

УДК 551.46

## ИЗМЕНЕНИЕ ПЛИОЦЕНОВЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ОСАДКОВ В ЗОНАХ КОНТАКТА С БАЗАЛЬТАМИ (УСТЬЕ КАЛИФОРНИЙСКОГО ЗАЛИВА, СКВАЖИНА DSDP 474/474A)

© 2025 г. В. Б. Курносов\*, Е. О. Гончаров\*\*, Б. А. Сахаров\*\*\*,  
В. А. Дриц, О. В. Окина, Ю. А. Максимова

*Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия*

*\*e-mail: vic-kurnosov@rambler.ru*

*\*\*e-mail: evgeniigonch91@gmail.com*

*\*\*\*e-mail: sakharovba@gmail.com*

Поступила в редакцию 17.09.2024 г.

После доработки 21.10.2024 г.

Принята к публикации 22.11.2024 г.

В статье представлены результаты изучения комплексом аналитических методов минерального и химического состава осадков из скважины DSDP 474/474A глубиной 626 м и их изменение в зонах контакта с базальтовыми силлами. В осадках из этих зон образовалось небольшое количество ярозита, бассанита и ангидрита. В осадках, расположенных над силлом, мощность которого составляет 6.73 м, концентрация Mn и Mo уменьшилась от слабого уровня изменения до сильного при приближении к кровле силла. В осадках, которые находятся над силлом мощностью 9.73 м, ближе к его кровле уменьшилась концентрация Mn и P. В этих осадках количество микроэлементов, содержание которых изменилось, стало больше, чем в осадках, расположенных над силлом мощностью 6.73 м. В осадках, которые находятся между пиллоу-базальтами мощностью 4 м и массивным базальтом мощностью 11.97 м, произошло уменьшение концентрации Mo, Cd, Sb на уровне средней интенсивности изменения. Силлы разной мощности из скв. 474/474A ограниченно повлияли на минеральный и химический состав вмещающих осадков в отличие от существенного воздействия горячих силлов из скв. 478 и 481/481A (впадина Гуаймас) на состав осадков.

**Ключевые слова:** Калифорнийский залив, специфичные гидротермальные системы, взаимодействие вода–порода, базальтовые силлы, глубоководное бурение

**DOI:** 10.31857/S0030157425040111

### ВВЕДЕНИЕ

На примере впадины Гуаймас в Калифорнийском заливе было установлено [12], что в спрединговых океанических хребтах, расположенных рядом с континентами и перекрытых осадками, кроме известных циркуляционных гидротермальных систем, связанных с долгоживущими магматическими камерами и разгрузкой гидротермальных растворов в виде “черных курильщиков”, существуют специфичные гидротермальные системы. Последние возникают при внедрении в осадочный покров магмы базальтового состава с образованием силлов. В этих специфичных гидротермальных системах происходит изменение химического и минерального состава осадков при их взаимодействии с поровой морской водой, разогретой под воздействием тепла горячих силлов в зонах контакта с ними [12, 14].

Калифорнийский залив является уникальным объектом, в котором во всех глубоководных скважинах, пробуренных во впадине Гуаймас, встречены базальтовые силлы, оказавшие при их внедрении в осадочный покров воздействие на изменение химического и минерального состава вмещающих их осадков. Вслед за [12, 14] нами было изучено с использованием современных аналитических методов влияние горячих силлов разной мощности на изменение вмещающих осадков в скв. 477, 478, 481/481A [1–3, 5]. Спектр определения содержания в осадках микроэлементов был существенно расширен благодаря применению метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). В работе [14] в осадках из этих скважин было изучено содержание Co, Cr, Cu, Ni, V, Zn. Кроме того, глинистые минералы были нами детально

изучены рентгеновскими методами, включая компьютерное моделирование дифракционных картин, полученных от ориентированных препаратов фракции  $<0.001$  мм, насыщенных этиленгликолем [6, 7].

В Калифорнийском заливе, кроме скважин во впадине Гуаймас, пробуренных в рейсе DSDP 64, за ее пределами, при входе в залив, около южного окончания п-ва Калифорния, пробурена в этом же рейсе скв. 474/474А [8]. Состав осадков из зон контакта с базальтами в скв. 474/474А прежде не был изучен.

Сква. 474/474А привлекла наше внимание из-за того, что в ней, кроме долеритовых силлов, встречены пиллоу-базальты, а также массивные базальты неустовленной природы [8]. На ее примере есть возможность продолжить изучение влияния на изменение осадков дополнительного набора силлов мощностью 6.73 и 9.73 м к изученным ранее во впадине Гуаймас силлам с другими мощностями (скв. 477, 478, 481/481А). Кроме того, требуется определить происхождение массивного базальта мощностью 11.97 м по результатам изучения изменения осадков, расположенных над ним. В случае, когда осадки над массивным базальтом изменены, магматическое тело является силлом. Если в осадках изменений нет, массивный базальт имеет экструзивную природу. Кроме того, на основании изучения степени изменения осадков на контакте с базальтами будет определено относительное температурное состояние магматических тел в момент их внедрения в осадки, в которых пробурена скважина 474/474А.

Сква. 474/474А является завершающим объектом в изучении влияния базальтов на изменение состава осадков из зон контакта с ними, проведенного по скважинам, пробуренных в рейсе DSDP 64 в Калифорнийском заливе.

В данном исследовании использованы образцы осадков из скважины 474/474А, отобранные в кернохранилище Программы океанского бурения (Ocean Drilling Program – ODP), которое находится при Техасском университете (Texas A&M University).

## ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Скважина 474/474А глубиной 626 м пробурена в рейсе 64 DSDP (Deep Sea Drilling Program) при входе в Калифорнийский залив, в 55 км к юго-востоку от южной оконечности Калифорнийского п-ва на глубине 3023 м, рядом с границей океанической и континентальной кор (рис. 1, 2). В этом районе определено около 500 м плиоцен–

плейстоценовых, в основном диатомовых, осадков и тонко-мелкозернистых терригенных турбидитов со скоростями накопления от 47 до 395 м/млн лет. В нижней части скважины 474/474А, в плиоценовых осадках, находятся долеритовые силлы, пиллоу-базальты и массивные базальты (рис. 3) [8]. В районе бурения скважины 474/474А тепловой поток составляет  $168 \text{ мВт/м}^2$  [11].

Участники рейса DSDP 64 разделили осадочный разрез из скважины 474/474А на Толщи I, II, III, IV, V [8] (рис. 3):

**Толща I** (0.0–21.0 м). Гемипелагические верхнеплейстоценовые отложения, накопившиеся со скоростью 47 м/млн лет в дистальной части конуса выноса, состоят из диатомовых осадков с увеличением в них вниз по разрезу содержания глинисто-алевритовой составляющей. В нижней части Толщи I находится тонкий слой мелкозернистого аркозового песка, в котором присутствуют кварц, полевые шпаты и чешуйки слюды. Кроме того, в осадках есть зерна апатита, роговой обманки и цирконов из гранитов. Алевриты содержат большинство этих же минералов. Пелагические компоненты осадков составляют от 10 до 50%. В кремнистых фоссилиях преобладают диатомовые водоросли (20–40%), а также присутствуют силикофлагелляты, радиолярии и иголки губок. Контакт Толщи I с Толщей II постепенный (градиационный).

**Толща II** (21.0–87.5 м). Нижнеплейстоценовые и верхнеплейстоценовые осадки верхней части Толщи II такие же, как осадки Толщи I, но с увеличением вниз по разрезу количества слоев грубозернистых алевритов и песка. Нижняя часть Толщи II (~30 м) состоит из аркозового грубозернистого песка, гальки гранодиоритового состава, биотита и полевых шпатов. Эти переотложенные осадки включают обломки раковин моллюсков, мшанок, бентосных фораминифер, указывая на прибрежный источник осадочного материала. Контакт с Толщей III резко выражен находящимся в основании Толщи II слоем крупного гравия.

**Толща III** (87.5–239.0 м). Нижнеплейстоценовые осадки, накопившиеся со скоростью 395 м/млн лет, состоят главным образом из гемипелагических богатых кремнистыми наннофоссилиями глинистых алевритов/алевролитов и алевритовых глин/аргиллитов с тонкими слоями алевритового песка/песчаника, которые в основном находятся в основании многочисленных турбидитовых циклов. Грубые фракции песков/песчаников состоят из кварца, полевого шпата, слюды и фрагментов выветрелой породы гранитного состава. Несколько слоев

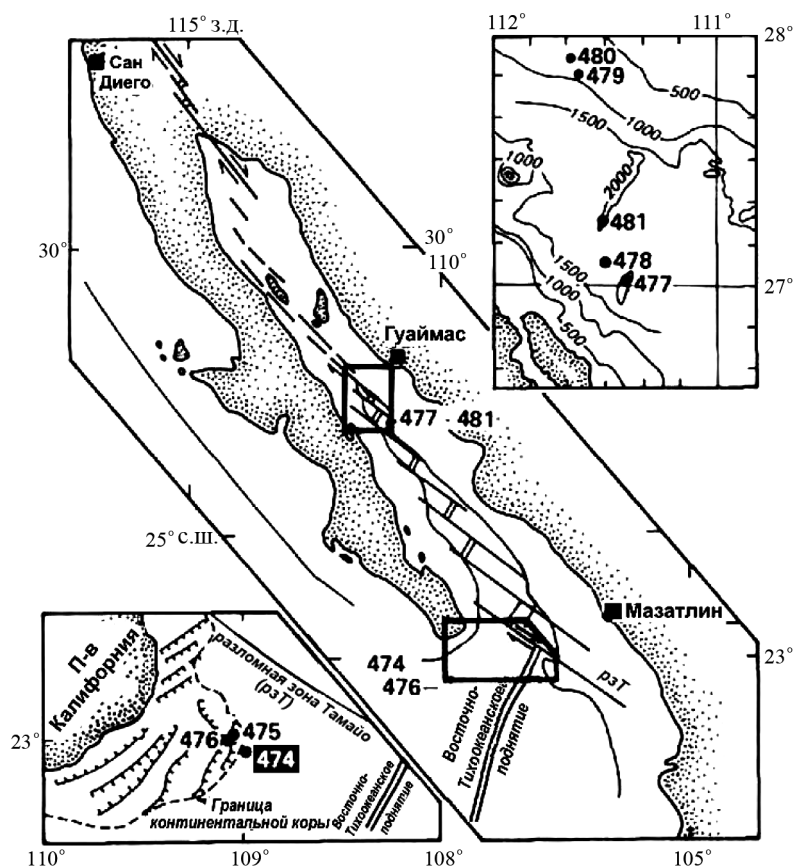


Рис. 1. Структурная схема Калифорнийского залива и расположение глубоководных скважин 474–481 (рейс 64 DSDP) [8]. Изобаты проведены через 500 м, эскарпы показаны линией вокруг осевой зоны спрединга.

