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.29.24> (in Russian)

References

- Kashik S.A., Lomonosova T.K. Kaynozoyiskiye otlozheniya podvodnogo Akademicheskogo khrebta v ozere Baykal [Cenozoic deposits of the underwater Academic Ridge in Lake Baikal]. *Litologiya i poleznyye iskopayemyye* [Lithology and minerals], 2006, no. 4, pp. 339-353. (in Russian)
- Logachev N.A. Sayano-Baykalskoye stanovoye nagoriye [Sayano-Baikal Highlands]. *Nagor'ya Pribaykal'ya i Zabaykaliya* [Highlands of the Baikal and Transbaikalia]. Moscow, Science Publ., 1974, pp. 7-163. (in Russian)
- Mats V.D., Ufimtsev G.F., Mandelbaum M.M. *Kaynozoy Baykal'skoy riftovoy vpadiny: stroyeniye i geologicheskaya istoriya* [Cenozoic of the Baikal rift basin: structure and geological history]. Novosibirsk, Geo Publ. of the SB RAS, 2001, 252 p. (in Russian)
- Osipov V.I., Sokolov V.Kh. *Gliny i ikh svoystva. Sostav, stroyeniye i formirovaniye svoystv* [Clays and their properties. Composition, structure and general properties]. Moscow, GEOS Publ., 2013, 576 p. (in Russian)
- Osipov V.I., Sokolov V.Kh., Rumyantseva N.A., Sergeyev Ye.M. (ed.). *Mikrostruktura glinistykh porod* [Microstructure of clay rocks]. Moscow, Nedra Publ., 1989, 211 p. (in Russian)
- Osipov V.I., Sokolov V.N., Sergeyev Ye.M. (ed.) *Izucheniye strukturnykh svyazey porod i kontaktnykh vzaimodeystviy* [Study of the structural bonds of the rock and contact interactions: method. manual for engineers.-geol. exploring the mountains. rocks]. 2nd ed. Moscow, Moscow State University Publ., 1984, vol. 2, pp. 218-230. (in Russian)
- Rasskazov S.V., Chuvashova I.S., Yasnygina T.A., Usoltseva M.V., Rudneva N.A., Mitkin D.Y., Fedin A.Y. Piroklastika kak pokazatel podnyatiya Ikatskogo khrebta otnositel'no Barguzinskoy vpadiny Baykal'skoy riftovoy zony [Polyclastic as an indicator of the uplift of the Ikatsky ridge relative to the Barguzin depression of the Baikal rift zone]. *Geografiya i prirod. Resursy* [Geography and nature. Resources], 2016, no. 5, pp. 117-127. (in Russian)
- Sokolova T.A., Dronova T.Ya., Tolpeshta I.I. *Glinistyye mineraly v pochvakh* [Clay minerals in soils]. Study guide. Tula, Grief and K., 2005, 336 p. (in Russian)
- Zamaraev S.M., Mazukabzov A.M., Vasiliev E.P., Ruzhich V.V., Ryazanov G.V. *Sootnosheniye drevney i kaynozoyiskoy struktur v Baykal'skoy riftovoy zone* [The ratio of ancient and Cenozoic structures in the Baikal rift zone]. Novosibirsk, Science Publ., 1979, 124 p. (in Russian)
- Kuzmin M.I., Bychinsky V.A., Kerber E.V., Oschepkova A.V., Goreglyad A.V., Ivanov E.V. Khimicheskiy sostav osadkov glubokovodnykh baykal'skikh skvazhin kak osnova

rekonstruksii izmeneniy paleoklimata i okruzhayushchey sredy [Chemical composition of sediments of deep-water Baikal wells as the basis for reconstruction of changes in paleoclimate and the environment]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 2014, vol. 55, no. 1, pp. 3-22. (in Russian)

Beutelspacher H., Van Der Marel H.W. Atlas of electron microscopy of clay minerals and their admixture. *Elsevier publ.* Amsterdam, London, New York, 1968, 267 p.

