

А. В. Можеровский

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД ДНА ЯПОНСКОГО МОРЯ

Рассмотрены вторичные изменения магматических пород дна Японского моря. Установлено, что основными новообразованными минералами являются ди- и триоктаэдрические смектиты, смешанослойные образования гидрослюда смектитового ряда, гидрослюда, хло-

рит, цеолиты, кальцит, сульфиды и гидроокислы железа. Все эти минералы образовались в результате низкотемпературного взаимодействия морской воды с породой.

При изучении материалов драгирования и глубоководного бурения дна морей и океанов было показано, что морская вода проникает в земную кору на глубину до 1 км. При этом она нагревается, взаимодействует с породами, обогащается не свойственными компонентами и в виде гидротерм возвращается в океан. Происходят процессы привноса и выноса элементов, в результате которых разрушаются «первичные» и образуются «вторичные» минералы, изменяются петрохимические и геофизические характеристики магматических пород. Наиболее ярко эти процессы проявляются в областях активного подводного вулканизма, где они могут быть источником многих элементов для образования подводных минеральных месторождений. Оценить масштаб, интенсивность и направленность этих процессов можно лишь сравнивая современный и древний вулканизм в различных обстановках океанов, окраинных морей и континентов.

В процессе геологических работ, выполненных в пределах Японского моря, собрана обширная коллекция магматических пород. Их изучению посвящены многочисленные работы, однако вопросы вторичных изменений ранее специально не рассматривались. Автором проанализировано около 150 образцов магматических пород с 57 станций (рис. 1). Результаты минералогического анализа сведены в табл. 1.

Вторичные минералы определялись главным образом на рентгеновском дифрактометре «Дрон-2.0» ($\text{CuK}\alpha$ -излучение, Ni-фильтр) при оптимальном напряжении на катоде 40 кВ и анодном токе 22 мА. Скорость вращения счетчика $2\theta = 1$ град/мин, щели 0,5—1—0,5 мм. Глинистые минералы диагностировались во фракции меньше 1 мкм, выделенной из основной массы магматических пород методом отму-

чивания, а также из пор, прожилков и минералов вкрапленников. Приготовление образца для съемки осуществлялось методом капли на стеклянную пластинку с оптимальной толщиной препарата 0,12—0,15 мм. Для получения

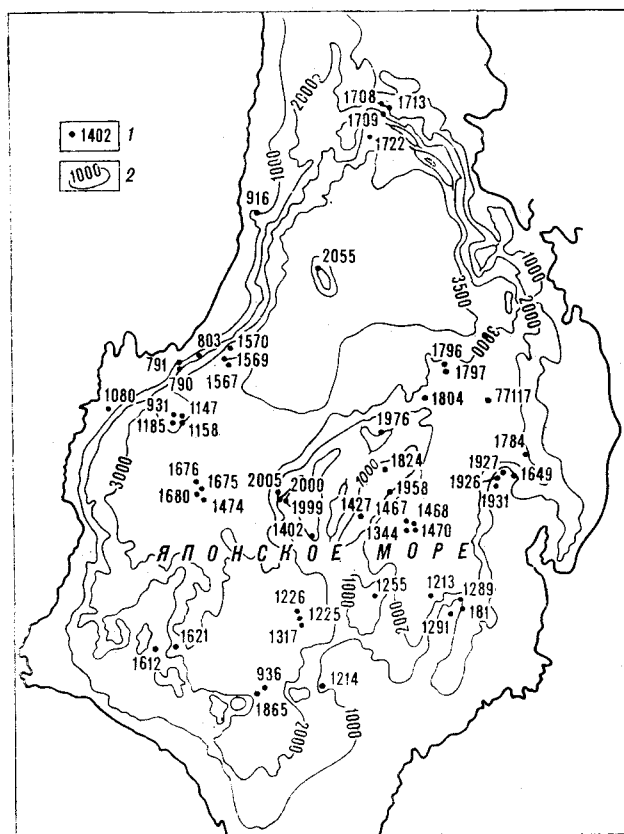


Рис. 1. Схема расположения станций. 1 — места отбора и номера станций; 2 — изобаты с отметками глубин, м.