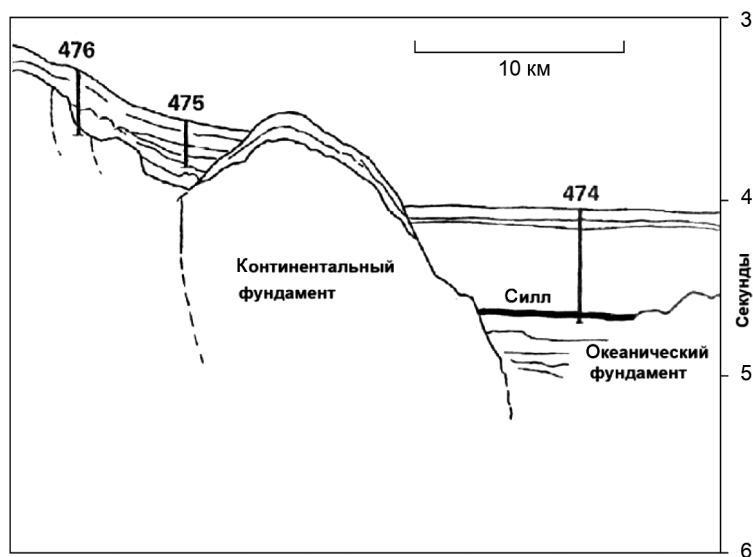
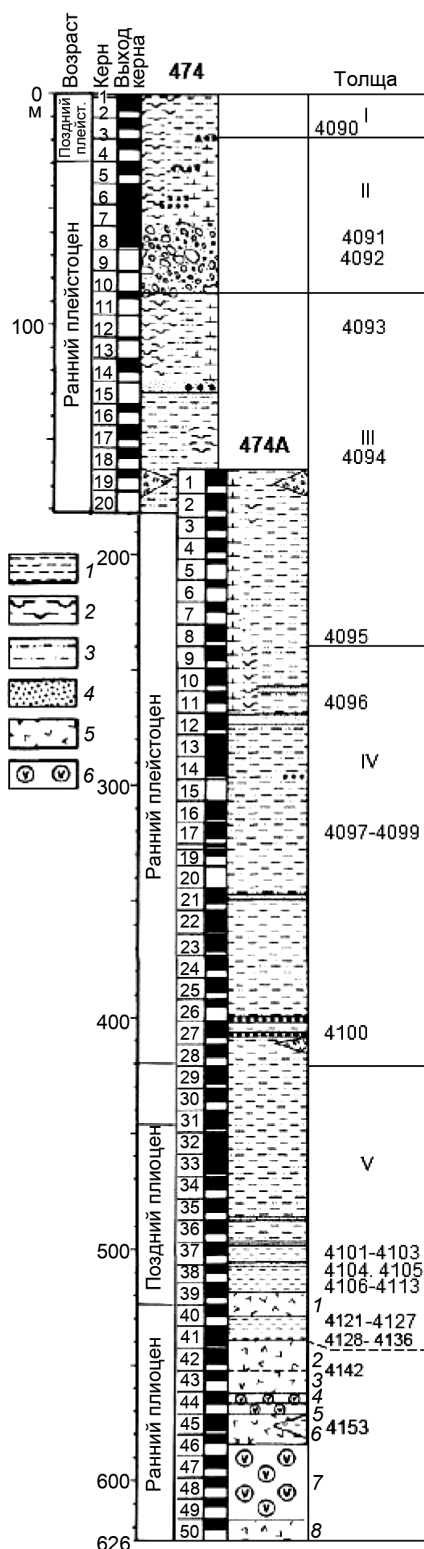


Рис. 2. Геофизический профиль через континентальный фундамент южной окраины Калифорнийского полуострова и океанический фундамент; показано расположение скважины 474/474А [8].

песка/песчаника содержат апатит, цирконы, пироксены и роговую обманку. Грубозернистые слои осадков содержат фрагменты мшанок, мелководные карбонаты, обломки раковин пелеципод и древесные обломки. Контакт Толщи III с Толщей IV постепенный (градиационный).

Толща IV (239.0–420.0 м). Нижнеплейстоценовые осадки близки по минеральному составу осадкам Толщи III. Они накопились также со скоростью 395 м/млн лет. Осадки из интервала 239.0–258.5 м состоят преимущественно из тонкозернистых диатомовых алевроитовых аргиллитов.



**Рис. 3.** Литологическая колонка, скважина 474/474А [8], с расположением образцов. 1 – глинистые осадки, 2 – диатомовые осадки, 3 – алевриты/алевролиты, 4 – пески/песчаники, 5 – базальтовые силлы и массивные базальты неясной природы экстразивной или интрузивной, 6 – пиллоу-базальты. В нижней части литологической колонки цифрами обозначены базальтовые/долеритовые толщи 1–8.

В интервале 258.5–420.0 м расположены турбидиты мощностью 40–60 см и массивные песчаники, состоящие в основном из кварца, полевых шпатов, слюды.

Толща V (420.0–533.0 м). Терригенные плиоценовые глины и алевроиты. В литологическом составе Толщи V по сравнению с Толщей IV нет изменений. Граница была выбрана так, чтобы она максимально совпадала с границей плейстоцена и плиоцена.

Долеритовые силлы, массивные базальты, пиллоу-базальты из скважины 474/474А обозначены цифрами от 1 до 8 (рис. 3).

1. Долеритовый силл (519.45–526.18 м, мощность 6.73 м) с зонами закалки в верхнем и нижнем контактах с осадками. Осадки над силлом брекчированы и термально изменены.

2. Долеритовый силл (541.27–551 м. мощность 9.73 м). Осадки, прилегающие к кровле силла, термально изменены.

3. Базальт (553.05–558 м, мощность 4.95 м). Керна из верхнего контакта с осадками не был поднят, поэтому не установлено, является ли этот базальт силлом или потоком.

4. Пиллоу-базальты (562.5–566.5 м, мощность 4 м).

5. Пиллоу-базальты (567–571 м, мощность 4 м). Стекловатые оторочки до 2 мм встречены в изобилии.

6. Массивный базальт (572.03–584 м, мощность 11.97 м). Не установлено, является ли массивный базальт интрузивным или экструзивным образованием.

7. Пиллоу-базальты (588–619.5 м, мощность 31.5 м). В базальтах многочисленные стекловатые оторочки.

8. Массивный базальт (619.5–626 м, мощность 6.5 м). Основания массивного базальта не видно, т. к. бурение скважины остановлено на глубине 626 м.

Зоны контакта осадков с базальтами показаны отдельно на рис. 4.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Прозрачные шлифы осадков изучены в оптическом микроскопе Zeiss Axio Lab A1.

Проведен гранулометрический анализ осадков. Каждый изученный образец разделен на 8 фракций:  $<0.001$  мм и  $0.01\text{--}0.001$  мм (глина/аргиллит),  $0.05\text{--}0.01$  мм и  $0.1\text{--}0.05$  мм (алеврит/алевролит),  $0.25\text{--}0.1$  мм,  $0.5\text{--}0.25$  мм и  $1\text{--}0.5$  мм (песок/песчаник),  $>1$  мм (гравий). Фракции  $<0.001$  мм и  $0.01\text{--}0.001$  мм получены из водной суспензии.



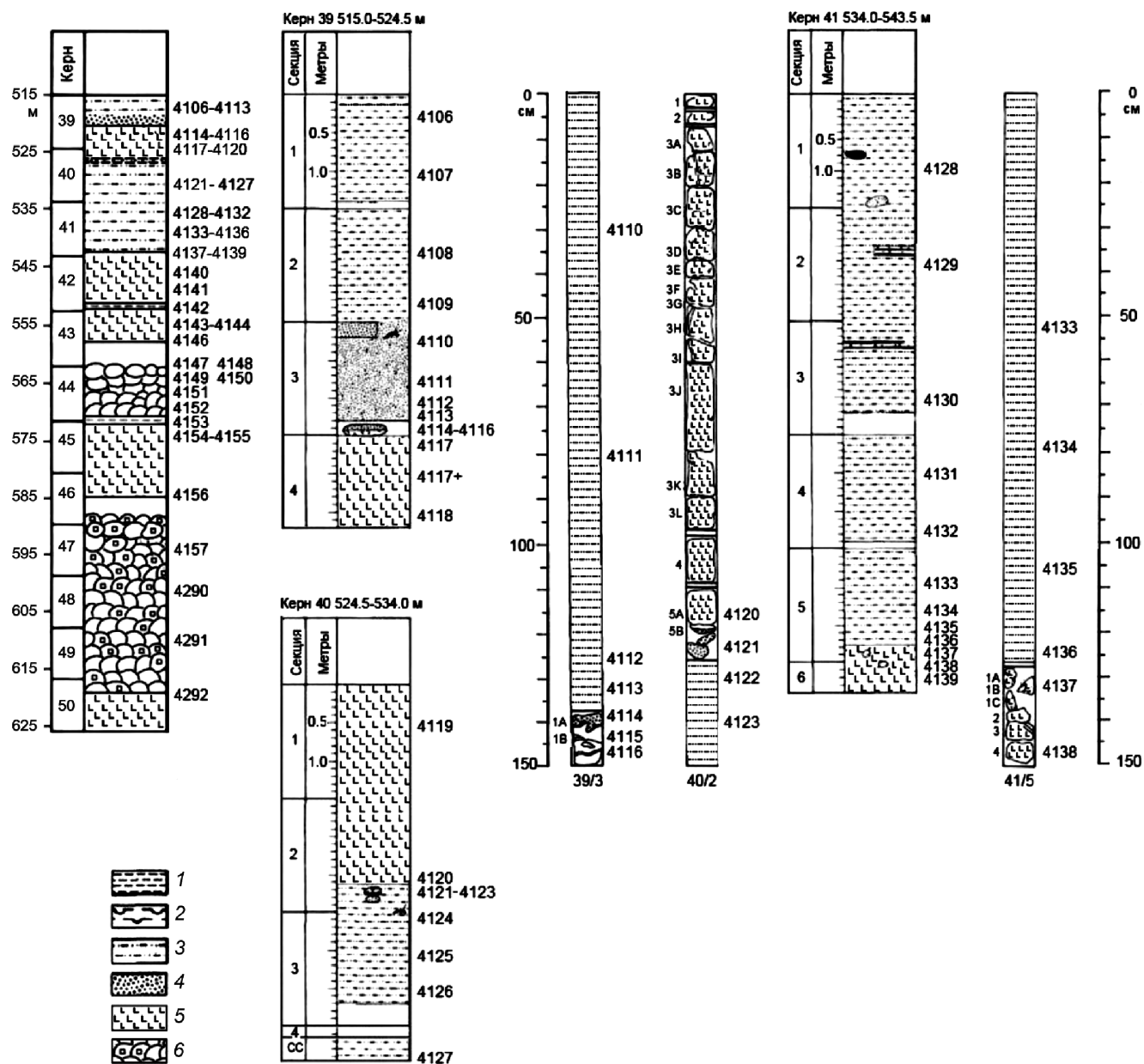


Рис. 4. Зоны контакта осадков с базальтами, скважина 474/474А [8], с расположением образцов. Условные обозначения см. рис. 3.

остальные фракции выделены ситованием остатка ( $>0.01$  мм) после выделения глинистых фракций.

Количественный рентгенофазовый анализ минерального состава осадков из скважины 474/474А проведен с помощью рентгеновского дифрактометра Rigaku Ultima-IV (Япония). Конфигурация дифрактометра:  $\text{CuK}\alpha$  излучение, Ni-фильтр, детектор D/Tex-Ultra, диапазон углов съемки  $3^\circ$ – $65^\circ$   $2\theta$ . Оптимальная навеска образца для анализа 600 мг. Количественный фазовый состав рассчитывался в соответствии с рекомендациями [13] по методу Ритвельда [15] с использованием программного обеспечения PROFEX для BGMN [9].

