

УДК 552.11

© 1992 г.

О.Н. ВОЛЫНЕЦ, А.В. КОЛОСКОВ, Дж. ЯГОДЗИНСКИЙ,  
Н.И. СЕЛИВЕРСТОВ, Ю.О. ЕГОРОВ,  
В.А. ШКИРА, В.В. МАТВЕЕНКО

**БОНИНитОВАЯ ТЕНДЕНЦИЯ В ЛАВАХ ПОДВОДНОГО  
ВУЛКАНА ПИЙПА И ЕГО ОБРАМЛЕНИЯ  
(ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ АЛЕУТСКОЙ ДУГИ)**

**1. Геология, петрохимия, минералогия**

Приводятся новые геологические, петрохимические и петрографические данные по трем комплексам пород вулканического центра — вулкана Пийпа и его ближайшего обрамления.

Показано, что в целом проявившийся здесь вулканизм относится к островодужной умеренно-калиевой известково-щелочной серии. Однако его специфика — высокая магнезиальность пород и темноцветных минералов (бонинитовая тенденция) является отражением особенностей развития его по периферии Командорской котловины в связи с процессами рассеянного задугового спрединга.

**BONINITE TENDENCY IN THE LAVAS OF THE SUBMARINE PIIP VOLCANO AND ITS FRAMING (WESTERN PART OF THE ALEUTIAN ARC). 1. GEOLOGY, PETRO-CHEMISTRY AND MINERALOGY**, by V o l y n e t s O.N.\*, K o l o s k o v A.V.\*, Y u g o d z i n s k i G.M.\*\*\*, S e l i v e r s t o v N.I.\*\*-, E g o r o v Yu.O.\*, S h k i r a V.A.\*, and M a t v e e n k o V.V.\*\*\*\* New geologic, petrochemical and petrographic data on three complexes of rocks of Piip volcano and its surroundings are reported. It is shown that volcanism manifested here belongs to the island arc moderately potassic calc-alkali series. However it is distinguished by high Mg content of rocks and mafic minerals (boninite tendency) which can reflect the specific features of development of volcanism along the periphery of the Commander Basin possibly related to the processes of dissipated behind arc spreading.

(Received January 30, 1991)

\**Institute of Volcanic Geology and Geochemic, Far East Division, USSR Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, USSR*

\*\* *Institute of Volcanology, Far East Division. USSR Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, USSR*

\*\*\**Department of Geological Sciences, Cornell University, Ithaca, New York, 74853, USA*

\*\*\*\**P.P. Shirshov Institute of Oceanology, USSR Academy of Sciences, GSP-7, Moscow, 117218, USSR*

Открытие современного подводного вулкана Пийпа [9—11], расположенного в тылу Командорских островов, привлекло внимание исследователей в связи с необычным геологическим положением этого вулканического центра. Во-первых, он расположен в структурах, примыкающих к западной части Алеутской островной дуги, где, как считалось [15], вулканизм прекратился еще в плиоцене. Во-вторых, в этой части поддвижение Тихоокеанской плиты под Восточно-Азиатскую происходит по касательной, так что эта зона субдукции по сути дела вырождается в трансформный разлом. В-третьих, этот вулканический центр располагается на участке Командорской котловины, прилегающей к Командорскому блоку Алеутской дуги, что определяет возможность влияния на вулканизм как процессов задугового спрединга, так и субдукции.

В связи с этим возникает задача определить тип проявившегося здесь вулканизма в рамках геодинамических моделей концепции тектоники плит, а также попытаться выявить специфические признаки состава вулкаников этого центра,

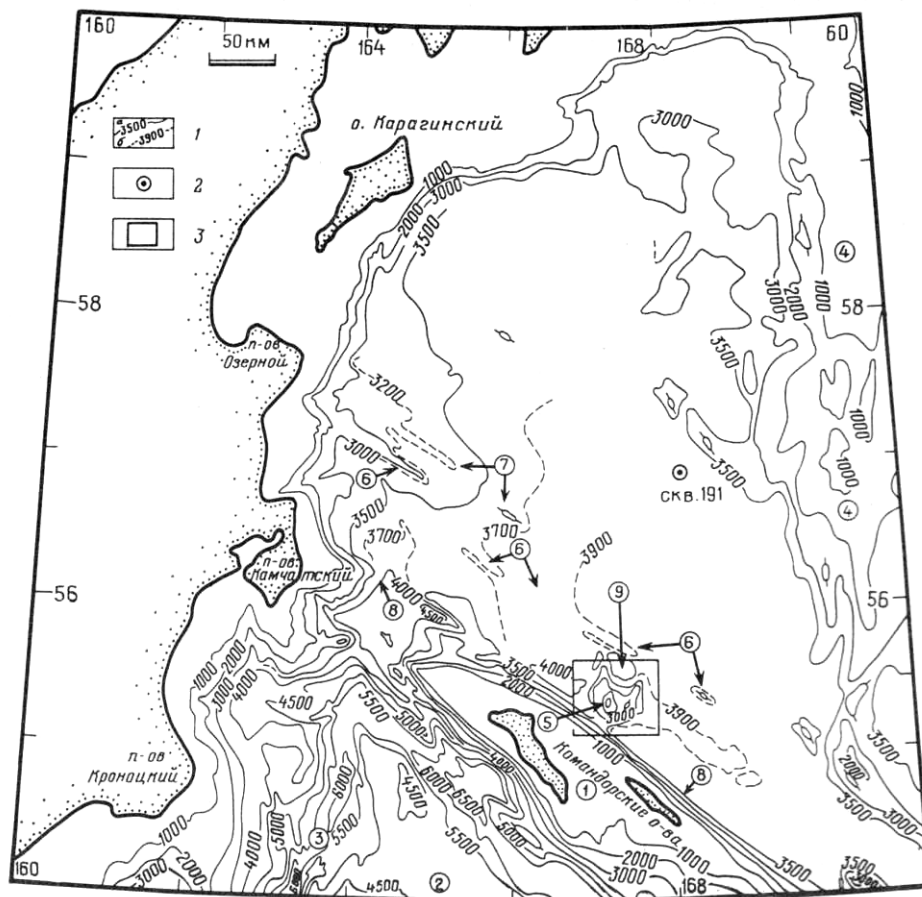


Рис. 1. Морфоструктурная схема Командорской котловины. 1 — изобаты, м: а — основные, б — дополнительные; 2 — скважина № 191 DSDP [19]; 3 — граница района работ, приведенного на рис. 3. Цифрами в кружках обозначены некоторые морфоструктуры. 1 — Командорский блок Алеутской гряды; 2 — западное окончание Алеутского глубоководного желоба; 4 — подводный хр. Ширинова; 5 — подводный вулкан Пийпа; 6 — разлом Альфа; 7 — поднятие Бета; 8 — разлом Беринга; 9 — грабен Командор

которые можно было бы увязать с особенностями его геологического положения. В связи с ограниченностью объема в настоящем сообщении рассматриваются лишь геологические, петрохимические и минералогические аспекты проблем. Данные по редкоземельному и изотопному составу будут изложены во второй части статьи.

### Геологическое строение

Основные сведения о геологическом строении рассматриваемого района были получены в результате работ, проведенных в нескольких рейсах НИС «Вулканолог» (с 1981 по 1988 г.) и по [21—24]. По данным этих исследований (рис. 1), южной границей Командорской котловины является разлом Беринга, выделенный как один из сейсмоактивных литосферных разломов в системе правосторонних сдвигов западного окончания Алеутской дуги [8]. В рельефе дна этот разлом трассируется уступом на северо-восточном склоне Командорского блока Алеутской дуги, затем прослеживается в северо-западном направлении в виде глубокой депрессии и уступа вплоть до континентального склона Восточной

