



УДК (552.52:551.77):550.8(571.54)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ В ВЕРХНЕКАЙНОЗОЙСКИХ СТРАТОНАХ БАРГУЗИНСКОЙ ДОЛИНЫ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

Р. Алокла^{1,2}, И. С. Чувашова^{1,3}, С. В. Рассказов^{1,3}, А. В. Ощепкова^{1,4}, Т. С. Филева³

¹Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия; ²Университет Алеппо, Алеппо, Сирия; ³Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия; ⁴Институт геохимии имени А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

В южной части Баргузинской долины скважинами вскрыта последовательность отложений верхнеолигоценовой дотанхойской толщи, верхнемиоценовой – нижнеплиоценовой озерной толщи танхойской свиты, верхнеплиоценовой – эоплейстоценовой охристой аллювиальной толщи ановосовской свиты и четвертичных перекрывающих отложений. При физико-химическом моделировании минерального состава в отложениях идентифицированы глинистые минералы. Озерные отложения танхойской свиты характеризуются присутствием индикаторных минералов хлорита и монтмориллонита. В переходном слое и ановосовской свите рассчитан микроклин, в дотанхойском стратоне – биотит и микроклин. Во всех пробах определены кварц, каолинит, группа смектита и гидрослюда. Расчетные данные согласуются с результатами рентгенофазовых исследований пелитовой фракции отложений. Смена состава глинистых минералов от танхойской свиты к ановосовской в Баргузинской долине коррелируется с подобной сменой ассоциации глинистых минералов в 600-метровой скважине BDP-98 Академического хребта Байкальской впадины. Новые данные позволяют обосновать вывод о синхронных процессах осадконакопления и тектонических событиях в Баргузинской долине и центральной Байкальской впадине.

Ключевые слова: глинистые минералы, Баргузинская долина, рентгенофазовый метод, физико-химическое моделирование.

IDENTIFYING CLAY MINERALS FROM UPPER CENOZOIC STRATONS IN BARGUZIN VALLEY OF THE BAIKAL RIFT ZONE

R. Alokla¹, I. S. Chuvashova^{1,2}, S. V. Rasskazov^{1,2}, A. V. Oshchepkova^{1,3}, T. S. Fileva²

¹Irkutsk State University, Irkutsk, Russia; ²Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia; ³A.P.Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

Sedimentary sequence of Upper Oligocene Pre-Tankhoi stratum, Upper Miocene – Lower Pliocene lacustrine stratum of Tankhoi Formation, Upper Pliocene – Eopleistocene ochreous alluvial stratum of Anosovka Formation, and overlapping Quaternary sediments are studied in wells of the southern Barguzin Valley. Clay minerals are identified in the stratigraphic sequence using physicochemical modeling of the mineral compositions. Lacustrine deposits of the Tankhoi Formation are characterized by minerals–indicators chlorite and montmorillonite. A microcline is calculated in a transitional layer and Anosovka Formation, biotite and microcline in Pre-Tankhoi unit. In all samples, quartz, kaolinite, smectite group phases, and hydromica were determined. The calculated data are consistent with the results of X-ray phase studies of pelitic fractions. The compositional change of clay minerals from Tankhoi to Anosovka Formations in Barguzin Valley is correlated with a similar change in clay mineral assemblages revealed by 600-meter BDP-98 well of the Academic Ridge in Baikal Depression.

Keywords: clay minerals, Barguzin Valley, X-ray phase method, physicochemical modeling.

DOI 10.24043/2078-0575-2020-2-68-80

Глинистые минералы широко распространены в верхней осадочной оболочке литосферы. По оценкам разных авторов, они составляют до 11 % всего объема земной коры, около 70 % пород осадочного чехла континентов и 15 % – океанов [8, 14, 23]. Исследование развития процессов в зоне гипергенеза требует изучения показательных геологических ситуаций, в которых происходит новообразование глинистых фаз в зависимости от изменения физико-химических условий среды выветривания и седиментации. Интерес к этим образованиям возрос в связи с ростом возможностей аналитического оборудования и разработкой новых методов исследований [16].

Исследование минерального состава глин в отложениях впадины оз. Байкал началось в 1950-х гг. Сначала комплексом аналитических методов были изучены глинистые минералы в поверхностном слое осадков Южного Байкала, в котором были об-

наружены монтмориллонит, гидрослюда, хлорит и каолинит. Распространение монтмориллонита в отложениях дельты р. Селенга связывалось с поступлением осадка из кор выветривания, развитых в водосборе этой реки [19, 20].

Важные результаты изучения химического и минерального состава отложений были приведены в монографии Г. С. Голдырева [1]. В современном слое осадков определены гидрослюда, монтмориллонит, каолинит, галлузит и хлорит. Обращалось внимание на различную степень изменения гидрослуд в связи с процессами почвообразования в водосборном бассейне. Все глинистые минералы не только в современных, но и в более древних отложениях рассматривались Г. С. Голдыревым как аллотигенные. Устанавливались пространственные связи их разновидностей с конкретными источниками сноса.

В минеральном составе осадков, вскрытых двумя гравитационными трубками на Академическом хребте, среди слоистых силикатов были определены смектит, слюда, хлорит и каолинит [2]. Отмечены различия в ассоциации глинистых минералов диатомовых илов и алевритов в колонках 305 и 333 [21]. Здесь наблюдается корреляция между содержанием смектита и биогенного кремнезема в осадках, что связывалось с образованием смектита в теплые периоды в почвах Байкальского водосборного бассейна. В последние десятилетия появился ряд работ, посвященных поиску климатических сигналов в байкальских осадках по ассоциациям глинистых минералов. Материалом для исследования служили короткие керны и керны глубокого бурения [3, 6, 7, 9, 15, 31, 32].

Литологические исследования, выполненные с использованием новых методов и подходов в изучении глинистых минералов, показали чувствительность глинистых фаз к контрастным вариациям палеоклимата в четвертичных отложениях оз. Байкал и в отложениях современных малых озер его окружения [23, 28, 32]. Более древние донные осадки Байкала (плиоцен и вторая половина верхнего миоцена), вскрытые скважинами, внешне не отличаются от молодых озерных отложений. Между тем разрезы верхнекайнозойских осадочных толщ суходольных впадин расчленены на три свиты: угленосную танхойскую (миоцен – нижний плиоцен), охристую ановскую (верхний плиоцен – эоплейстоцен) и песчаную (четвертичный период) – с лито-

логическими характеристиками, распознаваемыми при геологическом картировании этих стратонов и бурении скважин. Предполагается, что танхойская свита формировалась в условиях влажного теплого климата, ановская – в условиях его умеренной аридизации [10, 11]. Для однозначной идентификации стратонов важно использовать в качестве строгого литологического критерия фазовый состав глинистых минералов, слагающих породы.

Изучению глин из нижнекайнозойских отложений Прибайкалья (о. Ольхон, Западное Приольхонье, Тункинская впадина и Прибайкальский прогиб) была посвящена кандидатская диссертация Т. К. Ломоносовой [12]. Отдельные результаты определения глинистых минералов в верхнекайнозойских отложениях из разрезов суходольных впадин рифтовой зоны и берегов оз. Байкал приведены в работах С. А. Кашика [5] и В. Д. Маца и др. [13]. Характер возрастной смены глинистых минеральных фаз в отложениях сухих долин Байкальской рифтовой зоны все еще не определен.

В настоящей статье идентифицируются минеральные фазы стратонов Баргузинской долины с использованием рентгенофазового анализа и физико-химического моделирования.

Объект исследования

Баргузинская долина находится восточнее оз. Байкал между поднятиями Баргузинского и Икатского горных хребтов и простирается в направлении на северо-северо-восток (рис. 1).

