

## БАЗАЛЬТОВЫЕ СИЛЛЫ В ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ОСАДКАХ КАЛИФОРНИЙСКОГО ЗАЛИВА (ПРОБЛЕМА ВТОРИЧНОЙ КАЛИЕВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ)

А.Р. Гептнер, Н.В. Горькова, Ю.И. Коновалов, В.Б. Курносов, В.В. Михеев

*Геологический институт РАН, Москва, heptner@mail.ru*

Исследование состава тонкодисперсного материала в базальтах в плейстоценовых осадках впадины Гуаймас Калифорнийского залива выявило на некоторых горизонтах плейстоценового разреза в составе силлов помимо ранее известных смектитов ещё и биотита. Изучение петрографических и полированных шлифов в оптическом и в сканирующем электронном микроскопах установило терригенный генезис биотита, захваченного из вмещающих осадков внедряющимся расплавом, из осадочной части разреза. Крупные обломки биотита хорошей сохранности встречены в трещинах корки закала, мелкие фрагменты неравномерно распределены в зоне закала. Крупные фрагменты биотита имеют следы растворения и частичного замещения зелёным глинистым веществом (смектитом). Предполагается, что в основной части силлов захваченные биотиты были разрушены полностью. Источником оксида калия (0.60–7.00%) в составе новообразованных смектитов, сформировавшихся в интерстициях базальта, был биотит, разрушенный внедряющимся расплавом и перемещённый в силле термальным раствором. Выделение слоистых силикатов в жилках, рассекающих основную массу базальтов и крупные кристаллы плагиоклазов определённо указывает на их формирование из растворов. Наличие оксидов калия в составе вторичных глинистых образований базальтов подтверждает миграцию термальных растворов в горизонтах силлов.

Ключевые слова: базальты, силлы, биотит, гидротермальное изменение.

DOI: 10.34756/GEOS.2019.4.77-5

Базальтовые силлы, вскрытые глубоководным бурением в осадочной толще Калифорнийского залива (скважины DSDP 477, 477A, 478, 481A), представляют уникальную возможность изучить взаимодействие расплава с гемипелагическими осадками на примере плейстоценовых толщ во впадине Гуаймас Калифорнийского залива. Влияние комплекса базальтовых силлов на преобразование плейстоценовых осадков в литературе рассматривается на примере рентгеновского исследования тонкодисперсных минералов и общих соображений о влиянии базальтовых силлов на вмещающие породы [Kastner, 1982; Gieskes, Kastner, et al., 1982; Курносов и др., 2019].

М. Кастнер [Kastner, 1982] при изучении измененных осадков во впадине Гуаймас Калифорнийского залива (скважины DSDP 477, 477A, 478, 481A) ввела понятие двух типов гидротермальных систем: долгоживущих, связанных с глубинными источниками

тепла (магматическими камерами), которые она назвала основными гидротермальными системами, и кратковременных гидротермальных систем, которые возникают при внедрении силлов в осадочный покров. Во втором типе гидротермальных систем силлы, проникая в мягкие обводненные осадки (турбидиты, гемипелагические осадки и диатомовые илы), разогревают их и соответственно разогревают поровые воды, являющиеся морской водой. В результате, в процессе взаимодействия вода–порода в осадках происходит изменение минерально-химического состава и одновременно трансформация химического состава морской воды.

Преобразование базальтов, внедрившихся в молодые осадки, специально не исследовалось. В работах, посвящённых изучению этих скважин, базальты силлов рассматриваются как «свежие» на основании петрографического изучения шлифов и низкого содержания в них  $H_2O^+$  (<0.5%) [Коновалов

лов и др., 2019]. Хотя из силлов удалось выделить глинистое вещество в достаточном количестве для проведения рентгеновских исследований [Курносов и др., 2016, 2019]. В связи с этим следует отметить, что в районе бурения скважины 481 определённые признаки существования гидротермальной деятельности указывались в литературе ранее [Lawver and Williams, 1979; Moore, Curray, 1982].

### Материал и методы исследования

В тонкодисперсной фракции, извлечённой из базальтовых силлов, было зафиксировано наличие биотита. Для выяснения генезиса биотита в базальтах предпринято исследование силлов из скважины 481А (образцы 2832, 2834, 2836, 2838, 2841, 2843 и 2856). Исследование образцов проводилось в петрографических шлифах на оптическом микроскопе, а полированных шлифов на сканирующем электронном микроскопе с микрозондовой приставкой.

Этой скважиной в толще осадочного покрова вскрыты многочисленные силлы, в основном небольшой мощности. В интервале 170.55–196 м встречен комплекс чередующихся тонких силлов и осадков. Мощность силлов составляет 0.23 м и 0.29 м; 0.52 м, 0.45 м, 0.53 м и 1.18 м. В интервале 178–196 м находятся многочисленные тонкие силлы, мощность которых от 0.1 до 0.65 м.

Петрографическое изучение образцов силлов на борту бурового судна [Curray, Moore et al., 1982] и после рейса [Saunders et al., 1982, Коновалов и др., 2019] показало, что они состоят из порфириновых и афировых долеритов и базальтов, в которых главными компонентами являются кристаллы оливина, клинопироксена, плагиоклаза и рудных минералов. Важно подчеркнуть, что при описании керна на борту бурового судна и в шлифах, были отмечены секущие жилки, сложенные долеритами, а базальты и вмещающие их осадки содержат трещины, заполненные вторичными минералами.

Судя по текстурным особенностям, изученные образцы из исследованной скважины, были отобраны из разных частей базальтовых силлов (из корки закала, из зон быстрого остывания и из центральных частей лавовых тел, сложенных крупнокристаллическими базальтами/долеритами). Образцы керна представлены базальтами, в которых минералы-вкрапленники составляют от 5 до 10–13% объема и состоят в основном из плагиоклаза. Редко совместно с плагиоклазом присутствует оливин (от единичных зерен до 3%). Основная масса составляет от 87 до 100%. Она состоит из плагиоклаза (40–60%), клинопироксена (25–45%), оливина (3–7%, редко 10–15%), рудного минерала

(1–5%). Породы массивные, в них редко встречаются газовые полости, а интерстиции между кристаллами плагиоклаза и пироксенов заполнены глинистыми минералами [Коновалов и др. 2019].