Глинистые минералы изучены в ориентированных препаратах фракции  $<0.001$  мм осадков на дифрактометре D8 Advance Bruker на  $\text{CuK}\alpha$  излучении. Они были сняты со скоростью  $2^\circ$   $2\theta$  в минуту в интервале углов  $2.0^\circ$ – $32^\circ$   $2\theta$  в воздушно-сухом состоянии, насыщенные этиленгликолем в эксикаторе при температуре  $60^\circ\text{C}$  в течение суток, и прогреты при  $550^\circ\text{C}$  в течение 2-х часов. Затем было проведено компьютерное моделирование полученных дифракционных картин от ориентированных препаратов, насыщенных этиленгликолем, с использованием программ Б.А. Сахарова и А.С. Наумова,

основанных на математических алгоритмах [4, 10, 16].

Химический анализ осадков из скважины 474/474А проведен в лаборатории химико-аналитических исследований Геологического института РАН методами рентгено-флюоресцентного анализа (определение содержания макроэлементов) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) (определение содержания микроэлементов, включая редкоземельные элементы). Содержание  $C_{орг}$  в осадках изучено в Почвенном институте РАН имени В.В. Докучаева методом прямого сухого сжигания.

Выявление изменения химического состава осадков из зон контактов с базальтами в скважине 474/474А определялось сравнением содержания химических элементов в этих осадках с содержанием химических элементов в фоновых неизменных терригенных осадках из этой же скважины. Пары для такого сравнительного изучения выбраны на основании их близости в петрографическом и гранулометрическом отношениях. Минеральные изменения осадков из зон контактов с базальтами определялись также сравнением их минерального состава с минеральным составом фоновых неизменных терригенных осадков.

### СОСТАВ ФОНОВЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ОСАДКОВ

По данным гранулометрического анализа большинство изученных нами образцов фоновых терригенных осадков и осадков из зон контакта с базальтами относится к алевроитовым глинам и глинистым алевроитам, редко к алевроитовому песку и глине.

Химический состав фоновых терригенных осадков (содержание макроэлементов, микроэлементов и редкоземельных элементов) показан в таблицах 1–3.

Результаты изучения в оптическом микроскопе прозрачных шлифов фоновых осадков из скважины 474/474А (образцы 4090, 4094, 4096–4099, 4101, 4102, 4104, 4105) показали, что компоненты алевроитовой и песчаной размерности представлены угловатыми и полуокатанными зернами кварца, КПШ, плагиоклазов, обломками кислых эффузивных пород, реже — обломками микрокварцитов, а также биотитом и мусковитом.

По данным количественного рентгенофазового анализа минерального состава осадков, изученных в образцах 4094, 4097–4100, 4102–4104 (табл. 4), они состоят из кварца (10.8–17.6%), плагиоклаза (13.3–22%), КПШ (11.8–17.9%), био-

тита (преимущественно от 1–2.4% до 11–13%), небольшого количества кальцита (0.7–6.2%) и предположительно иллита (4–7.5%), а также хлорита (1–4%). В этих осадках смектитовая фаза совместно со смешанослойным иллит-смектитом составляет от ~24% до ~43%. В верхней части разреза фоновых терригенных осадков присутствуют каолинит (3.1–4.6%) и цеолит (2–4.6%) в интервале 0–~350 м и 0–~450 м соответственно.

Глинистые минералы, изученные во фракции <0.001 мм фоновых терригенных осадков рентгеновскими методами, состоят в основном из диоктаэдрических неупорядоченных смешанослойных смектит-иллитов с соотношением смектитовых и иллитовых слоев 0.50:0.50 (от 26% до 40–47%) и 0.90:0.10 (от ~20% до 42–51%). В сумме они составляют в основном 77–89% (табл. 5). В небольшом количестве присутствуют триоктаэдрический хлорит и диоктаэдрический иллит.

### СОСТАВ ОСАДКОВ ИЗ ЗОН КОНТАКТОВ С БАЗАЛЬТАМИ

Результаты сравнения химического состава осадков из зон контактов с базальтами в скв. 474/474А и фоновых неизменных осадков показаны на рисунках в виде спайдерграмм. Все образцы для реперов взяты из неизменных терригенных осадков из этой же скважины.

В статье приняты условные границы интенсивности изменения (увеличение/уменьшение) содержания химических элементов в осадках из зон контакта с базальтами в скважине по сравнению с их концентрацией в фоновых терригенных неизменных осадках из этой же скважины: слабая (меньше, чем в 2 раза), средняя (в интервале от 2 до 4 раз), сильная (больше, чем в 4 раза).

Для изучения выбраны осадки в скв. 474/474А из зон их контакта с долеритовыми силлами разной мощности 6.73 м и 9.73 м, в судовом описании которых отмечено, что осадки над ними термально изменены. Кроме того, изучен единственный образец осадков (обр. 4153), заключенных между пиллоу-базальтами мощностью 4 м, расположенных в интервале 567–571 м, и массивным базальтом мощностью 11.97 м, который находится в интервале 572.03–584 м, природа которого не была установлена.

*Состав осадков над и под долеритовым силлом  
мощностью 6.73 м*

**Состав осадков над силлом.** В осадках (образцы 4106–4109, 4111, 4112), расположенных над силлом мощностью 6.73 м (рис. 4), прослеживается

Таблица 1. Химический состав (вес. %) осадков из скважины 474/474А, Калифорнийский залив

Обра- зец	Керн-секция, интервал (см)	Глуби- на (м)	Осад- ки	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	п. п. п.	Сумма	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub>	C <sub>орг.</sub>
4090	3R-3, 5–10	14.55	1	46.44	1.72	16.09	5.02	4.88	0.18	12.87	6.67	2.59	0.11	0.14	2.62	99.29	1.63	0.51	н.о.
4091	8R-3, 5–10	62.05	1	48.66	0.29	10.38	1.34	0.35	0.06	17.93	1.87	2.81	2.73	0.10	12.99	99.49	1.08	10.76	н.о.
4092	8R-3, 100–110	63.00	1	59.11	0.18	11.54	0.66	0.37	0.03	11.29	1.11	3.50	3.29	0.08	8.49	99.64	0.55	6.71	н.о.
4093	12R-1, 0–10	97.00	1	59.85	0.87	13.30	2.76	2.38	0.09	3.71	2.99	2.67	2.03	0.30	8.35	99.30	1.71	0.86	1.73
4094	18R-3, 0–10	157.00	1	61.08	0.52	15.42	2.67	0.75	0.05	2.19	2.45	2.74	3.14	0.44	8.08	99.54	2.17	1.28	1.53
4095	8R-3, 0–10	233.00	1	51.20	0.75	14.63	5.64	1.16	0.13	6.76	2.74	1.29	2.73	0.23	11.37	98.63	4.06	3.02	н.о.
4096	11R-1, 19–28	258.69	1	55.88	0.81	14.33	3.07	1.66	0.20	6.96	2.88	2.84	3.28	0.19	7.1	99.20	1.85	2.97	н.о.
4097	17R-4, 25–35	320.25	1	56.92	0.67	15.68	5.89	1.04	0.38	1.26	2.90	3.17	2.87	0.17	8.28	99.23	5.60	0.48	1.97
4098	17R-4, 100–110	321.00	1	54.39	0.78	16.08	4.74	1.64	0.18	3.53	3.27	2.31	2.66	0.46	9.48	99.53	3.02	1.94	2.53
4099	17R-5, 15–255	321.65	1	57.46	0.90	15.94	5.00	2.14	0.21	2.71	3.68	2.07	3.21	0.23	5.8	99.37	2.95	1.28	1.51
4100	27R-2, 18–27	402.68	1	59.73	0.67	16.04	4.13	0.52	0.13	1.90	2.73	2.16	3.09	0.19	8.17	99.46	4.04	1.43	2.82
4101	37R-1, 28–38	496.28	1	44.25	0.24	8.01	0.73	0.66	1.46	23.31	1.28	1.90	2.61	0.10	15.01	99.56	0.50	15.12	н.о.
4102	37R-1, 132–137	497.32	1	54.79	0.61	14.27	5.86	0.77	3.00	2.13	3.39	1.50	2.89	0.18	10.65	100.04	3.87	2.76	3.08
4103	37R-4, 73–78	499.88	1	57.01	0.65	14.87	3.61	1.20	0.10	4.17	3.26	3.19	2.57	0.37	8.91	99.90	3.69	2.43	2.64
4104	38R-1, 115–123	506.65	1	60.35	0.62	15.18	4.95	0.73	0.43	1.45	3.29	3.56	2.93	0.15	5.93	99.55	5.73	0.44	1.67
4105	38R-3, 55–62	509.05	1	58.82	0.66	14.89	5.92	0.79	0.58	1.47	4.06	1.90	2.87	0.17	7.37	99.51	5.26	0.83	2.41
4106	39R-1, 10–20	515.10	2	59.17	0.67	15.64	5.95	0.83	0.21	0.85	3.52	1.65	3.26	0.15	7.48	99.38	4.34	0.23	1.97
4107	39R-1, 102–105	516.02	2	58.21	0.66	14.79	4.48	0.72	0.13	1.76	3.56	2.32	2.89	0.39	9.8	99.71	3.38	0.99	1.38
4108	39R-2, 27–35	516.67	2	58.73	0.55	14.53	4.64	0.78	0.16	0.49	3.30	2.43	3.09	0.13	10.37	99.19	6.93	<0.20	1.34
4109	39R-2, 120–127	517.60	2	60.83	0.66	15.84	4.53	1.16	0.11	1.17	4.20	2.29	3.19	0.19	5.35	99.54	5.01	0.36	2.02
4110	39R-3, 25–35	518.15	2	59.91	0.65	15.42	4.75	1.08	0.16	2.10	4.12	2.42	3.20	0.21	5.54	99.56	5.06	0.99	1.18
4111	39R-3, 75–85	518.65	2	60.59	0.61	15.18	5.53	0.52	0.17	1.64	3.36	3.45	3.32	0.15	5.13	99.63	5.19	0.86	1.51
4112	39R-3, 122–130	519.12	2	56.71	0.59	14.16	4.92	0.34	0.28	1.71	3.34	3.68	3.13	0.23	10.55	99.63	4.94	0.89	1.48
4113	39R-3, 130–145	519.20	2	43.02	0.21	6.44	0.74	0.68	2.46	22.42	1.37	1.47	2.75	0.06	19.56	101.18	0.45	18.89	н.о.
4121	40R-2, 120–125	527.20	3	44.98	0.22	6.88	0.74	0.66	2.16	23.70	1.26	1.68	2.39	0.06	16.39	101.13	0.15	16.39	н.о.
4122	40R-2, 125–135	527.25	3	59.08	0.64	14.64	3.90	0.74	0.67	2.86	3.21	3.85	3.35	0.16	6.42	99.52	5.15	1.66	2
4124	40R-3, 8–16	527.58	3	59.12	0.60	14.81	3.38	0.81	0.20	3.40	2.78	4.01	3.43	0.15	6.59	99.26	4.93	1.55	1.35
4125	40R-3, 63–68	528.13	3	58.19	0.64	14.80	4.19	0.79	0.39	2.88	3.39	2.27	3.19	0.35	8.29	99.36	3.85	0.55	1.82
4126	40R-3, 100–110	528.50	3	60.46	0.69	15.15	5.94	0.93	0.12	1.39	4.11	2.03	3.20	0.21	5.32	99.54	5.40	0.41	1.27
4127	40R-CC, 43–50	529.28	3	59.37	0.71	15.77	4.43	1.25	0.18	2.65	4.01	1.83	3.32	0.39	5.51	99.40	5.27	1.19	1.92
4128	41R-1, 90–96	534.90	2	56.64	0.63	14.78	4.63	1.17	0.46	3.17	3.12	4.35	3.22	0.22	6.77	99.16	5.32	1.67	1.66
4129	41R-2, 125–135	536.75	2	51.54	0.62	14.10	3.29	1.37	0.44	8.34	3.47	1.65	3.15	0.41	11.10	99.47	4.24	5.11	н.о.
4130	41R-3, 100–105	538.00	2	58.15	0.67	13.67	5.57	0.88	1.24	2.05	3.44	2.17	3.27	0.35	8.39	99.84	3.71	1.01	1.65
4131	41R-4, 50–60	538.70	2	59.10	0.72	15.23	5.33	0.90	0.12	1.83	4.43	1.92	3.33	0.21	6.21	99.34	4.81	0.52	1.02
4132	41R-4, 125–135	539.25	2	60.63	0.68	15.63	4.99	0.73	0.12	1.05	4.18	2.10	3.56	9.20	5.71	99.58	4.41	0.32	1.33
4133	41R-5, 48–55	540.08	2	60.78	0.64	15.64	4.11	0.76	0.10	2.01	4.03	2.02	3.68	0.19	5.68	99.63	5.11	1.15	1.22
4134	41R-5, 77–85	540.77	2	56.99	0.56	13.63	6.20	0.40	0.08	2.64	2.86	2.42	3.71	0.14	9.54	99.17	4.54	0.27	1.26
4135	41R-5, 100–110	540.60	2	59.29	0.63	14.79	5.08	0.56	0.08	1.51	3.30	1.28	4.09	0.12	7.51	98.24	4.08	0.2	2.28
4136	41R-5, 120–128	541.20	2	54.19	0.61	14.02	5.36	0.93	0.33	5.74	4.03	1.81	3.41	0.18	8.77	99.39	4.18	3.82	1.41
4142	43R-1, 0–2	553.00	4	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
4153	45R-1, 0–3	572.00	4	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.