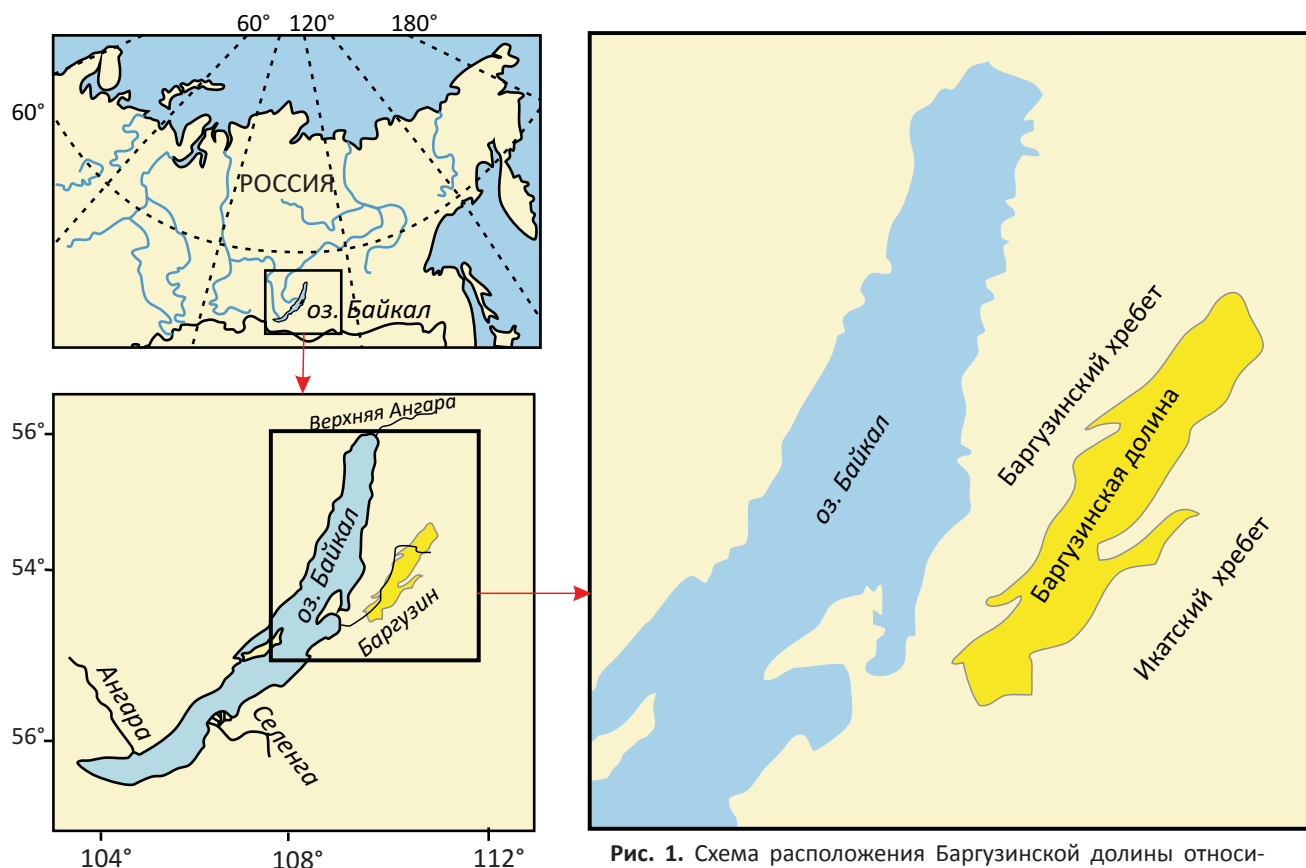


Рис. 1. Схема расположения Баргузинской долины относительно оз. Байкал

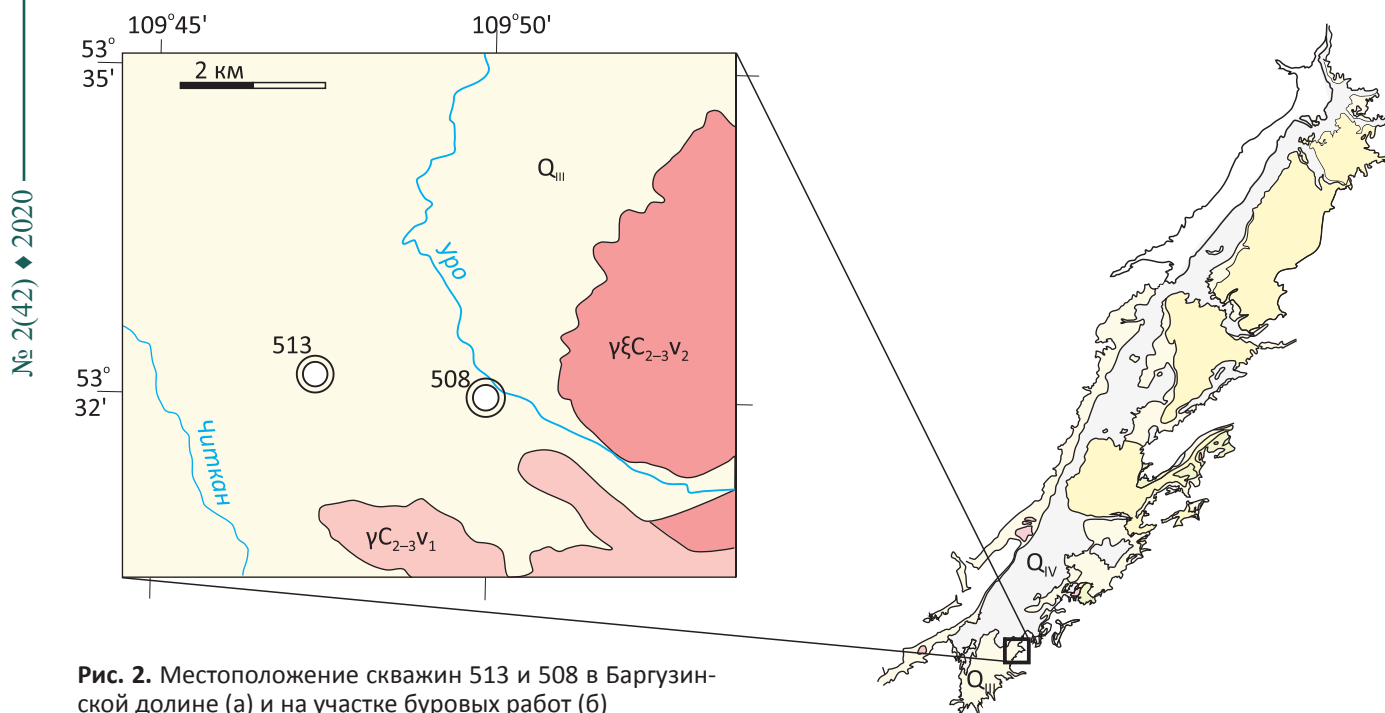


Рис. 2. Местоположение скважин 513 и 508 в Баргузинской долине (а) и на участке буровых работ (б)

Мощность осадочной толщи в долине составляет до 2500 м. Отложения танхойской и ановоской свит в пределах большей части территории перекрыты сплошным покровом четвертичных образований и фрагментарно обнажаются только у подножия Икатского поднятия (дер. Алга, с. Бодон) и на склоне Шаманской перемычки в долине р. Баргузин [24].

Скважинами 513 и 508 вскрыты отложения южной части долины в междуречье Уро и Читкана (рис. 2). Сква. 513 находится на водоразделе, скв. 508 – в долине р. Уро, в 4,5 км восточнее первой.

Глубина скв. 513 составляет 288,5 м (абс. выс. устья 496 м, забоя – 207,5 м). Фундамент не вскрыт. Постепенный переход от танхойской свиты к ановоской задокументирован по изменению цвета отложений от темно-серого к охристому в инт. 183,5–178,0 м (абс. выс. 312,5–318,0 м).

Глубина скв. 508 – 240,8 м (абс. выс. устья 467 м, забоя – 251,2 м). Фундамент вскрыт на гл. 215,8 м. Переход между свитами в инт. 109,0–107,2 м (абс. выс. 357,0–359,8 м) более резкий.

Основное маркирующее значение в разрезе имеет линза однородных темно-серых озерных алевролитов танхойской свиты (пакет 3) (рис. 3). Мощность этой линзы в скв. 508 составляет 65,4 м и увеличивается до 87,3 м в скв. 513.

Озерную линзу в скв. 508 подстилает 9-метровый слой охристых песчаников (пакет 2). Ниже вскрыт 28-метровый слой серых крупнозернистых песчаников (пакет 1). По створкам диатомовых водорослей озерная линза датируется верхним миоценом. По составу спор и пыльцы подстилающие охристые отложения относятся к верхнему олигоцену [18]. В скв. 513 слои серых крупнозернистых песчаников, частично переслаиваются с алевролитами, их окраска не отличается от серых озерных алевро-

литов. Отсутствие данных по нижней части разреза скв. 513 оставляет неясным вопрос о наличии под этой линзой отложений верхнего олигоцена.

Территория скв. 508 испытывала поднятие относительно скв. 513, что привело к выпадению из разреза нижней угленосной толщи танхойской свиты. В скв. 508 наблюдается сокращенная относительно скв. 513 мощность слоев танхойской свиты. Подобная тенденция выявляется и в вышележащей ановоской свите. В составе этого стратона в обеих скважинах выделено по четыре литологических пакета. В скв. 508 мощность литологически однородных пакетов ановоской свиты составляет 8–21 м, в скв. 513 – 9–73 м. Пакеты 1–3 коррелируются по цветовым характеристикам; финальные пакеты 4 резко различаются: в скв. 508 он сильно обогащен лимонитом, в скв. 513 такого не наблюдается.

Мощность перекрывающих четвертичных пролювиальных отложений в скв. 508 на 24 м больше, чем в скв. 513. Принимая во внимание 29-метровое превышение водораздела рек Читкан и Уро (устье скв. 513) относительно днища долины последней (устье скв. 508), увеличение мощности четвертичного обломочного материала в долине р. Уро свидетельствует об относительном четвертичном тектоническом опускании территории этой долины более чем на 50 м. Из выявленных соотношений мощностей разновозрастных осадочных отложений в скважинах следует вывод о согласованном накоплении пакетов танхойской и ановоской свит и о резкой структурной перестройке в финале накопления ановоской свиты.