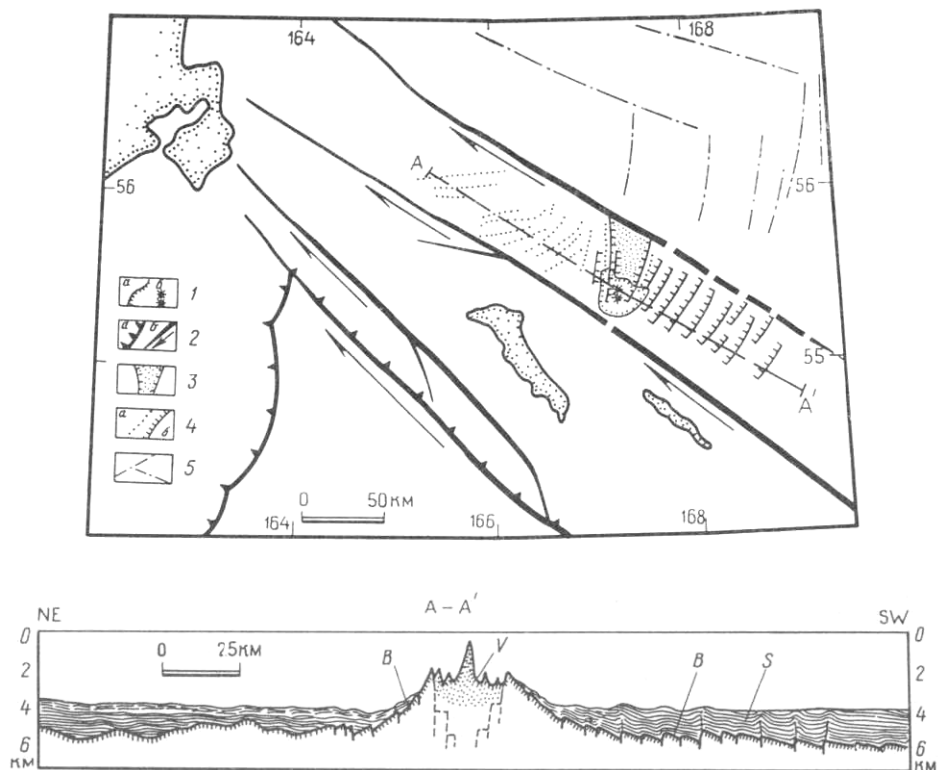


Рис. 2. Тектоническая схема южной части Командорской котловины и схематизированный разрез по профилю А—А'. 1 — элементы вулканического массива: а — граница вулканического массива, б — постройка вулкана Пийпа; 2 — литосферные разломы: а — связанные с глубоководными желобами; б — сдвиги; 3 — грабен Командор; 4 — сбросы, развитые в акустическом фундаменте и в тылу Командорского блока (а) и линии простираения поднятий акустического фундамента к северо-западу от массива Вулканологов (б); 5 — линии простираения структур в центральной части Командорской котловины. Обозначения на разрезе А—А': В — акустический фундамент южной части Командорской котловины; S — осадочный чехол; V — вулканический массив с вулканом Пийпа

Камчатки севернее подводного продолжения мыса Африка. В 60—80 км к северо-востоку от разлома Беринга субпараллельно ему протягивается разлом Альфа, выраженный в рельефе дна, аномальном магнитном поле и структуре осадков [12]. Этот разлом прослеживается от южного окончания хр. Ширишова на востоке до п-ова Озерной (Камчатка) на западе. В рельефе дна отчетливо выражена лишь западная, по-видимому, наиболее активная часть разлома Альфа.

Блок земной коры, заключенный между разломами Беринга и Альфа, по геофизическим данным отличается от других участков Командорской котловины, что дает основание выделить его в качестве самостоятельной структуры. Он характеризуется своеобразным аномальным магнитным полем, а также поднятиями акустического фундамента, разделенными на блоки многочисленными тектоническими нарушениями субмеридионального и северо-северо-восточного простирааний. Эти тектонические нарушения нередко проникают в осадочный чехол вплоть до самых верхних его горизонтов. Наиболее интенсивно тектонические движения проявились к северо-востоку от о-ва Беринга, где сформировался грабен Командор с поднятыми крыльями и опущенным центральным блоком. На представленной тектонической схеме (рис. 2) видно, что сбросообразование здесь связывается с системой правосторонних сдвигов западного окончания Алеутской дуги. При этом, очевидно, раскрытие грабена Командор обусловлено правосторонним сдвигом по западному участку разлома Альфа.

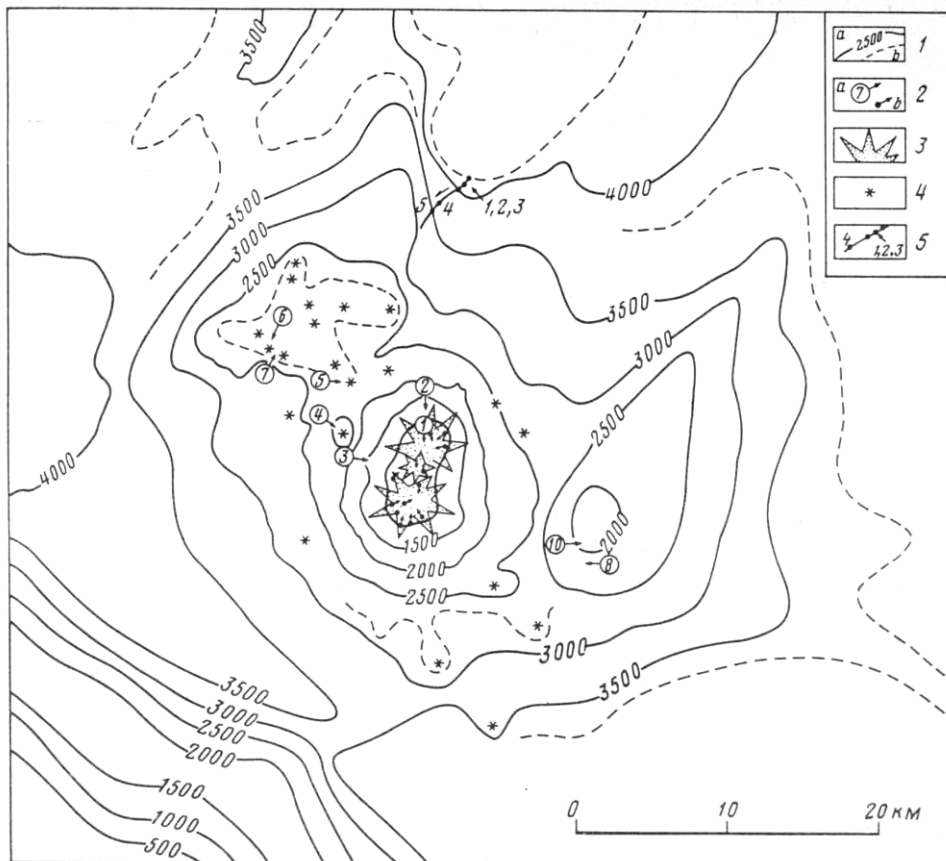


Рис. 3. Схема района работ (массив Вулканологов). 1 — изобаты, м: а — основные, б — дополнительные; 2 — станции драгирования: а — выполненные в 35-м рейсе НИС «Вулканолог», б — выполненные в 21-м и 26-м рейсах НИС «Вулканолог» [9, 10]; 3 — постройки вулкана Пийпа, 4 — положительные формы рельефа, связанные, по-видимому, с экструзивными куполами; 5 — места сбора образцов пород с глубоководного обитаемого аппарата «Мир-1»

Эта модель соответствует данным о механизмах очагов землетрясений в этом районе [5].

Северная часть грабена Командор не компенсирована осадконакоплением и отчетливо выражена в рельефе дна. Южная часть грабена заполнена вулканическими породами. Вулканы обнажаются также и на крыльях грабена. В центре южной части грабена выделяется крупная молодая вулканическая постройка — вулкан Пийпа. У подножия его, а также на крыльях грабена располагаются экструзивные купола, наиболее обильные к северо-западу от вулкана (рис. 3). Все эти вулканические проявления (включая и обнажающиеся на крыльях грабена) были выделены в качестве единого вулканического массива, названного массивом Вулканологов [9, 10]. В настоящем сообщении под массивом Вулканологов понимается вулканическое сооружение, на которое «насажен» вулкан Пийпа.

В результате предшествующих геолого-геофизических и петрологических исследований [1, 9—11] была составлена морфоструктурная схема вулкана Пийпа и его непосредственного обрамления, установлены признаки современной активности вулкана, получены данные о составе пород, слагающих его привершинные части. Работы, проведенные в 35-м рейсе НИС «Вулканолог» в 1989 г., позволили не только дополнить сведения о типах пород вулкана Пийпа, где

наряду с известными ранее дацитами и риодацитами были обнаружены также кислые андезиты, но и впервые охарактеризовать вещественный состав лав массива Вулканологов. Положение выполненных в рейсе станций драгирования показано на рис. 3, а координаты их и характеристика поднятого материала — в табл. 1.

Привершинная часть массива Вулканологов (глубина 2100—2500 м от уровня моря) сложена андезитами и андезитобазальтами, среди которых в пределах экструзивного купола в северо-западной части массива установлены магнезиальные разности (станция В35-5). Сходный состав имеют также ксенолиты в дацитах экструзивного купола у подножия вулкана Пийпа (станция В35-4). Одной из драг в той же части массива Вулканологов (станция В35-7) подняты обломки вулканических и слабо сцементированных осадочных пород, причем некоторые фрагменты лав андезитов окружены рубашкой алевропелита и имеют четко выраженные корки закалки. Такое соотношение лав и осадочных пород позволяет предполагать, что излияния андезитов происходили под водой и были субсинхронны времени образования осадков.

По заключению камчатских микропалеонтологов Е.Г. Лупкиной и Л.М. Долматовой, диатомовый возраст алевропелитов, непосредственно цементирующих фрагменты лавовых потоков, позднемиоценовый— раннеплиоценовый. Несколько более древние даты получены Д. Шоллом с соавт. [26] для подводных лав северо-западного окончания Командорского блока: К—Аг-абсолютный возраст пород — 8,8 млн. лет, а возраст осадков по фораминиферам определен как середина среднего миоцена. В 1990 г. в 22-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» уступ северо-западного склона массива Вулканологов был исследован В.В. Матвеевым с помощью обитаемого подводного аппарата «Мир-1». У подножия уступа на дне грабена Командор обнаружены обломки титанистых базальтов со структурами подушечных лав. Нижняя часть уступа сложена глиноземистыми пиллоу-базальтами, в средней части такие же по составу базальты дают тонкие потоки с канатными поверхностями. Еще выше опробован поток магнезиальных андезитов и, наконец, по поверхности уступа — крупноглыбовый поток андезитов, сходных по вещественному составу с лавами вулкана Пийпа (см. табл. 1).

