DOI: 10.30911/0207-4028-2019-38-5-92-104

УДК 551

# ГЛИНИСТЫЕ МИНЕРАЛЫ В ОСАДКАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВПАДИНЫ ГУАЙМАС, КАЛИФОРНИЙСКИЙ ЗАЛИВ, СКВАЖИНА 478

### В.Б. Курносов, Б.А. Сахаров, А.Р. Гептнер, Ю.И. Коновалов, Е.О. Гончаров

ФГБУН Геологический институт РАН, Пыжевский пер. 7, г. Москва, 119017; e-mail: <u>vic-kurnosov@rambler.ru</u> Поступила в редакцию 2017 г.

Изучены глинистые минералы в верхнеплейстоценовых осадках из скважины 478 DSDP, которая пробурена до глубины 464 м в центральной части впадины Гуаймас Калифорнийского залива. Методом моделирования рентгеновских дифракционных картин от ориентированных препаратов тонкодисперсных частиц определен состав глинистых минералов, дана количественная оценка их содержания в природных смесях. Терригенные глинистые минералы преимущественно диоктаэдрические (преобладает смешанослойный смектит-иллит, в меньшем количестве находится иллит), присутствует небольшое количество хлорита и каолинита. Они распространены по всему осадочному разрезу, за исключением термально измененных осадков из зон контакта с кровлями силлов, в которых терригенные диоктаэдрические смешанослойные хлорит-смектит и корренсит-хлорит, а также появился триоктаэдрический смектит. В осадках, расположенных в основании вскрытого скважиной осадочного покрова, на кровле комплекса силлов мощностью не менее 125 м, терригенный иллит не сохранился.

### *Ключевые слова:* глинистые минералы, силлы в осадках, глубоководная скважина, впадина Гуаймас, Калифорнийский залив, Тихий океан.

В приконтинентальных участках срединно-океанических хребтов в северо-восточной части Тихого океана накопились терригенные осадки мощностью в несколько сотен метров в течение относительно короткого промежутка времени (поздний плейстоцен-голоцен) с одновременным внедрением в них базальтовых силлов. Проникновение силлов в нелитифицированные обводненные осадки сопровождалось возникновением гидротермальных систем [9]. В этих гидротермальных системах происходило изменение минерально-химического состава осадков. Наиболее чуткими индикаторами минеральных изменений в данных условиях являются глинистые минералы. В настоящее время почти отсутствует информация о глинистых минералах в осадках, измененных под влиянием базальтовых силлов.

Благоприятным объектом для изучения формирования глинистых минералов в океанских осадках при внедрении в них базальтовых силлов является впадина Гуаймас в Калифорнийском заливе, в которой пробурена скважина DSDP 478 глубиной 464 м. Рентгеновская диагностика глинистых минералов в осадках, вскрытых этой скважиной, проводилась ранее [9]. Было установлено присутствие смектита, иллита, хлорита, каолинита, однако их количественные соотношения в природных смесях были оценены приблизительно, как «обильное», «среднее», «примесь».

Задачей настоящей работы было определение изменений в фазовом составе глинистого вещества и количественных соотношениях глинистых минералов в верхнеплейстоценовых глинисто-песчано-алевритовых осадках при внедрении в них базальтовых силлов и обсуждение условий формирования аутигенных глинистых минералов. Эта задача решалась с применением метода моделирования рентгеновских дифракционных картин для смесей глинистых минералов путем сопоставления расчетных дифрактограмм с экспериментальными [7, 12]. Результаты изучения глинистых минералов этим методом позволили провести точную диагностику глинистых минералов и установить их количественное соотношение в природных смесях и, соответственно, определить влияние на них гидротермальных систем, возникающих при внедрении силлов в осадочный покров.

#### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Впадина Гуаймас расположена в Калифорнийском заливе, который представляет собой систему от-



**Рис. 1.** Структурная схема Калифорнийского залива (а) и расположение скважин глубоководного бурения во впадине Гуаймас (б), по [10], с изменениями.

резков рифта и ортогонально рассекающих их трансформных разломов [11] (рис. 1 а). Она перекрыта верхнеплейстоценовыми гемипелагическими терригенными илами, турбидитами и диатомовыми илами мощностью в несколько сотен метров, терригенный материал поступал в основном из местных областей сноса [5]. Во впадине Гуаймас, в районе расположения скважины 478, тепловой поток низкий (168 мВт/м<sup>2</sup>) [14], скорость седиментации около 1000 м/млн лет [5]. Скважина 478 пробурена в центральной части впадины Гуаймас, между северным и южным трогами, на глубине залива 1889 м (рис. 1 б). Она вскрыла осадочный покров с базальтовыми силлами до глубины 464 м.

Отложения из скважины 478 разделены на несколько зон (табл. 1, рис. 2), описание которых приведено ниже, по [9]:

0 – ~185 м. Неизмененные терригенные осадки состоят из кварца, плагиоклазов и небольшого количества К-полевых шпатов, а также глинистых минералов и биогенных опала-А и кальцита.