Borst R.K., Keller W.D. Scanning electron micrographs of AP1 reference clay minerals and other selected samples: Proc. Intern. *Clay Conf. Tokyo. Israel University Press, Jerusalem*, 1969, vol. 1, pp. 871-901.

Hassan A., Usoltseva M., Rasskazov S., Chuvashova I., Titova L. First study of fossil diatom flora from Middle Miocene-Lower Pliocene lacustrine sediments in Barguzin Valley, Baikal Rift Zone. *Quaternary International*, 2019, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.03.024>.

Gillot J.E. Study of the fabric of fine-grained sediments with the scanning electron microscope. *J. of Sedim. Petrology*, 1969, vol. 39, no 1, pp. 90-105.

Hughes R.E., Bohor B.F. Random clay powders prepared by spray drying: *Am. Mineralogist* 55, 1970, no. 9-10, pp. 1780-1786.

Jolivet M., Boisgrollier T.D., Petit C. How old is the Baikal Rift Zone? Insight from apatite fission track thermochronology. *Tectonics*, 2009, vol. 28, pp. 1-21.

Kravchinsky V.A. Magnetostratigraphy of the Lake Baikal sediments: A unique record of 8.4 Ma of continuous sedimentation in the continental environment. *Global and Planetary Change*, 2017, vol. 152, pp. 209-226. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.04.002>.

Cases J.M., Cunin P., Grillet Y., Poinsignon C., Yvon J. Methods of analysing morphology of kaolinites; relations between crystallographic and morphological properties. *Clay minerals*, 1986, vol. 21, pp. 55-68.

Pusch R. Clay microstructure. National Swedish Building Research. *Document D8*, 1970, pp. 93-101.

Moore Jr.T.C., Klitgord K.D., Golmshtok A.J., Weber E. Sedimentation and subsidence patterns in the central and north basins of Lake Baikal from seismic stratigraphy. *Geological Society of America Bulletin*, 1997, vol. 109, no. 6, pp. 746-766. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1997\)109<0746:SASPIT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1997)109<0746:SASPIT>2.3.CO;2).

Алокла Рияд

аспирант, младший научный сотрудник
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: 8(3952)24-32-80
Университет Алеппо
Сирия, г. Алеппо, м/р Университетский
тел.: +(963) 21 267300
e-mail: riyad.198762@gmail.com

Alokla Riyad

Postgraduate, Junior Research Scientist
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
tel.: 8(3952)24-32-80
University of Aleppo
University district, Aleppo, Syria
tel.: +(963) 21 267300
e-mail: riyad.198762@gmail.com

Чувашова Ирина Сергеевна

кандидат геолого-минералогических наук,
доцент
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: 8(3952)24-32-80
старший научный сотрудник
Институт земной коры СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова,

Chuvashova Irina Sergeevna

Candidate of Sciences (Geology and
Mineralogy), Associate Professor
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
tel.: 8(3952)24-32-80
Senior Researcher
Institute of the Earth's Crust, SB RAS

128
тел.: 8(3952)51-16-59
e-mail: chuvashova190684@mail.ru

Рассказов Сергей Васильевич
доктор геолого-минералогических наук,
профессор
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: 8(3952)24-32-80
заведующий
лаборатория изотопии и геохронологии
Институт земной коры СО РАН,
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 128
тел.: 8(3952)51-16-59
e-mail: rassk@crust.irk.ru

Данилова Марина Валерьевна
инженер
Институт земной коры СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 128
тел.: 8(3952)51-16-59
e-mail: maridan@gmail.com

128, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: 8(3952)51-16-59
e-mail: chuvashova190684@mail.ru

Rasskazov Sergey Vasilevich
Doctor of Sciences (Geology and
Mineralogy), Professor
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
tel.: 8(3952)24-32-80
Head
Laboratory of Isotopic and
Geochronological Studies
Institute of the Earth's Crust SB RAS
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: 8(3952)51-16-59
e-mail: rassk@crust.irk.ru

Danilova Marina Valerieva
Engineer
Institute of the Earth's Crust SB RAS
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: 8(3952)51-16-59
e-mail: maridan@gmail.com

Дата поступления: 27.05.2019
Received: May, 27, 2019