Примечание. Осадки: 1 – фоновые неизменные, 2 – над силлом, 3 – под силлом, 4 – между базальтами, н. о. – не определялся. Образцы 4090–4094 из скважины 474.

Таблица 2. Содержание микроэлементов (мкг/г) в осадках из скважины 474/474А, Калифорнийский залив, данные ICP-MS

Обра- зец	Осад- ки	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Zn	Cu	Ga	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sb	Cs	Ba	Hf	W	Tl	Pb	Th	U
4090	1	5.4	0.59	35.24	261	303	42	120	74	55	17.7	0.50	1.73	147	29	101	3.5	0.45	0.04	0.15	0.03	0.09	12.2	2.6	0.23	0.02	0.82	0.28	0.15
4091	1	19.5	1.22	3.809	31	21.9	4.4	9.2	30	14.7	11.7	2.9	107	1046	11.6	79	3.4	1.61	0.12	0.26	0.65	3.4	890	2.3	0.68	0.66	16.6	6.0	2.3
4092	1	12.4	1.28	2.91	19.8	13.7	2.4	3.2	<10	7.7	12.1	1.9	120	767	10.1	68	2.8	0.72	0.092	0.15	0.46	2.5	953	2.1	0.58	0.69	14.2	6.2	1.49
4093	1	35	1.75	17	153	64	18.7	47	90	78	20	8.7	109	177	27	142	7.5	3.6	0.34	0.58	1.33	6.8	1127	3.7	1.30	0.71	13.8	8.1	3.1
4094	1	64	2.2	11.83	98	44	14.2	56	114	60	20	8.9	137	259	25	157	9.8	1.23	0.43	0.79	2.5	10.0	1212	4.1	1.18	1.07	21	10.3	5.1
4095	1	71	2.0	13.8	109	63	12.4	48	142	50	20	9.6	110	417	29	132	12.0	4.9	0.23	1.37	1.77	8.1	1061	3.6	3.7	0.82	18.8	12.3	5.5
4096	1	51	2.3	12.95	87	37	12.0	28	78	34	21	3.9	138	495	29	184	11.1	1.77	0.17	0.32	1.03	7.0	1069	4.8	0.80	0.97	20	7.9	2.9
4097	1	90	2.3	15.95	164	63	22	102	202	155	23	13.5	122	198	37	158	11.6	12.4	0.42	1.38	3.9	10.8	1225	3.9	1.58	1.46	26	10.1	5.7
4098	1	91	2.5	16.95	125	65	17.1	64	161	79	24	11.4	124	288	30	151	12.8	4.2	0.52	1.17	1.83	8.9	1079	3.4	1.31	0.81	17.9	9.0	3.7
4099	1	86	2.6	15.96	118	56	18.9	64	165	58	25	10.0	143	253	26	148	14.1	2.3	0.38	0.77	1.95	9.4	1213	4.0	3.7	1.12	19.8	7.7	3.1
4100	1	97	2.4	14.34	81	53	10.1	37	99	30	21	15.3	119	221	23	165	13.4	8.3	0.24	0.96	2.6	11.4	1400	4.4	5.8	0.74	19.9	9.2	4.3
4101	1	10.5	1.13	3.122	24	7	3.6	10.9	<10	10.2	10.4	3.0	102	341	12.2	47	2.0	0.96	0.14	0.16	0.61	2.2	659	1.11	0.30	0.55	10.1	5.4	1.38
4102	1	58	2.1	13.56	168	68	27	125	255	152	20	15.6	104	188	38	138	10.0	19.5	0.39	1.68	6.8	9.6	568	3.7	3.8	1.62	25	9.6	4.8
4103	1	58	2.1	15.38	106	69	17.8	68	191	76	21	11.7	119	298	30	141	10.7	5.5	0.40	1.01	2.6	11.1	582	3.2	1.28	0.76	19.8	9.3	4.0
4104	1	87	2.7	15.06	136	70	26	120	267	149	22	11.4	132	184	34	162	11.0	3.6	0.38	0.92	5.1	11.4	568	3.7	1.33	0.97	22	8.7	2.6
4105	1	91	2.6	15.77	150	78	29	160	296	156	23	16.5	115	184	33	137	10.9	11.7	0.39	2.2	6.6	10.5	560	3.4	2.5	1.64	29	9.5	3.7
4106	2	78	2.3	15.52	168	79	26	135	278	163	23	12.1	124	167	35	147	11.0	11.4	0.20	1.39	4.7	10.6	573	3.0	1.25	1.19	19.8	7.6	2.9
4107	2	84	2.6	15.75	134	74	21	92	194	118	22	9.9	145	217	31	150	12.0	2.5	0.53	1.48	3.3	11.9	617	3.3	1.57	1.41	22	9.8	3.3
4108	2	85	2.3	14.03	93	64	13.5	73	122	61	20	9.9	123	114	27	163	11.6	2.4	0.17	0.48	1.84	12.0	548	3.7	1.47	0.63	13.3	7.7	2.9
4109	2	101	2.8	15.44	149	67	25	124	217	142	23	12.1	128	173	32	145	11.5	2.9	0.37	1.71	5.2	10.9	552	3.7	3.2	1.78	27	10.3	3.8
4110	2	83	2.5	15.85	124	70	30	122	234	133	23	11.3	123	214	32	139	11.2	2.2	0.38	0.94	4.1	11.1	538	3.7	4.3	1.31	27	9.7	3.5
4111	2	76	2.4	14.31	123	73	22	88	183	130	22	10.3	125	204	29	157	10.8	2.2	0.28	0.76	3.4	10.7	597	3.4	1.43	0.92	19.6	7.6	2.8
4112	2	60	2.2	14.53	123	71	17.8	79	180	110	21	9.9	124	177	30	162	11.1	1.31	0.37	0.65	3.0	9.3	818	3.5	1.99	1.02	19.8	7.8	3.4
4113	2	10.6	0.95	1.926	17.9	<5	3.2	7.4	<10	7.5	8.4	1.89	87	315	13.1	38	2.0	0.50	0.06	0.14	0.52	2.5	507	0.95	0.17	0.46	8.8	2.4	0.50
4121	3	7.9	1.11	2.354	16.0	<5	2.4	3.7	<10	3.9	9.6	1.49	85	264	9.8	61	2.7	0.96	0.08	<0.1	0.34	1.90	504	1.58	0.19	0.44	8.9	3.7	1.04
4122	3	66	2.3	14.07	111	62	16.9	56	218	98	21	9.4	130	197	29	157	11.5	1.75	0.31	0.67	2.8	10.5	509	3.5	1.63	0.77	18.5	8.2	2.5
4123	3	53	1.80	9.765	76	46	14.6	136	108	59	16.8	16.0	102	165	22	140	9.9	8.8	0.39	1.05	5.1	9.4	420	3.1	1.41	1.19	16.6	6.2	2.2
4124	3	67	2.2	13	94	61	11.3	54	103	59	18.8	12.2	125	217	26	174	11.6	1.50	0.21	0.87	2.2	10.2	963	3.7	1.60	0.92	17.0	7.2	3.3
4125	3	65	2.2	14.25	108	64	14.8	61	131	91	20	10.2	123	200	29	157	10.6	1.66	0.23	0.48	2.7	10.5	489	3.4	1.69	0.84	20	9.2	2.5
4126	3	67	2.7	14.99	196	84	19.6	68	196	177	21	23	124	151	34	156	12.2	2.6	0.27	0.79	2.6	10.6	487	4.1	3.6	1.26	38	10.5	3.5
4127	3	66	2.6	15.01	138	67	22	90	195	124	23	10.0	129	215	36	146	11.7	1.14	0.88	0.83	3.5	11.4	2915	4.0	3.8	1.38	28	11.4	3.7
4128	2	59	2.1	14.33	169	84	26	122	268	134	21	12.3	116	215	34	147	10.8	2.7	0.41	1.50	5.0	10.7	3193	3.8	2.5	1.58	26	10.1	4.0
4129	2	61	2.1	13.16	109	72	15.2	65	172	77	19.9	10.8	115	358	30	123	10.7	6.0	0.38	1.38	2.5	10.3	525	3.5	2.7	0.89	26	10.3	6.6
4130	2	63	2.3	15.35	171	83	27	132	259	187	21	14.1	126	175	37	153	10.4	3.5	0.37	0.56	4.2	10.2	507	3.3	1.62	0.72	32	7.2	2.4
4131	2	70	2.4	16.26	154	82	23	111	223	135	23	11.8	125	221	35	154	11.4	2.4	0.40	1.16	3.8	11.6	2583	4.1	3.6	1.40	27	9.7	3.6
4132	2	71	2.5	12.42	146	80	26	120	264	132	23	13.0	131	155	28	161	12.3	2.2	0.42	1.08	4.5	12.0	503	4.3	2.2	1.43	29	8.4	4.1
4133	2	66	2.4	14.72	121	69	18.5	79	199	109	22	10.1	128	172	29	156	11.7	1.89	0.38	1.30	3.7	11.9	464	4.2	3.0	1.33	25	9.4	3.4
4134	2	49	1.90	12.1	86	51	10.0	61	149	60	18.5	16.7	119	188	22	163	10.3	9.9	0.34	1.07	3.4	9.1	506	3.4	1.28	0.93	15.6	7.1	2.9
4135	2	58	1.97	12.79	93	57	9.3	37	106	32	19.7	13.3	118	143	23	163	12.3	19.9	0.21	1.15	2.3	11.1	486	4.3	3.1	0.91	18.2	9.7	4.5
4136	2	49	2.2	13.22	161	72	29	161	274	170	19.2	24.54	109	138	36	144	10.3	4.7	0.36	1.66	3.5	9.1	674	3.7	3.0	1.42	29	8.4	3.3
4153	4	54	2.3	15.17	119	69	20	85	207	147	21	10.2	131	225	33	153	10.1	3.7	0.47	0.82	3.2	10.4	461	3.4	1.42	0.83	23	7.7	2.6

Примечание. Осадки: 1 — фоновые неизменные, 2 — над силлом, 3 — под силлом, 4 — между базальтами.