#### Аналитические методы

23 образца из 9 станций драгирования и 5 образцов, отобранных аппаратом «Мир-1», проанализированы на макрокомпоненты в химической лаборатории Института вулканологии ДВО АН СССР (аналитики А.М. Округина, Г.В. Лец, Г.П. Новоселецкая). Анализ минеральных фаз производился в Лаборатории оптической и микронзондовой минералогии Института вулканологии с помощью рентгеновского микроанализатора *Camebax* (аналитики В.В. Ананьев, Г.П. Пономарев, В.М. Чубаров).

#### Химический состав вулканических пород

По особенностям химического состава (табл. 2, 3) в соответствии с геологическим положением среди изученных вулканитов можно выделить три вулканических комплекса.

1. Оливиновые базальты основания (нижний комплекс основания) с повышенным содержанием  $TiO_2$ .

2. Глиноземистые базальты, андезитобазальты, умеренномагнезиальные и высокомагнезиальные андезиты массива Вулканологов стратифицированного (среднего) комплекса.

3. Магнезиальные андезиты экструзии на массиве Вулканологов, умеренномагнезиальные андезиты и дациты побочных прорывов вулкана Пийпа, кислые андезиты и дацит-риодациты вулкана Пийпа—верхний дифференцированный комплекс.

Таблица 1

## Положение и материал станций драгирования и опробования аппаратом «Мир-1»

№ станции	Геологическое положение	Координаты		Интервал и глубина драгирования, м	Количество поднятого материала, кг	Характер материала	Тип пород
		с.ш.	в. д.				
B35-1	Вершина северного конуса вулкана Пий па	55°25,6' 55°25,2'	167°16,1' 167°16,1'	400—600	≥ 500	Глыбы и крупные обломки, немного щебня (< 5%)	Плотные, иногда пористые андезиты, реже дациты
B35-2	Северный склон вулкана Пийпа	55°27' 55°26,4'	167° 2' 167°16,2'	1200—1620	~ 6	1 глыба с тонким налетом Fe—Mn окислов	Плотные андезиты
B35-3	Западный склон вулкана Пийпа	55°24,7' 55°24,6'	167°11,5' 167°12,7'	1460—1840	40—50	Белые пемзы, обломки и гальки	В обломках плотные дациты, пемза дацитовая
B35-4	Экструзия у западного подножия вулкана Пийпа	55°26' 55°25,8'	167° 9,8' 167°10,4'	1300—1940	~ 150	Глыбы, обломки	Плотные дациты с ксенолитами андезитобазальтов и андезитов
B35-5	Отдельная вершина западной части массива Вулканологов	55°27,3' 55°27,3'	167°10' 167°10,1'	2100—2400	20—25	Обломки, галька с тонкими пленками Fe—Mn окислов	В обломках плотные с редкими круглыми порами магнезиальные андезиты
B35-6	Отдельная вершина западной части массива Вулканологов	55°29,3' 55°28,7'	167°6,7' 167°6,4'	2140—2300	2	Обломки с Fe—Mn-корками до 2—3 см, галька	В обломках слабопористые андезиты
B35-7	Западная часть массива Вулканологов	55°27,9' 55°28,4'	167°6,2' 167°6,8'	2200—2350	300	Глыбы, обломки, одиночные гальки	Разной степени пористые андезиты в рубашке алевропелита, обломки алевропелита

В35-8	Восточная часть массива Вулканологов	55°20,6'	167°27,5'	2100—2400	150	Глыбы, обломки	Умереннопористые андезиты
В35-10	Восточная часть массива Вулканологов	55°20,6' 55°21,2'	167°26,5' 167°26,2'	2100—2500	150	Глыбы, щебень с Fe—Mn-корками	Плотные андезитобазальты и андезиты
2316/1	Нижняя часть северного склона массива Вулканологов	55°33,7'	167°19,1'	4024	—	Поток пиллоу-лав	Глиноземистый базальт
	Стенка с серией потоков (верхний поток)						
2316/2	Там же. Уплотненный поток	55°33,6'	167°19,0'	4000	—	Поток с канатной поверхностью, перекрытый слаблитифицированными глинами	Глиноземистый базальт
2316/3	Там же. Поток на западном краю локальной трещины	55°32,3'	167°17,2'	3488	—	Крупноглыбовый поток	Андезит, по составу близкий к лавам вулкана Пийпа
2316/4	Там же. Выположенный участок склона	55°33'	167°17,4'	3648	—	Поток, присыпанный илом	Магнезиальный андезит
2316/5	Основание массива Вулканологов, северная часть (на дне котловины)	55°38,8'	167°19,1'	4243	—	Фрагмент подушечной лавы, с тонкой Fe—Mn-пленкой	Титанистый базальт

Примечание. Для станций драгирования даны координаты начала и конца драгирования.

Компо- ненты	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	47,46	51,08	50,86	53,30	56,36	56,88	56,13	57,02
TiO <sub>2</sub>	1,41	0,98	0,96	1,02	0,65	0,68	0,78	0,73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,54	18,73	18,75	16,91	18,20	18,36	18,30	17,88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,77	1,62	1,65	2,80	1,63	1,63	1,92	1,00
FeO	6,38	4,60	4,48	4,18	3,23	3,25	3,46	3,97
MnO	0,11	0,14	0,14	0,11	0,08	0,10	0,12	0,08
MgO	7,89	5,66	5,20	4,76	4,38	4,04	4,22	3,84
CaO	9,18	10,69	11,09	8,74	7,20	7,48	7,64	7,16
Na <sub>2</sub> O	2,70	3,58	3,58	3,89	4,05	4,05	3,90	4,05
K <sub>2</sub> O	1,20	0,82	0,82	1,04	1,40	1,30	1,35	1,35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,24	0,22	0,22	0,13	0,11	0,11	0,11	0,12
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	3,48	1,26	1,18	1,14	1,66	1,66	1,93	1,38
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	1,24	0,56	0,68	1,28	0,68	0,60	0,62	1,00
Σ	99,60	99,94	99,61	99,38	99,63	100,14	100,48	99,58
FeO*/MgO	1,01	1,07	1,15	1,41	1,07	1,17	1,23	1,27
K <sub>Mg</sub> , at.%	63,8	62,5	60,9	55,9	62,5	60,4	59,2	58,4

*Примечание.* 1 — базальт основания; 2—10, 16—17 — лавы массива; 11—14 — экструзия на северо-западном склоне массива; 15 — ксенолит в даците побочного купола вулкана Пийпа. Номера образцов: 1 — 2316/5; 2 — 2316/2; 3 — 2316/1; 4 - B35-10/5; 5 - B35-10/3; 7 - B35-6/1; 8 - B35-8; 9-10 - B35-7/2, 1; 11—14 — B35-5/5, 3, 2, 1; 15—16 — B35-4г, 4д; 17 — 2316/4. Дополнительно в образце 11 определено CO<sub>2</sub> = 0.44%. Здесь и в следующих таблицах положение станций опробования см. в табл. 1 и на рис. 3.

По суммарному содержанию щелочей все изученные вулканы принадлежат к семейству пород нормального ряда, по уровню концентраций K<sub>2</sub>O — к лавам умереннокалиевой серии, а по соотношению величины FeO\*/MgO с SiO<sub>2</sub> — к известково-щелочной серии. Лишь оливиновые базальты основания попадают в поле толеитов. Они резко отличаются от лав массива Вулканологов и вулкана Пийпа повышенным содержанием TiO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> и по ряду признаков близки к субщелочным базальтам океанов и окраинных морей.

Наиболее характерной общей особенностью пород массива Вулканологов и вулкана Пийпа являются низкие концентрации Fe и соответственно повышенное значение коэффициента магнезиальности ( $K_{Mg} = Mg/(Mg + \Sigma Fe)$ , ат.%), что заметно отличает их от обычных островодужных лав. Так, значения  $K_{Mg}$  в известково-щелочных андезитах Курило-Камчатской островной дуги лежат в пределах 42—58% против 54—63% в умеренномагнезиальных андезитах среднего комплекса, а в известково-щелочных дацитах соответственно 31—47 и 43—63%. Значения  $K_{Mg}$  61—62%, наблюдаемые в базальтах массива Вулканологов, характерны для известково-щелочных базальтов Камчатки, содержащих более 7% MgO, а не 5—6%, как в нашем случае. Величины  $K_{Mg}$  в магнезиальных андезитах — 66—76%. В пределах Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг лишь некоторые известково-щелочные базальты, содержащие более 9% MgO, имеют сходные значения  $K_{Mg}$  (вулканы Харчинский, Заречный, Толбачинская ареальная зона на Камчатке, некоторые базальты вулканов Окмок, Макушин, Адагдак на Алеутах). Само присутствие магнезиальных андезитов в составе изученных вулкаников также является их отличительной особенностью. Известно, что одна из разновидностей магнезиальных андезитов (бониниты) является характерным типом пород преддуговых склонов глубоководных желобов [13, 16], тогда как в пределах собственно островных дуг породы подобного состава редки (напри-