Вторичные минералы в магматических породах дна Японского моря

№п/п	Номер образца	Название породы	Диоктаэдрический смектит	Триоктаэдрический смектит	Сменная слоистые гидрослюда — смектит	Гидрослюда	Хлорит	Цеолит	Кальцит	Примечание
1	1470/1a	Базальт	×		×		+			Вал
2	1468/16	»	×		×					»
3	1675a	»	×		×			×		Поры заполнения
4	1680/1	»	×		×					Вал
5	1621/1	»	×		×	×		×		»
6	1612/8	»	×	+	×	+		×		Измененная корка
7	1784/a	»	×		×	×		×		Поры заполнения
8	1804/4	»	×		×	×				По оливину
9	1796/2	»	×	+	×					Вал
10	1165/2a	»	×		×	×				Измененная корка
11	931/1a	»	×		×	×		×		Поры заполнения
12	1226/6	»	×	+	×					Вал
13	1147/3	»	×		×	+				»
14	936/1	»	×		×					»
15	1427	»	×		×	+				»
16	1402/36	»	×	+	×					»
17	1255/2	»	×		×					»
18	1722/2г	»	×		×					»
19	1289/4	»	×		×					»
20	1824/1	»	×	+	×					»
21	1927/1	»	×		×					»
22	790/6	»	×		×					»
23	1226a	»	×		×	+				»
24	1225г	»	×		×					Поры заполнения
25	1317a	»	×		×	×				Вал
26	1289/4	»	×		×	×				»
27	1467/1	»	×		×					»
28	1214	»	×	+	×					Поры заполнения
29	791/1в	»	×		×					Вал
30	803	Базальт	×		×					Вал
31	1824/1	»	×		×					»
32	181/1	»	×	+	×					»
33	1080/2	»	×	×	×	+				»
34	1291/1е	»	×	×	×	×	+			»
35	1708/1	»	×	×	×	+				Поры выполнения
36	1713/1	»	×	+	×	+		×		То же
37	1709	»	+	×	×	+			×	То же
38	1797/a	Андезит	×		×					Вал
39	1999/2	»	×		×					»
40	1931/1	»	×		×					»
41	2005	»	×		×					»
42	1569	Трахиандезит	×		×	+				Поры заполнения
43	1344/8	»	×		×					То же
44	77117/2	»	×		×					Вал
45	1865/2	Трахит	×		×					»
46	1213a	»	×		×	+				»
47	1567a	»	×		×	+				»
48	1570	»	×		×	+				Поры выполнения
49	2055/2	»	×		×			×		Вал
50	1226/3	»	×		×					»
51	2000	Дацит	×		×					Поры заполнения
52	1958	»	×		×					Вал
53	1472/2	»	×		×					»
54	1467/3	»	×		×					»
55	1676/3	Трахидацит	×		×			×		Поры заполнения
56	1474	»	×		×			×		Прожилки в породе
57	846	»	×		×			×		То же

Примечание. Номера образцов соответствуют номерам станций на рис. 1; × — преобладающий минерал, + — диагностируемый в малых количествах минерал.

отражения 060 у слоистых силикатов препараты снимались на «просвет». Образцы также анализировали на рентгеновском дифрактометре после насыщения этиленгликолем и прокаливания при 550°C в течение 2 ч. Для определения степени заселенности октаэдрических позиций слоистых силикатов использовался электронограф ЭМР-100М. Кроме того, проводились химический, спектральный и электронографический анализы. Характер изменений и взаимоотношений вторичных минералов определялись в петрографических шлифах. Предварительная обработка материала, просмотр шлифов, диагностика минералов осуществлялись автором. Исследования на электронографе проводились Г. А. Юдиной. Химический и спектральный анализы выполнены в ДВГИ ДВНЦ АН СССР.

Магматические породы широко развиты в пределах Японского моря. Они слагают многочисленные вулканические постройки и хребты в глубоководных впадинах и на крупных подводных возвышенностях. Изученные образцы представлены глыбами, обломками, щебнем базальтов, андезитов, трахитов, дацитов и переходных разновидностей.