Аналитические методы

Аналитические исследования осадочных отложений проводились в Институте земной коры

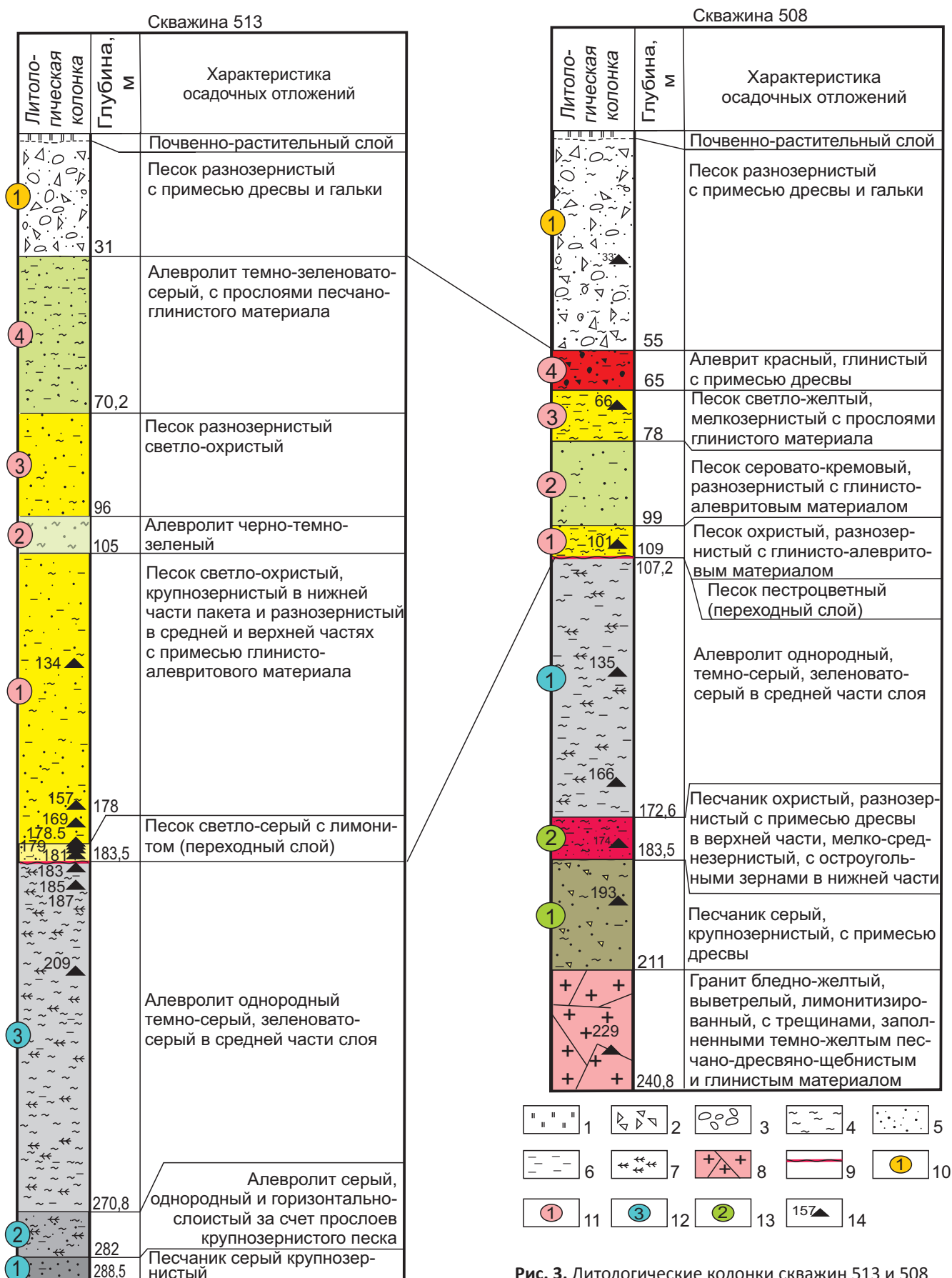


Рис. 3. Литологические колонки скважин 513 и 508

1 – почвенно-растительный слой; 2 – дресва; 3 – гальки; 4 – алевриты; 5 – песок разнородный; 6 – глины; 7 – органика; 8 – гранит; 9 – переходный слой от танхойской свиты к ановской; номера пакетов: 10 – четвертичных отложений, 11 – ановской свиты, 12 – танхойской свиты, 13 – дотанхойской толщи; 14 – номера образцов, отобранных на рентгеновские исследования состава глин

СО РАН. Содержания петрогенных оксидов определены методом «мокрой химии» для 86 образцов.

Определения глинистых минералов выполнены рентгенофазовым анализом для 20 образцов. Ориентированные препараты плотностью 20 мг/см³ готовились из нефракционированных проб нанесением водной суспензии на стеклянную подложку (2,5×2,5 см) и высушиванием при комнатной температуре. Препараты для моделирования дифракционных профилей помещались в бокс и насыщались этиленгликолем в течение суток. Съемка образцов выполнялась на автоматизированном дифрактометре ДРОН–3.0 (источники рентгеновского излучения – Cu K α рентгеновские трубки с анодами из меди, группы линий L, заряжены альфа-положительно, Ni – никелевый фильтр, излучаемая энергия или напряжение V 25 кВ, интенсивность отражений I 20 мА, интервал углов отражения 2 θ 3–55°, скорость измерения 1°/мин). Образцы для измерений готовились в виде порошка (истиранием в спирте до состояния пудры) и в виде ориентированных препаратов (истиранием резиновым пестиком в дистиллированной воде, осаждение суспензии на стекло и высушивание при комнатной температуре). Рентгеновская съемка проводилась в препаратах: 1) подготовленных в исходном воздушно-сухом состоянии (BC), 2) предварительно насыщенных этиленгликолем (ЭГ), 3) прокаленных в муфельной печи в течение 3 ч при температуре 550 °C (Т).

Количественное распределение глинистых фаз в отложениях рассчитывалось по химическому составу образцов методом физико-химического моделирования на программном комплексе «Селектор» [4, 26]. Этот метод был опробован при изучении донных отложений оз. Байкал [15].

В расчете минеральных фаз учитывалось присутствие свободной воды непосредственно в осадке и количественная компенсация растворенными в воде ионами элементов, которые находятся в межслоевых промежутках глин и не могут быть учтены при записи стехиометрических формул. Для этого в расчете к потерям при прокаливании (п. п. п.) дополнительно прибавлялся 0,1 моль H₂O (1,8 г).

Термодинамическое моделирование позволяет использовать для расчета реальный, а не нормативный состав глинистых минералов в виде модели твердых растворов. Описание смешанослойных глинистых минералов при помощи списка минералов приведено в работе [33]. При формировании модели подбирались вероятные минеральные фазы исходя из геологического строения территории и результатов рентгенофазового анализа осадочных отложений Баргузинской долины. В расчеты включены 248 зависимых компонентов, в том числе 63 – водного раствора, 185 – твердых фаз. В расчете минерального состава использованы модели твердых растворов иллитов, монтмориллонитов, хлоритов и полевых шпатов, термо-

динамические свойства которых взяты из работ [25, 27, 30, 33–36].

Результаты и их обсуждение

Химический состав отложений

Смена стратонов в разрезе отражена в изменении содержаний петрогенных оксидов осадочных отложений (табл. 1, 2).

Переход от сероцветных озерных отложений танхойской свиты к охристым аллювиальным отложениям аносовской свиты в обеих скважинах отчетливо фиксируется по возрастанию Fe₂O₃/FeO от 1,0–3,2 до 3–44. Такая же смена сероцветных озерных отложений танхойской свиты охристыми отложениями аносовской с переходным граничным значением Fe₂O₃/FeO была определена в последовательности этих свит разреза Бодон центральной части Баргузинской долины [17, 29]. Для озерных отложений танхойской свиты характерны сравнительно низкие содержания SiO₂, Al₂O₃ и FeO. В аллювиальных отложениях аносовской свиты определены более значительные вариации этих оксидов с повышением корреляции содержаний MgO и CaO: в аносовской свите коэффициент корреляции R = 0,98, в танхойской R = 0,72.

Рентгенофазовый анализ

Для определения минерального состава отложений рентгенофазовым методом выбраны реперные образцы. В скв. 513 сделан акцент на изучении перехода от танхойской свиты к аносовской. Из десяти изученных образцов три представляют озерную часть танхойской свиты, три – аносовскую и четыре – переходный слой между ними. В скв. 508 исследованиями восьми образцов охвачены все вскрытые литологические пакеты. Отобран образец глины из трещины в гранитах фундамента, по одному образцу – из двух дотанхойских пакетов, два образца – из отложений танхойской свиты, два – из аносовской свиты и один – из четвертичных отложений.

На рис. 4 приведены результаты съемки порошкового препарата образца 513/157. Лента самописца фиксирует кривую зависимости интенсивности дифракционной картины от угла отражения 2 θ . Первичная информация о состоянии вещества получается из внешнего вида рентгеновских спектров. Однородный по параметрам решетки кристаллический материал дает узкие и высокие дифракционные пики, а неоднородный плохо кристаллизованный – широкие и низкие. Такие результаты получаются для осадков, содержащих смешанослойные глинистые минералы.