9	10	11	12	13	14	15	16	17
57,80	57,12	56,96	56,54	56,25	57,12	55,70	57,11	56,64
0,66	0,73	0,77	0,61	0,77	0,73	0,64	0,60	0,62
17,29	17,74	16,02	16,68	16,48	16,21	17,73	17,30	16,95
2,32	1,85	1,04	1,28	0,98	1,00	1,39	1,27	1,25
2,94	3,54	2,72	3,69	4,09	4,05	3,83	3,48	4,02
0,08	0,08	0,09	0,12	0,11	0,05	0,05	0,06	0,11
3,44	3,44	6,64	6,62	6,40	6,22	6,18	5,42	5,74
6,46	6,56	7,66	7,20	7,22	7,20	8,66	8,08	7,18
4,30	3,89	3,57	3,89	3,46	3,56	3,65	3,84	3,58
1,50	1,45	1,20	1,30	1,27	1,30	1,08	1,30	1,35
0,13	0,14	0,17	0,13	0,18	0,14	0,14	0,14	0,15
1,96	1,73	2,08	1,37	1,83	1,43	1,14	1,44	1,86
0,65	1,22	0,23	0,39	0,47	0,86	0,08	0,45	0,62
99,53	99,49	99,59	99,82	99,51	99,87	100,27	100,49	100,07
1,46	1,51	0,55	0,73	0,77	0,80	0,82	0,85	0,90
55,0	54,1	76,4	70,9	69,7	69,1	68,4	67,6	66,7

мер, известные сеточиты на юго-востоке Японии [28]). На Алеутской дуге единичные проявления магнезиальных андезитов установлены на вулкане Моффет, о-ве Адак [20] и о-ве Большой Ситкин (устное сообщение Кау R.W.), а также драгированы на северо-западном окончании Командорского блока [26]. На Камчатке магнезиальные андезиты описаны в [2, 4] на вулканах Шивелуч и Заречный — в зоне сочленения Курило-Камчатской и Алеутской дуг. Известны они и среди неогеновых вулканитов Пахачинского хребта в Корякин на северном обрамлении Командорской котловины [6, 7]. Однако все указанные магнезиальные андезиты Алеутской дуги северо- и северо-западного обрамления Командорской котловины имеют в целом более низкие значения  $K_{Mg}$ , чем магнезиальные андезиты массива Вулканоологов (61—67% на Алеутах, 56—67% на Камчатке, 56—62% в Пахачинском хребте), и лишь в магнезиальных андезитах, драгированных Д. Шоллом, значение  $K_{Mg}$  достигает 71%.

На АФМ-диаграмме (рис. 4) базальты и умеренномагнезиальные андезиты массива Вулканоологов, а также магнезиальные андезиты и дациты Алеутской дуги лежат в одном поле, совпадающем с полем лав вулкана Шивелуч, и вытянутом в соответствии с трендом бонинитовой серии Марианского трюга. Составы магнезиальных андезитов массива Вулканоологов и северо-западного подводного окончания Командорского блока заметно отклоняются от них в сторону меньших относительных содержаний FeO. Лавы вулкана Пийпа также выходят за пределы поля Шивелучских лав, отличаясь от них не только повышенной относительной щелочностью, но и пониженной относительной железистостью. В целом две последние группы образуют единый тренд, субпараллельный тренду бонинитовой серии Марианского трюга. Оливиновые базальты основания характеризуются пониженной ролью щелочей, и их точка располагается выше поля лав вулкана Шивелуч. Составы остаточных стекол магнезиальных андезитов (табл. 4) несколько обогащаются FeO по сравнению с валовым составом пород и

Таблица 3

## Химические составы лав вулкана Пийпа и его побочных прорывов

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	64,02	61,85	64,78	61,23	65,13	60,92	59,34	67,50	67,30	59,58
TiO <sub>2</sub>	0,42	0,51	0,44	0,59	0,43	0,67	1,13	0,35	0,47	0,52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,17	16,58	16,21	17,51	16,23	17,46	17,82	15,80	15,61	17,81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,72	0,88	0,73	0,75	1,69	0,89	2,06	1,04	0,70	1,04
FeO	2,79	3,00	2,74	3,28	2,62	3,08	3,37	2,19	2,16	3,36
MnO	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,11	0,08	0,12
MgO	3,28	3,44	3,04	2,92	3,38	3,10	3,44	1,54	1,24	4,07
CaO	4,38	5,58	4,50	5,82	4,22	7,10	6,32	3,24	3,14	6,46
Na <sub>2</sub> O	4,73	4,52	4,73	4,39	4,79	4,11	4,37	5,16	4,40	4,20
K <sub>2</sub> O	1,35	1,25	1,35	1,20	1,35	1,07	0,94	1,82	1,57	1,50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12	0,13	0,11	0,13	0,11	0,18	0,21	0,12	0,09	0,20
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,92	0,65	0,61	0,63	0,86	0,60	1,13	1,12	1,96	0,50
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,40	0,30	0,34	0,22	0,36	0,06	0,29	0,51	0,55	0,54
Σ	99,36	99,32	99,66	99,36	100,31	99,50	100,49	100,50	99,82	99,90
FeO*/MgO	1,05	1,10	1,12	1,12	1,22	1,25	1,52	2,03	2,25	1,06
K <sub>Mg</sub> , at.%	63,0	61,8	61,5	61,3	59,3	58,8	54,0	46,8	44,2	62,8

*Примечание.* 1—7, 9 — северный конус вулкана (1—6, 9 — лавы, 7 — гомеогенные включения в даците); 8 — экструзивный купол у подножия вулкана; 10 — поток на северном склоне массива Вулканологов, № обр.: с 1 по 5 — В35 — 1/4, 2, 6, 1, 5; 6 — В35 — 2; 7 — В35-1/9; 8 — В35-4/2; 9 — В35-3/1; 10 — 2316/3. Дополнительно определено: обр. 2 — ппп = 0,56%, обр. 4 — ппп = 0,61%, обр. 9 — CO<sub>2</sub> = 0,55%.

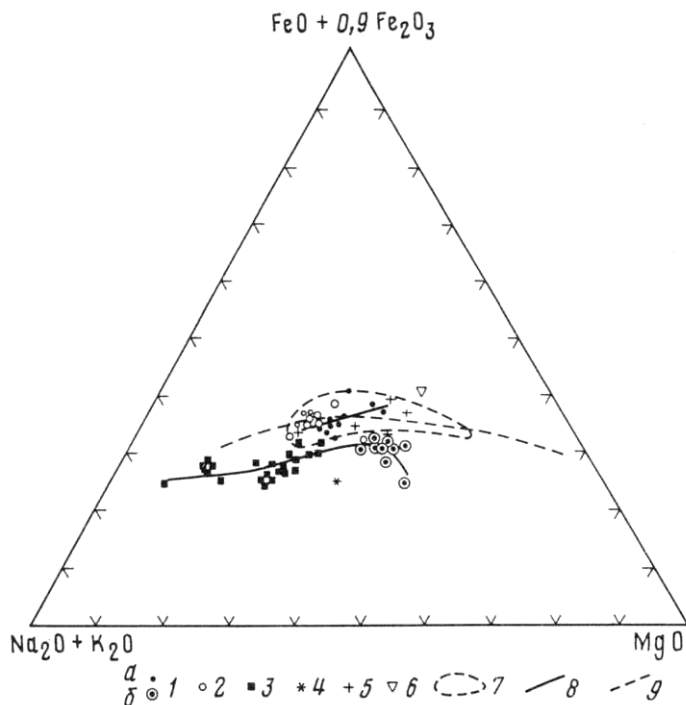


Рис. 4. AFM-диаграмма для лав массива Вулканологов и вулкана Пийпа. 1 — лавы массива Вулканологов и экструзии высокомагнезиальных андезитов (а — умеренномагнезиальные, б — высокомагнезиальные); 2 — стекла из высокомагнезиальных андезитов массива Вулканологов; 3 — лавы вулкана Пийпа и потока андезитов на массиве Вулканологов (типа андезитов вулкана Пийпа); 4 — подводные магнезиальные андезиты Командорского блока [26]; 5 - магнезиальные андезиты и дациты Алеутской дуги [26]; 6 — оливинный базальт основания (образец 2316/5); 7 — поле пород магнезиальной серии вулкана Шивелуч (Камчатка, О.Н. Волинец, неопубликованные данные); 8 — возможные тренды эволюции состава лав массива Вулканологов и вулкана Пийпа; 9 — тренд бонитовой серии Марианского трога [17]

на диаграмме AFM располагаются в поле умеренномагнезиальных андезитов, будучи близки к этим породам и по содержанию других главных компонентов. Остаточные стекла умеренномагнезиальных андезитов имеют дацитовый состав, но резко отличаются от дацитов вулкана Пийпа более высокими содержаниями  $K_2O$  и  $TiO_2$  и пониженными  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$  (см. табл. 4), что, по-видимому, исключает образование этих дацитов за счет фракционирования подобных андезитовых расплавов.

Самостоятельные тренды дифференциации для двух сообществ изученных лав (магнезиальные андезиты — андезиты, дациты вулкана Пийпа и базальты — умеренномагнезиальные андезиты массива Вулканологов) свидетельствуют, по-видимому, о существовании двух самостоятельных исходных расплавов: состава магнезиального андезита для первого и глиноземистого базальта (возможно, базальта, сходного с базальтом основания) для второго. Не исключено также, что часть умеренномагнезиальных андезитов могла образоваться за счет исходных расплавов первого типа.

