

Г. М. Яськин, В. Т. Съедин

СОСТАВ И СТРУКТУРА ПЛАГИОКЛАЗОВ КАК КРИТЕРИИ ПЕТРОГЕНЕЗИСА ВУЛКАНИТОВ ДНА ЯПОНСКОГО МОРЯ

Проведено рентгенографическое изучение плагиоклазовых вкрапленников из трахибазальтов глубоководных котловин и некоторых крупных возвышенностей. Плагиоклазы состава Ap_{54} — Ap_{82} представлены слабоупорядоченными «промежуточными» или совершенно разупорядоченными разновидностями. Плагиоклазы обоих структурных типов характерны для вул-

особенности базальтового магматизма Японского моря, как одного из окраинных морей, давно привлекают внимание геологов. В данной работе предпринята попытка исследования структурного состояния полевых шпатов как индикатора петрогенезиса пород, слагающих вулканические постройки на его дне.

В пределах Японского моря выделяются три типа геологических структур: шельф и сопровождающие его материковый и островной склоны, крупные возвышенности и глубоководные котловины. Эти структуры характеризуются различными типами земной коры — континентальной, субконтинентальной и субокеанической соответственно. Базальтовый магматизм широко проявился в кайнозое в пределах всех этих структур. Базальтоиды характеризуются пестротой состава, что связано, вероятно, с эво-

люцией впадины Японского моря, заложившейся на окраине азиатского континента. По химическому составу, структурному положению и возрасту выделяются следующие серии вулканитов: континентальных толеитов (шельф и материковый склон Приморья), островодужная, трахибазальтовая и щелочно-базальтовая [2, 7]. Наибольший интерес представляют породы трахибазальтовой серии, которые слагают обособленные горы глубоководных котловин (Центральной и Хонсю) и наложенные постройки в краевых частях некоторых крупных возвышенностей. В настоящее время вершины указанных структур расположены на глубинах 1000—2000 м ниже уровня моря. По мнению авторов, именно породы трахибазальтовой серии связаны с заложением впадины Японского моря. По данным радиоизотопных определений, проведенных авторами (более 40), возраст их пород оценивается интервалом 58—1 млн. лет.

Базальты серии представлены пористыми (пористость до 40%) породами [5]. Обычно это фрагменты (сегменты) шаровой отдельности с характерными стекловатыми корками закалывания. Количество, состав и размеры вкрапленников (в том числе плагиоклазов) в них сильно варьируют от единичных мелких (не более 2—3 мм) кристаллов до многочисленных (до 15—20% от общей массы) крупных мегакристаллов (до 2 см и более) или же их агрегатов. По минералогическому составу среди базальтов выделяются следующие разновидности: оливин-плагиоклазовые (обр. 1226а, 1149/3, 77132б, 77133/1), пироксен-оливин-плагиоклазовые (обр. 1317, 1612а/1, 1612/5, 1804/5, 1805/1, 7728а, 7783а/1) и безоливиновые базальты (лейкобазальты). В последних вкрапленники представлены главным образом плагиоклазом и редко клинопироксеном и магнетитом (обр. 1679).

Образцы для изучения взяты с различных морфоструктур дна Японского моря, где развиты образования трахибазальтовой серии — глубоководных котловин (Центральная, Хонсю) и крупных подводных возвышенностей (Во-