### Взаимоотношение внедряющегося базальтового расплава и осадка

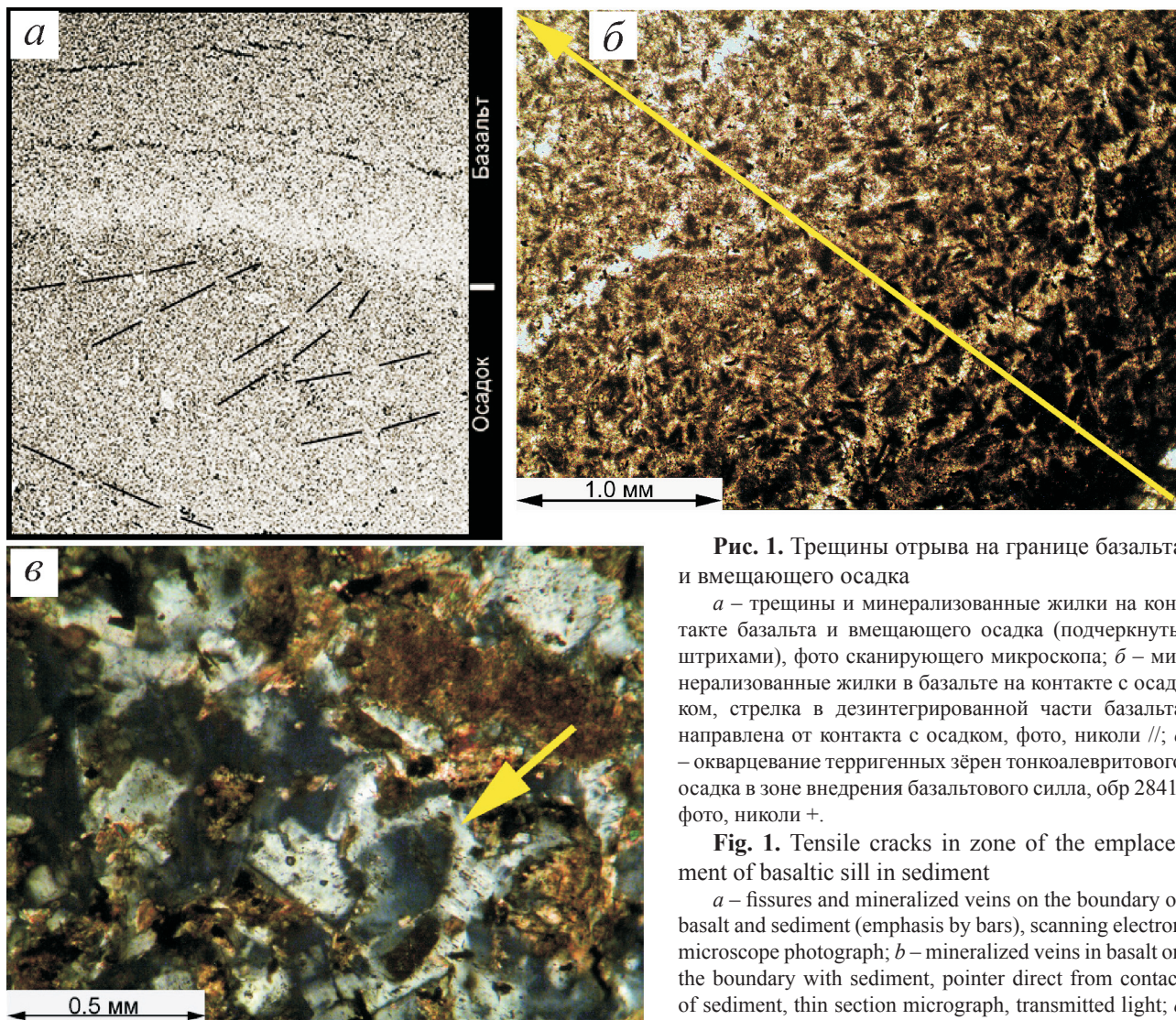
Осадки, включающие силлы, сложены в основном диатомитами иногда с небольшой примесью терригенного материала, а на отдельных стратиграфических горизонтах содержат песчано-алевритовые турбидиты [Curray, Moore, et al., 1982]. Исследование шлифов показало, что характерной особенностью осадков с турбидитами, является наличие в них обломочного биотита, присутствующего на некоторых стратиграфических уровнях в большом количестве.

Изучая отдельные образцы керна базальтов трудно восстановить в деталях процесс формирования плейстоценовых базальтовых силлов. Имеющиеся в литературе материалы рассматривают самые общие вопросы формирования силлов, не касаются вопросов взаимоотношения базальтового расплава и рыхлого вмещающего осадка [Einsele, 1982]. Имеющийся в нашем распоряжении каменный материал позволяет вскрыть некоторые особенности строения силла при внедрении базальтового расплава в толщу не отвердевшего осадка. В образце 2841, рис. 1а, б, включающим зону контакта силла и вмещающего осадка, в шлифе удалось установить некоторые характерные черты взаимоотношения расплава с осадком.

В исследованном образце базальтового силла и во вмещающих осадках, развита интенсивная вторичная минерализация (глинистые минералы, кремнезём, кальцит), подчёркивающая микро разрывы и оперяющие трещины, располагающиеся тангенциально или под острым углом к границе базальт/осадок.

Граница базальта и осадка неровная. В шлифе в зоне контакта видны многочисленные микроскопические апофизы внедрения расплава в рыхлый осадок и захват отдельных минеральных зерен (кварц, полевой шпат) или их агрегатов. Характер контакта осадка с базальтовым силлом в образце 2841 свидетельствуют о внедрении силла в рыхлый осадок и последующее превращение его в кварц-полевошпат-биотитовый алевролит с кремнистым цементом (рис. 1в). Важно подчеркнуть, что литификация осадка, судя по характеру границы базальта и осадка, произошла после внедрения силла.

Рассмотрим результаты оптических исследований шлифов из зоны контакта расплав/осадок на примере образца 2841. Базальт редкопорфи-



**Рис. 1.** Трещины отрыва на границе базальта и вмещающего осадка

*a* – трещины и минерализованные жилки на контакте базальта и вмещающего осадка (подчеркнуты штрихами), фото сканирующего микроскопа; *б* – минерализованные жилки в базальте на контакте с осадком, стрелка в дезинтегрированной части базальта направлена от контакта с осадком, фото, николи //; *в* – окварцевание терригенных зёрен тонкоалевритового осадка в зоне внедрения базальтового силла, обр 2841, фото, николи +.