185 – ~220 м. Термально измененные осадки на верхнем контакте с комплексом силлов состоят из терригенных кварца и полевых шпатов, как в верхней зоне. Количество терригенных глинистых минералов и опала-А уменьшается при приближении к силлу. Количество кварца не увеличивается заметно с глубиной. Есть доломит. Во всей этой зоне находятся аутигенные гипс и пирит.

220 – ~235 м. Комплекс силлов.

235 – ~247 м. В термально измененных осадках на нижнем контакте с комплексом силлов нет значительных изменений содержания терригенных кварца и плагиоклазов. Терригенные глинистые минералы и опал-А лучше сохранились, чем в осадках над комплексом силлов. Кальцит (аутигенный) встречен во всей этой зоне. Аутигенные гипс и пирит присутствуют также.

 $247 - \sim 250$  м. Минеральный состав осадков близкий составу неизмененных осадков из интервала  $0 - \sim 185$  м.

250 – ~253.3 м. Термально измененные осадки на верхнем контакте с комплексом силлов. Терригенные кварц и плагиоклазы не изменены. Природа К-полевых шпатов неясна (терригенные или гидро-

Неизмененные и	змененные и Номер		Глубина				
термально измененные	образца	интервал отбора	(ниже		Глинистые минералы		
осадки, по [Kastner,	-	образца в секции, см	дна), м		-		
1962	2723	1R-1 0-5	0.00				
	3103	$2R_{-1}$ 50-54	4 00				
	2724	$3R_3 10_14$	16.10				
	2124	3R-3, 10-14	16.10				
Неизмененные осалки	3104	3R-3, 41–47	16.46				
(0 — ло ~185 м)	3105	/R-6, 82–88	58.92		Неизмененные терригенные		
	2725	11R-3, 100–104	93.00	0-	диоктаэдрические глинистые		
	2726	11R-6, 35–40	96.45	~213 м	минералы (смешанослойный		
	2727	19R-3, 100–103	163.50	210 11	смектит-иллит и иллит),		
	3106	20R-4, 95–100	170.75		примесь каолинита и хлорита.		
Термально	2728	22R-3, 105–110	187.95				
измененные осадки							
(185 – до ~220 м) над	2729	25R-1, 10–12	212.60				
силлом							
Нет керна		213-220 м					
Комплекс силлов	<b>I</b>	220 – ~235 м		T			
Термально	2732	28R-1, 15–19	242.65		Наизманации на тарригации на		
измененные осадки	2733	28R-2, 115–120	243.65		пеизмененные терригенные		
(235 – до ~247 м) под	2734	28R-4 100-104	246 50	235	диоктаздрические глинистые		
силлом	2754	2010-1, 100-104	240.50	~252 M	минералы (тетерогенная смесь		
Неизмененные осадки	2735	28R-6 75-79	248 85	~232 M	иплитов и иплит) примесь		
(247 – до ~250 м)	2755	2010, 75 75	240.05		каопинита и хпорита		
Термально	2736	29R-1, 45–49	250.95				
измененные осалки					Новообразованные триоктаэдри-		
$(250 - \pi 0 \sim 253.3 \text{ M})$ нал	2737	29R-2 125-129	253 25	252-	ческие смешанослойный		
силлом	2,3,	2)((2, 125 12)	235.25	~253.3 м	хлорит-смектит и смектит,		
		252.2.256.5			терригенный иллит.		
Силл	2520	253.3-256.5 м	0.5.6.00				
I ермально	2739	30R-1, 40–42	256.90				
измененные осадки	2740	30R-1, 125–130	257.75				
(256.5 – до ~259 м) под	2741	30R-2 50-54	258 50				
силлом		,		-	Неизмененные терригенные		
Неизмененные осадки	2742	31R-1.0-4	260.00		лиоктаэлрические глинистые		
(259 до ~290 м)	07.40	24D 0 70 74	000.70	256.5-	минералы (смешанослойный		
А) 290 – ~325 м.	2743	34R-2, 70-74	290.70	~333 м	смектит-илпит и илпит)		
Дистальная часть	2744	35R-1, 130–135	299.30		примесь хлорита		
термально измененной	2745	36R-1, 115–120	308.65		npinio o pinio pinio.		
зоны	2746	36R-2, 75–80	309.75				
Б) 325 – до ~337 м.	2747	39R-1, 70–74	327.20				
Средняя часть	2748	39R-3, 60–64	330.00				
термально измененной	2749	40R-1 13-17	336.13		Новообразованный		
ЗОНЫ	2713	101(1,15-17	550.15	-	смешанослойный		
	2750	40R-1, 125–129	337.25		триоктаэдрический хлорит- смектит, терригенный иллит		
	2751	40R-2, 50–54	337.90	333-			
	2752	40R-2 125-129	338 75	338.90 м	Новообразованный смешано-		
B) 337 – до 339.14 м.					слойный триоктаэдрический		
Зона	2132	101( 2, 125 12)	550.75		корренсит-хлорит, терригенный		
непосредственного					иллит		
контакта с базальтами	Силл	338.90-338.94 м					
	<b></b> - ·			338.94-	Новообразованные триоктаэдри-		
	2754	40R-3, 2–5	339.02	339.14 м	ческие смешанослойный хлорит-		
10		220.14.464			смектит и смектит.		
Комплекс силлов		559.14-464 м					

Таблица 1. Состав глинистых минералов в осадках центральной части впадины Гуаймас, Калифорнийский залив, скважина 478 DSDP (глубина залива 1889 м).