Для достоверной идентификации минеральных фаз проведена рентгеновская съемка трех препаратов одного и того же образца, подготовленных различными способами (рис. 5). Каждый минерал дает одинаковый дифракционный спектр, характеризующийся набором межплоскостных расстояний d(hkl) и соответствующих ин-

Таблица 1

Содержания петрогенных оксидов (мас. %) в представительных образцах скв. 513

Глубина, м	Аносовская свита			Переходный слой				Танхойская свита		
	134	157	169	178.5	179	181	183	185	187	209
SiO ₂	66,49	57,27	59,90	60,54	58,85	60,73	55,50	51,39	56,29	53,24
TiO ₂	0,49	1,11	0,56	0,70	0,77	0,73	0,90	0,99	1,00	0,85
Al ₂ O ₃	17,30	22,54	15,43	18,07	18,48	18,59	18,97	18,07	16,35	18,28
Fe ₂ O ₃	1,74	2,17	8,05	3,62	3,32	2,47	2,44	3,79	3,24	4,57
FeO	0,45	0,60	1,11	1,57	1,91	1,59	3,22	4,25	3,27	2,95
MnO	0,06	0,02	0,06	0,07	0,06	0,06	0,10	0,10	0,08	0,11
MgO	0,65	1,10	1,51	1,72	1,91	1,47	2,12	1,58	1,48	1,74
CaO	1,64	1,85	2,10	2,59	2,65	3,17	2,68	1,74	1,57	1,72
Na ₂ O	2,63	2,13	2,77	3,31	3,36	3,65	2,87	1,68	1,67	1,93
K ₂ O	5,00	2,55	4,33	4,04	3,99	3,72	3,02	1,79	1,67	1,93
P ₂ O ₅	0,08	0,20	0,13	0,11	0,23	0,23	0,21	0,17	0,13	0,17
H ₂ O ⁻	0,58	1,92	0,92	0,51	0,32	0,40	0,65	1,70	1,67	1,74
H ₂ O ⁺	2,96	6,62	3,35	3,15	3,68	2,87	6,05	11,18	10,75	10,66
CO ₂	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,84	1,40	0,83	0,34
Сумма	100	100	100	100	100	100	99,57	99,82	99,99	100,2

Примечания. Н.о. – не обнаружено. Танхойский и аносовский стратониты, первоначально выделенные как угленосная и охристая свиты [10], утверждены на Третьем Межведомственном региональном стратиграфическом совещании [22].

Таблица 2

Содержания петрогенных оксидов (мас. %) в представительных образцах скв. 508

Глубина, м	Аносовская свита				Переходный слой		Танхойская свита			
	57	66	80	101	107.5	109	111	120	140	169
SiO ₂	56,98	69,76	47,79	59,28	77,25	48,12	48,00	53,64	53,99	52,61
TiO ₂	0,50	0,51	0,56	0,80	0,11	1,09	0,97	0,80	0,72	0,87
Al ₂ O ₃	16,72	16,73	18,69	20,07	11,73	15,90	18,48	18,33	21,48	20,38
Fe ₂ O ₃	5,62	0,94	17,07	3,82	1,25	13,50	6,72	4,28	3,54	4,99
FeO	0,35	0,12	0,39	0,35	0,25	0,39	3,92	3,42	2,19	1,56
MnO	0,14	0,01	0,02	0,03	0,03	2,57	0,12	0,15	0,07	0,04
MgO	1,84	0,23	0,48	1,19	0,21	1,81	2,89	2,20	1,47	1,90
CaO	3,72	0,88	0,67	2,18	0,74	2,19	2,24	2,53	1,27	2,01
Na ₂ O	1,01	2,83	1,62	2,98	1,77	2,21	2,41	2,64	1,51	2,11
K ₂ O	2,97	5,02	2,93	3,62	5,78	2,46	2,93	2,85	2,63	2,47
P ₂ O ₅	0,12	0,06	0,37	0,32	0,06	0,82	0,15	0,17	0,34	0,15
H ₂ O ⁻	1,91	0,25	1,31	0,94	0,05	1,51	0,47	0,26	0,02	1,14
H ₂ O ⁺	8,05	2,54	7,74	4,39	0,94	6,88	3,35	2,27	0,82	9,32
CO ₂	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,56	0,43	0,21	Н.о.
Сумма	99,93	99,88	99,64	99,97	100,2	99,45	93,21	93,97	90,26	99,55

Примечание. Н.о. — не обнаружено.

тенсивностей линий I(hkl), что дает возможность определения минерального состава образца [23]. К примеру, пик на графике ВС (7,2218) соответствует каолиниту. Этот минерал фиксируется высоким пиком и на графике ЭГ и отсутствует на графике Т, поскольку при прокаливании каолинит разрушается. В результате расшифровки дифрактограммы получен фазовый состав образца: каолинит, смектит (возможно две модификации), гидрослюда (с разбухающими смектитовыми пакетами), полевой шпат и кварц.

По результатам рентгенофазовых исследований отложений скв. 513 выявлены вариации минерального состава по разрезу. Во всех изученных пробах идентифицированы обломочные минералы (альбит, кварц, глинистые минералы: каолинит, смектит и гидрослюда). Микроклин определен только в отложениях переходного слоя и вышележащих отложениях аносовской свиты. Его отсутствие в отложениях танхойской свиты свидетельствует о повышенной степени выветривания пород в источнике сноса. В пелитовой фракции танхойской свиты содержатся хлорит

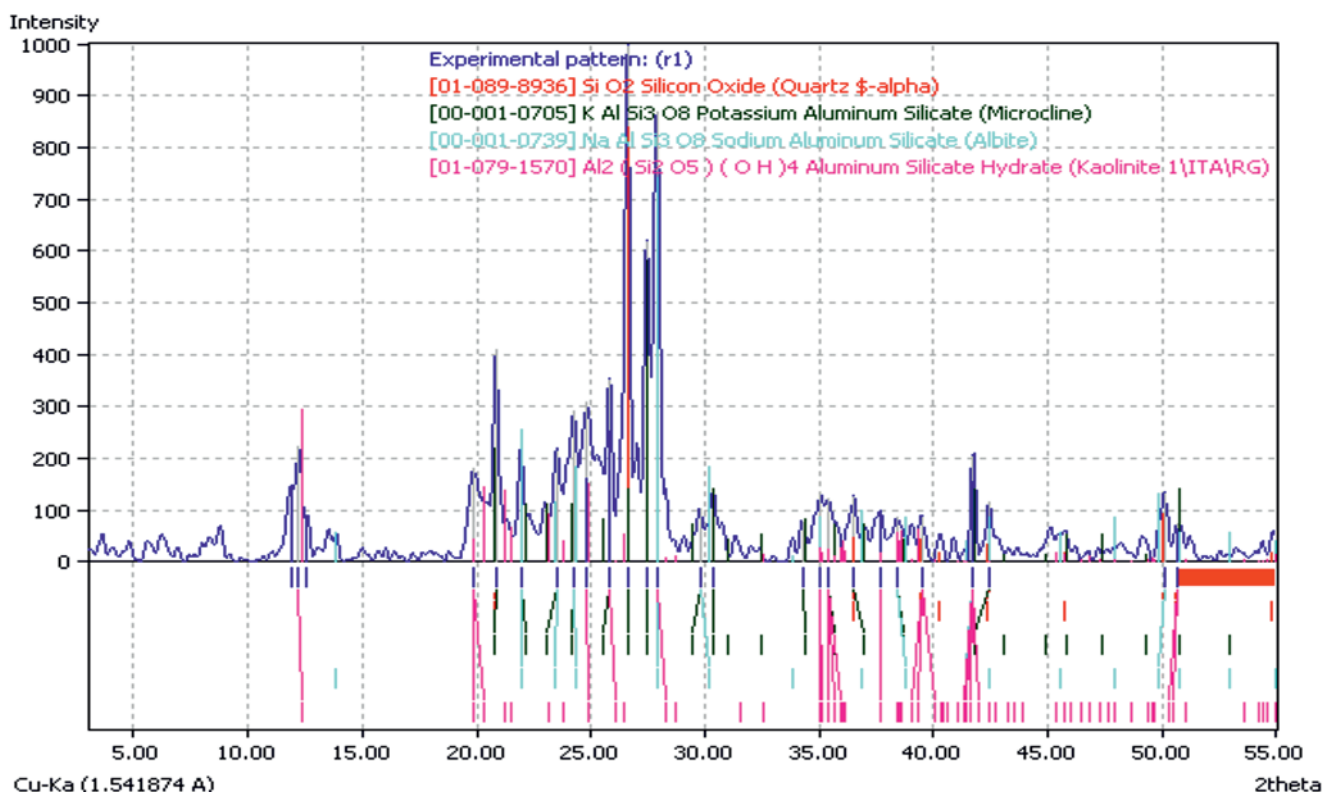


Рис. 4. Результаты съемки порошкового препарата на дифрактограмме образца 513/157