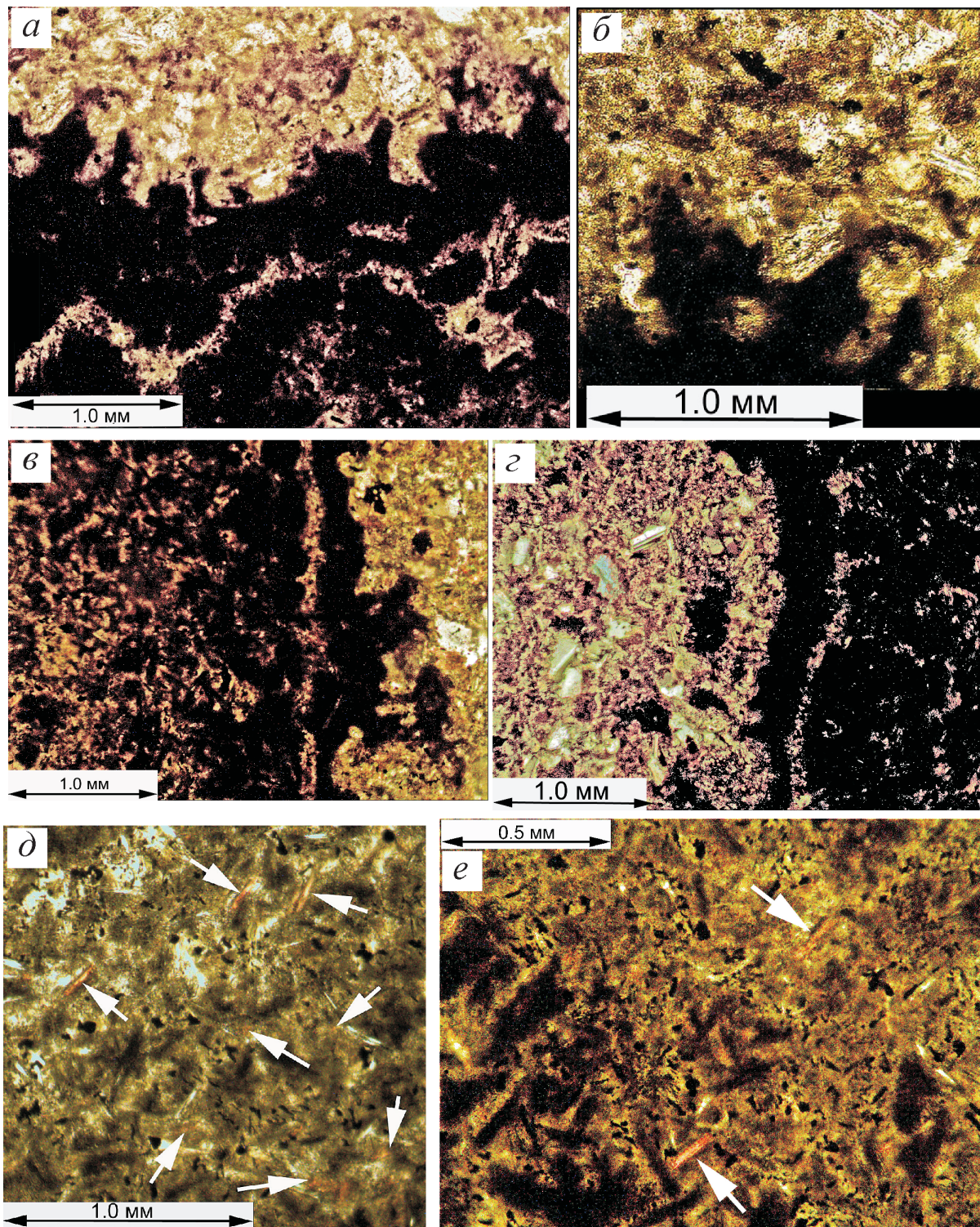
**Fig. 1.** Tensile cracks in zone of the emplacement of basaltic sill in sediment

*a* – fissures and mineralized veins on the boundary of basalt and sediment (emphasis by bars), scanning electron microscope photograph; *b* – mineralized veins in basalt on the boundary with sediment, pointer direct from contact of sediment, thin section micrograph, transmitted light; *c* – rims of silicification of terrigenous particles of siltstone, sample 2841, thin section micrograph, crossed nicols.

ровый с гиалопилитовой и вариолитовой структурой основной массы, массивный, с секущим прожилком долерита-базальта мощностью 1.5 мм. Основная масса состоит из плагиоклаза (25%), рудного минерала (<5%), оливина (<5%) нацело измененного, и вторичных минералов, вероятно, заместивших в интерстициях стекло (?) (70%). Контакт расплав/осадок сохранился в куске керна размером 8 см благодаря проявившейся здесь интенсивной вторичной минерализации базальта и участка вмещающего осадка (глинистые минералы, окварцевание, жильный кальцит). Зона контакта чётко выделяется при наблюдении в шлифе в оптическом и сканирующем микроскопах и представлена на фотографиях (см. рис. 1*a, б*; 2*a–e*).

Внешняя часть зоны контакта в базальте сложена слоем чёрного непрозрачного вещества переменной мощности (до 0.5–0.7 мм), в составе

которого даже при максимально возможном увеличении оптического микроскопа не удаётся различить кристаллические элементы. Вероятно, это закалочная остеклованная часть расплава, переполненная рудными минералами (магнетитом, ильменитом). Внешняя граница неровная с большим количеством выступающих, изгибающихся апофизов (выростов) имеющих плавные очертания контура. Выросты корки закала проникают в осадок на 0.5–1.0 мм, «захватывая» отдельные или несколько компонентов алевритового осадка. На участках наибольшей мощности базальт зоны контакта содержит многочисленные полости округлой и линзовидной формы, иногда прихотливо изогнутые или вытянутые параллельно контакту трещины. Эти полости содержат мелкие фрагменты чёрного вещества и заполнены выделениями глинистых минералов (см. рис. 2*a–e*)



**Рис. 2.** Контакт внедрившегося базальтового силла и осадка

*a, б* – неровная поверхность силла с выступающими и изгибающимися апофизами (выростами) базальтового состава, внедрившиеся в осадочный материал, фото, николи //; *в, г* – корка закала, переходящая в зону дезинтегрированного базальта. От корки закала частично или полностью отделились порции базальта, фото, николи *в* – //, *г* – +; *д, е* – корка закала, зона дезинтегрированного базальта, стрелками указаны фрагменты кристаллов биотита, фото, николи //.

**Fig. 2.** Contact of basalt sill and sediment

*a, b* – rough surface of sill and apophysis of basalts in sediments, thin section micrograph, transmitted light; *c, d* – zone of baked disintegrated basalt and small portion of segregated basalt in sediment, thin section micrograph, *c* – transmitted light, *d* – crossed nicols; *e, f* – zone of baked disintegrated basalt, pointers show biotite crystals, thin section micrograph, transmitted light.

В осадочной породе вблизи от зоны контакта с базальтом наблюдались разрозненные изометричные и каплевидные фрагменты чёрного вещества, по составу аналогичные тому, которое слагает апофизы на внешней зоне контакта базальта. Предполагается, что это оторвавшиеся порции жидкого расплава мгновенно отвердевшие, попав в водонасыщенный осадок (см. рис. 2*з*).