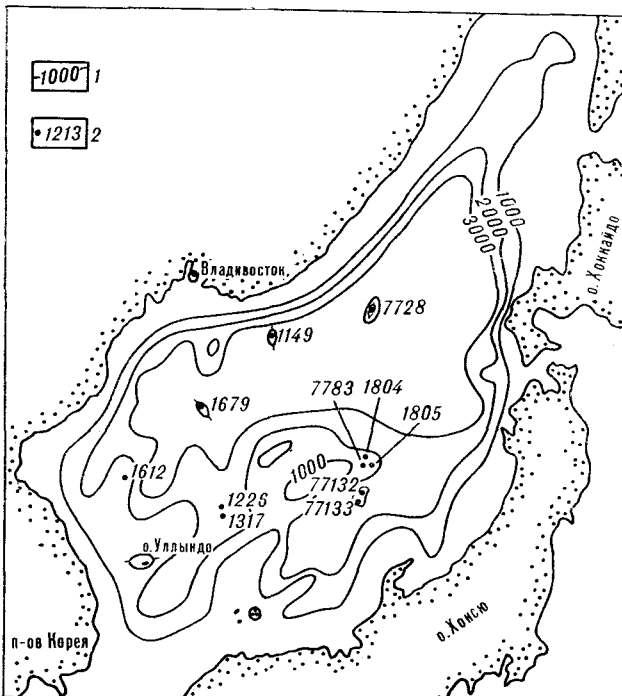


Рис. 1. Схема расположения станций опробования. 1 — изобаты глубин моря, 2 — место и номер станции.

Таблица 4

Химический состав вкрапленников плагиоклаза из базальтов Японского моря

Образец	Содержание компонентов, вес. %			Компонентный состав, мол. %
	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	
7728a	11,42	3,67	0,51	An _{61,3} Ab _{35,4} Or _{3,3}
1149/3	13,10	2,91	0,26	An _{70,1} Ab _{28,1} Or _{1,8}
1679	12,43	3,04	0,28	An _{68,1} Ab _{30,1} Or _{1,8}
1226a	15,32	1,94	0,27	An _{79,9} Ab _{18,4} Or _{1,7}
1317	12,23	3,17	0,36	An _{66,5} Ab _{31,1} Or _{2,4}
771326	7,25	2,67	0,96	An _{54,9} Ab _{36,6} Or _{8,5}
77133/1	8,80	2,48	0,57	An _{63,1} Ab _{32,1} Or _{4,8}
1804/5	14,64	2,05	0,19	An _{78,9} Ab _{19,9} Or _{1,2}
1805/1	15,25	1,78	0,19	An _{81,7} Ab _{17,1} Or _{1,2}
7783a/1	15,66	1,69	0,26	An _{82,1} Ab _{16,1} Or _{1,8}
1612a/1	10,14	4,42	0,64	An _{53,6} Ab _{42,8} Or _{4,1}
1612/5	10,14	4,32	0,57	An _{54,5} Ab _{41,9} Or _{3,6}

сточно-Корейская и Ямато) (рис. 1). Химический анализ плагиоклазов выполнен в Лаборатории спектрохимических методов ДВГИ ДВНЦ АН СССР химиками-аналитиками Л. А. Авдеевой и Т. И. Бортиной (табл. 1).

Структурное состояние плагиоклазов вкрапленников изучалось рентгенографически методом порошка на дифрактометре ДРОН-1 (CuK_α-излучение, Ni-фильтр) при режиме 35 кВ и 10 мА. Скорость сканирования образца 0,5 град/мин. Порошковые диаграммы снимались в диапазоне углов $2\theta = 21-23^\circ$ для линий $\bar{2}01$ и $\bar{1}11$ и углов $27-32^\circ$ для линий $\bar{2}20$, $\bar{1}31$ и $\bar{1}31$. Каждый образец снимался четырежды: 2 раза от малых значений 2θ к большим и 2 в обратном направлении. Ошибка в измерении положения максимумов $\pm 0,01^\circ$.

По химическому составу и величине $\Delta 2\theta_{131}$ были рассчитаны структурные характеристики плагиоклазов: разность содержания Al в тетраэдрах T₁₀ и T₁₁ $\Delta Al = 1,857 - 0,925 \cdot \Delta 2\theta_{131} + 0,00264 An (\%)$ и индекс структурной упорядоченности $S(\Delta Al) = \Delta Al \cdot 110^4 / 100 - An (\%)$ [4]. Для полностью упорядоченных плагиоклазов ΔAl изменяется от 1 (упорядоченный альбит) до 0 (анортит), если рассматривать 7A ячейку, для полностью неупорядоченных — $\Delta Al = 0$ для всех составов. Индекс структурной упорядоченности выражается в процентах и указывает, насколько исследуемый образец приближается к упорядоченному ($S(\Delta Al) = 100$) или неупорядоченному ($S(\Delta Al) = 0$) структурному состоянию.