Таблица 3. Содержание редкоземельных элементов (мкг/г) в осадках из скважины 474/474А, Калифорнийский залив, данные ICP-MS

Образец	Осадки	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
4090	1	4.6	12.6	2.0	10.2	3.3	1.19	4.5	0.80	5.2	1.10	3.2	0.47	3.0	0.46
4091	1	14.0	27	2.9	10.8	2.2	0.58	2.2	0.30	1.72	0.35	1.03	0.16	1.09	0.17
4092	1	18.6	32	3.3	11.6	2.2	0.61	1.92	0.26	1.57	0.32	0.92	0.14	0.97	0.16
4093	1	17.1	40	4.5	17.6	4.3	1.08	4.4	0.72	4.4	0.91	2.7	0.40	2.7	0.41
4094	1	26	53	6.4	22	4.9	1.01	4.3	0.67	4.0	0.81	2.4	0.35	2.4	0.38
4095	1	35	74	8.9	33	7.4	1.24	6.5	0.99	5.5	1.07	3.1	0.44	2.8	0.45
4096	1	27	54	6.8	25	5.6	1.16	5.1	0.80	4.8	0.94	2.8	0.40	2.7	0.40
4097	1	35	75	8.9	35	7.1	1.55	7.0	1.04	6.2	1.27	3.6	0.51	3.5	0.53
4098	1	39	69	8.2	31	6.6	1.21	5.9	0.85	5.1	0.99	2.7	0.41	2.7	0.38
4099	1	29	56	6.9	26	5.7	1.38	5.4	0.79	4.6	0.89	2.6	0.38	2.5	0.40
4100	1	26	56	6.4	25	5.4	1.19	4.9	0.69	4.1	0.81	2.3	0.35	2.3	0.36
4101	1	22	31	3.0	10.2	1.79	0.46	1.67	0.26	1.57	0.34	1.00	0.16	1.03	0.17
4102	1	31	64	7.7	30	6.8	1.37	6.7	1.04	6.5	1.34	3.9	0.59	3.8	0.63
4103	1	36	60	7.1	26	5.2	1.01	4.8	0.79	4.4	0.85	2.5	0.39	2.5	0.41
4104	1	34	62	7.6	28	5.7	1.14	5.5	0.86	5.0	0.97	2.9	0.42	2.7	0.44
4105	1	31	65	7.7	30	6.4	1.38	6.5	0.97	5.8	1.17	3.3	0.50	3.2	0.50
4106	2	40	61	7.5	29	5.7	1.21	5.5	0.87	5.2	0.98	2.8	0.42	2.8	0.42
4107	2	36	60	7.3	27	5.5	1.06	5.1	0.77	4.7	0.91	2.6	0.40	2.5	0.40
4108	2	30	51	6.5	23	4.8	0.97	4.3	0.67	3.7	0.76	2.2	0.33	2.1	0.34
4109	2	30	65	7.8	30	6.5	1.38	6.4	0.95	5.7	1.14	3.2	0.49	3.1	0.49
4110	2	30	59	7.5	29	6.2	1.35	6.2	0.93	5.5	1.08	3.1	0.46	3.0	0.47
4111	2	32	56	6.8	27	5.1	1.10	4.8	0.73	4.4	0.88	2.5	0.36	2.4	0.37
4112	2	32	61	7.2	26	5.4	1.11	5.1	0.75	4.4	0.88	2.6	0.40	2.4	0.39
4113	2	17.3	21	2.2	8.5	1.68	0.44	1.72	0.26	1.58	0.33	1.01	0.15	0.97	0.16
4121	3	16.7	21	2.3	8.9	1.65	0.36	1.67	0.25	1.43	0.28	0.82	0.13	0.88	0.14
4122	3	32	56	6.9	24	4.9	1.02	4.7	0.74	3.9	0.80	2.4	0.36	2.4	0.37
4123	3	27	43	5.0	19.1	3.7	0.77	3.5	0.51	3.2	0.64	1.86	0.28	1.82	0.30
4124	3	30	55	6.1	22	4.5	0.98	4.2	0.65	3.8	0.78	2.2	0.33	2.2	0.33
4125	3	31	57	7.0	25	5.2	1.04	5.0	0.69	4.3	0.83	2.5	0.37	2.5	0.37
4126	3	33	60	7.7	31	6.4	1.36	6.5	0.97	5.8	1.16	3.3	0.50	3.3	0.51
127	3	35	70	8.3	32	7.6	2.0	7.1	1.03	6.1	1.21	3.5	0.53	3.5	0.54
4128	2	32	66	7.5	29	7.3	1.69	6.3	1.00	5.8	1.20	3.5	0.53	3.4	0.56
4129	2	30	61	6.7	26	5.5	1.17	5.7	0.84	4.9	0.99	2.9	0.44	2.8	0.45
4130	2	36	61	7.3	27	5.3	1.14	5.5	0.84	5.1	1.07	3.2	0.46	3.0	0.47
4131	2	33	63	7.9	31	7.4	1.96	7.1	0.99	6.0	1.21	3.4	0.52	3.3	0.52
4132	2	29	63	7.0	27	5.7	1.26	5.7	0.86	4.9	0.98	2.8	0.43	2.8	0.43
4133	2	29	62	7.3	28	6.0	1.28	6.0	0.88	5.2	1.03	2.9	0.45	2.9	0.45
4134	2	26	46	5.4	19.4	4.0	0.79	3.4	0.52	3.1	0.61	1.82	0.27	1.92	0.28
4135	2	25	53	6.5	24	5.2	1.09	4.8	0.73	4.3	0.87	2.5	0.39	2.5	0.41
4136	2	32	62	7.8	31	6.7	1.56	7.1	1.07	6.2	1.27	3.6	0.55	3.5	0.54
4153	4	33	66	7.2	29	5.7	1.18	5.7	0.78	4.8	1.01	2.9	0.41	2.7	0.42

Примечание. Осадки: 1 – фоновые неизменные, 2 – над силлом, 3 – под силлом, 4 – между базальтами.

**Таблица 4.** Минеральный состав осадков из скважины 474/474А (в %), данные количественного рентгенофазового анализа

Осадки	Образец	Хлорит	Биотит	Иллит*	Смектит + ССМ (иллит-смектит)**	Каолинит	Кварц	Плагиоклаз	КПШ	Кальцит	Гипс	Галит	Амфибол	Пирит	Ярозит	Бассанит	Цеолит
1	4094	—	4	6.4	28.2	3.1	15.2	19.9	14.9	3.9	1.0	1.0	—	<0.5*	—	—	2.0
1	4097	—	7.2	7.5	34.6	4.3	13.4	13.3	12.9	—	2.2	0.5	—	—	—	—	4.1
1	4098	—	11	4.9	32.6	4.6	11.1	17.3	11.8	3.3	—	0.8	—	—	—	—	2.5
1	4099	—	13	4.1	23.7	3.6	10.8	22.0	14.1	1.8	—	1.4	1.6	—	—	—	3.6
1	4100	1.3	1.2	4.2	31.4	—	17.6	19.1	17.9	2.1	—	—	—	0.6	—	—	4.6
1	4102	2.3	2.4	5.7	42.8	—	14.5	14.1	15.5	1.2	—	0.8	—	0.7	—	—	—
1	4103	3.8	4.5	7.3	34.3	—	12.6	16.5	12.6	6.2	1.5	—	—	0.7	—	—	—
1	4104	2.5	4.5	6	41.7	—	13.4	14.7	15.8	0.7	—	—	—	0.7	—	—	—
2	4106	1.7	6.8	5.8	36.7	—	14.2	14.7	16.9	0.6	—	0.5	—	—	2.1	—	—
2	4107	1.4	5.8	6.8	37.9	—	15.5	14.9	15.6	1.6	—	—	—	0.5	—	—	—
2	4108	—	—	6.4	36.4	—	14.3	13.9	22.4	—	0.7	—	—	—	5.9	—	—
2	4109	2.6	5.8	6.9	33.7	—	15.6	16.2	17.1	1.6	—	—	—	0.5	—	—	—
2	4111	2.1	2.5	6	41.3	0.9	15.1	13.1	17.3	1.2	—	—	—	0.5	—	—	—
2	4112	1.7	—	8.1	39.6	—	17.1	14.2	17.7	0.6	—	0.7	—	<0.5*	—	—	—
3	4122	2.5	2.5	5.3	34.2	—	16.5	14.1	20.6	1.9	1.9	—	—	0.5	—	—	—
3	4124	1.9	1.6	5.7	34.2	—	17.6	11.9	20.3	3.5	—	0.5	—	—	—	2.8	—
3	4125	1.6	2.7	7.6	32.1	—	16.0	16.6	16.2	1.2	2.8	—	—	0.5	—	2.7	—
2	4128	3.3	4.2	8.8	38.5	—	13.0	13.5	15.9	2.3	—	—	—	0.5	—	—	—
2	4130	3.3	3.9	7.3	40.6	—	11.7	13.4	16.2	—	—	—	—	0.7	—	2.9	—
2	4131	7.7	—	6.6	37.1	—	12.8	17.5	17.1	0.7	—	—	—	0.5	—	—	—
2	4133	1.9	—	6.1	42	—	14.7	12.0	20.9	1.4	—	<0.5*	—	0.6	—	—	—
2	4134	1.3	—	6.2	29.9	—	17.8	12.0	20.2	—	0.9	—	—	<0.5*	6.0	5.4	—

Примечание. \* Требуется уточнения по ориентированным препаратам; \*\* Преимущественно смектит, также требует уточнения; пропуск — минерал не обнаружен. Осадки: 1 — фоновые неизменные, 2 — над силлом, 3 — под силлом.

уменьшение содержания Мп от наиболее удаленных от кровли силла образцов до образца, расположенного около его кровли (рис. 5а). В результате в обр. 4106, который находится выше силла примерно на 4 м, уменьшение содержания Мп проявилось на слабом уровне интенсивности изменения. В образцах 4107–4109 и 4111, расположенных ближе к силлу, уменьшение концентрации Мп произошло на среднем уровне интенсивности изменения, а в образце 4112, который находится в нескольких см от кровли силла, содержание Мп сильно уменьшилось. При приближении к кровле силла в осадках уменьшается в такой же последовательности содержание

С<sub>орг</sub>, но его изменение проявилось значительно слабее. Наибольшее сокращение концентрации С<sub>орг</sub> произошло только до уровня средней интенсивности изменения в обр. 4112 (рис. 5а). Содержание остальных макроэлементов или не изменилось, или изменилось слабо и хаотично (рис. 5а).