По направлению внутрь силла чёрное вещество зоны контакта постепенно сменяется зоной дезинтегрированного расплава (см. рис. 1*б*), состоящей из скоплений отдельных округлых, овальных, угловатых, прямолинейных или причудливо изогнутых изометричных образований, при небольшом увеличении напоминающих комки округлой или овальной формы. В центральной части они состоят из непрозрачного чёрного базальта, а по краям видны выделения рудных чёрного цвета с намечающейся радиальной структурой. Размер этих образований от 0.1–0.2 до 0.5–0.7 мм, а наблюдавшаяся мощность слоя подобных образований достигает 1.0–1.5 мм. Между этими образованиями в поле сплошного развития тонкозернистых глинистых минералов видны многочисленные фрагменты кристаллов биотита (см. рис. 2*д*, *е*). Внутри тела силла рассмотренные текстурные типы зоны закала постепенно сменяются базальтом с вариолитовой текстурой и редко рассеянными фенокристами плагиоклаза. В пределах вариолитовой текстуры фрагменты обломочного биотита не обнаружены. Основная часть силлов состоит преимущественно из афировых и редкопорфирированных базальтов в составе которых оптически фрагменты биотита не обнаружены. Вероятно, захваченный расплавом с температурой не менее 1000°C биотит, температура кристаллизации которого колеблется в пределах 600–700°C, полностью разрушился.

#### **Захват силлом вмещающих осадков**

Хорошим индикатором процесса захвата расплавом материала из вмещающих осадков являются терригенные фрагменты биотита, часто встречающиеся и неравномерно распределённые в зоне закала. Отдельные вытянутые и наиболее крупные фрагменты биотита или их скопление отмечены в зонах разрывов. В контактной зоне базальта открытые трещины, частично или полностью заполнены вторичными минералами (сметиты, кварц, кальцит). Среди шестоватых и метельчатых выделений сметита с тёмно-зелёным до бледно-зелёного плеохроизмом фрагменты биотита чётко выделяются коричневым цветом. В поле дезинтегрированного (комковатого) базальта зоны закала на фоне зелёно-бурого микрозерни-

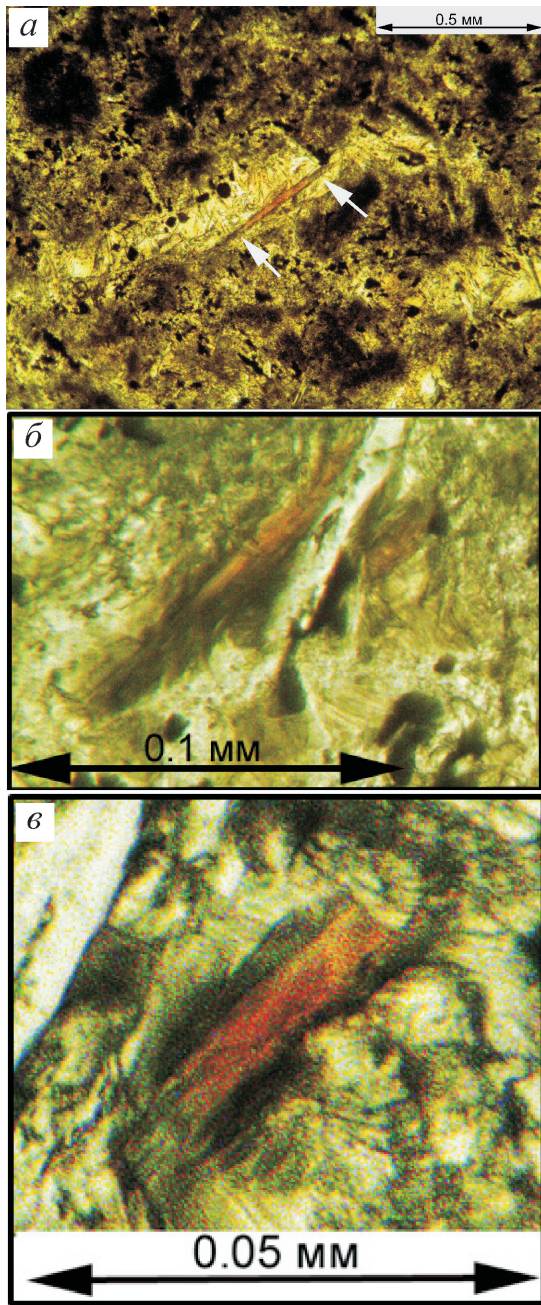
стого сметита хорошо видны обломки биотита с ярким коричнево-красным до бесцветного плеохроизмом (см. рис. 2 *д*, *е*). Все обломки биотита независимо от размера с поверхности покрыты выделениями тёмно-зелёного сметита или погружены в поле выделения этого минерала. В минерализованных трещинах наблюдались крупные обломки биотита, частично разрушенные и замещённые сметитами (рис. 3 *а–в*).

На фотографиях, полученных на СЭМ в полированных шлифах в отражённых электронах, рудные минералы хорошо выделяются ярким белым цветом, кристаллы пироксенов светло-серые, а плагиоклазы тёмно-серые. Выделения слоистых силикатов диагностируются по характерному рисунку слоистых пачек с метельчатой, сноповидной или слабоволнистой текстурой. В составе тонкодисперсной фракции выделенной из базальтов, вскрытых скважиной 481, наряду с сметитами был обнаружен биотит.

#### **Распределение оксида калия в составе глинистых минералов**

Слоистые силикаты расположенные в интерстициях, легко идентифицируются по текстурному рисунку, чётко отличаются от кристаллов плагиоклазов и пироксенов по составу. Микронзондовое исследование полированных шлифов базальтов на СЭМ показали неравномерный характер распределения оксида калия в составе вторичных глинистых минералов. Неравномерное содержание оксида калия в слоистых силикатах в разных точках одного образца (рис. 4, табл. 1*а*,) и в пределах одного поля интерстиции (рис. 5, табл. 2) установлено во всех исследованных образцах скважины 481. Появление оксида калия в составе глинистых минералов обнаружено в зоне замещения слоистыми силикатами пироксенов (рис. 4, табл. 1*б*).