Для уточнения структурного состояния плагиоклазов использовались диаграммы, одна из которых связывает состав плагиоклаза с параметром $B = 2\theta(\bar{1}11) - 2\theta(\bar{2}01)$ [13], другая — параметры B и $\Gamma = 2\theta(\bar{1}31) + 2\theta(\bar{2}20) - 4\theta(\bar{1}31)$ между собой [11]. Применение B-функции для определения структурного состояния основных

плагиоклазов предпочтительно, так как она дает большие вариации для этих составов, чем другие известные приемы. Использование диаграммы К. Ф. Шейдеггера [11] для основных плагиоклазов An₇₀ и выше позволяет достаточно однозначно определять петрогенезис исследуемых базальтов.

Полученные рентгенографические характеристики плагиоклазов показаны в табл. 2, сравнительное изучение их проведено с помощью диаграмм (рис. 2, 3). С целью уточнения генезиса исследуемых вулканитов на диаграмму К. Ф. Шейдеггера вынесены данные раннего изучения плагиоклазов из базальтов лавовых потоков рифтовых зон Индийского и Атлантического океанов и бомб современных наземных вулканов Камчатки и Курил [8].

Для полевых шпатов магматических пород главным фактором, контролирующим структурное состояние, является скорость остывания пород. Давление водной фазы играет второстепенную роль, ее состав не имеет существенного значения вследствие высоких температур [6]. В вулканических породах из-за высоких скоростей охлаждения расплава внутрикристаллическое равновесие атомов Si и Al в структуре полевых шпатов фиксирует температуру кристаллизации и должно оставаться неизменным вплоть до «пороговой» температуры [4]; структурное состояние минералов при этом должно характеризоваться как «высокое», т. е. полностью разупорядоченное.

Проведенным рентгенографическим исследованием установлено, что плагиоклазы вкрапленников из базальтов Японского моря являют-

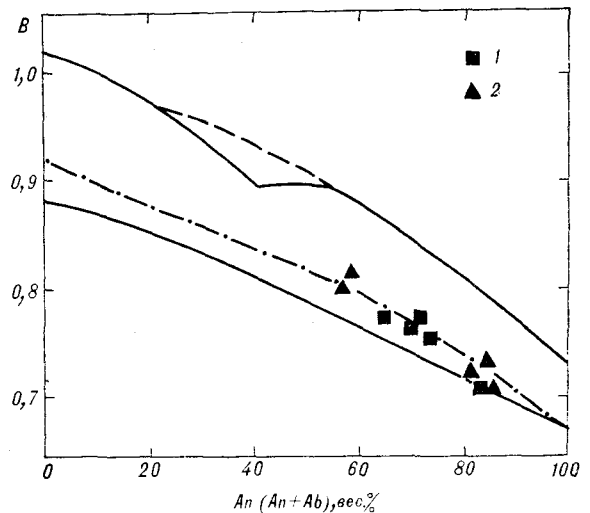


Рис. 2. Зависимость $B = 2\theta(\bar{1}11) - 2\theta(\bar{2}01)$ от состава для определения структурного состояния плагиоклазов [13].

Верхняя и нижняя сплошные линии — низко- и высокотемпературные серии упорядоченных и разупорядоченных плагиоклазов соответственно; штрихпунктирная линия — «нагретые природные» плагиоклазы. 1 — котловины; 2 — возвышенности.

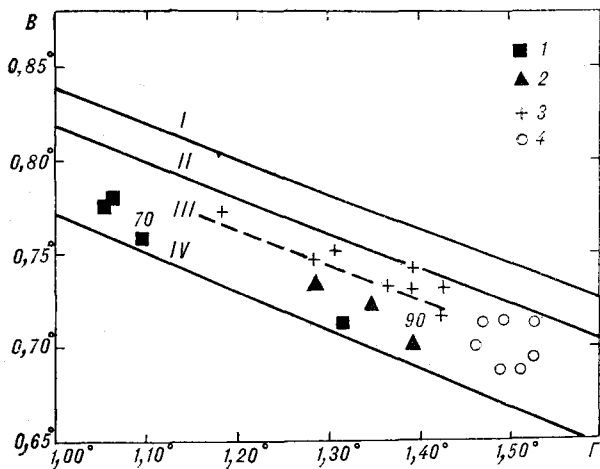


Рис. 3. Диаграмма для определения генезиса основных плагиоклазов [11].