Базальты характеризуются порфировой структурой, различными плотностью и пористостью (последняя от 15 до 40%). Структура основной массы гиалопилитовая, реже интерсертальная, микродолеритовая. Вкрапленники представлены оливином, пироксеном, основным плагиоклазом и реже рудным минералом. Размер и количество вкрапленников варьируют от 0,01 до 8 мм и от 3 до 20% соответственно. Основная стекловатая масса состоит из бурого, тахилитового нераскристаллизованного стекла, в котором заключены микролиты вышеуказанных минералов.

Андезиты — серые с зеленоватым оттенком породы, состоящие из лейст плагиоклаза и единичных зерен пироксена, заключенных в гиалопилитовой основной массе. Стекло зеленое, буровато-зеленое, с петельчатой структурой.

В трахитах вкрапленники представлены калиевым полевым шпатом, кислым плагиоклазом, пироксеном и магнетитом.

Редко встречающиеся дациты представляют собой светлые, афирновые породы с редкими вкрапленниками плагиоклаза, пироксена и амфибола, часто с прожилками цеолитов.

На основании данных петрографии, химического и рентгенографического анализов выделено две группы базальтов, различающихся по набору вторичных минералов. В первую группу вошли все базальты, за исключением образцов 1080, 1291, 1708, 1709, 1713, которые составили вторую группу. Базальты первой группы представлены в основном пористыми разновидностями. Основными вторичными минералами здесь яв-

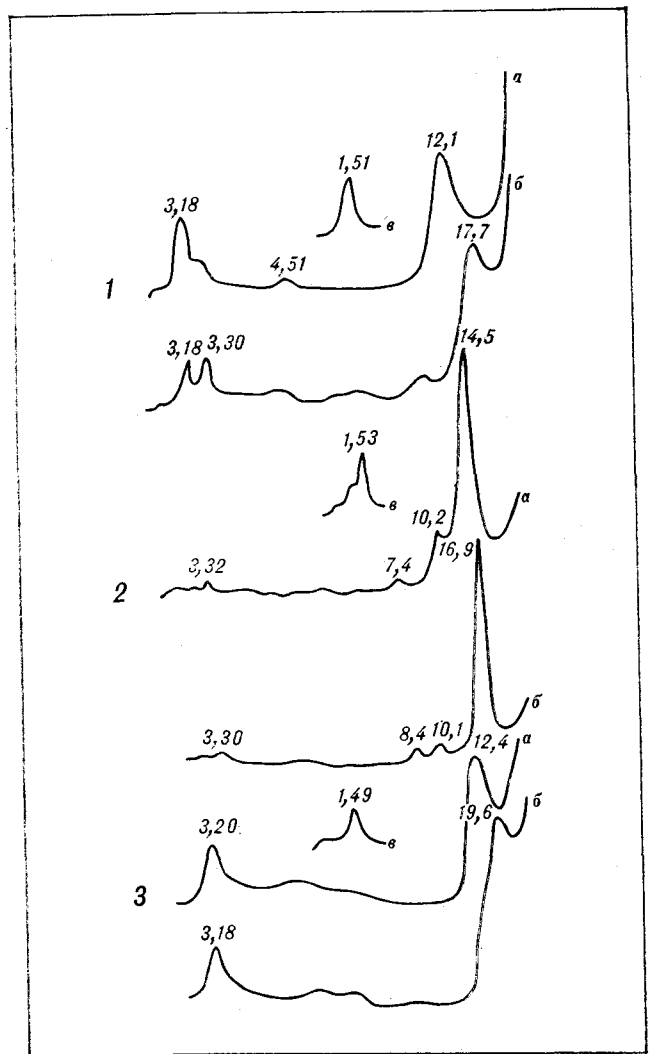


Рис. 2. Дифрактограммы фракции меньше 1 мкм из магматических пород (а — в исходном состоянии, б — насыщенных этиленгликолем, в — рефлекс 060):

1 — смектит из первой группы базальтов; 2 — смектит из второй группы базальтов; 3 — смектит из кислых пород.