### Петрография и минеральный состав вулканических пород

Все изученные вулканы, за исключением базальтов основания, очень свежие породы с переменным количеством вкрапленников и в разной мере раскристаллизованными основными массами преимущественно с гиалопилитовой структурой -

Таблица 4

## Представительные анализы стекол из андезитов массива Вулканологов

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO <sub>2</sub>	59,41	59,89	60,14	60,07	53,23	63,14	61,50	66,11	65,18	68,48	67,42	63,65
TiO <sub>2</sub>	0,77	0,76	0,80	0,78	0,72	0,45	2,20	1,06	1,14	1,34	1,02	1,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,32	15,86	15,91	15,95	18,71	16,68	13,53	15,45	14,80	14,15	13,46	13,56
FeO	5,21	4,68	5,04	4,76	3,87	3,54	4,83	5,13	5,77	3,43	1,95	2,17
MnO	0,12	0,05	0,07	0,06	0,03	0,00	0,13	0,06	0,10	0,08	0,03	0,06
MgO	3,55	3,38	3,49	3,48	4,07	2,53	1,74	0,55	0,88	0,37	0,16	0,14
CaO	6,36	6,08	6,31	6,18	9,69	4,85	3,45	3,83	2,44	1,93	1,40	1,38
Na <sub>2</sub> O	4,18	4,10	4,13	3,85	3,26	3,11	3,76	2,50	1,42	2,15	0,72	1,15
K <sub>2</sub> O	1,05	1,13	1,18	1,14	0,61	1,51	2,92	2,72	1,96	1,18	4,36	4,67
Σ	96,97	95,94	97,06	96,27	94,19	95,81	94,07	97,41	93,68	93,11	90,52	87,90
K <sub>Mg</sub> , at.%	54,2	56,3	55,2	56,6	65,2	56,0	39,1	12,4	21,4	16,1	23,1	10,1

*Примечание.* 1—8 — стекла высокомагнезиальных андезитов (1—6 — образец В35-5/1; 7—8 — образец В35-5/3); 1—4 — из основной массы, 5—7 — из расплавных включений (5 — во вкрапленнике оливина, 6 — во вкрапленнике плагиоклаза, 7 — в субфенокристалле железистого бронзита), 8 — из скопления мелких зерен плагиоклаза; 9—12 — стекла из основной массы умеренномагнезиальных андезитов; (9—10 — образец В35-8/1, 11—12 — образец В35-10/3). Анализы 5, 6 и 9 выполнены точечным зондом, остальные — с помощью растровой съемки.

Таблица 5

## Минеральный состав лав массива Вулканологов и вулкана Пийпа

Комплекс пород	Геологическое положение породы	Порода	Вкрапленники и субфенокристы		Состав основной массы породы
			количество, об. %	состав ядер	
Нижний комплекс основания	Основание массива Вулканологов	Титанистый базальт	≤ 5	Ол <sub>13</sub> с вкл. Шп <sub>36-39</sub>	Шп <sub>36-39</sub> , измененное Ст <sub>б</sub>
		Глиноземистый базальт	5-10	Пл <sub>78-88</sub> , КПр <sub>10-14</sub> , Ол <sub>10-12</sub> с вкл. Шп <sub>30-35</sub> и Ил <sub>35-37</sub>	Пл <sub>49-69</sub> , КПр <sub>13-28</sub> , Ст <sub>д</sub>
Средний стратифицированный комплекс	Массив Вулканологов	Умеренно-магнезиальный андезит	25—35	Пл <sub>66-83</sub> , КПр <sub>13-16</sub> , Ол <sub>16</sub>	Пл <sub>55-59</sub> , КПр <sub>19-32</sub> , ОПр <sub>16-22</sub> , Пж <sub>18-21</sub> , Ст <sub>д</sub>
		Магнезиальный андезит	10-15	КПр <sub>13-16</sub> , Ол <sub>11-13</sub> с вкл. Шп <sub>36-40</sub> ; Пл <sub>65-68</sub>	Пл <sub>56-65</sub> , КПр <sub>16-20</sub> , ОПр <sub>18-22</sub> , Ол <sub>14-16</sub> , Ст <sub>а</sub>
Верхний дифференцированный комплекс	Экструзии массива Вулканологов	Магнезиальный андезит	≤ 5	КПр <sub>10-14</sub> , ОПр <sub>31-33</sub> с вкл. Ил <sub>60-68</sub> ; Ол <sub>8,5-9,5</sub> , Амф., Пл <sub>39-50</sub> , Пл <sub>62-66</sub>	Пл <sub>59-66</sub> , КПр <sub>11-17</sub> , ОПр <sub>11-17</sub> , Ол <sub>12-16</sub> , Ст <sub>а,д</sub>
		Андезит	25—35	Пл <sub>37-43</sub> , Пл <sub>67-70</sub> , ОПр <sub>28-32</sub> с вкл. Ил <sub>86</sub> ; Амф <sub>31-33</sub> , Ол <sub>11-13</sub> с вкл. Шп <sub>50-75</sub> ; КПр <sub>12-13</sub> , КПр <sub>23</sub>	Пл <sub>54-68</sub> , КПр <sub>14-23</sub> , ОПр <sub>13-23</sub> , Шп <sub>68-75</sub> , ХМт <sub>83-85</sub> , Мт <sub>88-91</sub> , Ил <sub>83-84</sub> , Ст <sub>рд</sub>
	Побочные прорывы вулкана Пийпа	Дацит	25-40	Пл <sub>28-52</sub> , Пл <sub>66-84</sub> , ОПр <sub>33-36</sub> с вкл. Ил <sub>87-88</sub> и МТ <sub>90-93</sub> ; Амф <sub>32-35</sub> , КПр <sub>29</sub>	Пл <sub>30-31</sub> , ОПр <sub>26-35</sub> , Мт, Тр, Ст <sub>р</sub>
	Вулкан Пийпа	Кислый андезит	25—35	Пл <sub>40-53</sub> , Пл <sub>83</sub> , ОПр <sub>25-31</sub> , Амф <sub>29-32</sub> , КПр <sub>24-30</sub>	Пл <sub>52-60</sub> , ОПр <sub>15-21, 26-29</sub> ; КПр <sub>18-21</sub> , Мт <sub>89-91</sub> ; Ил <sub>86-88</sub> , Ст <sub>рд,р</sub>
		Дацит — риодацит	25—45	Пл <sub>36-46</sub> , Пл <sub>62-82</sub> , Амф <sub>28-33</sub> , ОПр <sub>27-33</sub> , КПр <sub>15-18</sub> , КПр <sub>24</sub> , Мт <sub>94-97</sub> , Ил <sub>93-94</sub>	Пл <sub>38-51</sub> , ОПр <sub>14-27</sub> , Мт <sub>95-96</sub> , Ил <sub>95-96</sub> , Ст <sub>р</sub>

**Примечание.** Минеральные фазы: Ол — оливин, КПр — клинопироксен, ОПр — ортопироксен, Амф — амфибол, Пж — пижонит, Пл — плагиоклаз, Шп — шпинель, Мт — титаномагнетит, ХМт — хром-магнетит, Ил — ильменит, Тр — тридимит, Ст — стекло. Цифры около названий минеральных фаз обозначают для темноцветных минералов железистость (ат. %), для плагиоклазов — содержание анортита (мол. %), буквы у Ст — состав стекла (а — базальтовый, б — андезитовый, д — дацитовый, рд — риодацитовый, р — риолитовый). Вкл. — включения рудных минералов во вкрапленниках.

Представительные анализы

Компоненты	1а	2б	3в	4а	5б	6а	7в	8а
SiO <sub>2</sub>	53,33	47,18	47,94	56,41	55,24	53,47	50,56	53,61
TiO <sub>2</sub>	0,39	1,86	1,90	0,19	0,24	0,30	1,02	0,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,92	6,62	9,52	1,01	0,82	1,74	3,11	0,66
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,85	0,02	0,03	0,03	0,03	0,30	0,00	0,02
FeO	3,73	7,49	12,17	11,20	11,89	4,85	9,63	21,03
MnO	0,09	0,17	0,29	0,29	0,30	0,18	0,30	0,59
MgO	16,36	13,59	13,78	27,65	24,50	17,67	14,51	24,46
CaO	21,50	20,76	15,47	2,87	5,82	20,11	18,72	0,53
Na <sub>2</sub> O	0,29	0,38	0,46	0,00	0,00	0,05	0,29	0,00
Σ	100,46	98,09	101,63	99,65	98,84	98,66	98,14	100,94
f, ат. %	11,35	23,63	33,15	18,51	21,40	13,35	27,14	32,54
Wo, мол. %	45,6	45,6	35,1	5,7	11,8	41,5	40,3	1,0
En, мол. %	48,2	41,6	43,4	76,8	69,3	50,7	43,5	66,7
Fs, мол. %	6,2	12,8	21,5	17,5	18,9	7,8	16,2	3,2

*Примечание. Массив Вулканологов:* 1—3 — из высокоглиноземистых базальтов (1, 2 — образец 2316/2, 3 — образец 2316/1); 4—7 — из умеренномагнезиального андезита (образец В35-8/1); 8—12 — из высокомагнезиальных андезитов (8, 9, 12 — образец В35-5/3, 10, 11 — образец В35-5/1). *Вулкан Пийпа:* 13—17 — из андезита (образец В35-2); 1 — 3, 6, 7, 11, 12, 16, 17 — клинопироксены; 4, 5, 8—10, 13—15 — ортопироксены и пиджонит; а — ядра вкрапленников, б — краевые зоны, в — микролиты; 3в — закалочный «спинифекс» в стекле; 12, 13 — крупный микролит.