I — габбисальные, II — наземные вулканические (лава), III — подводные вулканические (пирокластик), IV — синтетические. 1 — котловины; 2 — возвышенности; 3 — лавы рифтовых зон; 4 — бомбы островных дуг. Цифрами обозначены составы (мол. % An) изученных плагиоклазов.

ся, судя по их положению на приведенных диаграммах, совершенно разупорядоченными («синтетические») и слабоупорядоченными («нагретые природные» и «подводные пирокластические»). Отмеченные вариации структурного состояния плагиоклазов обусловлены образованием их в некотором диапазоне скоростей охлаждения расплава [12]. По данным индекса $S(\Delta Al)$, плагиоклазы (см. табл. 2) определяются как неупорядоченные и промежуточные. Несогласованность этих данных с данными

рентгенографии может найти объяснение в следующем. Для основных плагиоклазов распределение катионов Al по тетраэдрическим позициям структуры является главным образом функцией состава, а не структурного состояния, поэтому понятие «промежуточной упорядоченности», определенное из абсолютной величины $S(\Delta Al)$ [1], не совсем верно отражает не только кристаллохимический аспект упорядочения, но и следующую отсюда петрогенетическую особенность становления вулканических пород, уже не связанных с «более медленными (пормальными) условиями охлаждения». Неопределенность индекса структурной упорядоченности для основных плагиоклазов вполне успешно раскрывается при использовании рентгенографических параметров B и $Г$.

На основе проведенного сравнительного структурного анализа плагиоклазовых включений можно выделить вулканы с различным механизмом образования. Плагиоклазы состава $Al_{54} - Al_{82}$ представлены слабоупорядоченными «промежуточными» или совершенно разупорядоченными разновидностями. Первые на диаграмме Д. Р. Смита и П. Гэя (см. рис. 2) находятся на кривой «нагретых природных», полученных при отжиге плутонических плагиоклазов в условиях субликвидусных температур [13], а на диаграмме К. Ф. Шейдеггера (см. рис. 3) они занимают область, промежуточную между «синтетическим» и «подводным пирокластическим» типами. Вторые на обеих диаграммах находятся непосредственно на линиях высокотемпературных «синтетических» плагио-

Таблица 2

Состав и структурные характеристики плагиоклазов из базальтов дна Японского моря

Образец	Место взятия пробы	An, мол. %	$\frac{Al}{(An+Ab)}$, вес. %	$\Delta 2\theta_{131}$	ΔAl	$S(\Delta Al)$	B	$Г$
<i>Центральная глубоководная котловина</i>								
7728a	Хр. Богорова	61,3	64,8	2,05*	0,12*	31*	0,78	—
1149/3	Возвышенность Тарасова	70,1	72,6	2,11	0,09	30	0,76	1,09
1679	Возвышенность Гэбасс	68,1	70,6	2,06	0,13	41	0,78	1,06
1226a	Хр. Галагана	79,9	82,2	2,20	0,03	15	0,71	1,31
1317	»	66,5	69,4	2,07	0,12	36	0,78	1,05
<i>Котловина Хонсю</i>								
771326	Центральная часть вулканической постройки	54,9	61,4	2,22*	-0,05*	-11*	—	—
77133/1	То же	63,1	67,6	2,21*	-0,02*	-5*	—	—
<i>Крупные возвышенности</i>								
1804/5	Северо-восточная часть южного хр. Ямато	78,9	80,8	2,21	0,03	14	0,72	1,35
1805/1	То же	81,7	83,5	2,21	0,03	17	0,73	1,28
7783a/1	»	82,1	84,4	2,24	0	0	0,70	1,39
1612a/1	Возвышенность Восточно-Корейская	53,6	57,4	2,06*	0,09*	20*	0,81	—
1612/5	То же	54,5	58,0	2,06*	0,09*	20*	0,82	—

* Величины исправлены в соответствии с содержанием Og в плагиоклазах [10].

клавов, полученных высокотемпературным гидротермальным и твердофазовым синтезом. В этой группе авторами установлен ряд сверхнеупорядоченных плагиоклазов, имеющих отрицательные величины индекса структурной упорядоченности (см. табл. 2), — высококальциевые плагиоклазы из базальтов котловины Хонсю (см. табл. 1). Плагиоклазы этой группы вулкаников могли образоваться из перегретого расплава [3]. Разупорядоченное структурное состояние плагиоклазовых вкрапленников зафиксировано в результате взрывного выброса и излияния под толщей воды при почти ликвидусных температурах [11]. Плагиоклазы обоих структурных типов характерны для вулкаников пирокластической природы.