ляются диоктаэдрический смектит, смешанослойный минерал гидрослюда-смектитового ряда, гидрослюда, филлипсит и окислы железа. Наиболее восприимчивой к вторичным изменениям является нераскристаллизованная стекловатая масса базальтов. Стекловатая масса изменена вдоль трещин, пустот и каверн и имеет островковую, очаговую или петельчатую структуру. Вторичные минералы образуют зеленые, коричневые коллоидные скопления, радиально-лучистые агрегаты, чешуйки и листочки. По данным рентгенографии, главным минералом здесь является диоктаэдрический смектит. На дифрактограмме (рис. 2) наблюдается широкий, пологий, с наклоном в сторону малых углов рефлекс в 12,6 Å, который при насыщении образца этиленгликолем увеличивается до 17 Å,

а при прокаливании до 550°C в течение 2 ч уменьшается до 10 \AA . Рефлекс 060 равен $1,51 \text{ \AA}$. Судя по форме и характеру рентгенодифрактометрической кривой, возможно также присутствие до 40% гидрослюдистых пакетов [1].

Химический состав фракции меньше 1 мкм показывает, что это Fe-сметит с содержанием Fe_2O_3 от 11,3 до 15,4%, вероятно, с катионом Na или K в межслоевом промежутке.

Минералы-вкрапленники в этой группе базальтов в различной степени подвержены изменениям. Наиболее восприимчивым к вторичным изменениям оказывается оливин. В петрографических шлифах видно, как по вкрапленникам развивается коричневый вторичный минерал, часто до такой степени, что от вкрапленников остаются только фрагменты. Так, в образце 1804/4 оливин (Fo 83—87) почти полностью замещен диоктаэдрическим сметитом (рефлекс 001 равен $12,6, 060 1,51 \text{ \AA}$).

Для плагиоклазов характерно замещение калиевым полевым шпатом центральной, более основной (An 70—80), части кристаллов. Центры вкрапленников имеют низкий рельеф, меньший показатель преломления и волнистое погасание по сравнению с внешней, неизменной частью. Часто по вкрапленникам плагиоклаза образуются чешуйки слюды — серицита; вдоль микротрещин и реакционных каемок пятнисто развивается вторичный минерал светло-коричневого цвета (вероятно, сметит). Пироксены почти не затронуты вторичными изменениями и выглядят в шлифах довольно свежими.

Поры и прожилки в базальтах этой группы имеют, как правило, зональное строение (рис. 3, а). Вначале идет каемка зеленого, коричневатозеленого, палагонитизированного стекла. Затем следует зона, выполненная светло-зеленым, хорошо окристаллизованным минералом, имеющим радиально-лучистое погасание в скрещенных николях. Следующая зона выполнена темно-зеленым, а последняя — коричневым или светло-коричневым минералом. Иногда встречаются поры, выполненные гидроокислами железа (см. рис. 3, б). Основным минералом в порах является диоктаэдрический сметит.

Параметр B у него равен $9,06—9,11 \text{ \AA}$. Гидрослюда определяется по пику 10 \AA в воздушно-сухом ориентированном препарате. Параметр B равен $9,05 \text{ \AA}$. Хлорит (слабые рефлексy $7,12; 3,52 \text{ \AA}$) встречается довольно редко. Филлипсит (рефлексy $7,08; 3,18 \text{ \AA}$) образует мелкокристаллические агрегаты, сцементированные зеленым, светло-зеленым вторичным минералом (сметитом?), заполняющим пустоты в



Рис. 3. Формы выделения вторичных минералов в базальтах:

а — зонально-выполненная трещина, б — пора с гидроокислами железа, в — поры в базальте, заполненные сафронитом в виде червеобразных сростков.

базальтах. Необходимо отметить, что филлипсит и гидрослюда тяготеют к периферической части образца и чаще встречаются в близповерхностных порах заполнения и в измененных корках.

Таблица 2

Цвет поры	Параметр $B, \text{Å}$	Интенсивность рефлекса	Диагностируемый минерал
Зеленый	9,19	Сильный	Триоктаэдрический смектит
	9,05	Слабый	Гидрослюда 1М
Белый	9,20	Сильный	Триоктаэдрический смектит
	9,05	Слабый	Гидрослюда
Коричневый	9,22	Сильный	Триоктаэдрический смектит

Базальты второй группы представлены порфировыми разностями с долеритовой структурой. Вероятно, это фрагменты даек, мощных лавовых потоков или силлов. Основными вторичными минералами здесь являются триоктаэдрический и диоктаэдрический смектиты, гидрослюда, хлорит, кальцит и сульфиды железа. Преобладающим минералом, развивающимся по основной стекловатой массе, является ярко-коричневый сапонит. Он определен рентгенографически. Интенсивный, хорошо выраженный рефлекс в $13,0\text{--}15,0 \text{Å}$ (см. рис. 2) при насыщении этиленгликолем сдвигается до $16,9 \text{Å}$, а при прокаливании смещается до 10Å . Рефлекс 060 равен $1,53\text{--}1,54 \text{Å}$. Химический анализ фракции показывает, что содержание Fe_2O_3 колеблется от 12 до 15%, а MgO от 5 до 14%.

