



УДК 550.8.052:551.8:552.52

Реконструкция минерального состава глубоководных байкальских осадков на основе их химического состава

А. В. Ощепкова (oshepkova-anasta@mail.ru)

М. И. Кузьмин (mikuzmin@igc.irk.ru)

В. А. Бычинский (val@igc.irk.ru)

Аннотация. Предложен метод расчета стехиометрических формул смешанослойных глинистых минералов, который позволяет использовать симплекс-метод для количественной оценки минерального состава донных отложений оз. Байкал по их петрохимическому составу. Полученные результаты показывают хорошую сходимость с данными рентгенофазового анализа и отражают палеоклиматические изменения в регионе (по скважинам BDP-96, BDP-98, Академический хребет).

Ключевые слова: оз. Байкал, донные осадки, глины, смешанослойные алюмосиликаты, симплекс-метод, палеоклимат.

Введение

Актуальным направлением современных научных исследований является создание глобальных и региональных моделей эволюции климата и окружающей среды. Климатические изменения наиболее хорошо отражаются в осадках океанов, но не менее важным является изучение изменений климата на континентах. Как правило, континентальные климатические летописи составляются из отдельных коротких разрезов, расположенных в разных точках планеты, что затрудняет их сопоставление. В этом отношении впадина оз. Байкал является исключительно перспективным объектом получения климатической континентальной летописи: в ее 8-километровом осадочном разрезе записана 25–30-миллионная история региона [2].

Важнейшей характеристикой осадков, особенно с точки зрения поиска в них палеоклиматических сигналов, является наличие в них глинистых минералов. К глинистым минералам следует относить природнодисперсные слоистые и слоисто-цепочечные алюмосиликаты, образующиеся преимущественно при химическом выветривании пород, а также при постседиментационном преобразовании донных отложений.

Изучение кристаллической структуры глинистых минералов позволяет установить взаимосвязь процессов гипергенного преобразования пород с климатическими эпизодами, соответствующими по возрасту исследуемым этапам осадконакопления. Установлено, что в период похолодания преобладает физическая эрозия, характеризующаяся грубозернистыми малоизмененными осадками, содержащими незначительные количества гли-

нистого вещества. При потеплении более интенсивными становятся химическое выветривание и, соответственно, интенсифицируются процессы почвообразования, связанные с формированием глин [7; 10].

Корректная идентификация глинистых минералов в поликомпонентных образцах осадков и осадочных горных пород представляет собой сложную задачу. Одним из эффективных методов ее решения является применение современных математических методов обработки порошковых рентгеновских дифракционных спектров. Рентгенофазовый анализ (XRD) заключается в распознавании кристаллических фаз на основе присущих им значений межплоскостных расстояний и соответствующих интенсивностей линий рентгеновского спектра, он позволяет определить количество тех или иных фаз в смеси. С помощью рентгеноструктурного анализа определяют размеры элементарной ячейки минерала, его сингонию, вид симметрии, а затем расшифровывают кристаллическую структуру [4; 10].

Однако применять XRD-метод для определения минерального состава осадочного разреза, мощность которого может достигать нескольких километров, нецелесообразно. Симплекс-метод – это процесс направленного решения системы уравнений по шагам, который начинается с опорного решения и в поисках лучшего варианта движется по угловым точкам области допустимого решения, улучшающих значение целевой функции до тех пор, пока целевая функция не достигнет оптимального значения. Такой метод позволяет быстро и с удовлетворительной точностью оценить количество глинистых минералов по химическому составу осадка. Обязательное условие данного подхода – химическому составу исследуемого интервала должен точно соответствовать исходный набор минералов, из которого выбираются наиболее вероятные компоненты. Однако смешанослойные минералы – это твердые растворы, переслаивающиеся двух-трехслойные алюмосиликаты с адсорбированными элементами в межслоевых пространствах. Вследствие их сложного строения, формулы глинистых смешанослойных минералов не представляются в виде строгой стехиометрической формулы, а записываются в виде $K[(MgFe^{+3} R^{+3})_3(Si_{3-x} R_{1+x}) O_{10}](OH F)_2$. Но такой вид записи не может быть применен в расчетах симплекс-методом, как и идеальная модель твердого раствора. Поэтому была поставлена задача расчета химического состава глинистой части осадка, на основе которой возможно вычисление обобщенной стехиометрической формулы слоистых силикатов.