В колонке осадков, расположенных над силлом, среди микроэлементов прослеживается уменьшение содержания Мо от наиболее удаленного от кровли силла обр. 4106 к обр. 4112, в котором концентрация Мо сократилась на уровне сильной интенсивности изменения (рис. 5б). Остальные микроэлементы или остались неподвижными, или их содержание изменилось слабо

**Таблица 5.** Фазовый состав глинистых минералов (фракция < 0.001 мм) в осадках из скважины 474/474А, их количественное содержание (в %) и соотношение смектитовых и иллитовых слоев в смешанослойных минералах, результаты моделирования рентгеновских дифракционных картин

Образец	Глубина ниже поверхности дна, м	Смектит-иллит (диокт.) $W_{см}:W_{и} = 0.50:0.50$	Смектит-иллит (диокт.) $W_{см}:W_{и} = 0.90:0.10$	Смектит-иллит (сумма)	Хлорит (триокт.)	Иллит (диокт.)	Кварц
Неизмененные фоновые осадки							
4090	14.95	45	21	66	17	16	1
4091	62.05	46	22	68	15	17	<1
4096	258.69	26	51	77	8	15	<1
4097	320.25	30	50	80	8	12	<1
4098	321.00	34	46	80	9	11	<1
4102	497.32	41	46	87	6	6	1
4103	499.88	47	42	89	4	7	<1
4104	506.65	40	47	87	6	7	<1
Осадки над долеритовым силлом							
4106	515.10	58	34	92	3	5	<1
4107	516.02	23	63	86	7	7	<1
4108	516.67	64	32	96	2	2	<1
4109	517.60	62	30	92	4	4	<1
4110	518.15	56	26	82	7	5	<1
4112	519.12	48	38	86	5	9	<1
<i>Долеритовый силл, интервал 519.45–526.18 (мощность 6.73 м)</i>							
Осадки под долеритовым силлом							
4122	527.25	43	44	87	7	6	<1
4125	528.13	59	32	91	3	6	<1
4126	528.50	63	30	93	3	4	<1
Осадки над долеритовым силлом							
4130	538.00	33	59	92	4	4	<1
4131	538.70	78	14	92	2	6	<1
4133	540.08	73	19	92	2	6	<1
<i>Долеритовый силл, интервал 541.27–551 м (мощность 9.73 м)</i>							

*Примечание.* (диокт.), (триокт.) – обозначение диоктаэдрической и триоктаэдрической фазы соответственно.

и хаотично. Содержание РЗЭ в большинстве образцов этих осадков произошло на уровне слабой интенсивности изменения по сравнению с их концентрацией в исходных терригенных неизмененных осадках (рис. 5в).

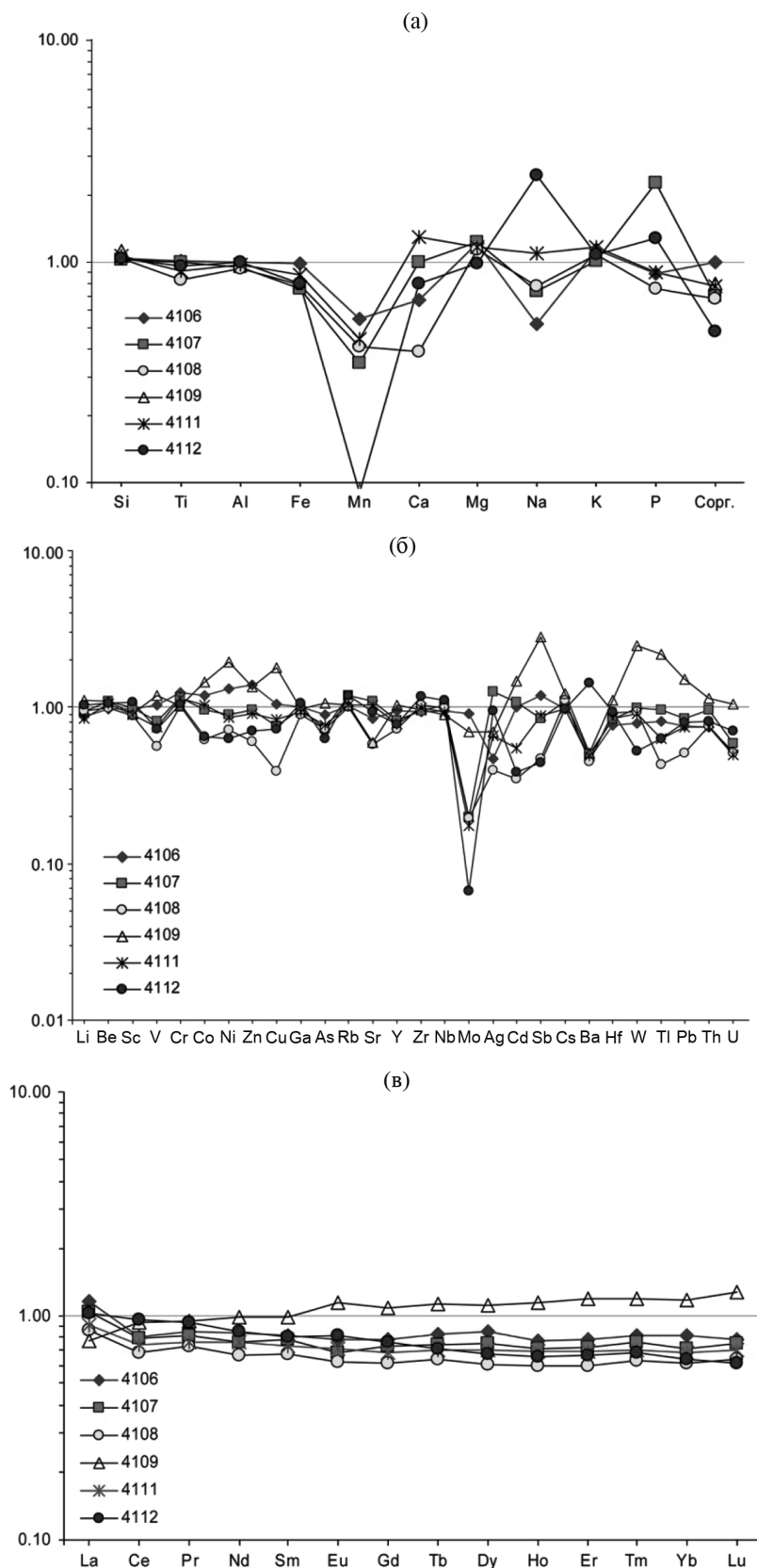
В осадках, находящихся над силлом, по результатам изучения в оптическом микроскопе прозрачных шлифов (образцы 4106, 4108–4113) минеральный состав не изменился по сравнению с таковым фоновых терригенных осадков.

По данным количественного рентгенофазового анализа этих осадков (образцы 4106–4109, 4111 и 4112) также отсутствует изменение их ми-

нерального состава по сравнению с фоновыми терригенными осадками, за исключением появления небольшого количества ярозита (Fe сульфата) в образцах 4106 и 4108, 2.1% и 5.9% соответственно (табл. 4).

В глинистых минералах, изученных рентгеновскими методами во фракции < 0.001 мм этих осадков, изменений не произошло (табл. 5).

Полученные результаты показали, что исходные терригенные осадки над силлом, мощность которого 6.73 м, претерпели ограниченные изменения химического и минерального состава. В них сильно уменьшилась концентрация только



**Рис. 5.** Содержание химических элементов в осадках из скважины 474/474А, расположенных над силлом мощностью 6.73 м; нормировано по химическому составу неизмененных осадков (образцы 4106–4108 и 4111 нормированы по обр. 4097, обр. 4109 нормирован по обр. 4098, обр. 4112 нормирован по обр. 4102): а – макроэлементы и  $C_{org}$ ; б – микроэлементы; в – РЗЭ.



Mn и Mo в обр. 4112. В образцах 4106 и 4108 образовалось небольшое количество ярозита, 2.1% и 5.9% соответственно. Особое внимание обращает на себя то, что исходные терригенные глинистые минералы в осадках над этим силлом сохранились без изменения.

Сравнение изменения химического состава осадков, расположенных над силлом мощностью 6.73 м (скв. 474/474А) и над горячим силлом мощностью ~3 м (скв. 478, впадина Гуаймас) [3], показало следующее: в осадках над силлом мощностью ~3 м заметно изменилась концентрация большего количества микроэлементов, чем в осадках над силлом мощностью 6.73 м. В осадках над силлом мощностью ~3 м на среднем уровне интенсивности изменения уменьшилось содержание Li, Cs и увеличилась концентрация Cu, Mo, Ag, Cd. Кроме того, сильно уменьшилось содержание As в обр. 2737. При этом авторы ранее полагали, что над силлом мощностью 6.73 м эффект влияния силла должен быть не меньшим или сильнее, чем от силла, мощность которого в два раза меньше (~3 м).

Еще большие различия установлены в изменении фазового состава глинистых минералов. Если в осадках, расположенных над долеритовым силлом мощностью 6.73 м (скв. 474/474А), исходные терригенные глинистые минералы остались без изменения, то в осадках, расположенных над горячим силлом меньшей мощности ~3 м (обр. 2737, скв. 478), произошло существенное изменение в составе глинистых минералов. В них исчезли терригенные диоктаэдрический смектит-иллит, а также хлорит, каолинит и за их счет образовались триоктаэдрические хлорит-смектит и смектит [7].

Из результатов проведенного сравнения следует, что силл мощностью 6.73 м в момент достижения осадков, в которых пробурена скв. 474/474А, уже существенно остыл. В результате его температурное состояние не позволило обеспечить изменение минерального и химического состава осадков, находящихся над ним, на уровне изменения осадков, который был установлен в осадках над горячим силлом с меньшей мощностью ~3 м (скв. 478).

Таким образом, кроме горячих силлов и их соответствующего влияния на состав осадков из скважин, пробуренных во впадине Гуаймас Калифорнийского залива (скв. 477, 478, 481/481А), впервые на примере силла мощностью 6.73 м (скв. 474/474А) обнаружено существование дистальных и в значительной степени остывших частей силлов.

**Состав осадков под силлом.** В осадках (образцы 4122, 4124–4126), расположенных под силлом, мощность которого 6.73 м (рис. 4), содержание макроэлементов и  $C_{орг}$  слабо изменилось (рис. 6а). Среди микроэлементов в этих осадках произошло сильное уменьшение концентрации только Mo (рис. 6б), также как и в осадках над этим силлом (рис. 5б). Содержание редкоземельных элементов в осадках, находящихся под силлом мощностью 6.73 мм, сохранилось на уровне их концентрации в исходных терригенных осадках (рис. 6в). Глинистые минералы, изученные рентгеновскими методами во фракции <0.001 мм в образцах 4122, 4125, 4126, не изменились, их фазовый состав такой же, как в исходных фоновых осадках (табл. 4).