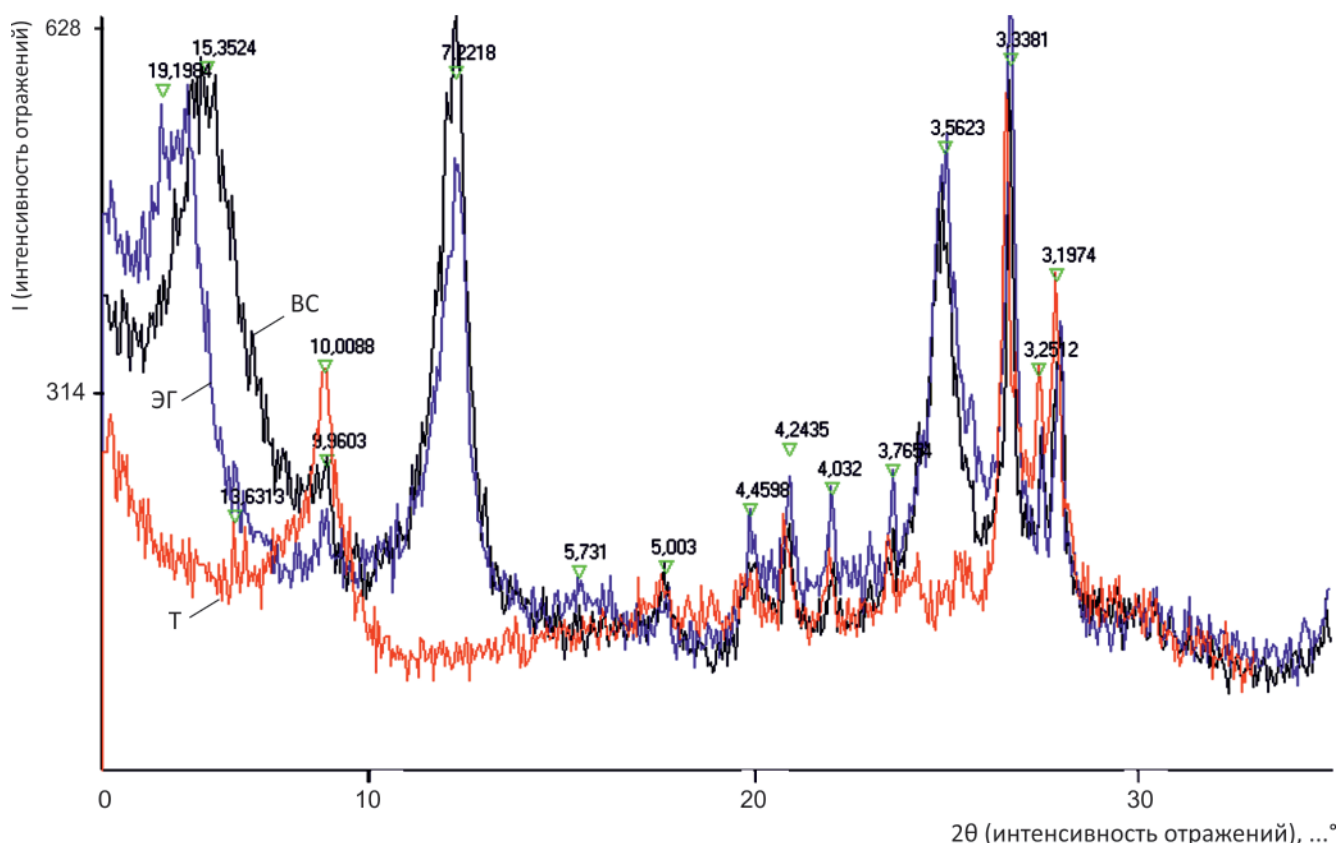


Рис. 5. Дифрактограмма ориентированного препарата образца 513/157 (BC – воздушно-сухой препарат, ЭГ – препарат насыщен этиленгликолем, Т – препарат прокален в муфельной печи)

и монтмориллонит, не характерные ни для аносос-ской свиты, ни для переходного слоя. В пелитовой фракции переходного слоя и анососской свиты имеются смешанослойные глинистые минералы, не выявленные в нижележащей танхойской свите (рис. 6).

Во всех пробах скв. 508 также присутствуют кварц и альбит, глинистые – каолинит, смектит и гидрослюда (рис. 7). Микроклин не идентифицирован. В пелитовой фракции дотанхойских верхнеолигоценых охристых отложений пакета

2 содержится гетит, не типичный для других слоев разреза; в пелитовой фракции переходного слоя и ановоской свиты – смешанослойные глинистые минералы, не обнаруженные в нижележащих отложениях.

Минеральный состав отложений переходного слоя маркирует смену условий осадконакопления от танхойского времени к ановоскому. По составу глинистых минералов переходный слой сопоставляется с ановоской свитой.

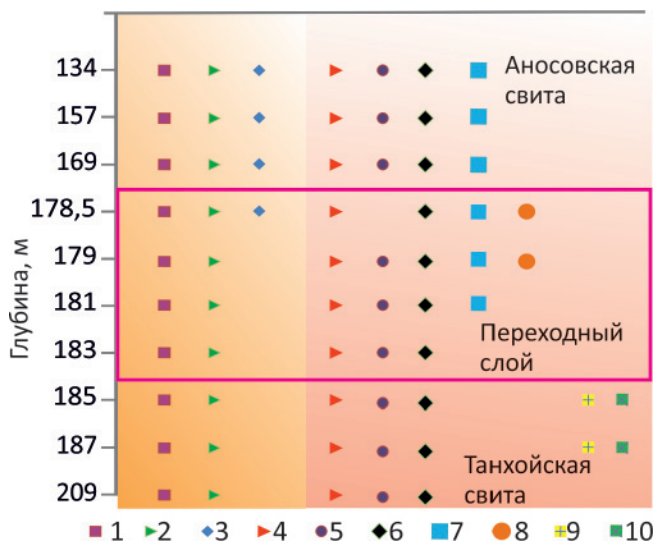


Рис. 6. Минеральный состав представительных проб скв. 513 в инт. 134–209 м по данным рентгенофазовых исследований (в трех пробах идентифицирована гидрослюда – иллит)

1 – альбит; 2 – кварц; 3 – микроклин; 4 – каолинит; 5 – смектит; 6 – гидрослюда; 7 – смешанослойные глинистые минералы; 8 – иллит; 9 – монтмориллонит; 10 – хлорит

Результаты рентгенофазового исследования свидетельствуют о распространении в танхойской свите хлорита и монтмориллонита, в ановоской свите и переходном слое – микроклина и смешанослойных глинистых минералов, не присущих танхойской свите. Во всех пробах идентифицированы обломочные (кварц) и глинистые минералы (каолинит, смектит и гидрослюда).

Физико-химическое моделирование минерального состава

Результаты расчета минерального состава отложений в разрезах скв. 513 и 508 методом физико-химического моделирования (ФХМ) на ПК (программный комплекс) «Селектор» представлены на рис. 8, 9.

По результатам моделирования во всех пробах отложений скв. 513 идентифицирован кварц. В танхойской свите определены иллит (более 25 вес. %), хлорит и монтмориллонит, в ановоской свите и переходном слое – микроклин и биотит, не свойственные танхойской свите. Мусковит входит в состав отложений танхойской свиты в небольших

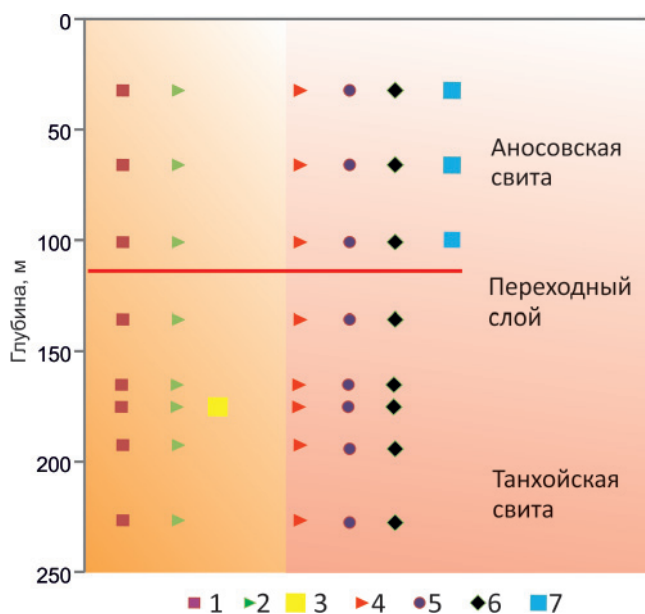


Рис. 7. Минеральный состав представительных проб скв. 508 в инт. 33–229 м по данным рентгенофазовых исследований

1 – микроклин; 2 – кварц; 3 – гетит; 4 – каолинит; 5 – смектит; 6 – гидрослюда; 7 – смешанослойные глинистые минералы

количествах (до 18 %), а в вышележащих его содержание от 18 до 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, ановоской 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, ановоской свиты, четвертичных отложений) характерно присутствие биотита и микроклина (за исключением четвертичных отложений). Данные минералы по данным ФХМ 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 ановоской свите. Относительное распределение кварца коррелируется с распределением микроклина, биотита и мусковита, что в целом отражает повышение роли обломочного материала в нижней (дотанхойской) и верхней (ановоской, 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 рентгенофазовых исследований пелитовой фракции отложений. Для озерной толщи танхойской свиты получены несколько отличающиеся ассоциации минеральных фаз, что, по-видимому, отражает накопление осад-