термальные?). Глинистые минералы содержат немного терригенного иллита, смектит новообразованный. Содержание опала-А сильно уменьшилось (на глубине 252.5 м присутствуют только его следы, основной кремнистый минерал – опал-СТ). Кварц на 50 % новообразованный. Аутигенный кальцит присутствует во всем интервале этой зоны, за исключением контакта с силлом. Клиноптилолит отсутствует, начиная с глубины 252.3 м до контакта с силлом, появился анальцим. Аутигенный пирит есть во всей зоне, присутствует также немного аутигенного гипса.

253.3 – 256.5 м. Комплекс силлов.

256.5 – ~259 м. В термально измененных осадках на нижнем контакте с комплексом силлов нет изменений терригенных кварца и плагиоклазов, немного терригенных глинистых минералов. Следы опала-А, но много опала-СТ. Аутигенный кальцит присутствует везде, кроме непосредственного контакта с силлом. Есть немного доломита. Много клиноптилолита на контакте с силлом. Аутигенные пирит и гипс находятся только в виде примеси.

 $259 - \sim 290$  м. Минеральный состав осадков близкий составу неизмененных осадков из интервала  $0 - \sim 185$  м, но меньше опала-А.

290–339 м. Термально измененные осадки на верхнем контакте с комплексом силлов большой мощности (разделен на три подзоны):

A) 290 – ~325 м. Дистальная часть термально измененной зоны. Нет изменений терригенных кварца, плагиоклаза, глинистых минералов. Опал-А присутствует только в виде примеси. На глубине ~303 м находится слой доломита. Клиноптилолит отсутствует. Некоторое количество аутигенных пирита и гипса находится в этих осадках.

Б) 325 – ~337 м. Переходная зона отличается от дистальной части зоны тем, что в ней немного терригенных глинистых минералов, осадки обогащены опалом-СТ и кварцем. Аутигенный кальцит присутствует везде, но нет доломита или клиноптилолита. Небольшое количество аутигенных пирита и гипса есть в осадках из этой зоны.

В) 337 – ~339 м. В осадках, расположенных непосредственно на контакте с комплексом силлов, много кварца терригенного и новообразованного, меньше плагиоклаза. Нет опала-А, опала-СТ, клиноптилолита. В интервале 338–338.8 м новообразованный смектит и иллит, ниже – только смектит. Аутигенный кальцит присутствует, но только в последних 0.5–0.75 м над силлом. Доломит и клиноптилолит отсутствуют. Аутигенный пирит обогащает осадки в интервале 337–338 м и меньше – ниже 338 м. Аутигенный гипс есть везде.

339 – ~464 м. Комплекс силлов.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Глинистые минералы изучены во фракции < 0.001 мм осадков. Рентгеновское изучение ориентированных препаратов тонкодисперсных частиц проведено на дифрактометре D8 Advance Bruker на CuK<sub>а</sub> излучении в два этапа. Вначале ориентированные препараты всех образцов были сняты со скоростью  $2^{\circ}$  20 в минуту в интервале от 2.0° до  $32^{\circ}$  20 (экспресссьемка) в воздушно-сухом состоянии, насыщенные глицерином, иногда этиленгликолем, и прогретые при 550°C в течение 2-х часов. Похожие дифрактограммы были объединены в группы. Из них выбраны представительные образцы для детального изучения методом моделирования экспериментальных дифракционных картин, результаты которого затем были распространены на каждую соответствующую группу.

Препараты образцов готовились методом осаждения суспензии на предметные стекла размером  $3.8 \times 2.4$  см. Плотность и объем суспензии подбирались таким образом, чтобы поверхностная плотность препарата составляла не менее 7–8 мг/см<sup>2</sup>. Это позволяло избежать искажения интенсивности рефлексов, зарегистрированных в больших углах 20. Были сняты насыщенные этиленгликолем препараты. Съемка образцов проведена в диапазоне от 2.0° до 52° 20. Интенсивности измерялись дискретно, с шагом 0.02° 20 и экспозицией каждого шага 40 сек. Для определения положения отражений 060 дифрактограммы от неориентированных препаратов сняты в этом же режиме в диапазоне от 58° до 64° 20.

Моделирование экспериментальных рентгеновских дифракционных картин проведено в соответствии с описанной процедурой [7, 12] с использованием программ Б.А. Сахарова и А.С. Наумова, основанных на математических алгоритмах [1, 6, 13].

Петрографические шлифы изучены для всех образцов, в которых исследовались глинистые минералы.