В связи с рассмотрением особенностей распространения оксидов калия в глинистых минералах интересно отметить их наличие и характер распределения в составе тонкодисперсных минералов в зоне изменения оливина (рис. 6, табл. 2) Сильно разрушенные зерна оливина (т.а. 3, 8) совместно с фенокристами плагиоклаза слагают небольшие кластеры на фоне мелкозернистого базальта. Здесь помимо глинистых минералов широко развит пирит (т.а. 5*а*, 10*а*), а в отдельных случаях встречаются скопления кремнезёма (т.а. 17, 18) и кальцита (т.а. 11). В составе глинистых минералов, замещающих кристаллы оливина, встречены разности с оксидом калия (4, 12, 13, 14, 20, 22) и без него (1, 15, 16, 22). Важно обратить внимание на отличие в составе глинистых



**Рис. 3.** Дезинтегрированный базальт зоны закала, фрагменты кристаллов биотита, частично замещённые смектитами

*a* – зона закала, дезинтегрированный базальт, минерализованная трещина включает фрагмент крупного вытянутого кристалла биотита, замещённого с торцов смектитом (стрелки), фото николи //; *b*, *c* – зона закала, фрагменты кристаллов биотита, замещённого с поверхности смектитом, фото николи //.

**Fig. 3.** Disintegrated basalt of baked zone

*a* – zone of baked disintegrated basalt, fragments of biotite crystals partly replaced by smectites (pointes), thin section micrograph, transmitted light; *b*, *c* – baked zone of basalt, smectites replaced biotite crystals on its surface, thin section micrograph, transmitted light.

минералов (с оксидом калия и без него), развитых в трещинах крупных кристаллов плагиоклаза (т.а. 14–16).

### Состав вторичных минералов в базальтах силлов

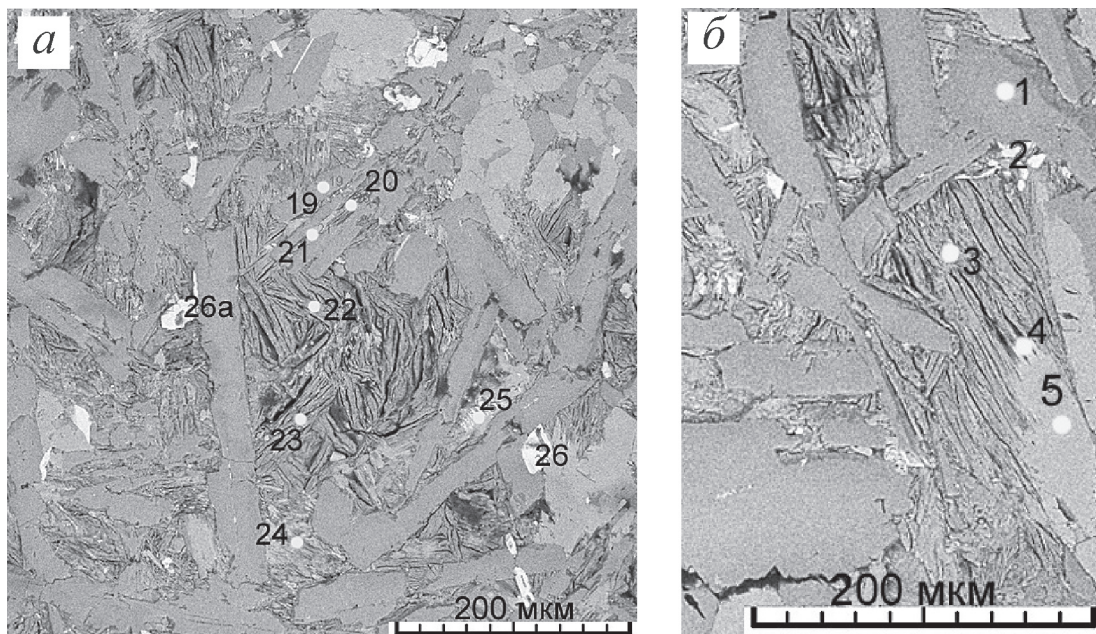
Результаты анализа состава вторичных минералов следует рассматривать как полуколичественные. В зоне формирования гидротермальных минералов данные анализа часто отражают смесь первичных (например, оливина) и вторичных образований. Среди последних наиболее определённые результаты получены при микроанализе кальцита, отдельных выделений кремнезёма и пирита. Данные по плагиоклазам, пироксенам и оливину достаточно близки к нормативу, хотя небольшие примеси могут отражать присутствие вторичных минералов в микротрещинах.

Исследование выделений слоистых силикатов показало, что на основе полуколичественного анализа можно выделить два типа глинистых минералов, отличающиеся по наличию или отсутствию в их составе оксида калия. Следует обратить внимание на то, что это отличие не связано с определённым структурным положением глинистых образований. Неравномерное распространение  $K_2O$  в глинистых минералах в пределах одной интерстиции в базальтах силлов, – характерный признак для скважин 481 и 478. Даже в пределах одной крупной интерстиционной полости в образце базальта 2832 встречены глинистые минералы с разным содержанием оксида калия (0.47–5.79) или без него (рис. 6, табл. 3).

### Обсуждение материала

Внедрение силлов происходило в зоне разрывов тектонически активного района рифта. О формировании разрывов свидетельствуют секущие жилки долерита, многочисленные частично или полностью минерализованные трещины, секущие базальты на разных стратиграфических уровнях. Предполагается, что базальтовые расплавы малой мощности (первые сантиметры и несколько десятков см), вскрытые в скважине 481, внедрялись в толщу верхнеплейстоценовых осадков по зонам пластовых разрывов.

Установлено наличие обломков биотита в базальтовых силлах, захваченных из вмещающих осадков. Во время внедрения магмы обломки биотита с другими компонентами осадка затягивались в корку закала базальта и попадали в трещины. В трещинах наиболее крупные вытянутые обломки биотита располагаются среди шестоватых и метельчатых выделений глинистых минералов.



**Рис. 4.** Глинистые минералы, заполняющие интерстиционное пространство и частично замещающие кристалл пироксена. Обр. 2834

*a* – размещение точек микроанализов на поверхности полированного шлифа базальта; *b* – размещение точек микроанализов в зоне замещения пироксена слоистыми силикатами; результаты микроанализов см. в табл. 1а и 1б

**Fig. 4.** Clay minerals from interstitial place and partly replaced crystal of pyroxene

*a* – points of analysis on the surface of polished basalt; *b* – points of analysis in zone of partly replaced crystal of pyroxene. Analysis data shown at the table 1a and 1b.

*Таблица 1а.* Характер распространения химических элементов в зоне изменения базальта силла, полированный шлиф, обр. 2832.