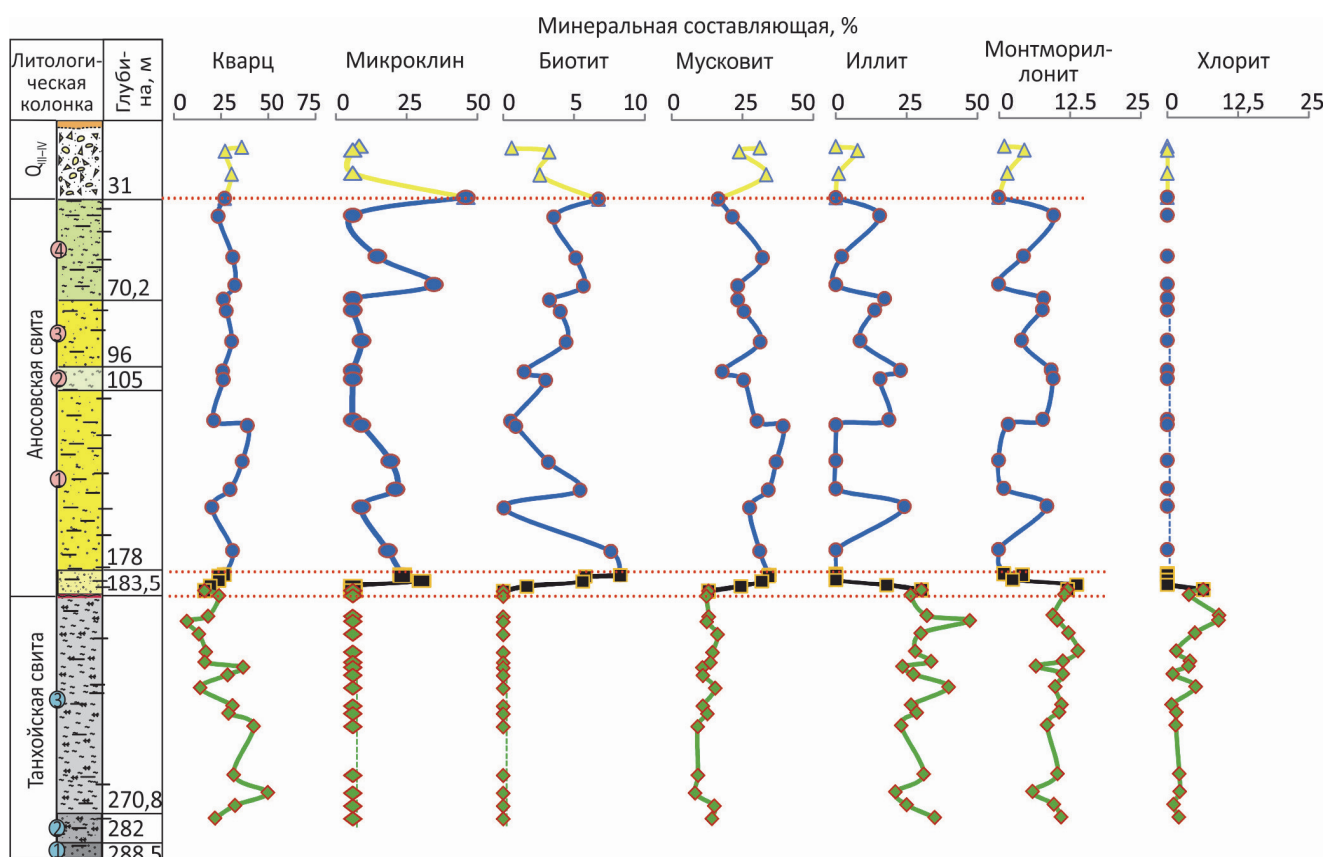


Рис. 8. Минеральный состав отложений в разрезе скв. 513 по данным ФХМ с глубиной
Усл. обозн. см. на рис. 3

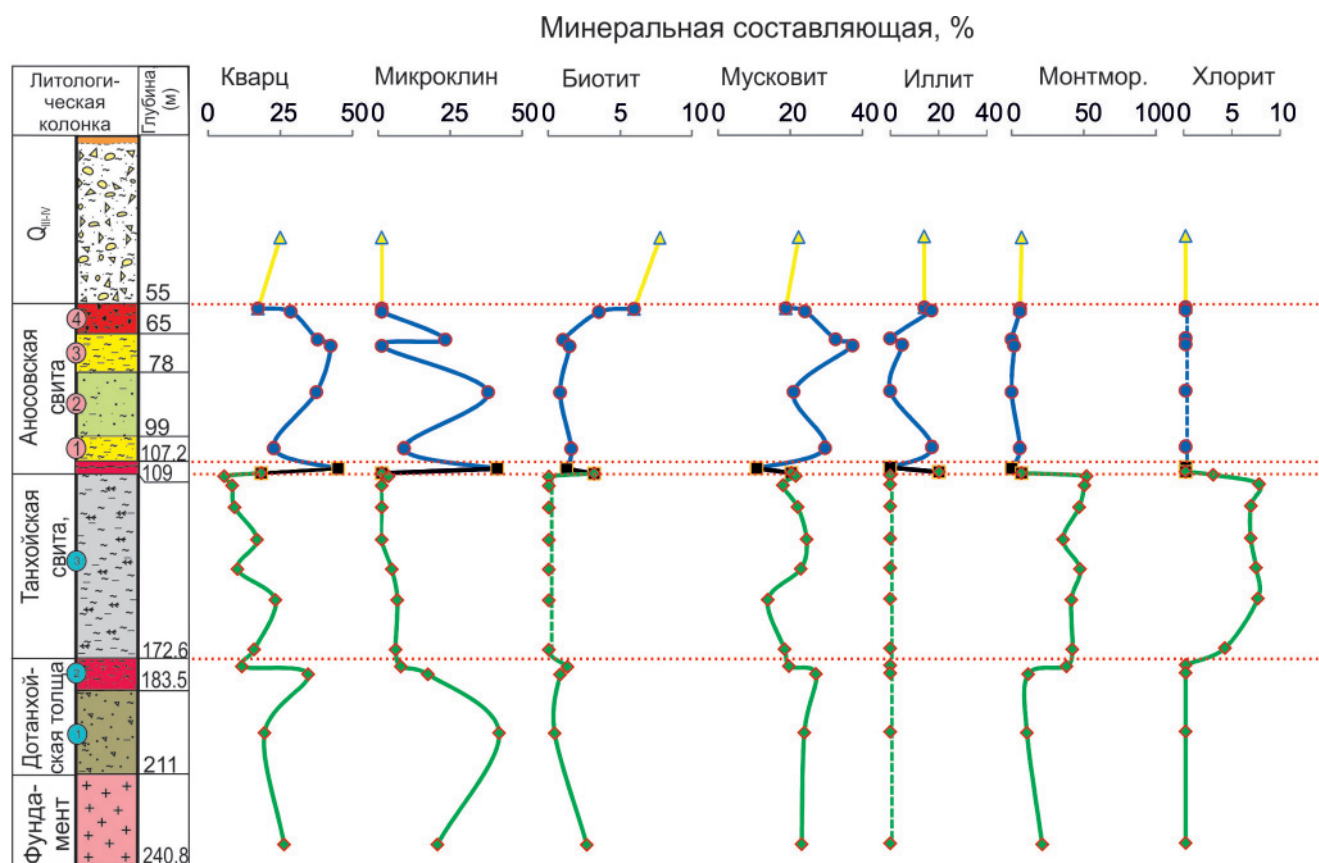


Рис. 9. Минеральный состав отложений в разрезе скв. 508 по данным ФХМ с глубиной
Усл. обозн. см. на рис. 3



ков 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 межвпадинных перемычках, вскрывают осадки, отличающиеся по составу глинистой фракции от осадков глубоких частей озера.

Корреляция с донными отложениями оз. Байкал

Отложения Академического хребта, вскрытые 600-метровой скв. BDP-98, рассматриваются как отложения аванделлы р. Пра-Баргузин [6]. В глинистой фракции донных отложений нижней части разреза (203–600 м) идентифицированы хлорит и гиббсит в ассоциации с гидрослюдой (иллитом). Высокое содержание в верхнемиоценовых осадках оз. Байкал гидрослюды, смектита и хлорита связывались с формированием осадков в сравнительно теплых климатических условиях позднего миоцена. Вхождение слюды и полевых шпатов в верхней части разреза было сопряжено с плиоценовым переходом от умеренного климата к умеренно-холодному.

Расчетные данные о минеральном составе отложений танхойской свиты Баргузинской долины, согласующиеся с результатами рентгенометрического анализа, свидетельствуют о присутствии хлорита в озерных отложениях танхойской свиты при отсутствии гиббсита. Распространение хлорита коррелируется с его распространением в синхронных донных отложениях Академического хребта. В отличие от монотонной глубоководной седиментации в оз. Байкал смена глинистых фаз в изученном разрезе Баргузинской долины обозначила аридизацию климата, запечатленную литологическим переходом от сероцветных озерных отложений танхойской свиты к красноцветным аллювиальным образованиям аносовской свиты.

Выводы

В южной части Баргузинской долины скважинами вскрыта последовательность дотанхойских отложений верхнего олигоцена, озерных отложений танхойской свиты верхнего 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 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ от 1,0–3,2 до 3–44.