### ТЕРРИГЕННЫЕ ГЛИНИСТЫЕ МИНЕРАЛЫ

В зонах неизмененных осадков, которые выделены М. Кастнер [9], получены экспресс-съемкой дифрактограммы терригенных неизмененных глинистых минералов из интервалов 0–185 м (образцы 2723, 3103, 2724, 3104, 3105, 2725–2727, 3106), 247–250 м (образец 2735), 259–290 м (образец 2742) (табл. 1 и рис. 2). Их качественная интерпретация не противоречит результатам, приведенным в статье [9], в которой показано, что терригенные глинистые минералы в этих осадках представлены смешанослойным смектит-иллитом с 20–25 % иллитовых слоев, а также иллитом с примесью хлорита и каолинита. Терриген-



Таблица 2. Состав глинистых минералов и их количественное соотношение (%), установленные при моделировании экспериментальных дифракционных картин от ориентированных препаратов фракции < 0.001 мм осадков из скважины 478.

Номер образца	Номер XRD	Глубина (ниже дна), м	Смектит- иллит диокт.	Иллит	Хлорит триокт.	Каолинит	Хлорит- смектит триокт.	Корренсит- хлорит триокт.	Смектит триокт.
			Терригенные глинистые минералы		Новообразованные глинистые				
					минералы				
2723	39	0.00	63	22	8	7	—	-	—
3104	40	16.46	72	18	4	6	_	_	_
Силл		220-235							
2732	41	242.65	86 <sup>1</sup>	8	3	3	_	_	_
2736	42	250.95	$82^{1}$	16	2	_	_	_	_
2737	43	253.25	_	44	_	_	23	_	33
Силл		253.3-256.5							
2739	44	256.90	64 <sup>1</sup>	36	примесь	_	_	_	_
2741	45	258.50	71	23	$6^{2}$	_	_	_	_
2748	46	330.00	85	11	$4^{2}$	_	_	_	_
2749	47	336.13	_	20	_	_	80	_	_
2751	48	337.90	_	60	_	_	40	_	_
2752	49	338.75	_	46	_	_	_	54	_
Силл		338.90-338.94							
2754	50	339.02	_	_	_	_	38	_	62
Комплекс силлов 339.14-464									

*Примечание.* <sup>1</sup> – гетерогенная смесь смешанослойных минералов смектит-иллит и иллит-смектит с разным содержанием иллитовых и смектитовых слоев; <sup>2</sup> – хлорит, содержащий около 5 % разбухающих смектитовых слоев. Прочерк – минерал отсутствует.

ные неизмененные глинистые минералы установлены также в термально измененных осадках, расположенных непосредственно под подошвами силлов (образцы 2732, 2733, 2734 и 2739, 2740, 2741), и в верхних частях зон термально измененных осадков над силлами (образцы 2728, 2729, 2736, 2743–2748).

Моделирование экспериментальных дифракционных картин от препаратов ориентированных частиц < 0.001 мм, насыщенных этиленгликолем (образцы 2723, 3104, 2732, 2736, 2739, 2741, 2748), показало, что терригенные глинистые минералы представлены преимущественно смешанослойным смектит-иллитом (63–86 %) с 10–15 % иллитовых слоев, иллитом (11–36 %) и небольшим количеством хлорита и каолинита (табл. 2, 3). В образцах 2732, 2736, 2739 смешанослойные минералы состоят из гетерогенной смеси – от смектит-иллита с 10–15 % иллитовых слоев до иллит-смектита с 60 % иллитовых слоев. Дифрактограммы всех перечисленных образцов одного типа. На примере образцов 3104, 2732, 2736, 2748 показано соответствие моделированных и экспериментальных дифрактограмм терригенных глинистых минералов (рис. 3). Во фракции < 0.001 мм присутствуют также кварц, примесь полевых шпатов и кристобалита. Кварц среди неглинистых минералов преобладает, хотя в образцах 2739, 2748 кристобалита больше, чем кварца.

Отражения 060 (образцы 2723, 3104, 2732, 2736, 2739, 2741, 2748) также одного типа и показаны на примере образцов 3104, 2732, 2736, 2748 (рис. 4). Слабый рефлекс ~1.544Å соответствует кварцу и примеси хлорита, а интенсивный рефлекс ~ 1.503 Å, который принадлежит смешанослойным смектит-иллиту и иллит-смектиту, а также иллиту, указывает на то, что терригенные глинистые минералы преимущественно диоктаэдрические.

**Рис. 2.** Литолого-минералогическая характеристика верхнеплейстоценовых осадков в центральной части впадины Гуаймас, Калифорнийский залив, скважина 478 (по [5], с изменениями) и распределение терригенных и новообразованных глинистых минералов в осадочном покрове.

*<sup>1</sup>* – диатомовый ил, *2* – песчанистая глина, *3* – доломит, *4* – прослои песка, *5* – силл, *6* – гидротермальная зона, *7* – неизмененные терригенные осадки, *8* – термально измененные осадки, *9* – неизмененные терригенные глинистые минералы, *10* – новообразованные глинистые минералы.