Для этого исходный химический состав осадка был пересчитан: удалены такие элементы, как титан, марганец, содержащиеся в долях процента в исходной пробе, и присутствующие в минералах в виде изоморфных примесей. Удалена также и сера, которая, вероятно, входит в состав органического вещества. Из пересчитанного общего химического состава вычтен состав неслоистых минералов (кварц, полевые шпаты) и слоистых, присутствующих в исходной породе (мусковит, хлорит, каолинит), содержание которых определено рентгенофазовым методом. Полученная разница соответствует химическому составу гипергенных смешанослойных минералов, представляющих глинистую часть осадка (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав глинистых минералов по скважине ВDP-96
(атомные количества)

Глубина, м	Химический состав	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	Si	H	O
17,52	Общий	0,3256	0,0424	0,1004	0,0540	0,0628	0,0742	0,9249	1,3212	3,3247
	Неслоистых минералов	0,2983	0,0093	0,0260	0,0598	0,0323	0,0381	0,5963	0,2298	1,8717
	Глинистых минералов	0,0273	0,0331	0,0744	0,000	0,0305	0,0361	0,3286	1,0914	1,4530
32,41	Общий	0,303	0,035	0,092	0,053	0,057	0,070	1,020	0,804	3,193
	Неслоистых минералов	0,281	0,010	0,019	0,052	0,029	0,053	0,678	0,228	2,002
	Глинистых минералов	0,022	0,025	0,074	0,000	0,028	0,016	0,341	0,575	1,191
67,94	Общий	0,343	0,044	0,092	0,060	0,071	0,080	0,912	0,810	3,073
	Неслоистых минералов	0,275	0,010	0,015	0,055	0,023	0,050	0,611	0,210	1,842
	Глинистых минералов	0,067	0,034	0,077	0,005	0,048	0,031	0,300	0,600	1,231
98,25	Общий	0,577	0,035	0,171	0,099	0,051	0,128	0,987	2,211	4,407
	Неслоистых минералов	0,254	0,005	0,017	0,056	0,020	0,034	0,506	0,180	1,571
	Глинистых минералов	0,323	0,030	0,155	0,042	0,031	0,093	0,481	2,031	2,836

На его основе, согласно методике, предложенной в [1] и [9], выполнен расчет стехиометрических формул глинистых минералов. Стехиометрические формулы гидрослюды и монтмориллонитов при интерпретации данных объединены в одну группу – иллит-сметиты. В качестве опорных данных для расчета стехиометрических формул иллит-сметита, монтмориллонита и хлорит-сметита использованы химические составы проб, хорошо соответствующие по глубине и содержанию биогенного кремнезема образцам донных отложений, для которых минеральный состав определен XRD-методом. С целью точного отображения некоторых особенностей вычислительных процедур ниже приведено их подробное описание. Расчеты рекомендовано проводить в программном продукте Microsoft Office Excel

Принципы расчета стехиометрических формул глинистых минералов по результатам химического анализа

Расчет формулы гидрослюды (табл. 2)

Производим перерасчет суммы оксидов на 100 %.

Находятся молекулярные количества каждого компонента. Для этого вычисляется отношение весового процента к молекулярному весу оксида.

Рассчитываются атомные количества кислорода умножением молекулярного количества компонентов на число анионов в его формуле.

Подсчитывается сумма атомных количеств кислорода.

Определяется делитель (расчетный фактор), как частное от числа атомов кислорода в теоретической формуле минерала (для минералов гидрослюдистой группы оно равно 22) и суммы всех атомных количеств кислорода.

Находятся числа каждого из катионов в формуле минерала произведением соответствующего ему атомного количества на расчетный фактор. Число атомов кислорода, согласно основному условию всех расчетов, приравнивается к теоретическому.