рой, в которых непременно сохраняется то или иное количество чистого стекла. При этом среди обломков экструзивных магнезиальных андезитов (В35-5), а также некоторых глиноземистых базальтов (2316/1) и умеренномагнезиальных андезитов (станция В35-7) встречаются образцы, обладающие корками закалывания, где доля стекла составляет 50% и более. Обломки титанистых базальтов, поднятых из основания массива Вулканологов, также имеют корки закалывания и в целом представляют собой аповитрофировые породы с полностью девитрифицированным стеклом. Под коркой закалки стекло нацело замещено агрегатами вторичных минералов (в частности, смектитом), образующих сферолитовые структуры. Вкрапленники оливина в этих породах сохраняются свежими только в корке закалки, а под ней нацело замещены карбонатом и смектитом.

Сведения о минеральном составе изученных вулканитов приведены в табл. 5. Из анализа ее следует два важных вывода. Во-первых, все породы отличаются присутствием того или иного количества высокомагнезиальных темноцветных минералов как среди вкрапленников, так и микролитов. Действительно, оливины с железистостью ≤ 13%, отмеченные в базальтах основания, глиноземистых базальтах и магнезиальных андезитах массива Вулканологов, магнезиальных экструзивных андезитах, а также андезитах побочного прорыва вулкана Пийпа, редки в островодужных лавах и встречаются здесь в основном только в магнезиальных базальтах. Так, в хорошо изученных в отношении минерального состава четвертичных вулканитах Курило-Камчатской островной дуги оливины такого состава установлены только в базальтах, содержащих более 9% MgO [3, 4]. При этом оливины с железистостью ≤ 10% встречены здесь только в магнезиальной базальт-андезитовой серии лав вулкана Шивелуч (Камчатка). Аналогичная картина наблюдается и в отношении эндиопсид-диопсидовых клинопироксенов с железистостью ≤ 16%, которые встречаются во всех типах пород среднего и верхнего комплексов, в том числе в умеренномагнезиальных андезитах массива Вулканологов и дацитах вулкана Пийпа (табл. 5, 6). Магнезиальные бронзиты с железистостью ≤ 20%, обычные в магнезиальных и умеренномагнезиальных андезитах и встречающиеся в дацитах и кислых андезитах верхнего комплекса в пределах Курило - Камчатского региона, отмечены только в составе магне-

## пироксенов

9б	10в	11а	12в	13а	14б	15в	16а	17в
55,40	55,59	52,67	51,21	54,28	55,23	56,29	52,47	51,23
0,14	0,45	0,23	0,82	0,02	0,14	0,13	0,25	1,24
2,59	2,19	2,61	3,39	0,29	2,32	1,76	1,83	3,47
0,58	0,19	0,17	0,04	0,00	0,07	0,02	0,09	0,00
6,90	8,97	4,45	8,12	18,48	10,17	9,85	5,85	13,12
0,13	0,18	0,09	0,21	0,58	0,17	0,21	0,12	0,31
31,28	30,62	16,67	14,80	25,46	29,59	28,77	15,94	16,97
2,52	1,75	22,11	19,85	0,71	1,92	2,16	22,94	13,31
0,00	0,00	0,18	0,28	0,00	0,02	0,00	0,32	0,38
99,53	99,93	99,19	98,75	99,84	99,63	99,19	99,81	100,06
11,01	14,12	13,03	23,53	28,9	16,2	16,12	17,07	30,25
4,9	3,4	45,3	42,4	1,4	3,8	4,3	46,2	28,2
84,6	83,0	47,6	44,0	70,1	80,7	80,3	44,6	50,1
10,5	13,6	7,1	13,6	28,5	15,5	15,4	9,2	21,7

зиальных базальтов и андезитов вулкана Заречный (Камчатка) в виде реликтов в ядрах вкрапленников клинопироксена. Наконец, следует также указать на наличие во вкрапленниках темноцветных минералов из базальтов основания, глиноземистых базальтов и магнезиальных андезитов среднего комплекса включений магнезиальной шпинели, а в глиноземистых базальтах еще и пикроильменита, причем шпинели из магнезиальных андезитов отличаются от шпинелей базальтов повышенной хромистостью (табл. 7). Наличие высокомагнезиальных генераций темноцветных минералов в лавах среднего и верхнего комплексов находится в соответствии с их высокой магнезиальностью и сближает эти вулканы с породами бонинитовой серии и магнезиальными андезитами Юго-Восточной Японии, для которых наличие магнезиального оливина и бронзита, а также хромистой шпинели является специфическим признаком [13, 17, 18, 27]. Необходимо подчеркнуть, однако, что в отличие от бонинитов в изученных вулканиках генерации высокомагнезиальных темноцветных минералов микролитов и краевых зон вкрапленников ассоциируют с плагиоклазами лабрадорного состава.

Второй важной особенностью минерального состава изученных проявлений является нахождение резко различных по составу (неравновесных) минеральных фаз в экструзивных магнезиальных андезитах, в андезитах и дацитах вулкана Пийпа и его побочных конусов (см. табл. 5). Так, во всех разновидностях пород этой группы, за исключением экструзивных магнезиальных андезитов, присутствуют вкрапленники и субфенокристы плагиоклаза с ядрами битовнита—кальциевого лабрадора и андезина — натрового лабрадора, окруженные каймами плагиоклаза промежуточного состава (рис. 5). Микролиты плагиоклаза в основных массах лав в основном также имеют промежуточный состав. При этом ядра кальциевого плагиоклаза обычно характеризуются пятнистой зональностью и содержат многочисленные включения стекла, тогда как ядра натрового плагиоклаза чистые, слабозональные или имеющие осциллярную зональность. В экструзивных магнезиальных андезитах и андезитах побочного прорыва вулкана Пийпа вкрапленники и субфенокристы магнезиального оливина (форстерит и магнезиальный хризолит соответственно), содержащие включения шпинели,

Представительные анализы шпинелей и пикроильменита

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8
TiO <sub>2</sub>	1,08	0,89	0,45	52,06	0,37	0,46	0,59	7,57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,00	24,68	30,64	1,10	16,79	16,67	24,03	2,60
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32,70	38,24	33,95	2,29	45,20	45,57	34,95	13,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,02	7,64	6,81	9,63	9,09	10,37	7,90	38,34
FeO	15,60	15,31	12,34	17,09	16,90	13,97	25,52	32,68
MnO	0,25	0,24	0,25	0,26	0,29	0,30	0,40	0,39
MgO	14,19	14,02	16,29	17,55	11,70	13,97	6,81	3,27
Σ	100,83	101,02	100,73	99,98	100,34	101,30	100,21	98,08
f, ат. %	38,15	38,0	29,83	35,32	44,76	35,93	67,77	84,85

**Примечание.** 1, 2 — из базальтов основания (образец 2316/5), включения в оливине с  $f=13$ ; массив Вулканологов: 3, 4 — из глиноземистых базальтов (образец 2316/2), включения в оливине с  $f=10-10,5$ ; 5, 6 — из высокомагнезильного андезита (образец 2316/4), включения в оливине с  $f=11-12$ ; 7, 8 — из андезита вулкана Пийпа (образец 2316/3); 7 — центр, 8 — край зонального зерна (40 x 40 мк) в основной массе.

и клинопироксена (эндиопсид и диопсид), сосуществуют с вкрапленниками гиперстена и магнезиально-железистой роговой обманки. При этом гиперстеновые ядра нередко окружены каймами магнезиального бронзита, широко распространённого и среди микролитов (рис. 6). Наконец, в дацитах и андезитах вулкана Пийпа наряду с резко преобладающими в составе темноцветных минералов магнезиально-железистой роговой обманкой, гиперстеном и авгитом присутствует также небольшое количество вкрапленников диопсида-эндиопсида, а среди микролитов преобладают бронзиты. Здесь также иногда наблюдаются каймы бронзита вокруг ядер гиперстена. Сонахождение в породе таких резко различающихся по составу минеральных фаз обычно объясняется процессами смещения магматических расплавов.

### Обсуждение результатов

Изложенные материалы позволяют рассмотреть вопрос о возрастных соотношениях изученных вулканических образований и провести их типизацию по вещественному составу.

Базальты, поднятые у подножия массива Вулканологов, по химическому (высокое содержание TiO<sub>2</sub>) и минеральному (отсутствие пироксенов и плагиоклазов) составу, а также структурным признакам (аповитрофировые породы) и высокой степени изменения резко отличаются от лав массива Вулканологов и вулкана Пийпа. По особенностям вещественного состава они сходны с субщелочными базальтами окраинных морей [14] и, хотя отличаются от базальтов дна Командорской котловины, вскрытых скв. 191, значительно большим содержанием K<sub>2</sub>O и меньшим TiO<sub>2</sub>, вероятно, также характеризуют комплекс основания.