Лаб.	Глубина (м ниже	Смектит-иллит (или иллит-	Хлорит-смектит	Корренсит-хлорит
номер	морского дна)	смектит) диоктаэдрический	триоктаэдрический	триоктаэдрический
2723	0.00	16.70 Å : 9.98 Å = 0.85 : 0.15	_	_
3104	16.46	16.80 Å: 9.98 Å = 0.90 : 0.10	_	_
2732	242.65	16.85  Å : 9.98  Å = 0.85 : 0.15 0.08 Å : 16.75 Å = 0.60 : 0.40	_	_
2726	250.05	16.85  Å : 9.98  Å = 0.85 : 0.15		
2750	230.93	9.98 Å : 16.75 Å = 0.60 : 0.40	—	—
2737	253.15	_	14.13 Å : 16.75 Å = 0.65 : 0.35	_
		16.70 Å : 9.98 Å = 0.90 : 0.10		
2739	256.90	9.98 Å : 16.85 Å : 12.90 Å =	-	_
		0.50:0.40:0.10		
2741	258.50	16.80 Å : 9.98 Å = 0.85 : 0.15	14.13 Å : 16.75 Å = 0.95 : 0.05	_
2748	330.00	16.80 Å : 9.98 Å = 0.85 : 0.15	14.13 Å : 16.75 Å = 0.95 : 0.05	_
2740	226 12		14.13 Å : 16.65 Å : 12.9 Å =	
2749	550.15	—	0.55:0.40:0.05	—
2751	337.90	_	14.05 Å : 16.65 Å = 0.80 : 0.20	-
2752	228 75			30.4 (14 Å + 16.4 Å) :
2132	550.75	—	—	14.14 Å = 0.40 : 0.60
2754	339.02	—	14.2 Å : 16.90 Å = 0.62 : 0.38	—

Таблица 3. Соотношение слоев в смешанослойных глинистых минералах осадков из скважины 478 (результаты моделирования экспериментальных дифракционных картин от ориентированных препаратов, насыщенных этиленгликолем).

Примечание. Прочерк – минерал отсутствует.

### ГЛИНИСТЫЕ МИНЕРАЛЫ В ОСАДКАХ ИЗ ЗОН КОНТАКТОВ С СИЛЛАМИ

Новообразованные глинистые минералы установлены только в тех термально измененных осадках, которые расположены непосредственно над кровлями силлов (образцы 2737, 2749, 2750, 2751, 2752) и в маломощном осадке на кровле комплекса силлов мощностью не менее 125 м (образец 2754) (табл. 1, 2 и рис. 2).

По результатам моделирования дифракционной картины, полученной от ориентированного препарата фракции < 0.001 мм, глинистые минералы (образец 2737) из осадков, которые непосредственно соприкасаются с кровлей силла (мощность силла около 3 м, интервал 253.3–256.5 м), состоят из новообразованных смешанослойного хлорит-смектита (23 %) с 35 % смектитовых слоев, хорошо окристаллизованного смектита (33 %) и терригенного иллита (44 %) (табл. 2, 3). Соответствие моделированной и экспериментальной дифрактограмм глинистых минералов показано на рис. 5. Во фракции < 0.001 мм присутствуют также кварц, примесь полевых шпатов и кристобалита (кварц среди неглинистых минералов сильно преобладает).

В области рефлексов 060 наблюдается интенсивный рефлекс с d =  $\sim$  1.541–1.544 Å( образец 2737),

который отражает триоктаэдричность новообразованных глинистых минералов и присутствие во фракции < 0.001 мм кварца, слабый рефлекс с d =  $\sim 1.504$  Å относится к терригенному иллиту (рис. 6).

В зоне влияния на осадки комплекса силлов образцы 2749, 2750, 2751, 2752 из интервала 333– 339.14 м расположены над его кровлей соответственно в 3, 1.9, 1.12, 0.27 м (табл. 1 и рис. 2).

По результатам моделирования дифракционных картин в осадках, расположенных в 3 и 1.12 м над кровлей комплекса силлов (образцы 2749 и 2751), глинистые минералы состоят из новообразованного смешанослойного хлорит-смектита (80 и 40 %) с содержанием смектитовых слоев, соответственно, 40 и 20 % и терригенного иллита (20 и 60 %), табл. 2, 3 и рис. 2, 5 (на примере образца 2749). Во фракции < 0.001 мм этих образцов, кроме глинистых минералов, находится много кварца и кальцита, а также примесь полевых шпатов и кристобалита. В области рефлексов 060 интенсивный рефлекс с d = ~ 1.541-1.544 Å отражает триоктаэдрическую структуру новообразованных минералов и присутствие во фракции < 0.001 мм кварца, слабый рефлекс с d =  $\sim 1.504$  Å относится к иллиту (рис. 6, образец 2749).

В образце 2752, который отобран из осадков, расположенных ближе к кровле силлового комплек-



Рис. 3. Дифрактограммы терригенных глинистых минералов, фракция < 0.001 мм осадков.

*l* – экспериментальные, полученные от препаратов ориентированных тонкодисперсных частиц, насыщенных этиленгликолем; *2* – рассчитанные.



**Рис. 4.** Порошковые дифрактограммы фракции < 0.001 мм осадков в области отражений 060 (терригенные глинистые минералы).

са, в 0.27 м от нее, и в 0.25–0.21 м от кровли силла мощностью 4 см (338.90–338.94 м), установлен триоктаэдрический смешанослойный корренсит-хлорит (54 %) с содержанием хлоритовых слоев 60 % и терригенный иллит (46 %), табл. 2, 3 и рис. 2, 5, 6. Во фракции < 0.001 мм присутствует кварц, кристобалит, полевые шпаты (кварц среди неглинистых минералов сильно преобладает).