Коэффициенты вычисляются умножением числа анионов на коэффициент катионов и делением на коэффициент анионов. Поскольку алюминий в глинистых минералах может находиться как в четверной (Al^{IV}), так и в шестерной (Al^{VI}) координации, то оценить его соотношения в этих позициях можно, добавив недостающее количество алюминия к кремнию, для того чтобы их формульный коэффициент был равен 8. Соответственно, оставшееся количество алюминия принимается как Al^{VI} . Количество кислорода и OH-группы в данных условиях не рассчитывается, а берется из теоретической формулы гидрослюд. Коэффициенты сокращаем на 2 и получаем формулу 1.

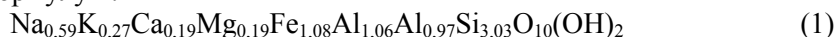


Таблица 2

Расчет стехиометрической формулы гидрослюд
(скважина BDP-96, глубина 98,25 м)

Оксиды	оержание (вес. %)	Пересчет на 100 %	Молек. кол-во	Атомн. кол-во кислорода	Кол-во анионов	Итоговая формула	
SiO ₂	34,45	44,07	0,734	1,467	12,106	Si	3,03
Al ₂ O ₃	19,67	25,16	0,247	0,740	6,110	Al ^{IV}	0,49
FeO	14,75	18,87	0,263	0,263	2,167		
MgO	1,47	1,89	0,047	0,047	0,386	Al ^{VI}	1,55
CaO	2,00	2,56	0,046	0,046	0,377	Fe	1,08
Na ₂ O	3,46	4,42	0,071	0,071	0,589	Mg	0,19
K ₂ O	2,37	3,03	0,032	0,032	0,266	Ca	0,19
Сумма:	78,17	100		2,666		Na	0,59
						K	0,27
					22		
Расчетный фактор					8,252		

Расчет формулы монтмориллонита (табл. 3)

После того как химический состав нормирован на 100 %, вычисляются атомные отношения катионов: произведение весовых процентов на коэффициент катиона делится на молекулярный вес оксида. Полученные величины для удобства дальнейших расчетов увеличивают, умножая на 10^4 . Затем определяется сумма атомных количеств основных катионов минерала без обменных катионов (без Na и воды). Определяют делитель, он равен отношению суммы атомных отношений катионов к числу катионов в октаэдрическом и в тетраэдрическом слоях (для монтмориллонита оно равно 6). Доля каждого катиона в формуле будет равна частному атомного отношения оксида и делителя. В расчете данной стехиометрической формулы число кислорода и воды не рассчитывалось, а было взято из теоретической формулы монтмориллонита. Формула рассчитанного монтмориллонита имеет вид:

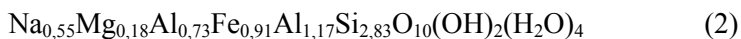


Таблица 3

Расчет стехиометрической формулы монтмориллонита
(расчетный) (скважина ВДР-96, глубина 98,25 м)

Оксиды	Содержание (вес. %)	Пересчет на 100 %	Атомные кол-ва катионов, $\times 10^4$	Доля катиона	Итоговая формула	
SiO ₂	34,45	35,29	5872	2,83	Si	2,83
Al ₂ O ₃	19,67	20,15	3953	1,90	Al ^{IV}	1,17
Fe ₂ O ₃	14,75	15,11	1892	0,91		
MgO	1,47	1,51	374	0,18	Al ^{IV}	0,73
CaO	2,00	2,05	366	0,18	Fe	0,91
Na ₂ O	3,46	3,54	1142	0,55	Mg	0,18
H ₂ O	21,81	22,36	5154		Ca	0,18
					Na	0,55
Сумма:	97,61	100,00	12457			
			6			
	Расчетный фактор		2076,138			

Полученные формулы гидрослюды и монтмориллонита при интерпретации результатов симплекс-расчетов объединяются в смешанослойное образование иллит-сметтит.

Расчет формулы хлорит-сметтита (табл. 4)

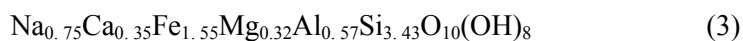
Расчитанные атомные отношения катионов увеличиваются на 10^4 . Производится расчет атомных количеств катионов умножением молекулярного количества компонентов на число катионов в его формуле. Рассчитывается количество анионов умножением молекулярного количества на коэффициент аниона, затем находится сумма атомных количеств кислорода.