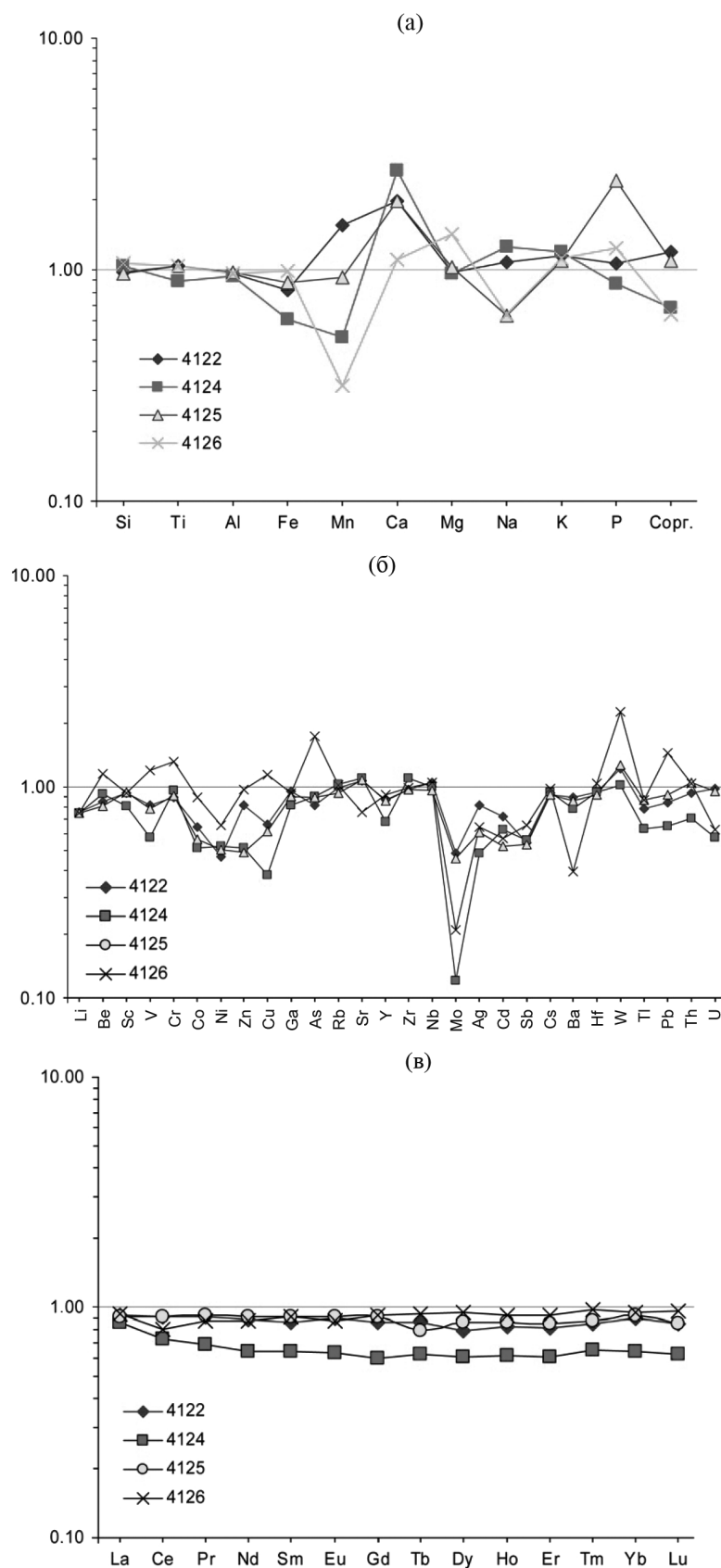
По результатам петрографического изучения осадки (образцы 4124 и 4125), расположенные под долеритовым силлом мощностью 6.73 м, являются аргиллитами. В них присутствует примесь зерен алевритовой размерности (5%), состоящих из терригенных кварца, КПШ, плагиоклаза, биотита, а также редких обломков эффузивов.

По данным количественного рентгенофазового анализа этих осадков (образцы 4122, 4124, 4125), отсутствует изменение их минерального состава по сравнению с фоновыми терригенными осадками, за исключением появления небольшого количества бассанита в образцах 4124 и 4125, 2.8% и 2.7% соответственно (табл. 4).

Полученные результаты показали, что исходные терригенные осадки, находящиеся под долеритовым силлом мощностью 6.73 м, претерпели ограниченные изменения химического и минерального состава, сильное уменьшение содержания проявилось только для Mo. В этих осадках образовалось небольшое количество бассанита.

Сравнение изменения химического состава осадков, расположенных под этим силлом и под горячим силлом мощностью ~3 м из скв. 478 (впадина Гуаймас), показало, что в осадках под горячим силлом, в отличие от осадков под силлом мощностью 6.73 м (скв. 474/474А), сильно уменьшилось содержание As, на среднем уровне изменения уменьшилась концентрация Li, а также увеличилась концентрация Mo, Ag [3].

Принципиальные различия установлены для глинистых минералов. Если в осадках, расположенных под долеритовым силлом мощностью 6.73 м (скв. 474/474А), исходные терригенные глинистые минералы остались без изменения, то в осадках, расположенных под горячим силлом меньшей мощности ~3 м (образцы 2751 и 2752, скв. 478), произошло существенное изменение



**Рис. 6.** Содержание химических элементов в осадках из скважины 474/474А, расположенных под силлом мощностью 6.73 м; нормировано по химическому составу неизмененных осадков (образцы 4122 и 4125 нормированы по обр. 4104, образцы 4124 и 4126 нормированы по обр. 4097): а – макроэлементы и  $C_{org}$ ; б – микроэлементы; в – РЗЭ.

в фазовом составе глинистых минералов. В них исчезли терригенные глинистые минералы: диоктаэдрический смектит-иллит, хлорит, каолинит, и за их счет образовались триоктаэдрические хлорит-смектит и корренсит-хлорит [7].

Таким образом, в осадках, расположенных под силлом мощностью 6.73 м, произошли, также как в осадках, находящихся над ним, ограниченные изменения в составе. Это наблюдение подтверждает сделанное выше заключение, что силл мощностью 6.73 м в момент достижения осадков, в которых пробурена скв. 474/474А, уже значительно остыл.

#### *Состав осадков над силлом мощностью 9.73 м*

В образцах 4131, 4133, 4135, расположенных в скв. 474/474А наиболее близко к кровле силла мощностью 9.73 м, произошло уменьшение содержания Mn на уровне средней интенсивности изменения (рис. 7а). Кроме того, в обр. 4135 также уменьшилась концентрация Са и Р. В обр. 4130, который наиболее удален от кровли силла, наблюдается накопление Mn и Р на уровне средней интенсивности изменения (рисунки 4 и 7а). В обр. 4128 увеличилось содержание Са также на уровне средней интенсивности изменения. Содержание  $C_{\text{орг}}$  в осадках над силлом уменьшилось слабо (рис. 7а).

В отношении микроэлементов над силлом произошло уменьшение содержания Мо в обр. 4128 на уровне средней интенсивности изменения (рис. 7б). На этом же уровне уменьшилась концентрация Си, Аг, Ва в обр. 4135, который расположен наиболее близко к кровле силла (рис. 7б). Сильно увеличилось содержание Мо в обр. 4135 и Ва в обр. 4131 (рис. 7б). Кроме того, увеличилась на среднем уровне изменения концентрация Ва в обр. 4128, наиболее удаленном от силла, и W в образцах 4131, 4133, 4135, расположенных близко к кровле силла (рис. 7б). Остальные микроэлементы или остались неподвижными, или их содержание изменилось слабо и хаотично. Содержание РЗЭ в этих осадках в большинстве образцов осталось практически без изменения по сравнению с их концентрацией в фоновых терригенных неизмененных осадках (рис. 7в).

В осадках, расположенных над силлом мощностью 9.73 м, судя по петрографическим данным, сохранились без изменения обломочные терригенные компоненты алевритовой и песчаной размерностей. Они представлены угловатыми и полуокатанными зернами кварца, КППШ, плагиоклазов, пластинками биотита и мусковита, обломками кислых эффузивных пород, реже обломками ми-

крокварцитов. В то же время в этих осадках (в образцах 4128, 4130, 4135) установлен ангидрит.

Результаты количественного рентгенофазового анализа минерального состава валовых образцов осадков показали, что в них сохранились терригенные кварц, плагиоклазы, КППШ, биотит, хлорит, иллит, смектит и иллит-смектит, а также кальцит и аутигенный пирит (табл. 4). В образцах 4130 и 4134 образовалось небольшое количество бассанита, 2.9 и 5.4%, в обр. 4134 присутствует еще и 6% ярозита.

Глинистые минералы, изученные во фр. <0.001 мм этих осадков, остались без изменения (табл. 5).

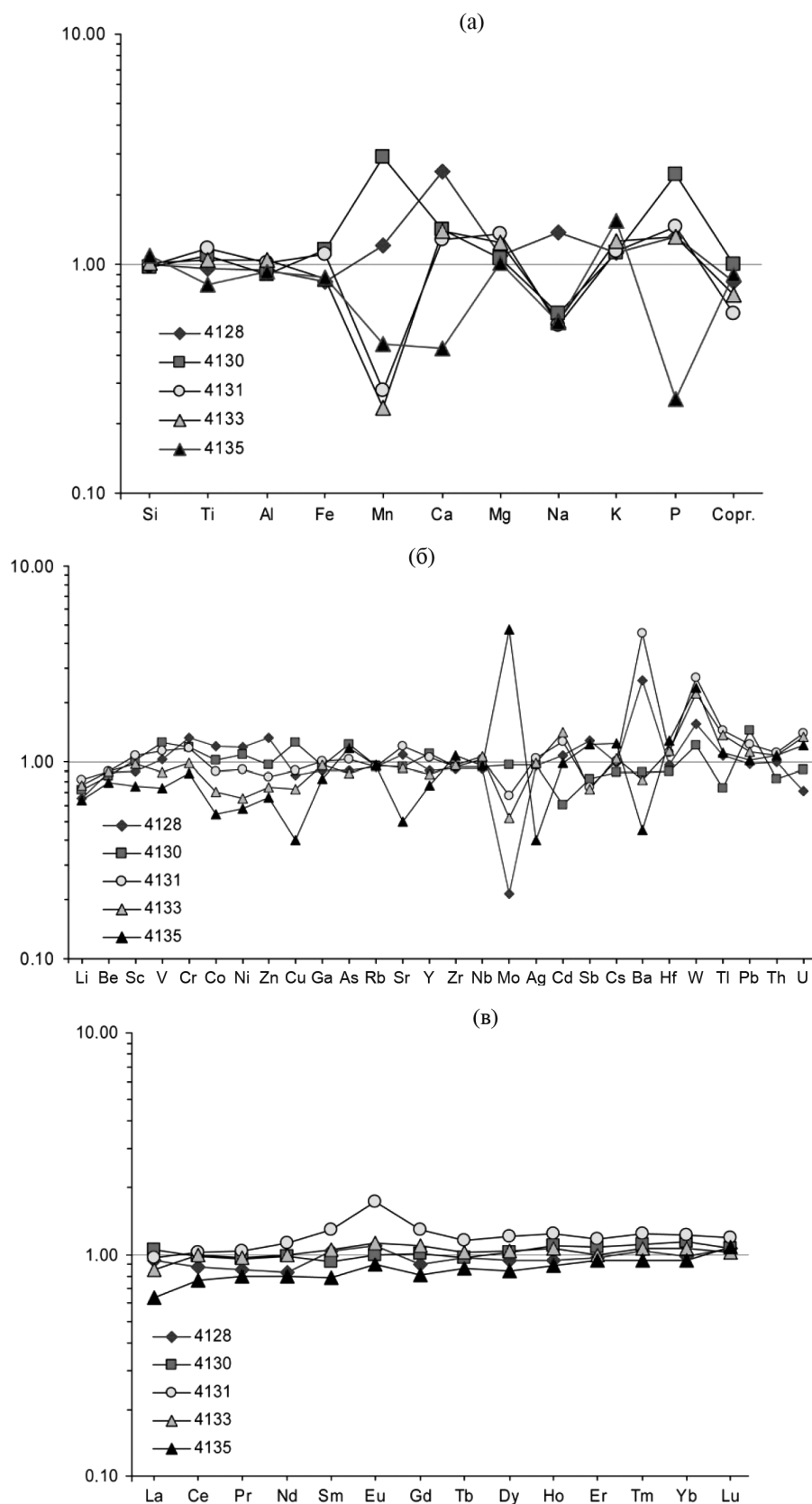
Сохранившийся минеральный состав исходных терригенных осадков, расположенных над силлом мощностью 9.73 м, включая глинистые минералы, указывает на то, что этот долеритовый силл также сильно остыл, когда при внедрении в осадочный покров достиг места, где накопились осадки, в которых пробурена скважина 474/474А. Образование в осадках небольшого количества ангидрита, бассанита и ярозита, по-видимому, связано с влиянием, хотя и не сильным, существенно остывшего силла на изменение минерального состава этих осадков.