В образце 2754 из осадка мощностью 20 см, который находится на кровле комплекса силлов, глинистые минералы представлены смешанослойным хлорит-смектитом (38 %) с соотношением хлоритовых и смектитовых слоев 62 : 38 % и хорошо окристаллизованным смектитом (62 %) (табл. 2, 3 и рис. 2, 7). Рефлекс 060 1.537 Å сильный и указывает на триоктаэдричность этих минералов (рис. 6). В этом образце, в отличие от образцов 2749, 2751, 2752, терригенного иллита нет.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ Распределение терригенных глинистых минералов в осадочном покрове

Состав терригенных глинистых минералов в осадочном покрове в центральной части впадины Гуаймас (скважина 478) прослеживается по всему разрезу, кроме осадков из интервалов, расположенных над силлами (табл. 1 и рис. 2). Это указывает на то, что в участках зон спрединга с низким тепловым потоком, без воздействия на осадки долгоживущей гидротермальной системы, постседиментационные процессы изменения терригенных глинистых минералов, характерные для осадочных бассейнов медленного и длительного погружения, не происходят в условиях быстрого накопления осадков (около 1000 м/млн лет). Набор исходных глинистых минералов, состоящий из диоктаэдрических смешанослойного смектит-иллита и иллита, а также примеси каолинита и триоктаэдрического хлорита, сохраняется в осадочной толще мощностью более 300 м.

Состав терригенных глинистых минералов в осадках центральной части впадины Гуаймас (скважина 478) такой, как в осадках южного трога (скважина 477) и северного трога (скважина 481/481А) впадины [2, 3], что отражает поступление терригенного материала из источников питания, в основном стабильных в течение позднего плейстоцена.

### Формирование глинистых минералов в осадках из зон контакта с силлами

Над кровлями силлов. В условиях кратковременных гидротермальных систем, сопровождающих внедрение силлов в осадочный покров, в результате растворения диоктаэдрических смешанослойных смектит-иллитов и небольшого количества хлорита и каолинита (терригенный иллит остается без изменения) сформировались триоктаэдрические смешанослойные хлорит-смектит и корренсит-хлорит, появился также триоктаэдрический хорошо окристаллизованный смектит (табл. 1, 2). Для их образования необходимо дополнительное количество Mg и Fe. В лабораторных экспериментах установлено, что морская вода при нагревании до 150-350 °С теряет Мg практически полностью [4]. Силлы внедрялись в мягкие осадки, насыщенные морской водой. Возможность дополнительного поступления в раствор железа из базальтов (силлов) при их гидротермальном изменении была показана в скважине 481 А (северный трог впадины Гуаймас), где во фракции < 0.001 мм осадков при приближении к кровле силла его содержание возрастает от 9.8 % до 15.4 % [3].

В термально измененных осадках, находящихся непосредственно на кровле силла мощностью 3 м



**Рис. 5.** Дифрактограммы глинистых минералов, фракция < 0.001 мм, из термально измененных осадков над кровлями силлов. Условные обозначения на рис. 3.



**Рис. 6.** Порошковые дифрактограммы фракции < 0.001 мм в области отражений 060 (из термально измененных осадков над кровлями силлов).

(253.3–256.5 м, образец 2737), а также в осадках из зоны контакта с кровлей силлового комплекса, пробуренного в интервале 339.14–464 м (образец 2752), возникли благоприятные условия для образования триоктаэдрического смешанослойного хлорит-смектита с содержанием смектитовых слоев 35–38 % и появления хорошо окристаллизованного триоктаэдрического смектита (табл. 2, 3).

Влияние силла мощностью 3 м на глинистые минералы вверх по разрезу осадков прослеживается примерно на 2 м. На расстоянии 2.35 м от кровли силла (образец 2736) этого влияния уже нет, так как в этом образце установлены неизмененные терригенные глинистые минералы (табл. 1, 2 и рис. 2). Влияние на изменение глинистых минералов комплекса силлов большой мощности, пробуренного в интервале 339.14–464 м, распространяется, возможно, до 8 м вверх по разрезу осадков от его кровли. В скважине 477 (южный трог впадины Гуаймас) влияние комплекса силлов мощностью 47.5 м на глинистые минералы также произошло на 8 м вверх по разрезу осадков [2]. В верхней части этой 8-метровой толщи (образцы 2749, 2751) сформировался триоктаэдрический смешанослойный хлорит-смектит, но без триоктаэдрического смектита. Относительно быстрое снижение температуры осадков верхней части 8-метровой толщи привело к прекращению дальнейшего формирования глинистых минералов, то есть успел сформироваться только смешанослойный хлорит-смектит. В осадках, непосредственно соприкасающихся с кровлей силла (образцы 2737, 2754), снижение температуры происходило дольше, что позволило сформироваться еще



Рис. 7. Дифрактограммы глинистых минералов, фракция < 0.001 мм, из термально измененного осадка, расположенного на контакте с кровлей комплекса силлов.

Условные обозначения на рис. 3.