Сопоставление изученного материала с данными по другим морфоструктурам (см. рис. 3) показало, что плагиоклазы дна Японского моря по структурному состоянию более разупорядоченные, чем таковые из базальтов лавовых потоков рифтовых зон океанов, а от плагиоклазов бомб наземных островодужных вулканов они отличаются более однородными условиями закали. Таким стабилизирующим фактором могла быть толщина воды. Эти особенности позволяют считать, что плагиоклазы из базальтов дна Японского моря кристаллизовались из магм близповерхностного подводного извержения взрывного типа.

Пирокластический характер вулканизма в пределах Японского моря подтверждается обилием пеплового материала в осадках его котловины в интервале от голоцена до верхнего миоцена включительно [9]. Наличие шаровой отдельности, стекловатых корок закалывания и высокая пористость базальтов свидетельствуют о подводных условиях и близповерхностном характере извержений.

Таким образом, изучение состава и упорядоченности плагиоклазовых вкрапленников вулканогенных образований на основе зависимости их структурного состояния от скорости охлаждения расплава дало возможность уточнить качественную модель базальтового вулканизма дна Японского моря. Породы трахибазальтовой серии формировались в течение длительного времени (палеоген — антропоген) в близповерхностных условиях подводного взрывного вулканизма. Современное положение вершин вулканических построек (1000—2000 м ниже уровня моря) свидетельствует о том, что после прекращения активного этапа их деятельности они погрузились на значительную глубину.

Авторы благодарны Т. Б. Афанасьевой, проводившей рентгенографическую съемку и обработку спектров, а также С. А. Щеке, сделавшему ценные замечания при обсуждении рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блюмштейн Э. И., Каменцев И. Е. Структурное состояние плагиоклазов в андезитовых и базальтовых сериях на основе рентгеновских данных.— В кн.: Кристаллохимия и структура минералов. Л.: Наука, 1974.
2. Леликов Е. П., Съедин В. Т. и др. Магматические комплексы дна Японского моря.— Тихоокеанская геол., 1983, № 2.
3. Мирошниченко И. С. Кристаллизация сплавов при больших скоростях охлаждения.— В кн.: Механизм и кинетика кристаллизации. Минск, 1969.
4. Саксена С. Термодинамика твердых растворов породобразующих минералов.— М.: Мир, 1975.
5. Свиинников А. И., Евланов Ю. Б. и др. Петрофизическая характеристика кайнозойских вулканических пород дна Японского моря.— В кн.: Сейсмичность и сейсмостойкое строительство на Дальнем Востоке. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982.
6. Сендеров Э. Э., Бычков А. М. Физико-химические условия образования структурных модификаций щелочных полевых шпатов при петрогенезисе.— Сов. геол., 1979, № 9.
7. Съедин В. Т. Кайнозойские базальтоиды Японского моря и особенности их минералов.— В кн.: Тихий океан (геология, геоморфология, магматизм). Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983.
8. Яськин Г. М., Афанасьева Т. Б. Сравнительное изучение структурного состояния плагиоклазов оливин-анортитовых включений в толентовых базальтах океанов и островных дуг.— В кн.: Минералы-индикаторы петрогенезиса. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980.
9. Initial Reports of the DSDP. Washington, 1975, v. 31.
10. Kroll H., Ribbe P. R. Determinative diagrams for Al, Si order in plagioclases.— Amer. Miner., 1980, v. 65, N 5/6.
11. Sheidegger K. F. Determination of structural state of calcic plagioclases by an X-ray.— Amer. Miner. 1973, v. 58, N 1/2.
12. Slemmons D. B. Observation on order — disorder relations of natural plagioclases. I. A method of evaluating order-disorder.— Nors. K. geol., 1962, Bd 42 N 12.
13. Smith I. V., Gay P. The powder patterns and lattice parameters of plagioclase feldspars. II.— Min. Mag. 1958, v. 31, N 240.