Массив Вулканологов по отношению к этому основанию является более молодым вулканическим сооружением (возможно, крупным щитовым вулканом), которое сложено в нижней части преимущественно глиноземистыми базальтами, а в верхней — умеренномагнезиальными андезитами. В составе пород верхней части разреза отмечены также глиноземистые андезитобазальты и магнезиальные андезиты. Возраст основания массива, судя по соотношению драгированных пород с осадками, может быть определен как позднемиоцен-раннеплиоценовый. Следует подчеркнуть, что по данным глубоководного погружения аппарата «Мир-1» нижние потоки массива непосредственно налегают на базальты основания и между этими образованиями нет осадочного чехла заметной мощности.



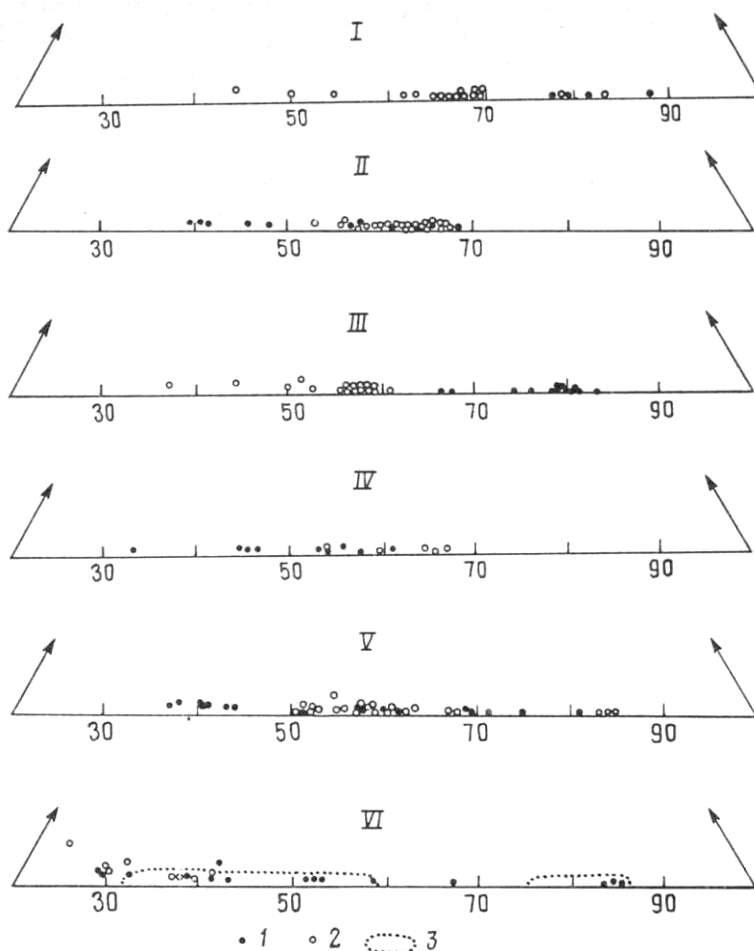
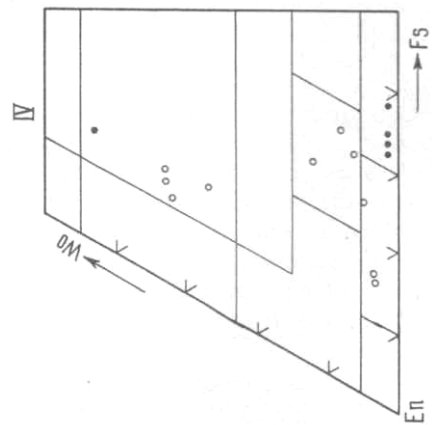
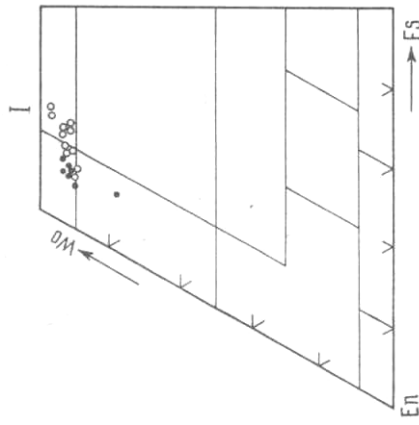
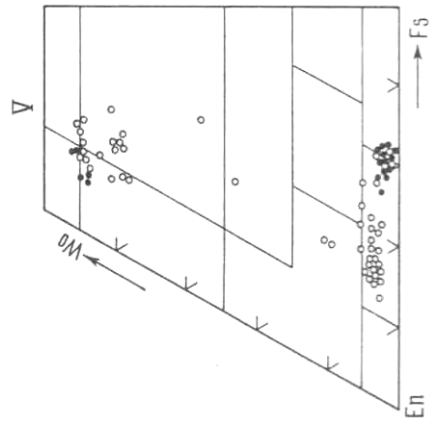
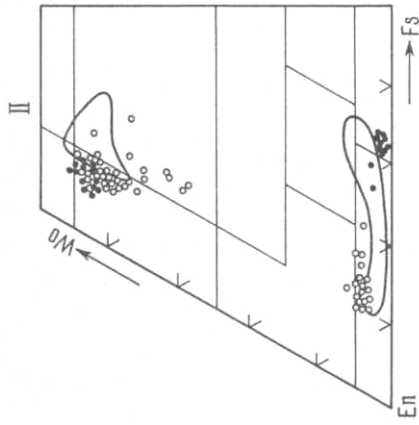
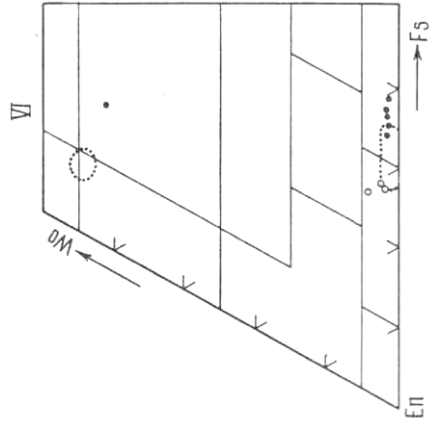
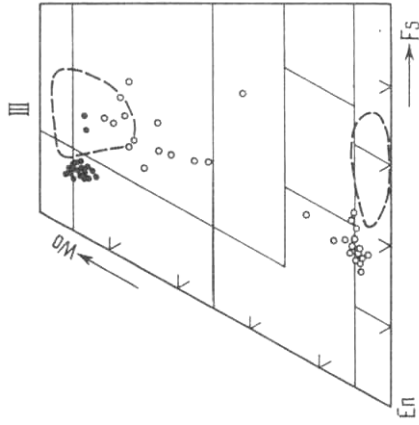


Рис. 5. Состав плагиоклазов изученных образований. *Массив Вулканологов*: I — глиноземистые базальты; II — высокомагнезиальные андезиты; III — умеренномагнезиальные андезиты; IV — ксенолит магнезиальных андезитов в дацитах побочной экструзии. *Вулкан Пийпа*: V — андезиты; VI — дациты побочных экструзий у подножия вулкана Пийпа. 1 — ядра и промежуточные зоны вкрапленников; 2 — краевые каймы вкрапленников и микролиты; 3 — поле плагиоклазов дацитов и риодацитов вулкана Пийпа

Если это так, время формирования дна Командорской котловины, по крайней мере в юго-западной части ее между разломами Беринга и Альфа, не может быть сильно оторвано от времени начала формирования массива Вулканологов. Это предположение согласуется с новыми данными по абсолютному возрасту базальта из скв. 191 —  $9,3 \pm 0,8$  млн. лет [25], а также данными по возрасту магнезиальных андезитов, драгированных на северо-западном окончании Командорского блока — 8,8 млн. лет [26].

Наконец, наиболее молодые вулканические проявления, надстраивающие массив Вулканологов — дациты и андезиты собственно вулкана Пийпа, а также связанных с ним побочных прорывов и экструзий имеют, по-видимому, четвертичный возраст, а сам вулкан по ряду признаков может рассматриваться как действующий [10]. Экструзивные магнезиальные андезиты, имеющие во вкрапленниках наряду с высокомагнезиальными минеральными фазами гиперстен, роговую обманку и андезин, характерные для дацитов вулкана Пийпа, возможно, содержат примесь дацитового материала. С другой стороны, наличие магне-



- 1 •
- 2 ○
- 3 ○
- 4 ○
- 5 ○

зиального оливина, эндиопсида, диопсида и бронзита в андезитах вулкана Пийпа может быть связано с примесью материала магнезиальных андезитов. Эти обстоятельства, а также наличие ряда общих химических особенностей позволяют предполагать близость во времени формирования лав вулкана Пийпа и магнезиальных андезитов.

Выше при обсуждении химического состава вулканитов было высказано предположение, что андезиты и дациты вулкана Пийпа являются продуктами эволюции исходного состава магнезиального андезита, тогда как лавы массива Вулканологов — другого по составу исходного расплава, возможно, близкого к базальтам основания. По-видимому, петрогенетическая модель для комплекса изученных вулканитов должна строиться с учетом разных источников. Однако сделать это лучше, используя и геохимические материалы. Авторы намерены вернуться к этому вопросу в следующей публикации.