 $<sup>2 \ \ 4 \ \ 6 \ \ 8 \ \ 10 \ \ 12 \ \ 14 \ \ 16 \ \ 18 \ \ 20 \ \ 22 \ \ 24 \ \ 26 \ \ 28 \ \ 30 \ \ 32 \ \ 34 \ \ 36 \ \ 38 \ \ 40 \ \ 42 \ \ 44 \ \ 46 \ \ 48 \ \ 50 \ \ 2\</sup>theta$ 

и смектиту. В этой термально измененной толще находится тонкий силл (интервал 338.90–338.94 м), который, возможно, привел к появлению на контакте с ним (над его кровлей) смешанослойного корренситхлорита вместо смешанослойного хлорит-смектита (табл. 2).

Обращает на себя внимание, что триоктаэдрический хорошо окристаллизованный смектит встречен только в тех осадках, которые непосредственно соприкасаются с кровлями силлов (образцы 2737 и 2754). Одновременно нами установлено, что в измененных базальтах всех силлов из скважины 478 вторичные минералы представлены аналогичным триоктаэдрическим хорошо окристаллизованным смектитом. Поэтому можно предположить другое происхождение смектита в осадках на контактах с кровлями силлов. На контакте кровли силлов и осадков установлено в петрографических шлифах проникновение расплава в рыхлый осадок. Соответственно в осадках могут оказаться фрагменты базальтов, а в базальтах – захваченные осадки. Такая ситуация нередко наблюдалась в наземных объектах при внедрении даек и пластовых интрузий в различные по составу вмещающие породы. Участники рейса при визуальном описании керна из скважины 478 отметили, что осадочный прослой, из которого отобран образец 2754, содержит обломки базальтов [5]. Кроме того, в скважине 481А (северный трог впадины Гуаймас) в зоне контакта силла и осадков в интервале 176.82-176.83 м нами установлены в шлифах кусочки базальтов в осадках и кусочки осадков в базальтах. Поэтому не исключено, что смектит в образцах 2737 и 2754 попал в осадки вместе с кусочками измененных базальтов. Однако необходимо отметить, что при петрографическом изучении шлифов непосредственно из этих образцов осадков обломки базальтов не были обнаружены.

Появление триоктаэдрического смектита в осадках из зон контакта с кровлями силлов может быть связано с растворами, из которых аналогичный смектит образовался в базальтах. Часть этих растворов из базальтов проникала в осадки по многочисленным трещинам, которые образовались в процессе движения силла в осадочном покрове и при его остывании. В результате в осадках, непосредственно соприкасающихся с кровлями силлов, сформировался смектит, наряду со смешанослойным хлорит-смектитом, образование которого произошло иначе - в процессе растворения терригенных глинистых минералов, прежде всего диоктаэдрического смешаннослойного смектит-иллита. Этот вариант образования триоктаэдрического смектита в осадках, непосредственно соприкасающихся с кровлями силлов, представляется наиболее предпочтительным из рассмотренных предположений его появления в осадках на контактах с силлами. Он объясняет также большую разницу в содержании смектита в осадках над комплексом силлов мощностью не менее 125 м (62 %) и над одиночным силлом мощностью около 3 м (33 %). Из комплекса силлов в осадки над ним поступало больше раствора, образующего смектит, чем из силла мощностью 3 м. Выше, всего в 39 см от непосредственного контакта осадков с кровлей комплекса силлов (образец 2752, табл. 2), смектит не появился, так как растворы из силлов были экранированы тонким силлом, расположенным в интервале 338.90–338.94 м, что привело к их растеканию под его подошвой в латеральном направлении.

<u>Под подошвами силлов</u>. Силлы не оказали воздействия на исходные терригенные глинистые минералы в осадках, которые находятся непосредственно под их подошвами. Глинистые минералы остались без изменения в осадках, расположенных в 2.45 м ниже подошвы силла (образец 2732) и в 0.45 м от нее (образец 2739) (табл. 1, 2 и рис. 2). Скорее это общая закономерность, чем частный случай. Например, в скважине 477 (южный трог впадины Гуаймас) под силлом мощностью 13 м, в 0.5 м ниже его подошвы, также сохранились терригенные глинистые минералы [2], которые по составу аналогичны терригенным глинистым минералам из скважины 478.

Отсутствие влияния силлов на глинистые минералы в осадках, расположенных в непосредственной близости от их подошв, позволяет считать, что тепло от силлов в основном поступает вверх от них. Кратковременное влияние силлов на осадки, оказавшиеся под ними, выразилось в уменьшении пористости исходных осадков и удалении из них поровых вод [8, 9]. Вода проникала в силлы в процессе их остывания и взаимодействовала с базальтами. Это приводило к формированию в них вторичных минералов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях быстрого накопления верхнеплейстоценовых терригенных осадков мощностью 339 м в центральной части впадины Гуаймас исходные терригенные глинистые минералы, состоящие в основном из диоктаэдрических смешанослойных смектит-иллитов и иллита, а также примеси хлорита и каолинита, сохранились.

В термально измененных осадках, расположенных над силлами, терригенные глинистые минералы исчезли (кроме иллита). Вместо них сформировались триоктаэдрические смешанослойные хлорит-смектит и корренсит-хлорит, а также триоктаэдрический смектит. В нижней части скважины в осадках, расположенных на кровле комплекса силлов мощностью не менее 125 м, терригенный иллит не сохранился.