Из анализа соотношений мощностей разновозрастных литологических пакетов в скважинах 508 и 513 следует вывод о согласованном накоплении танхойской и аносовской свит и о резкой структурной перестройке территории в финале накопления последней. Определения вариаций минералов осадочных отложений Баргузинской долины методом физико-химического моделирования показали относительное распространение кварца, коррелиру-

ющееся с таковым микроклина, биотита и мусковита, что свидетельствует о возрастании содержания обломочного материала в нижней (дотанхойской) и верхней (аносовской, четвертичной) частях разреза и снижении – в средней (танхойской). Озерные отложения танхойской свиты разной мощности, вскрытые скважин 508 и 513, показали несколько различающиеся ассоциации глинистых фаз, что объясняется сменой условий седиментации на поднятом и опущенном дне палеозера.

Из результатов физико-химических расчетов следует, что для озерных отложений танхойской свиты характерны хлорит и монтмориллонит. Выше и ниже по разрезу эти минеральные фазы не идентифицированы. В верхней части разреза присутствует биотит, не свойственный танхойской свите. В переходном слое и аносовской свите идентифицирован микроклин. Для дотанхойских отложений по данным ФХМ рассчитаны биотит и микроклин. Содержание мусковита в танхойской свите невелико и относительно возрастает в дотанхойских отложениях и в аносовской свите.

При рентгенофазовых исследованиях во всех пробах определены кварц, каолинит, фазы минералов группы смектита и гидрослюд. В озерных отложениях танхойской свиты выделены хлорит и монтмориллонит, но не обнаружены микроклин и смешанослойные глинистые минералы, характерные для отложений переходного слоя и аносовской свиты. Результаты рентгенофазовых исследований пелитовой фракции отложений согласуются с расчетными данными физико-химического моделирования минеральных фаз.

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 – снижением роли хлорита и исчезновением гиббсита.

Скважины 513 и 508 пройдены в Баргузинской долине в 2012 г. филиалом «Сосновгеология» ФГУПП «Урангеологоразведка». Керн опробовался в 2013 г. Авторы благодарят А. Ю. Федина, В. Л. Коломийца, Р. Ц. Будаева и М. В. Усольцеву за помощь в его документации. Осадочный материал обрабатывался в совместной лаборатории современных методов исследования в динамической и инженерной геологии ИГУ и ИЗК СО РАН в рамках выполнения госзадания по проекту Института земной коры № 0346-2016-0005 и геологического факультета ИГУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Голдырев Г. С.** Осадкообразование и четвертичная история озера Байкал. – Новосибирск: Наука, 1982. – 182 с.
2. **Дейк Р., Вебстер Д., Каллендер Э.** Изменение осадков и аутигенная минералогия по колон-

кам 307Р, 307 А–3 на Академическом хребте озера Байкал // Геология и геофизика. – 1993. – Т. 34, № 10–11. – С. 160–173.

3. **Глинистые** минералы как индикатор химических процессов в водосборе озера Байкал при глобальных изменениях природной среды и климата / Э. П. Солотчина, Т. Е. Горелик, А. А. Прокопенко и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – 1999. – Т. 7, № 5. – С. 585–591.

4. **Карпов И. К.** Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии. – Новосибирск: Наука, 1981. – 247 с.

5. **Кашик С. А.** Определение минерального состава породы по валовому химическому анализу // Сов. геология. – 1973. – № 10. – С. 144–147.

6. **Кашик С. А., Ломоносова Т. К.** Кайнозойские отложения подводного Академического хребта в озере Байкал // Литология и полезные ископаемые. – 2006. – № 4. – С. 339–353.

7. **Кашик С. А., Мазиллов В. Н.** Литология четвертичных отложений в разрезе глубокой скважины в акватории озера Байкал // Литология и полезные ископаемые. – 1997. – № 5. – С. 484–491.

8. **Котельников Д. Д., Конюхов А. И.** Глинистые минералы осадочных пород. – М.: Недра, 1986. – 247 с.

9. **Кузьмин М. И., Солотчина Э. П., Василевский А. Н.** Глинистые минералы донных осадков озера Байкал как индикатор палеоклимата // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41, № 10. – С. 1347–1359.

10. **Логачев Н. А.** Кайнозойские континентальные отложения впадин байкальского типа // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1958. – № 4. – С. 18–20.

11. **Логачев Н. А.** Саяно-Байкальское становое нагорье // Нагорья Прибайкалья и Забайкалья. – М.: Наука, 1974. – С. 7–163.

12. **Ломоносова Т. К.** Минералогия и генезис глин раннекайнозойских отложений Прибайкалья: автореф. дис. ... к. г.-м. н. – Иркутск: Изд-во ун-та, 1972. – 23 с.

13. **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.

14. **Милло Ж.** Геология глин. – Л.: Недра, 1968. – 359 с.

15. **Модели** твердых растворов для расчета минерального состава донных осадков озера Байкал: новый подход к палеоклиматическим реконструкциям / А. В. Ощепкова, М. И. Кузьмин, В. А. Бычинский и др. // Докл. РАН. – 2015. – Т. 461, № 4. – С. 447–450.

16. **Осипов В. И., Соколов В. Н.** Глины и их свойства. – М.: ГЕОС, 2013. – 576 с.

17. **Пирокластика** как показатель поднятия Икатского хребта относительно Баргузинской впадины Байкальской рифтовой зоны / С. В. Рассказов, И. С. Чувашова, Т. А. Ясныгина и др. // География и природные ресурсы. – 2016. – № 5. – С. 117–127.

18. **Рассказов С. В., Трегуб Т. Ф., Волков М. А.** Палинологическая характеристика аллювиальных толщ долины реки Баргузин (Республика Бурятия) // Вест. ВГУ. Сер. Геология. – 2019. – № 2. – С. 150–152.

19. **Ратеев М. А.** Глинистые минералы в донных осадках современных водоемов // Образование осадков в современных водоемах. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – С. 339–371.

20. **Ратеев М. А.** Закономерности размещения и генезис глинистых минералов в современных и древних морских бассейнах. – М.: Наука, 1964. – 273 с.

21. **Результаты** бурения первой скважины на озере Байкал в районе Бугульдейской перемычки / Д. Вильямс, М. С. Грачев, Т. Каваи и др. // Геология и геофизика. – 1995. – Т. 36, № 2. – С. 2–32.

22. **Решения** Третьего межведомственного регионального стратиграфического совещания по мезозою и кайнозою Средней Сибири. – Новосибирск: Наука, 1981. – 91 с.

23. **Солотчина Э. П.** Структурный типоморфизм глинистых минералов осадочных разрезов и кор выветривания. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2009. – 234 с.

24. **Соотношение** древней и кайнозойской структур в Байкальской рифтовой зоне / С. М. Зама-раев, Е. П. Васильев, А. М. Мазукабзов и др. – Новосибирск: Наука, 1979. – 130 с.

25. **Термохимическое** изучение природного монтмориллонита / Л. П. Огородова, И. А. Киселева, Л. В. Мельчакова и др. // Геохимия. – 2013. – № 6. – С. 541–551.

26. **Чудненко К. В.** Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2010. – 287 с.

27. **Berman R. G.** Internally-consistent thermodynamic data for minerals in the system $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{TiO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ // Journal of Petrology. – 1988. – Vol. 29. – P. 445–552.

28. **Climate** signals in sediment mineralogy of Lake Baikal and Lake Hovsgol during the LGM-Holocene transition and the 1-Ma carbonate record from the HDP-04 drill core / E. P. Solotchina, A. A. Prokopenko, M. I. Kuzmin, et al. // Quaternary International. – 2009. – Vol. 205. – P. 38–52.

29. **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, et al. // Quaternary International. – 2019. – Without number. – P. 1–7.

30. **Helgeson H. C.** Thermodynamics of minerals, reactions, and aqueous solutions at high pressures and temperatures // Amer. Journ. of Science. – 1985. – Vol. 285(9). – P. 845–855.

31. **Late** Pliocene sedimentation in lake Baikal: implications for climatic and tectonic change in SE Si-



beria / J. Muller, H. Oberhansli, M. Melles, et al. // *Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology*. – 2001. – Vol. 174. – P. 305–326.

32. **Late** Quaternary clay mineral record in Central Lake Baikal (Academician Ridge, Siberia) // N. Fagel, T. Boski, L. Likhoshway, H. Oberhaensli // *Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology*. – 2003. – Vol. 193. – P. 331–363.

33. **Ransom B., Helgeson G.** Compositional end members and thermodynamic components of illite and dioctahedral aluminous smectite solid solutions // *Clays and Clay minerals*. – 1993. – Vol. 41, no. 5. – P. 537–550.

34. **Thermodynamic** properties of illite, smectite and beidellite by calorimetric methods: Enthalpies of formation, heat capacities, entropies and Gibbs free energies of formation / H. Gailhanou, P. Blanc, J. Rogez, et al. // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. – 2012. – No. 89. – P. 279–301.

35. **Wolery T. J., Jove-Colon C. F.** Qualification of thermodynamic data for geochemical modeling of mineral–water interactions in dilute systems // Office of Scientific Technical Information Technical Reports. – 2004. – November. – P. 117–212

36. **Yokokawa H.** Tables of thermodynamic functions for inorganic compounds // J. National chemical laboratory for industry. – 1988. – Vol. 83. – P. 27–121.

REFERENCES

1. Goldyrev G.S. *Osadkoobrazovaniye i chetvertichnaya istoriya ozera Baykal* [Sedimentation and Quaternary history of Lake Baikal]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1982. 182 p. (In Russ.).