Оксиды	Точки микроанализа									
	19	20	21	22	23	24	25	26	26а	
Na <sub>2</sub> O	4.30	-	-	-	-	-	-	-	-	3.66
MgO	0.29	17.01	15.59	17.69	18.23	17.75	-	-	-	3.55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.45	10.03	13.34	11.64	12.55	6.83	-	-	-	11.06
SiO <sub>2</sub>	57.19	56.04	48.88	58.68	55.15	55.56	-	-	-	19.02
CaO	10.77	2.56	-	1.87	1.50	2.00	-	-	-	
K <sub>2</sub> O	-	2.47	7.83	-	-	3.61	-	-	-	2.77
TiO <sub>2</sub>	-	-	3.99	-	-	-	56.18	25.72	-	29.88
FeO	-	11.89	10.38	10.13	12.58	14.26	43.82	74.28	-	30.06
Сумма	100	100	100.01	100.01	100.01	100.01	100	100	-	100

В целом в зоне закала мелкие обломки кристаллов биотита встречаются часто.

Фрагменты терригенного биотита, сохранившиеся в зоне закала быстро остывающей магмы, с поверхности инкрустированы, а некоторые с торцов частично замещены зелёными глинистыми минералами, вероятно, в процессе гидротермального изменения.

Судя по небольшой мощности силлов в этой скважине, внедрение в осадочную толщу базальтового расплава происходило недалеко от промежуточной магматической камеры. Расплав был подвижным, жидким легко проникающим в еще не отвердевший осадок. Важным аргументом для такого заключения является неровный, «ветвистый» характер контакта базальта и осадка, сви-

Таблица 1б. Замещение слоистыми силикатами пироксена в базальте силла, полированный шлиф, обр. 2832

Оксиды	Точки микроанализа					
	1	2	3	4	5	6
Na <sub>2</sub> O	4.77	-	0.71	-	-	8.20
MgO	-	-	18.06	13.09	14.32	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.97	-	11.92	2.11	3.61	23.89
SiO <sub>2</sub>	58.47	-	55.37	64.38	54.77	63.16
K <sub>2</sub> O	-	-	2.70	-	-	-
CaO	8.79	-	-	5.20	15.98	4.75
TiO <sub>2</sub>	-	12.45	-	-	2.26	-
FeO	-	87.55	11.24	15.22	9.06	-
Сумма	100	100	100	100	100	100