Минералы-вкрапленники в этой группе базальтов изменены в большей степени, очевидно, за счет того, что в образцах мало интерстициального стекла. Крупные таблитчатые кристаллы плагиоклаза изменены довольно значительно. По ним пятнами развивается коричневый вторичный минерал (вероятно, смектит). Пироксены менее подвержены изменениям, но иногда разбиты трещинами, вдоль которых развивается зеленый вторичный минерал.

Поры и прожилки в базальтах этой группы выполнены смектитом двух видов: коричневым, прилегающим непосредственно к стенкам пор, и зеленым, как бы обволакивающим центральное кальцитовое ядро. Иногда зеленый смектит образует внутри пор характерные червеобразные сростки (см. рис. 3, в). В обр. 1713/1 проанализированы минералы, заполняющие поры зеленого, желтовато-белого и коричневого цвета (табл. 2).

Можно предположить, что увеличение параметра B связано со стадийным изменением условий минералообразования аналогично схеме, предложенной Дривером [6], что отражается на цвете минерала. Гидрослюда и хлорит встречаются в подчиненных количествах. Цеолиты также довольно редки. Кроме перечисленных минералов, в порах часто встречается кальцит

(прозрачные вкрапленники с характерной спайностью по ромбоэдру) и другие карбонаты кальция. Из сульфидов железа по характерным пятиугольным разрезам в шлифе определен пирит [4].

Характер изменений в андзезитах и трахитах аналогичен описанному у базальтов. Основными вторичными минералами в этой группе являются Fe- и Al—Fe-диоктаэдрические смектиты, смешанослойные образования гидрослюда-смектитового ряда, гидрослюда, цеолиты и окислы железа. По стекловатой массе развиваются Fe- и Al—Fe-диоктаэдрические смектиты. Химический анализ показывает, что это железистые, высококалиевые разности (K_2O от 2,0 до 3,2%). В порах и прожилках образуются смектиты и смешанослойные образования гидрослюда-смектитового ряда. Гидрослюда и цеолиты встречаются реже. Пироксены и плагиоклазы довольно свежие.

В дацитах и трахидацитах основными вторичными минералами являются Al—Fe-диоктаэдрический смектит, смешанослойные образования гидрослюда-смектитового ряда, гидрослюда и цеолиты. По стеклу и в порах развивается диоктаэдрический смектит (см. рис. 2,3). Рефлекс 001 в $12,2 \text{Å}$ при насыщении увеличивается до 18Å и более. Рефлекс 060 равен $1,49 \text{Å}$. Форма рентгенодифрактометрической кривой соответствует модели, предложенной В. В. Дриц и Б. А. Сахаровым [1] для системы смешанослойных минералов смектит—гидрослюда с соотношением переслаивающихся пакетов 30 : 70. Химический состав фракции меньше 1 мкм показывает, что процентное содержание Al_2O_3 достигает 15, а $\text{FeO}_{\text{общ}}$ 13%, содержание K_2O и Na_2O не превышает 1,3%. Можно также отметить anomalно низкое по сравнению с другими образцами содержание микроэлементов (Ni, Cr, Co, Zr, Sc) и близкое к среднему содержание V, В, Cu, Zn, что, возможно, связано с окремнением и интенсивным выносом. В обр. 1467/3 и 845 встречены жилы и прожилки, выполненные гармотомом и Na—Ca-цеолитом (рефлексы 8,13; 7,13; 4,08; 3,17; 2,69 Å).