Таблица 4

Расчет хлорит-сметита (скважина BDP-96, глубина 17,52 м)

Оксиды	Пересчет на 100 %	Молек. кол-во $\times 10^4$	Атомные количества		Коэф.	Итоговая формула	
			анионы	катионы			
SiO ₂	48,03	7993	15986	7993	1,83	Si	3,43
Al ₂ O ₃	3,38	664	1991	1327	0,30	Al	0,57
Fe ₂ O ₃	14,45	1810	5429	3619	0,83	Fe	1,55
MgO	2,99	742	742	742	0,17	Mg	0,32
CaO	4,51	804	804	804	0,18	Ca	0,35
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	K	0,00
Na ₂ O	2,72	877	877	1755	0,40	Na	0,75
H ₂ O	23,92	26552	26552	53103	12,17		
Сумма	100,00		52381				
Расчетный фактор			12	Доп. множитель:			
			4365,07	1,87			

Определяется делитель (расчетный фактор), как частное от деления суммы всех атомных количеств кислорода на число атомов кислорода в теоретической формуле минерала, для хлорит-сметитов это число равно 12. Находятся числа каждого из катионов в формуле минерала произведением соответствующего ему атомного количества на расчетный фактор. Число атомов кислорода, согласно основному условию всех расчетов, приравнивается к теоретическому. Сумма кремния и алюминия должна быть равна 4, для этого пересчитываются коэффициенты, умножая их на дополнительный множитель. В расчете данной стехиометрической формулы число кислорода и воды не рассчитывалось, а было взято из их классической формулы хлорит-сметита. Формула хлорит-сметита имеет следующий вид:



Следует отметить, что авторы методики [1] рекомендуют производить проверку арифметических вычислений: сумма положительных зарядов должна быть равна сумме отрицательных. Но этот критерий может не выполняться при расчетах формул смешанослойных глинистых минералов: они в разных пропорциях находятся в донных осадках, и электронейтральность проявляется в общей сумме всех фаз.

Расчитанные формулы содержат меньшее количество калия и увеличенное содержание натрия и кальция по сравнению с классическими формулами гидрослюдов и смектитов. Отличие связано с преобразованиями, протекающими в процессе выветривания: выносе из межслоевых промежутков структуры К и замещении его положения молекулами воды и обменными катионами, в основном Na и Ca [5].

Состав и содержание глинистых минералов в осадках оз. Байкал по данным математического моделирования

Успешные работы по проекту «Байкал Бурение» позволили получить керны байкальских осадков до 600-метровой глубины [3; 6; 8]. Наиболее информативными оказались глубоководные скважины на Академическом хребте вскрывшие 200-метровую (BDP-96) и 600-метровую (BDP-98) толщу осадков. Установлено, что палеоклиматические изменения, отображенные в донных отложениях чередованием литологических горизонтов с различными комплексами минералов, в первую очередь глинистых, четко прослеживаются в донных осадках оз. Байкал [2; 3; 6; 8].

Академический хребет представляет собой поднятие, отделенное от берегов 600-метровыми котловинами, препятствующими поступлению грубого терригенного материала. Мощность осадков на вершине хребта в районе бурения составляет около 1000 м. Осадки представлены алевропелитовыми биогенными илами, в них полностью отсутствуют турбидные прослои. Грубый материал представлен лишь отдельными линзами, что связано с переносом песчаного материала по льду. Разрез имеет ритмичность, проявляющуюся в чередовании диатомовых илов и терригенного глинистого осадка, прослеживающуюся на протяжении всего 200-метрового керна скважины BDP-96. Установленные литологические особенности указывают на постоянство осадконакопления и отсутствие поступления осадочного вещества с берегов [3]. Материал, слагающий осадок, поступал только из водной толщи, что делает керны, полученные на Академическом хребте, наиболее удобными для изучения палеоклиматических изменений.

Колебания климата могут быть достаточно точно установлены по содержанию в осадке биогенного кремнезема, представленного в основном створками диатомовых водорослей. Хотя диатомовые водоросли чутко реагируют на изменение температуры окружающей среды, не менее точно теплые и холодные климатические эпизоды можно оценить по общему химическому составу осадков.