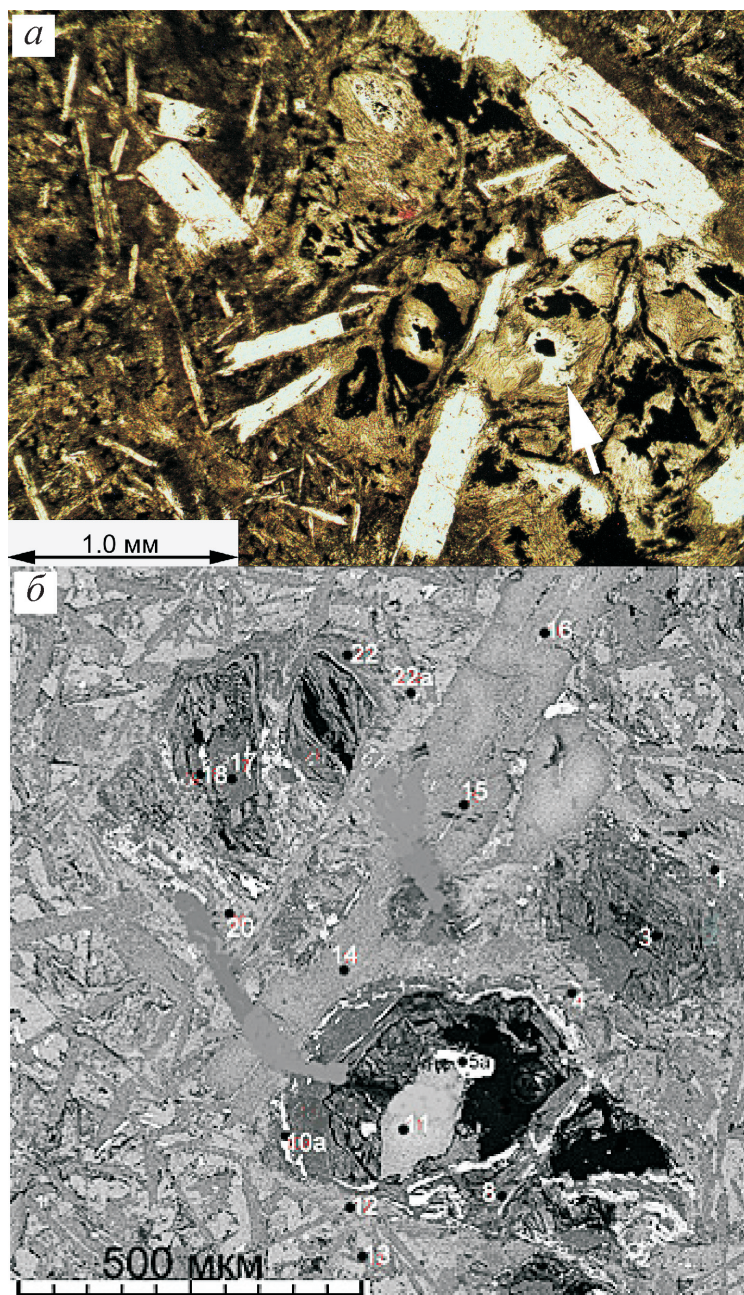


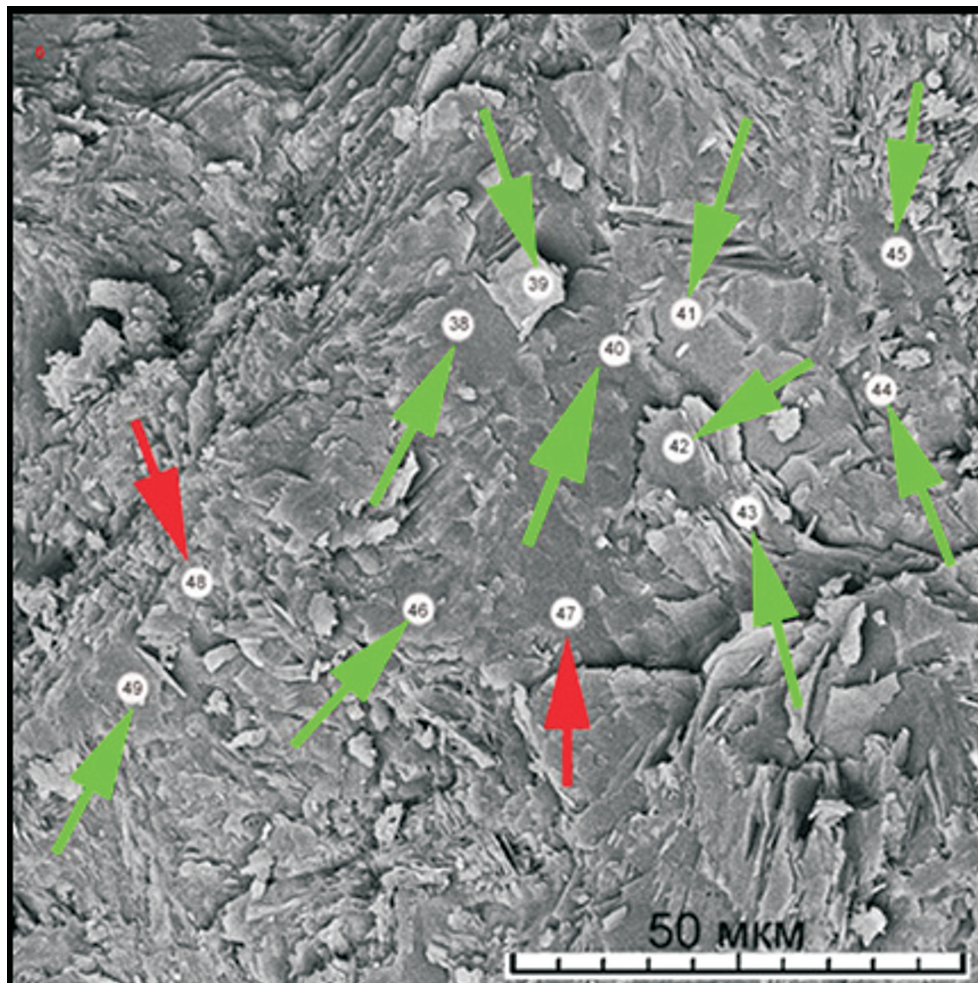
Рис. 5. Изменённые кристаллы оливи-на

*a* – кристаллы оливина частично или полностью замещённые агрегатом глинистых минералов (волокнистая текстура), пирита (черное) и кремнезема (стрелка). Фото оптического микроскопа, обр. 2832, николи //; *б* – размещение точек микроанализа на кластере крупных кристаллов оливина, плагиоклазов (темно-серые) и пироксенов (светло-серые). Рудные минералы ярко-белые. Оливин частично или полностью замещен глинистыми минералами, пиритом, кальцитом и кремнеземом. Фото сканирующего микроскопа, обр. 2832. Результаты микроанализа см. в табл. 2

Fig. 5. Altered olivine crystals

*a* – olivine crystals partly or completely replaced by clay minerals (fibrous texture), pyrite and silica (pointer), sample 2832, thin section micrograph, transmitted light; *b* – points of analysis on olivine crystals, plagioclase (dark gray), and pyroxene (light gray). Ore minerals are white. Olivine partly or completely replaced by clay minerals, pyrite, calcite, sample 2832, scanning electron microscope photograph, analysis data shown at the table 2





**Рис. 6.** Глинистые минералы, заполняющие интерстицию в базальте

Цифры – точки микроанализа, зеленые стрелки – глинистое вещество с калием, красные – без калия, результаты микроанализа см. в табл. 3. Фотография природного скола на СЭМ, обр. 2832.

**Fig. 6.** Clay minerals from interstitial place in basalt

Figures are points of microanalysis data, green pointer shows clay minerals with potassium, red pointer shows microanalysis data without potassium. Microanalysis data shown at the table 3. Scanning electron microscope photograph of natural surface of broken sample 2832

*Таблица 2.* Замещение оливина вторичными минералами, полированный шлиф, обр. 2832

Оксиды	Точки микроанализа																
	1	3	4	5a	8	10a	11	12	13	14	15	16	17	18	20	22	22a
Na <sub>2</sub> O	0.60	-	-	-	-	-	-	-	0.82	1.58	2.88	3.71	-	-	1.95	1.43	1.15
MgO	22.31	22.49	20.12		26.52	-	-	22.57	20.35	14.31	4.85	14.80	-	-	13.40	30.25	21.43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.77	0.39	12.62	-	0.95	-	-	10.97	14.13	12.79	26.19	11.51	-	-	17.55	0.58	6.25
SiO <sub>2</sub>	63.05	62.93	53.27	-	67.43	0.83	-	50.60	48.45	53.52	53.31	52.99	100	100	54.11	63.63	57.67
CaO	4.19	-	-	-	-	-	100	-	-	4.16	12.77	6.36	-	-	3.50	-	1.60
FeO	9.09	8.03	9.33	47.06	5.09	52.14	-	8.85	11.15	9.03	-	10.62	-	-	4.79	4.11	9.36
SO <sub>3</sub>	-	-	-	52.94	-	47.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K <sub>2</sub> O	-	-	4.66	-	-	-	-	7.01	4.66	4.36	-	-	-	-	4.38	-	2.53
MoO <sub>3</sub>	-	6.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	100.01	100.01	100	100	99.99	100	100	100	99.56	99.75	100	99.99	100	100	99.68	100	99.99

Таблица 3. Глинистые минералы в интерстиции, результаты микроанализа скол образца. Образец 2832

Оксиды	Точки микроанализа										
	38	39	40	41	42	44	45	46	47	48	49
Na <sub>2</sub> O	3.68	3.87	3.87	3.92	2.94	2.54	3.83	0.66	4.40	3.85	4.28
MgO	4.38	2.84	5.40	5.50	5.72	15.04	1.37	8.10	0.63	4.37	0.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.07	19.57	20.04	14.20	15.03	7.67	23.24	10.61	19.80	13.10	24.63
SiO <sub>2</sub>	55.79	55.03	55.76	44.96	47.18	51.43	56.75	44.66	57.97	55.44	59.22
K <sub>2</sub> O	1.89	1.92	0.96	5.79	5.13	0.67	0.63	4.97	-	-	0.47
CaO	9.23	8.55	7.40	3.06	4.68	4.76	10.20	5.55	12.50	12.77	8.88
TiO <sub>2</sub>	0.86	1.01	-	1.97	0.92	-	0.91	2.00	0.62	2.23	0.44
FeO	5.10	7.22	5.74	20.19	18.00	17.70	3.07	23.12	3.87	7.76	1.79
Сумма	100	100.01	99.17	99.59	99.60	99.81	100	99.67	99.79	99.52	100.01

детельствующий о проникновении апофизов расплава в рыхлый осадочный слой и захват расплавом отдельных компонентов осадка.

В процессе движения в краевой части силлов отдельные порции базальтового расплава проникали в осадочный материал в виде апофизов, захватывали и цементировали обломочные компоненты осадка. В зоне контакта за пределами корки закала при движении расплава формировался слой базальта с комковатой текстурой (дезинтегрированный базальт) и возникли открытые трещины, в которые затягивался при движении расплава осадочный материал, включающий большое количество обломков биотита. Малые мощности силлов, вариолитовая структура в краевой части тонких силлов, жилки секущих долеритов и минерализованные трещины свидетельствуют об относительно быстрой его кристаллизации и остановке движения.