В термально измененных осадках под подошвами силлов исходные терригенные глинистые минералы остались без изменения.

Образцы пород отобраны в кернохранилище Программы океанского бурения (Ocean Drilling Program – ODP) при Техасском университете (Texas A & M University), г. Колледж Стейшн, США.

Работа выполнена в рамках государственного плана научно-исследовательских работ № 0135-2019-0053.

Авторы выражают благодарность Т.Д. Зеленовой, А.Л. Соколовой и Е.В. Покровской за подготовку препаратов и проведение рентгеновских съемок образцов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Дриц В.А., Сахаров Б.А. Рентгеноструктурный анализ смешанослойных минералов. М.: Наука, 1976. 256 с.
- Курносов В.Б., Сахаров Б.А., Блинова Е.В. Глинистые минералы в осадках гидротермально активного южного трога впадины Гуаймас, Калифорнийский залив // Литология и полез. ископаемые. 2016. № 4. С. 287–306.
- Курносов В.Б., Сахаров Б.А., Гептнер А.Р., Коновалов Ю.И., Гончаров Е.О. Глинистые минералы верхнеплейстоценовых осадков из зон контактов с базальтовыми силлами (северный трог впадины Гуаймас, Калифорнийский залив, скважина 481/481А) // Литология и полез. ископаемые. 2019. № 3. (в печати).
- Bischoff J.L., Seyfried W.E. Hydrothermal chemistry of seawater from 250° to 350°C // Amer. J. Sci. 1978. V. 278. P. 838–860.
- Curray J.R., Moore D.G. et al. Init. Repts. DSDP. 64. Pt. 1. Washington: U.S. Govt. Printing Office, 1982. 507 p.

- Drits V.A., Tchoubar C. X-Ray diffraction by disordered lamellar structures. Heldenberg: Springer-Verlag, 1990. 371 p.
- Drits V.A., Lindgreen H., Salyn A.L. Determination by X-ray diffraction of content and distribution of fixed ammonium in illite-smectite. Application to North Sea illite-smectite // Amer. Mineralogist. 1997. 82. P. 79–87.
- Gieskes J.M., Elderfield H., Lawrence J.R., Johnson J., Meyers B., Campbell A. Geochemistry of interstitial waters and sediments, Leg 64, Gulf of California // Init. Repts. DSDP. 1982. V. 64. Part 2. P. 675–694.
- Kastner M. Evidence for two distinct hydrothermal systems in the Guaymas Basin // Init. Repts. DSDP. 1982. V. 64. Part 2. P. 1143–1158.
- Lonsdale P., Bischoff J.L., Burns V.M. et al. A high-temperature hydrothermal deposit on the seabed at a Gulf of California spreading center // Earth & Planet. Sci. Lett. 1980. V. 49. P. 8–20.
- Moore D.G. Plate-edge deformation and crustal growth, Gulf of California structural province // Geol. Soc. Am. Bull. 1973. N 84. P. 1883–1906.
- Sakharov B.A., Lindgreen H., Salyn A.L., Drits V.A. Determination of illite-smectite structures using multispecimen X-ray diffraction profile filling // Clays & Clay Minerals. 1999. V. 47. P. 555–566.
- Sakharov B.A., Lanson B. X-ray identification of mixed-layer structures // Modeling of diffraction effects. Chapter 2.3. Handbook of Clay Science, 2-d Edition. Part B. Techniques and Applications / Eds. F. Bergaya, G. Lagaly. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, N.Y., Oxford: Elsevier, 2013. P. 51–135.
- Williams D.L., Becker K., Lawver L.A., Von Herzen R.P. Heat flow at the spreading centers of the Guaymas Basin, Gulf of California // J. Geophys. Res. 1979. N 84. P. 6757–6796.

Рекомендована к печати И.Б. Цой после доработки 06.02.2019 г. принята к печати 24.05.2019 г.

## V.B. Kurnosov, B.A. Sakharov, A.R. Geptner, Yu.I. Konovalov, E.O. Goncharov

## Clay minerals in sediments from the central part of the Guaymas Basin, Gulf of California, hole 478

Clay minerals of Upper Pleistocene sediments were studied from Hole 478 DSDP (a depth of 464 m), that is located in the central part of the Guaymas Basin, Gulf of California. Composition of clay minerals and their quantitative proportions in natural mixtures were determined by X-ray methods based on the modeling of diffraction patterns. Terrigenous clay minerals are represented mainly by dioctahedral micaceous varieties (mixed-layer disordered illite-smectites, illite) with the chlorite admixture and kaolinite in the sedimentary section with the exception of altered sediments from contact zones with roofs of sills. These sediments include newly formed trioctahedral mixed-layer chlorite-smectite and corrensite-chlorite, as well trioctahedral smectite. Terrigenous dioctahedral illite is preserved in these sediments. Terrigenous illite is missing in the sediments from the lower part of Hole 478, that is located on the roof of the sill complex with a thickness of no less than 125 m.

### Key words: clay minerals, sills in sediments, deep-sea hole, Guaymas Basin, Pacific Ocean.