Соотношение глинистых минералов характеризует климатический режим осадкообразования. Большая длина керна не позволяет с высоким шагом разрешения провести минералогический анализ всего керна. При помощи описанных выше методов рассчитаны формулы глинистых минералов для разных глубин байкальских осадков (табл. 5). Это позволяет адекватно установить связь изменения состава глинистых минералов со сменой условий, в которых протекали процессы выветривания в прошлом.

В табл. 6 приведено сравнение результатов расчета минерального состава и аналитических определений, приведенных в монографии Э. П. Солотчиной [10]. Следует отметить, что достигнута высокая степень согласования. Ограничения вводились только на величину влагосодержания (потери при прокаливании).

Таблица 5

Стехиометрические формулы смешанослойных алюмосиликатов

Иллит-сметиты	Монтмориллониты	$\text{Na}_{0.44}\text{Mg}_{0.37}\text{Al}_{0.32}\text{Fe}_{0.9}\text{Si}_{3.99}\text{Al}_{0.01}\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_4$ $\text{Na}_{0.2}\text{Mg}_{0.34}\text{Al}_{0.27}\text{Fe}_{0.9}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_4$ $\text{Na}_{0.35}\text{Mg}_{0.55}\text{Al}_{0.19}\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{3.43}\text{Al}_{0.57}\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_4$ $\text{Na}_{0.55}\text{Mg}_{0.18}\text{Al}_{0.73}\text{Fe}_{0.91}\text{Si}_{2.83}\text{Al}_{1.17}\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_4$
	Гидрослоды	$\text{Na}_{0.46}\text{Ca}_{0.42}\text{Mg}_{0.39}\text{Fe}_{1.05}\text{Al}_{0.35}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ $\text{Na}_{0.21}\text{K}_{0.005}\text{Ca}_{0.32}\text{Mg}_{0.36}\text{Fe}_{1.05}\text{Al}_{0.29}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ $\text{Na}_{0.38}\text{K}_{0.06}\text{Ca}_{0.42}\text{Mg}_{0.59}\text{Fe}_{1.06}\text{Al}_{0.56}\text{Al}_{0.27}\text{Si}_{3.73}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ $\text{Na}_{0.59}\text{K}_{0.27}\text{Ca}_{0.19}\text{Mg}_{0.19}\text{Fe}_{1.08}\text{Al}_{1.06}\text{Al}_{0.97}\text{Si}_{3.03}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Хлорит-сметиты		$\text{Na}_{0.75}\text{Ca}_{0.35}\text{Fe}_{1.55}\text{Mg}_{0.32}\text{Al}_{0.57}\text{Si}_{3.43}\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ $\text{K}_{0.01}\text{Na}_{0.34}\text{Ca}_{0.26}\text{Fe}_{1.53}\text{Mg}_{0.29}\text{Al}_{0.46}\text{Si}_{3.54}\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ $\text{K}_{0.09}\text{Na}_{0.56}\text{Ca}_{0.31}\text{Fe}_{1.41}\text{Mg}_{0.44}\text{Al}_{1.24}\text{Si}_{2.76}\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ $\text{K}_{0.3}\text{Na}_{0.66}\text{Ca}_{0.11}\text{Fe}_{1.1}\text{Mg}_{0.11}\text{Al}_{2.3}\text{Si}_{1.7}\text{O}_{10}(\text{OH})_8$