В то же время, большее количество макроэлементов и микроэлементов, концентрация которых уменьшилась или увеличилась в осадках, расположенных над силлом мощностью 9.73 м (рис. 7б), чем количество химических элементов, содержание которых изменилось в осадках над силлом мощностью 6.73 м (рис. 5б), предположительно связано с тем, что силл мощностью 9.73 м остыл меньше, чем долеритовый силл мощностью 6.73 м.

#### *Состав осадков, расположенных между пиллоу-базальтами мощностью 4 м и массивным базальтом мощностью 11.97 м*

Эти осадки представлены единственным обр. 4153 (рис. 4). Из-за его небольшого размера, около 3 см [8], не было достаточного количества материала для изучения содержания макроэлементов рентгенофлуоресцентным методом, а также для изучения его минерального состава количественным рентгенофазовым методом. Глинистые минералы также не были изучены, т. к. по этой же причине из него было невозможно выделить достаточное количество фракции <0.001 мм для изучения глинистых минералов рентгеновскими методами.

Из этого образца был изготовлен прозрачный петрографический шлиф. Его изучение в оптическом микроскопе показало, что осадок является



**Рис. 7.** Содержание химических элементов в осадках из скважины 474/474А, расположенных над силлом мощностью 9.73 м; нормировано по химическому составу неизмененных осадков (обр. 4128 нормирован по обр. 4097, образцы 4130, 4131, 4133 нормированы по обр. 4104, обр. 4135 нормирован по обр. 4098): а – макроэлементы и  $C_{org}$ ; б – микроэлементы; в – РЗЭ.



аргиллитом. В нем присутствует примесь зерен алевритовой размерности (~4%). Они представлены кварцем, КППШ, плагиоклазами, биотитом, редкими обломками эффузивных пород. Все эти терригенные составляющие исходных осадков сохранились без изменения.

Проведено также изучение методом ICP-MS содержания микроэлементов, включая редкоземельные элементы. В обр. 4153 содержание большинства микроэлементов слабо изменилось. На уровне средней интенсивности изменения произошло уменьшение концентрации Mo, Cd, Sb, Tl по сравнению с их содержанием в исходных фоновых терригенных осадках, содержание РЗЭ сохранилось без изменения. Полученные результаты показали, что исходные терригенные осадки (обр. 4153), находящиеся между массивным базальтом и пиллоу-базальтами, претерпели ограниченные изменения содержания в них микроэлементов.

В то же время, в отличие от уменьшения концентрации ограниченного количества микроэлементов в обр. 4153 (скв. 474/474А), в скв. 481/481А (северный трог впадины Гуаймас) в тонких прослоях осадков, чередующихся с силлами, находящихся в комплексе горячих силлов [2], сильно уменьшилось содержание Li, Cu, As, Mo, Ag, Cd, Sb, Ta, W, Tl, Pb, Bi.

Природу этого массивного базальта мощностью 11.97 м, над которым находится осадок (обр. 4153), участники рейса DSDP 64 не имели возможности определить [8]. Нами ожидалось, что ее можно прояснить, установив, изменены или нет осадки, расположенные на контакте с его кровлей. То, что в обр. 4153 произошло уменьшение содержания Mo, Cd, Sb, Tl на уровне средней интенсивности изменения, а также, что терригенные составляющие исходных осадков сохранились без изменения, позволяет считать, что массивный базальт является силлом и что его, также как другие силлы из этой скважины, следует отнести к существенно остывшим.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение минерального и химического состава фоновых терригенных осадков и осадков из зон контакта с силлами из скв. 474/474А продолжило проведенное ранее в Калифорнийском заливе исследование изменения осадков в гидротермальных системах, сформированных при внедрении в осадочный покров базальтовых силлов [1–3, 5, 12, 14]. Силлы из скв. 474/474А мощностью 6.73 м, 9.73 м и 11.97 м ограниченно повлияли на мине-

ральный и химический состав вмещающих их осадков в отличие от существенного воздействия на состав осадков горячих силлов из скважин, которые пробурены во впадине Гуаймас [1–3, 5]. На основании полученных результатов сделан вывод, что в скважине 474/474А встречены дистальные части силлов, которые в значительной степени остыли по пути от удаленной центральной интрузии базальтовой магмы до места в осадочном покрове, где пробурена скв. 474/474А. Соответственно относительно низкая температура этих силлов оказалась недостаточной для существенного изменения минерального и химического состава терригенных осадков.

Таким образом, кроме горячих силлов и их соответствующего влияния на состав осадков из скважин, пробуренных во впадине Гуаймас Калифорнийского залива (скважины 477, 478, 481/481А), впервые на примере силла мощностью 6.73 м (скв. 474/474А) нами обнаружено существование дистальных и в значительной степени остывших частей силлов.

Результаты, полученные по скважинам 477, 478, 481/481А, которые пробурены во впадине Гуаймас, дополненные результатами, полученными по скв. 474/474А, позволили создать наиболее полное на сегодняшний день представление об изменении состава осадков из зон их контакта с силлами разной мощности и разного температурного состояния.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность Т.Д. Зеленовой за выделение из осадков фракции <0.001 мм и подготовку препаратов для рентгеновской дифрактометрии и Е.В. Покровской за проведение рентгеновских съемок, а также Г.Н. Новикову за участие в подготовке графики для статьи.

**Источник финансирования.** Работа выполнена в рамках государственного плана научно-исследовательских работ (Геологический институт Российской Академии наук) № 0122011800645–0.

**Конфликт интересов.** Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинова Е.В., Курносов В.Б. Гидротермальные изменения осадков в южном трог впадины Гуаймас Калифорнийского залива и трансформация состава растворов // Литология и полез. ископаемые. 2015. № 6. С. 491–509.
2. Гончаров Е.О., Курносов В.Б., Коновалов Ю.И. и др. Гидротермально измененные осадки из зон контактов с силлами в северном трог впадины

- Гуаймас, Калифорнийский залив, скважина DSDP 481/481A // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 1. С. 114–124.
3. Гончаров Е.О., Курносов В.Б., Коновалов Ю.И. Изменение химического состава осадков в зонах контакта с базальтовыми породами, впадина Гуаймас, Калифорнийский залив (скважина DSDP 478) // *Океанология*. 2022. Т. 62. № 5. С. 785–794.
  4. Дриц В.А., Сахаров Б.А. Рентгеноструктурный анализ смешанослойных минералов. М.: Наука, 1976. 256 с.
  5. Курносов В.Б., Блинова Е.В. Гидротермальные изменения осадков и трансформация состава растворов во впадине Гуаймас Калифорнийского залива // *Докл. РАН*. 2015. Т. 461. № 2. С. 197–200.
  6. Курносов В.Б., Сахаров Б.А., Гептнер А.Р. и др. Глинистые минералы в осадках из зон контактов с базальтовыми породами // *Литология и полез. ископ.* 2019. № 3. С. 234–247.
  7. Курносов В.Б., Сахаров Б.А., Гептнер А.Р. и др. Глинистые минералы в осадках центральной части впадины Гуаймас, Калифорнийский залив, скважина 478 // *Тихоокеанская геология*. 2019. Т. 13. № 5. С. 479–491.
  8. Curray J.R., Moore D.G., Aguayo J.E. et al. Init. Repts. DSDP. 64. Pt. 1. Washington: U.S. Govt. Printing Office, 1982. 507 p.
  9. Doebelin N., Kleeberg R. Profex. A graphical user interface for the Rietveld refinement program BGMN // *J. Appl. Crystallogr.* 2015. V. 48. P. 1573–1580.
  10. Drits V.A., Tchoubar C. X-Ray diffraction by disordered lamellar structures. Heldenberg: Springer-Verlag, 1990. 371 p.
  11. Einsele G., Kelts K. Pliocene and Quaternary mud turbidites in the Gulf of California: sedimentology, mass physical properties, and significance // Init. Repts. DSDP. 1982. V. 64. Part 2. P. 511–528.
  12. Kastner M. Evidence for two distinct hydrothermal systems in the Guaymas Basin // Init. Repts. DSDP. 1982. V. 64. Part 2. P. 1143–1158.
  13. Moore D.M., Reynolds R.C.J. X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. Oxford, UK: Oxford University Press, 1999.
  14. Niemitz J. Geochemistry of sediments, Leg 64, Gulf of California // Init. Repts. DSDP. 1982. V. 64. Part 2. P. 695–716.
  15. Post J.E., Bish D.L. Rietveld refinement of crystal structures using powder X-ray diffraction data // *Rev. Mineral.* 1989. V. 20. P. 277–308.
  16. Sakharov B.A., Lanson B. X-ray identification of mixed-layer structures // Modeling of diffraction effects. Chapter 2.3. Handbook of Clay Science. Part B. Techniques and Applications / Eds F. Bergaya, G. Lagaly. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, N.Y., Oxford: Elsevier, 2013. P. 51–135.

## CHANGES OF TERRIGENOUS SEDIMENTS IN ZONES OF CONTACT WITH BASALTS (MOUTH OF THE CALIFORNIA GULF, HOLE DSDP 474/474A)

V. B. Kurnosov\*, E. O. Goncharov\*\*, B. A. Sakharov\*\*\*, V. A. Drits,  
O. V. Okina, Yu. A. Maksimova

*Geological Institute, Academy of Sciences, Moscow, Russia*

*\*e-mail: vic-kurnosov@rambler.ru*

*\*\*e-mail: evgeniigonch91@gmail.com*

*\*\*\*e-mail: sakharovba@gmail.com*

The article presents the results of a study using a set of analytical methods of the mineral and chemical composition of sediments from the DSDP Hole 474/474A, 626 m deep, and their changes in contact zones with basalt sills. Jarosite, bassanite and anhydrite were formed in the sediments from these zones. In sediments located above the sill, the thickness of which is 6.73 m, the concentration of Mn and Mo decreased from a weak level of change to a strong one when approaching the roof of the sill. In sediments located above the sill with a thickness of 9.73 m, closer to its roof, the concentration of Mn and P decreased. In these sediments, the quantity of microelements, the content of which has changed, has become greater than in the sediments located above the 6.73 m thick sill. In sediments located between the 4 m thick pillow basalts and the 11.97 m thick massive basalt, a decrease in the concentration of Mo, Cd, and Sb occurred at the level of average intensity of change. Sills of different thicknesses from Hole 474/474A had a limited effect on the mineral and chemical composition of the enclosing sediments, in contrast to the significant influence of hot sills from Holes 478 and 481/481A (Guaymas Depression) on the composition of sediments.

**Keywords:** Gulf of California, specific hydrothermal systems, water-rock interaction, basalt sills, deep-sea drilling