2. Deyk R., Webster D., Kallender E. [Change in precipitation and authigenic mineralogy in columns 307 P, 307 A – 3 on the Academic Ridge of Lake Baikal]. *Geologiya i geofizika*, 1993, vol. 34, no. 10–11, pp. 160–173. (In Russ.).

3. Solotchina E.P., Gorelik T.E., Prokopenko A.A., et al. [Clay minerals as an indicator of chemical processes in the catchment of Lake Baikal with global changes in the environment and climate]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*, 1999, vol. 7, no. 5. pp. 585–591. (In Russ.).

4. Karpov I.K. *Fiziko-khimicheskoye modelirovaniye na EVM v geokhimi*. [Physicochemical modeling on a computer in geochemistry]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1981. 247 p. (In Russ.).

5. Kashik S.A. [Determination of the mineral composition of the rock by gross chemical analysis]. *Sovetskaya geologiya*, 1973, no. 10, pp. 144–147. (In Russ.).

6. Kashik S.A., Lomonosova T.K. Cenozoic deposits of the underwater Academic Range in Lake Baikal. *Litologiya i poleznyye iskopayemye – Lithology and Mineral Resources*, 2006, no. 4. pp. 303–316.

7. Kashik S.A., Mazilov V.N. [Lithology of Quaternary sediments in the context of a deep well in the water area of Lake Baikal]. *Litologiya i poleznyye iskopay-*

emye – Lithology and Mineral Resources, 1997, no. 5. pp. 484–491. (In Russ.).

8. Kotelnikov D.D., Konyukhov A.I. *Glinistyye mineraly osadochnykh porod*. [Clay minerals of sedimentary rocks]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 247 p. (In Russ.).

9. Kuzmin M.I., Solotchina E.P., Vasilevskiy A.N. [Clay minerals of bottom sediments of Lake Baikal as indicator of paleoclimate]. *Geologiya i geofizika*, 2000, vol. 41, no. 10, pp. 1347–1359. (In Russ.).

10. Logachev N.A. [Cenozoic Continental Deposits of Baikal-type Basins]. *Izvestiya AN SSSR. Ser. geol.*, 1958, no. 4, pp. 18–20. (In Russ.).

11. Logachev N.A. [Sayano-Baikal highland]. *Nagorya Pribaykalya i Zabaykalya* [Highlands of Baikal and Transbaikalia]. Moscow, Nauka Publ., 1974, pp. 7–163. (In Russ.).

12. Lomonosova T.K. *Mineralogiya i genezis glin rannekaynozoyevskikh otlozheniy Pribaykalya. Avtoref. kand. dis.* [Mineralogy and clay genesis of the Early Cenozoic sediments of the Baikal region. Author's abstract of PhD thesis]. Irkutsk, 1972. 23 p. (In Russ.).

13. Matz V.D., Ufimtsev G.F., Mandelbaum M.M. *Kaynozoy Baykalskoy riftovoy vpadiny: stroyeniye i geologicheskaya istoriya* [Cenozoic of the Baikal rift basin: structure and geological history]. Novosibirsk, Geo Publ., 2001. 252 p. (In Russ.).

14. Millo J. *Geologiya glin* [Clay geology]. Leningrad, Nedra Publ., 1968. 359 p. (In Russ.).

15. Oshchepkova A.V., Kuzmin M.I., Bychinsky V.A., et al. Models of solid solutions for calculation of the mineral composition of Lake Baikal bottom sediments: A new approach to paleoclimatic reconstructions. *Doklady Earth's sciences*, 2015, vol. 461, no. 4, pp. 364–367.

16. Osipov V.I., Sokolov V. N. *Gliny i ikh svoystva* [Clays and their properties]. Moscow, GEOS Publ., 2013. 576 p. (In Russ.).

17. Rasskazov S.V., Chuvashova I.S., Yasnygina T.A., et al. [Pyroclastics as the indicator of the uplift of the Ikatskii ridge relative to the Barguzinskaya depression of the Baikal Rift Zone]. *Geografiya i prirodnyye resursy – Geography and mineral resources*, 2016, no. 5, pp. 117–127. (In Russ.).

18. Rasskazov S.V., Tregub T.F., Volkov M.A. [Palino-logical characteristics of the alluvial strata of the Barguzin river valley (Republic of Buryatia)]. *Vestnik VGU. Ser. Geologiya*, 2019, no. 2, pp. 150–152. (In Russ.).

19. Rateev M.A. [Clay minerals in bottom sediments of modern reservoirs]. *Obrazovaniye osadkov v sovremennykh vodoyemakh* [Formation of sediments in modern reservoirs (Ed. D.S. Belyankin, P.L. Bezrukov)]. Moscow, AS USSR Publ., 1954, pp. 339–371. (In Russ.).

20. Rateev M.A. *Zakonomernosti razmeshcheniya i genezis glinistyykh mineralov v sovremennykh i drevnikh morskikh basseynakh* [Patterns of distribution and genesis of clay minerals in modern and ancient marine basins]. Moscow, Nauka Publ., 1964. 273 p. (In Russ.).

21. [The results of drilling the first well on Lake Baikal in the area of the Buguldeysky jumperl. The team of performers of the Baikal drilling project]. *Geologiya i geofizika*, 1995, vol. 36, no. 2. pp. 2–32. (In Russ.).
22. *Resheniya Tretyego Mezhvedomstvennogo regionalnogo stratigraficheskogo soveshchaniya po mezozoyu i kaynozoyu Sredney Sibiri* [Decisions of the Third Interdepartmental regional stratigraphic meeting on the Mesozoic and Cenozoic of Central Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1981. 91 p. (In Russ.).
23. Solotchina E.P. *Strukturnyy tipomorfizm glinistykh mineralov osadochnykh razrezov i kor vyvetriviya* [Structural typomorphism of clay minerals of sedimentary sections and weathering crust]. Novosibirsk, Geo Publ., 2009. 234 p. (In Russ.).
24. Zamarayev S.M., Vasilyev Ye.P., Mazukabzov A.M., et al. *Sootnosheniye drevney i kaynozoysoy struktur v Baykal'skoy riftovoy zone* [Correlation of ancient and Cenozoic structures in the Baikal rift zone]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1979. 130 p. (In Russ.).
25. Ogorodova L.P., Kiseleva I.A., Melchakova L.V., et al. [Thermochemical study of natural montmorillonite]. *Geochemistry International*, 2013, vol. 51, no. 6, pp. 484–494.
26. Chudnenko K.V. *Termodinamicheskoye modelirovaniye v geokhimii: teoriya, algoritmy, programnoye obespecheniye, prilozheniya* [Thermodynamic modeling in geochemistry: theory, algorithms, software, applications]. Novosibirsk, Geo Publ., 2010. 287 p. (In Russ.).
27. Berman R.G. Internally-consistent thermodynamic data for minerals in the system $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{TiO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$. *Journal of Petrology*, 1988, vol. 29, pp. 445–552.
28. Solotchina E.P., Prokopenko A.A., Kuzmin M.I., et al. Climate signals in sediment mineralogy of Lake Baikal and Lake Hovsgol during the LGM-Holocene transition and the 1-Ma carbonate record from the HDP-04 drill core. *Quaternary International*, 2009, vol. 205, pp. 38–52.
29. Hassan A., Usoltseva M., Rasskazov S., et al. First study of fossil diatom flora from Middle Miocene – Lower Pliocene lacustrine sediments in Barguzin Valley, Baikal Rift Zone. *Quaternary International*, 2019, w/n, pp. 1–7.
30. Helgeson H.C. Thermodynamics of minerals, reactions, and aqueous solutions at high pressures and temperatures. *Amer. Journ. of Science*, 1985, vol. 285(9), pp. 845–855.
31. Muller J., Oberhansli H., Melles M., et al. Late Pliocene sedimentation in lake Baikal: implications for climatic and tectonic change in SE Siberia. *Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology*, 2001, vol. 174, pp. 305–326.
32. Fagel N., Boski T., Likhoshway L., Oberhaensli H. Late Quaternary clay mineral record in Central Lake Baikal (Academician Ridge, Siberia). *Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology*, 2003, vol. 193, pp. 331–363.
33. Ransom B., Helgeson G. Compositional end members and thermodynamic components of illite and dioctahedral aluminous smectite solid solutions. *Clays and Clay minerals*, 1993, vol. 41, no. 5, pp. 537–550.
34. Gailhanou H., Blanc P., Rogez J., et al. Thermodynamic properties of illite, smectite and beidellite by calorimetric methods: Enthalpies of formation, heat capacities, entropies and Gibbs free energies of formation. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 2012, no. 89, pp. 279–301.
35. Wolery T.J., Jove-Colon C.F. Qualification of thermodynamic data for geochemical modeling of mineral–water interactions in dilute systems. *Office of Scientific & Technical Information Technical Reports*, 2004, November, pp. 117–212.
36. Yokokawa H. Tables of thermodynamic functions for inorganic compounds. *J. National chemical laboratory for industry*, 1988, vol. 83, pp. 27–121.

© Р. Алокла, И. С. Чувашова, С. В. Рассказов,
А. В. Ощепкова, Т. С. Филева, 2020