Таблица 6

Минеральный состав осадков оз. Байкал, скв. BDP-96, Академический хребет

Глубина, м		Терригенный компонент осадка (100 %)							
		неслоистые минералы		слоистые силикаты					
		Кварц	Полевой шпат	Иллит-сметит	Иллит	Мусковит	Хлорит	Хлорит-сметит	Каолинит
18,45	XRD	12,6	12,6	34,0	23,0	6,7	4,0	5,2	1,9
	Расчет	18,2	12,5	33,0	13,4	9,9	1,1	6,2	5,4
	Расхождение	-5,6	0,1	1,0	9,6	-3,2	2,9	-1,0	-3,5
32,59	XRD	17,7	16,8	31,8	0	20,8	6,4	4,1	2,6
	Расчет	23,6	11,8	32,8	0	19,6	1,8	4	6,4
	Расхождение	-5,9	5,0	-1,0	0	1,2	4,6	0,1	-3,8
67,85	XRD	14,4	15,8	32,9	0	21,9	5,2	7,8	2,1
	Расчет	16,2	14,7	32,3	0	22,7	4,2	6,1	3,7
	Расхождение	-1,8	1,1	0,6	0	-0,8	1,0	1,7	-1,6
98,13	XRD	10,5	11,7	38,2	16,2	10,4	2,2	9,6	1,2
	Расчет	22,2	10,9	34,6	25,6	0,6	0	0,5	5,8
	Расхождение	-11,7	0,8	3,6	-9,4	9,8	2,2	9,1	-4,6

Примечание. XRD – рентгенофазовый анализ; Расчет – минеральный состав, определенный с помощью симплекс-метода; Расхождение – разница в расчете между рентгенофазовым анализом и расчетным составом.

В данном примере разработанный метод использован для определения минерального состава тех горизонтов, где в первом случае проводился только минералогический анализ [10], а во втором – химический, в то время как минералогический состав был неизвестен. Используются химические составы проб, взятых с глубин, близких к тем, для которых определен минеральный состав. Критерием подобия служило содержание биогенного кремнезема проб, что позволяет считать, что эти пробы взяты из интервалов накопленных в сходных климатических условиях. Как можно убедиться, решение, полученное симплекс-методом, достаточно точно соответствует данным рентгенофазового анализа (см. табл. 6).

Метод был применен для расчета минерального состава по среднему химическому составу для скважины BDP-98 (табл. 7). Анализировались теплые и холодные климатические эпизоды, которые были установлены предварительно по содержанию кремнезема. Минералогический состав, рассчитанный симплекс-методом, хорошо отражает климатические изменения: в периоды похолодания увеличивается содержание неслоистых минералов в осадках, а также мусковита и хлорит-сметита. В осадках, накопленных в теплый климатический период, преобладают глинистые смешанослойные минералы, среди которых в большом количестве содержится иллит и иллит-сметит.

Таблица 7

Расчет минералогического состава по среднему химическому составу (скважина BDP-98)

Интервалы керна:	0–100 м		100–200 м		300–450 м		450–600 м	
	Тепло	Холод	Тепло	Холод	Тепло	Холод	Тепло	Холод
Кварц	5,51	6,41	15,53	13,95	10,30	11,27	6,08	6,08
Альбит	10,44	13,05	5,07	8,16	6,51	8,39	9,25	9,25
Анортит	1,96	1,98	1,42	1,43	1,43	1,44	1,41	1,41
КПШ	0,84	0,85	0,28	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28
Сумма неслоистых минералов:	18,75	22,29	22,30	23,83	18,53	21,39	17,02	17,02
Мусковит	16,14	24,83	0,00	18,55	0,00	18,20	0,07	0,00
Хлорит	0,00	8,59	1,93	1,79	2,94	0,29	0,00	0,00
Каолинит	12,34	7,33	16,74	19,47	15,34	20,82	15,90	15,90
Иллит	9,25	0,00	24,22	0,00	25,98	0,00	26,76	26,76
Иллит- сметит	40,87	32,77	32,08	27,10	34,89	27,56	34,68	34,68
Хлорит- сметит	2,13	3,73	2,18	8,65	4,54	8,50	4,96	4,96
Сумма слоистых силикатов:	80,73	77,25	77,15	75,56	83,69	75,37	82,37	82,30

Выводы

Сопоставлены теплые (18,45; 98,13) и холодные (32,59; 67,85) интервалы. Масштаб отличий определяется следующим фактором: список минеральных фаз, полученных XRD-методом, не совпадает с общим химическим составом. В нем не учитываются такие элементы, как сера, марганец, титан, потери при прокаливании и ряд других. Поэтому по минеральному составу, полученному данным методом, невозможно точно определить полный химический состав данной пробы, что не позволяет оценить точность математических вычислений. Тем не менее, представленные результаты расчета минерального состава хорошо сопоставимы с данными рент-

геофазового анализа. Следовательно, используя предлагаемые в данной статье подходы, мы можем качественно оценить весь объем накопленной химико-аналитической информации по байкальским донным осадкам и выбрать те короткие интервалы керна, исследование которых XRD-методом (или любым другим) даст наиболее ценные сведения о климатических изменениях.