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что основным процессом вторичного минералообразования на дне Японского моря является смектитизация магматических пород, что соответствует общепринятой точке зрения [2, 3, 5, 6]. Этот процесс охватывает все эффузивные породы. Для базальтов установлено два типа изменений, характеризующихся различными условиями образования минералов. Для первого типа характерны Fe-диоктаэдрические смектиты, смешанослойные образования гидрослюда-смектитового ряда, гидрослюда, цеолиты и гидроокислы же-

леза, образовавшиеся в окислительных условиях. Для второго типа установлены Fe—Mg-триоктаэдрические смектиты, гидрослюда, кальцит, пирит, т. е. минералы, характерные для систем с затрудненным водообменом. В кислых породах обнаружены Al—Fe-диоктаэдрические смектиты, смешанослойные образования гидрослюда-смектитового ряда, гидрослюда и цеолиты. Преимущественное образование диоктаэдрических смектитов по стекловатой массе и в породах магматических пород обусловлено окислительной обстановкой минералообразования. Представляется возможным связать образование диоктаэдрических смектитов с андезитовым типом вулканизма, характерным для окраинных морей [2].

Судя по набору вторичных минералов и их петрографическим особенностям, можно выделить несколько этапов во вторичном минералообразовании. Наличие в породах светлых, хорошо окристаллизованных тонких каемок вторичных минералов может свидетельствовать о высокой температуре их образования [8]. Диоктаэдрические смектиты, цеолиты и кальцит могли формироваться как на стадии гальмиролиза, так

и при вторичном разогреве [9, 10]. Смешанослойные образования и гидрослюда появляются, вероятно, при вторичном разогреве [2, 7]. Триоктаэдрические смектиты свидетельствуют о смене окислительных условий на условия с затрудненным водообменом [3, 6]. Гидрослюда, цеолиты и смешанослойные образования гидрослюда-смектитового ряда (смешанослойных пакетов более 60%) тяготеют к периферической части образца и чаще встречаются в близповерхностных породах заполнения и в измененных корках. Хлорит встречается довольно редко. Подобный набор вторичных минералов позволяет сделать вывод о том, что вторичное минералообразование в магматических породах дна Японского моря — результат низкотемпературного взаимодействия морской воды — порода.

Автор признателен В. Б. Курносову и О. В. Чудаеву за критические замечания, высказанные в процессе подготовки рукописи к печати, Е. П. Леликову и В. Т. Сьедину за консультации по вопросам петрографии магматических пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дриц В. В., Сазаров Б. А. Рентгеноструктурный анализ смешанослойных минералов.— М.: Наука, 1976.
2. Косовская А. Г., Шутов В. Д., Симанович И. М. Минеральные преобразования пород океанической коры и проблема ее начальной континентализации.— В кн.: Минеральные преобразования пород океанического субстрата. М.: Наука, 1981.
3. Курносов В. Б., Мурдма И. О., Скорнякова Н. С. Вторичные изменения вулканических стекол в океане.— В кн.: Минеральные преобразования пород океанического субстрата. М.: Наука, 1981.
4. Лодочников В. Н. Главнейшие породообразующие минералы.— М.: Недра, 1974.
5. Перцев Н. Н., Русинов В. А. Гидротермальные изменения базальтов Бермудского поднятия по материалам бурения скважин 417, 418 «Гломара Челленджера».— В кн.: Минеральные преобразования пород океанического субстрата. М.: Наука, 1981.
6. Drever J. J. Chemical and mineralogical studies site 323.— In: Initial Reports of DSDP. Washington: US Govern. Print. Office, 1976, v. 35.
7. Hisanori Y., Katsutoshi T. e. a. Clay minerals in altered volcanic rocks of Otsuku, Hitouy (Japan).— In: Jap. Assoc. Miner. Petrol. and Econ. Geol., 1982, v. 77, N 2.
8. Lawerense J. R., Drever J. J., Kastner M. Low temperature alteration of basalts predominates at DSDP site 395.— In: Initial Reports of DSDP, Washington: US Govern. Print. Office, 1979, v. 45.
9. Muehlenbachs K. The alteration and aging of the basaltic layer of the sea floor exogen isotope evidence from DSDP.— Ibid, 1980, v. 51—53.
10. Scheidegger K. F., Stakes D. S. X-ray diffraction and chemical study of secondary minerals from DSDP. Leg 51. Holes 417 A and 417 D.— Ibid.

ТОИ ДВНЦ АН СССР
Владивосток

Поступила в редакцию
7 мая 1984 г.