Широко развитые в базальтах смектиты, хлориты, кремнезём, кальцит – это свидетели гидротермальной деятельности ярко проявившейся в трещиноватом и частично нарушенном каркасе базальтов. Захваченные расплавом с осадочным материалом обломки биотита частично или полностью разрушались, замещаясь смектитами. Высвобождавшийся при этом из биотита калий мигрировал с гидротермальным потоком и входил в структуру слоистых силикатов, формировавшихся в интерстиционном пространстве базальтов, на поверхности кристаллов каркаса базальтов в виде плёнок, а в некоторых случаях замещал частично пироксен. Неравномерный характер распределения оксида калия в разных точках одного образца базальта, возможно, отражает разное время формирования глинистых минералов из гидротермальными растворами отличавшихся составом захваченных химических элементов.

Оксид калия мог заимствоваться из изменённых фрагментов биотита в большом количестве

присутствующем во вмещающих осадках. Следы замещения крупных обломков биотита смектитами в базальтах силла указывают на возможный источник поступления оксида калия при формировании глинистых образований. В любом случае необходимо допустить формирование глинистых минералов в базальтах из растворов, о чем определённо свидетельствует выделение слоистых силикатов в жилках, пересекающих основную массу базальтов и крупные кристаллы плагиоклазов. Наличие в минерализованных трещинах глинистых образований содержащих оксид калия и без него может указывать на миграцию по трещинам в базальтах термальных растворов разного состава. Выяснение происхождения этих растворов и характер влияния на базальты силлов и вмещающие осадки остаётся неясным и требует дополнительных исследований.

## Литература

- Блинова Е.В., Курносов В.Б. Гидротермальные изменения осадков в южном трого впадины Гуаймас Калифорнийского залива и трансформация состава растворов // Литология и полезные ископаемые. 2015. № 6. С. 491–509.
- Коновалов Ю.И., Курносов В.Б., Гептнер А.Р., Гончаров Е.О., Галин К.Р. Изменение химического состава силлов при внедрении в осадочный покров, впадина Гуаймас Калифорнийского залива (скважины DSDP 477, 477А, 478, 481А) // Литология и полезные ископаемые. 2019. В печати.
- Курносов В.Б., Сахаров Б.А., Блинова Е.В. Глинистые минералы в осадках гидротермально активного южного трого впадины Гуаймас, Калифорнийский залив // Литология и полезные ископаемые. 2016. № 4. С. 287–306.
- Курносов В.Б., Сахаров Б.А., Гептнер А.Р., Коновалов Ю.И., Гончаров Е.О. Глинистые минералы в осадках из зон контактов с базальтовыми силлами.

- Литология и полезные ископаемые, 2019, № 3, с. 221–235.
- Curry J.R., Moore D.G., Aguayo J.E. et al.* Init. Repts. DSDP. 1982. V. 64. Part 1. 507 p.
- Einsele G.* Mechanism of sill intrusion into soft sediment and expulsion of pore water // Init. Repts. DSDP. V. 64. Pt. 2. Washington: U.S. Govt. Printing Office, 1982. P. 1169–1178.
- Gieskes J.M., Kastner M., Einsele G., Kelts K., Niemitz J.* Hydrothermal activity in the Guaymas Basin, Gulf of California: a synthesis // Init. Repts. DSDP. 1982. V. 64. Part 2. P. 1159–1167.
- Kastner M.* Evidence for two distinct hydrothermal systems in the Guaymas Basin // Init. Repts. DSDP. 1982. V. 64. Part 2. P. 1143–1158.
- Lawver L.A. and Williams D.L.* Heat flow in the central Gulf of California. Geophys. Res., 1979. 84:3465–3478.
- Moore D.G., Curry J.R.* Objectives of drilling on young passive continental margins: application to the Gulf of California // Init. Repts. DSDP. 1982. V. 64. Part 1. P. 27–33.
- Saunders, D.J. Fornari et al.* Geochemistry of basic igneous rocks, Gulf of California, deep sea drilling project leg 64. Init. Repts. DSDP. 1982. V. 64. Part 2. P. 595–642.

## Literature

- Blinova E.V., Kurnosov V.B.* Gidrotermal'nye izmeneniya osadkov v yuzhnom troge vpadiny Guajmas Kalifornijskogo zaliva i transformaciya sostava rastvorov // Litologiya i poleznye iskopaemye. 2015. № 6. S. 491–509.
- Konovalov Yu.I., Kurnosov V.B., Geptner A.R., Goncharov E.O., Galin K.R.* Izmenenie himicheskogo sostava sillov pri vnedrenii v osadochnyj pokrov, vpadina Guajmas Kalifornijskogo zaliva (skvazhiny DSDP 477, 477A, 478, 481A) // Litologiya i poleznye iskopaemye. 2019. V pechati.
- Kurnosov V.B., Saharov B.A., Blinova E.V.* Glinistye mineraly v osadkah gidrotermal'no aktivnogo yuzhnogo troga vpadiny Guajmas, Kalifornijskij zaliv // Litologiya i poleznye iskopaemye. 2016. № 4. S. 287–306.
- Kurnosov V.B., Saharov B.A., Geptner A.R., Konovalov Yu.I., Goncharov E.O.* Glinistye mineraly v osadkah iz zon kontaktov s bazal'tovymi sillami. Litologiya i poleznye iskopaemye, 2019, № 3, s. 221–235.

### A.R. Geptner, N.V. Gorkova, Yu.I. Konovalov, V.B. Kurnosov, V.V. Miheev BASALT SILLS IN PLEISTOCENE SEDIMENT OF THE BAJA CALIFORNIA PENINSULA (PROBLEM OF SECONDARY POTASSIUM MINERALIZATION)

Basalt sills intruded in unconsolidated Pleistocene hemipelagic sediments in the Guaymas Basin of the Baja California Peninsula have been studied in thin sections by optical and by scanning electron microscope. Several hydrothermal minerals have been established but biotite for the first time in basalt sills. It is terrigenous mineral captured during basalt magma intrusion into sediments having biotite fragments. The large fragments of biotite have been found out in opening mode cracks of the basalt zone chilling. The small fragments of biotite are numerous in this zone. Some of the large biotite fragments have been partially replaced by smectites. In the middle part of sills all biotite fragments have been completely destroyed. In basalts some of the clay minerals (smectites) contain up to 0.6–7.0% of K<sub>2</sub>O. The source of this component was terrigenous fragments of biotite captured from sedimentary deposits. Precipitation of K<sub>2</sub>O with clay minerals in basalts allows suggests migration of thermal solutions through sills horizons.

Key words: basalt, sill, biotite, hydrothermal alteration.