Разработанный способ оценки условных кристаллохимических формул в сочетании с симплекс-методом позволяет оценить минеральный состав байкальских осадков, отлагавшихся в различных условиях климата и окружающей среды.

Список литературы

1. Булах А. Г. Руководство и таблицы для расчета формул минералов / А. Г. Булах. – М. : Недра, 1964. – 131 с.
2. Глобальные и региональные изменения климата и природной среды позднего кайнозоя в Сибири / отв. ред. А. П. Деревянко. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2008. – 511 с. – (Интеграционные проекты СО РАН ; вып. 16).
3. Глобальные похолодания Центральной Азии в позднем кайнозое согласно осадочной записи из озера Байкал / Е. Б. Карabanов [и др.] // ДАН. – 2000. – Т. 370, № 1. – С. 61–66.
4. Ковба Л. М. Рентгенофазовый анализ / Л. М. Ковба, В. К. Трунов. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1976. – 231 с.
5. Котельников Д. Д. Глинистые минералы осадочных пород / Д. Д. Котельников, А. И. Конохов. – М. : Недра, 1986. – 247 с.
6. Глубоководное бурение на Байкале – основные результаты / М. И. Кузьмин [и др.] // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 1–2. – С. 8–34.
7. Милло Ж. Геология глин / Ж. Мило. – Л. : Недра, 1968. – 359 с.
8. Геохимия современной седиментации оз. Байкал / В. Д. Пампура [и др.] // Геология и геофизика. – 1993. – Т. 34, № 10–11. – С. 52–67.
9. Расчет структурной формулы глинистых минералов. Методические указания. / Т. В. Вакалова, И. Б. Рева. – Томск : Ротапринт ТПУ, 2007. – 20 с.
10. Солотчина Э. П. Структурный типоморфизм глинистых минералов осадочных разрезов и кор выветривания / Э. П. Солотчина. – Новосибирск : Академ. изд-во «Гео», 2009. – 234 с.

Mineral composition reconstruction of Baikal's deep-water deposit based on chemical composition

A. V. Oschepkova, M. I. Kuzmin, V. A. Bichinskii

Annotation. The calculation method of stoichiometric formulas of mixed-layer clay minerals which allows to use simplex-method for quantitative estimation of mineral composition of bottom sediment of the lake Baikal based on petrochemical composition is offered. The received results show good convergence with the X-ray analyses data and reflect paleoclimatic changes in the region (drill holes BDP-96, BDP-98, the Academic ridge).

Key words: Lake Baikal, bottom sediment, clay minerals, mixed-layer clay minerals, simplex-method, paleoclimate.

Ощепкова Анастасия Владимировна
Институт геохимии СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а
старший лаборант
тел.: (3952) 42–60–34
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
студент
тел.: (3952) 20–16–39

Oschepkova Anastasia Vladimirovna
Institute of Geochemistry SB RAS
1A, Favorsky st., Irkutsk, 664033
laboratory assistant
tel.: (3952) 42–60–34
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
student
tel.: (3952) 20–16–39

Кузьмин Михаил Иванович
советник РАН, академик РАН
Институт геохимии СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского 1а
тел.: (3952) 42–60–34

Kuzmin Mikhail Ivanovich
Councilor RAS, Academic RAS
Institute of Geochemistry SB RAS
1A, Favorsky st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 42–60–34

Бычинский Валерий Алексеевич
кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
Институт геохимии СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а
тел.: (3952) 42–60–34
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
доцент
тел.: (3952) 20–16–39

Bichinskii Valerii Alekseevich
Ph. D. in Geology and Mineralogy,
Senior Researcher
Institute of Geochemistry SB RAS
1A, Favorsky st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 42–60–34
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
docent
tel.: (3952) 20–09–39