Как следует из приведенных материалов, все изученные вулканиты (за исключением базальтов основания) могут быть отнесены к островодужной умереннокалиевой известково-щелочной серии. Вместе с тем, они обладают и рядом специфических особенностей состава, к числу которых в первую очередь принадлежит повышенная магнезиальность пород и связанная с этим повышенная магнезиальность ранних генераций темноцветных минералов. Эта специфика вулканитов, которую авторы назвали бонинитовой тенденцией, наиболее ярко проявляется в магнезиальных андезитах. Выше уже упоминалось, и это важно подчеркнуть, что позднекайнозойские магнезиальные андезиты, т.е. лавы, характеризуются подобной бонинитовой тенденцией, встречаются в целом ряде районов на северном и северо-западном обрамлении Командорской котловины и отмечены также на Алеутских островах. Правда, изученные магнезиальные андезиты (как и соответствующие породы из других участков обрамления Командорской котловины) отличаются от типичных бонинитов более низким содержанием MgO и более высоким K<sub>2</sub>O, отсутствием вкрапленников магнезиального бронзита и клиноэнстатита, обычно менее хромистой (кроме лав вулкана Шивелуч) шпинелью, а также наличием плагиоклаза и генераций железистых темноцветных минералов, включающих иногда и амфибол. Если появление в изученных нами магнезиальных андезитах андезина, гиперстена и амфибола может быть, как показано выше, связано с примесью дацитового материала, то субфенокристы и микролиты лабрадора явно кристаллизовались из расплава магнезиального андезита.

Необходимо отметить, что генезис бонинитовых магм в последнее время все чаще трактуется с привлечением моделей спрединга или рифтинга, с которым связано образование задуговых бассейнов [16].

Таким образом, если проявившийся в рассматриваемом районе тип вулканизма — островодужная умереннокалиевая известково-щелочная серия — определяется в основном процессами субдукции, то его специфика — высокая магнезиальность пород и темноцветных минералов (бонинитовая тенденция) — связана с особенностями развития его по периферии Командорской котловины в связи с процессами рассеянного задугового спрединга. Эти же процессы рассеянного спрединга, по-видимому, являются определяющими для локализации конкретных вулканических центров в южной части Командорской котловины, поскольку создают структуры, благоприятные для проникновения магматических расплавов в верхние горизонты земной коры.

---

**Рис. 6.** Состав пироксенов в лавах массива Вулканологов и вулкана Пийпа. *Массив Вулканологов:* I — глиноземистые базальты; II — высокомагнезиальные андезиты; III — умеренномагнезиальные андезиты; IV — ксенолит магнезиальных андезитов в дацитах. *Вулкан Пийпа:* V — андезиты; VI — дациты побочных экзтрузий. 1 — ядра вкрапленников; 2 — каймы на вкрапленниках и микролиты; 3 — поле пироксенов магнезиальных андезитобазальтов и андезитов вулканов Шивелуч, Заречный Камчатка [3]; 4 — поле пироксенов известково-щелочных андезитобазальтов и андезитов Курил [3]; 5 — поле пироксенов дацитов вулкана Пийпа

Наконец, следует подчеркнуть, что проявление бонинитовой тенденции в вулканитах, по-видимому, является своеобразным петрологическим индикатором, указывающим на вклад в их происхождение рифтогенной (спрединговой) составляющей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданова О.Ю., Горшков А.И., Баранов Б.В. и др. Гидротермальные образования подводного вулкана Пийпа (Командорская котловина) // Вулканология и сейсмология. 1989. № 3. С. 49—62.
2. Вольнец О.Н., Пузанков Ю.М., Аношин Г.Н. Геохимия неоген-четвертичных вулканических серий Камчатки // Геохимическая типизация магматических и метаморфических пород Камчатки. Тр. ИГиГ СО АН СССР. Вып. 390. 1990. С. 73—114.
3. Вольнец О.Н., Авдейко Г.П., Цветков А.А. и др. Минералогическая зональность четвертичных лав Курильской островной дуги: ассоциации минералов, вариации состава, условия кристаллизации // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1990. № 1. С. 29—44.
4. Вольнец О.Н., Флеров Г.Б., Шанцер А.Е., Мелекесцев И.В. Курило-Камчатская дуга. Камчатский сегмент // Петрология и геохимия островных дуг и окраинных морей. М.: Наука, 1987. С. 56—85.
5. Зобин В.М., Федотов С.А., Гордеев Е.И., Митякин В.П. Сильные землетрясения на Камчатке и Командорских островах в 1961—1986 гг. // Вулканология и сейсмология. 1988. № 1. С. 3—23.
6. Кебезинская П.И., Пархоменко В.С. Геохимия и петрология кайнозойских вулканитов северного обрамления Командорской котловины (Берингово море) // Редкоземельные элементы в магматических породах. Новосибирск: Изд-во ИГиГ СО АН СССР, 1988. С. 124—137.
7. Кебезинская П.И., Федоров П.И. Состав и структурное положение позднекайнозойских вулканитов Камчатского перешейка и Олюторской зоны Корякского нагорья // Изв. вузов. Геология и разведка. 1986. № 8. С. 13—21.
8. Селиверстов Н.И. Строение зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг по данным непрерывного сейсмического профилирования // Вулканология и сейсмология. 1983. № 2. С. 53-67.
9. Селиверстов Н.И., Авдейко Г.П., Иваненко А.Н. и др. Новый подводный вулкан в западной части Алеутской островной дуги // Вулканология и сейсмология. 1986. № 4. С. 3—16.
10. Селиверстов Н.И., Гавриленко Г.М., Кирьянов В.Ю. Признаки современной активности подводного вулкана Пийпа // Вулканология и сейсмология. 1989. № 6. С. 3—18.
11. Селиверстов Н.И., Баранов Б.В., Егоров Ю.О., Шкира В.А. Новые данные о строении южной части Командорской котловины по результатам 26-го рейса НИС «Вулканолог» // Вулканология и сейсмология. 1988. № 4. С. 3—20.
12. Селиверстов Н.И., Смирнов Я.Б., Сугробов В.М. и др. Геодинамика Командорской котловины Берингова моря // Тектоника, энергетические и минеральные ресурсы Северо-Западной Пацифики. Тез. докл. Хабаровск, 1989. С. 96—97.
13. Тарарин И.А., Говоров И.Н., Васильев Б.И. Бониниты Идзу - Бонинского желоба // Докл. АН СССР. 1987. Т. 296. № 2. С. 415—419.
14. Шараськин А.Я. Общая характеристика магматизма глубоководных котловин морей // Петрология и геохимия островных дуг и окраинных морей. М.: Наука, 1987. С. 246—262.
15. Шмидт О.А. Тектоника Командорских островов и структура Алеутской гряды. М.: Наука, 1978. 100 с.
16. Vezzalova L., Serri G. Boninitic and low-Ti subduction-related lavas from intraoceanic arc-backarc systems and low-Ti ophiolites: a reappraisal of their petrogenesis and original tectonic setting // Tectonophysics. 1988. V. 146. № 1—4. P. 291—315.
17. Bloomer S.H., Hawkins J.W. Petrology and geochemistry of boninite series volcanic rocks from the Mariana trench // Contrib. Mineral. and Petrol. 1987. V. 97. P. 361—377.
18. Bougault H., Maury R.C., Azzouzi M.EI. et al. Tholeiites, basaltic andesites and andesites from Leg 60 sites: geochemistry mineralogy and low partition coefficient elements // Initial Report of the DSDP. 1982. V. LX. P. 657—677.
19. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. V. XIX. 1973. P. 413—461.
20. Kay R.W. Aleutian magnesian andesites: melts from subducted Pacific ocean crust // J. Volcanol and Geotherm. Res. 1978. V. 4. № 1. P. 117—182.
21. Ludwig W.J., Houts R.E., Ewing M. Sediment distribution in the Bering Sea, Ridge Shirshov and enclosed basins // J. Geophys. Res. 1971. V. 76. № 26. P. 6367—6375.
22. Ludwig W.J., Marausi S., Den N. et al. Structure of Bowers Ridge, Bering Sea // J. Geophys. Res. 1971. V. 76. № 26. P. 6350—6366.
23. Melson C.H., Hopkins D.M., Sholl D.W. Cenozoic sedimentary and tectonic history at the Bering Sea // Oceanography of the Bering Sea. Univ. Alaska press, 1974. P. 485—516.
24. Rabinowits Ph.D., Cooper A. Structure and sediment distribution in the Western Bering Sea // Mar. geology. 1977. V. 24. № 4. P. 309—320.
25. Rubinstein J.L. Geology and geochemistry of early Tertiary submarine volcanic rocks of the Aleutian Islands and their bearing on the development of the Aleutian Island Arc // Ph. D. thesis, Cornell Univ. Ithaca. 1984. 350 p.

27. Scholl D.W., Marlow M.S., Macleod N.S., Buffington E.C. // Episodic Aleutian Ridge igneous activity: implications of miocene and younger submarine volcanism west of Buldir island // Geol. Soc. Amer. Bull. 1976. V. 87. № 4. P. 547—554.
28. Shiraki K., Kuroda N., Urano H. Boninite: an evidence for calcalkalic primary magma // Bull. Volcanol. Soc. of Japan. 1977. V. 22. № 4. P. 257—266.
29. Tatsumi I., Ishizake E. Existence of andesitic primary magma: an example from S.W. Japan // Earth Planet. Sci. Lett. 1981. V. 53. P. 124—130.

Институт вулканологии  
ДВО АН СССР,  
Петропавловск-Камчатский  
департамент геологической службы США,  
Корнелльский университет  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова  
АН СССР, Москва

Поступила в редакцию  
30.01.1991