

ПЕРВАЯ НАХОДКА МАГНЕЗИАЛЬНЫХ АНДЕЗИТОВ А(АДАК)-ТИПА НА КАМЧАТКЕ

О. Н. Волынец, А. Н. Овчаренко*, М. Е. Бояринова*, Р. У. Кэй**, Г. Н. Аношин***,
А. А. Агапова****, Ю. В. Гольцман****

*Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН,
683006, Петропавловск-Камчатский, Бульвар Пийпа, 9, Россия*

* *Комитет природных ресурсов по Камчатской области и Корякскому автономному округу, „Камчатприродресурс“,
683016, Петропавловск-Камчатский, ул. Мишенная, 106, Россия*

** *Корнельский университет, Итака, США*

*** *Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3, Россия*

**** *Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
109017, Москва, Старомонетный пер., 35, Россия*

В составе комплекса позднемиоцен-раннеплиоценовых даек, развитых на территории п-ова Камчатский мыс, установлены спессартиты и вогезиты, отвечающие по химизму магниальным андезитам. Амфиболы и клинопироксены в этих породах отличаются высокой магниальностью: преобладающие значения K_{mg} лежат в пределах 0,72—0,78 и 0,82—0,88 соответственно. Породы подверглись заметному низкотемпературному гидротермальному преобразованию, с чем связано развитие ряда вторичных минералов (альбит, хлорит, калиевый полевой шпат), высокие значения LOI (потери при прокаливании), а также повышенные содержания Na_2O . Тем не менее геохимическая специфика пород сохраняется, и по особенностям редкоземельного состава (прежде всего величинам La/Yb, K/La, Rb/La, La/Cs отношений) они близки магниальным андезитам А-типа, прототипом которых являются соответствующие лавы о. Адак (Центральные Алеуты). Геохимические данные предполагают отсутствие генетического родства между магниальными андезитами п-ова Камчатский мыс и обычными известково-щелочными диорит-порфиритами—микродиоритами, дайки которых встречены в пределах единого дайкового поля.

Магниальные андезиты, спессартиты, вогезиты, петрология, редкие элементы, субдукция.

THE FIRST FINDING OF A (AD AK)-TYPE MAGNESIAN ANDESITES ON THE KAMCHATKA PENINSULA

O. N. Volynets, A. N. Ovcharenko, M. E. Boyarinoва, R. W. Kay,
G. N. Anoshin, A. A. Agapova, and Yu. V. Gol'tsman

Spessartites and vogesites close in chemical composition to magnesian andesites have been found in the complex of Late Miocene-Early Pliocene dikes on the Kamchatka Peninsula. Amphiboles and clinopyroxenes in these rocks have high magnesium contents: in most of them K_{mg} varies within 0.72—0.78 and 0.82—0.88, respectively. The rocks underwent significant low-temperature hydrothermal metamorphism, which gave rise to secondary minerals (albite, chlorite, K-feldspar), high LOI values, and elevated Na_2O contents. Nevertheless, the geochemistry of these rocks remained the same, and in REE composition (first of all La/Yb, K/La, Rb/La, and La/Cs ratios) they are close to A-type magnesian andesites, whose prototype is lavas of Adak Island (Central Aleutians). Geochemical data point to the absence of genetic relationship between the Kamchatka magnesian andesites and ordinary calc-alkaline diorite-porphyrite—microdiorites whose dikes are found within a single dike field.

Magnesian andesites, spessartites, vogesites, petrology, rare elements, subduction

ВВЕДЕНИЕ

Магниальные андезиты представляют собой один из типов примитивных магм островных дуг и активных континентальных окраин [1—4], поэтому каждое проявление таких пород требует специального петролого-геохимического изучения. В настоящее время выделяют два типа магниальных андезитов, различающихся по ряду геохимических признаков [5]. Магниальные андезиты А-типа (по геохимическому прототипу с о. Адак, Центральные Алеуты [1]) отличаются от магниальных андезитов П-типа (по геохимическому прототипу с подводного вулкана Пийпа, Западные Алеуты [6, 7]) высокими концентрациями La и Sr, высокими значениями отношений La/Yb, La/Cs, Sr/Y, Ni/Cr, Ni/Sc и низкими значениями отношений K/La, Rb/La и Ca/Sr [8].

На Камчатке магниальные андезиты П-типа известны на вулканах Шивелуч и Заречный [9, 10], тогда как магниальные андезиты А-типа впервые обнаружены нами среди позднеогеновых даек на п-ове Камчатский мыс в полевой сезон 1993 г. Правда, дайки известково-щелочных

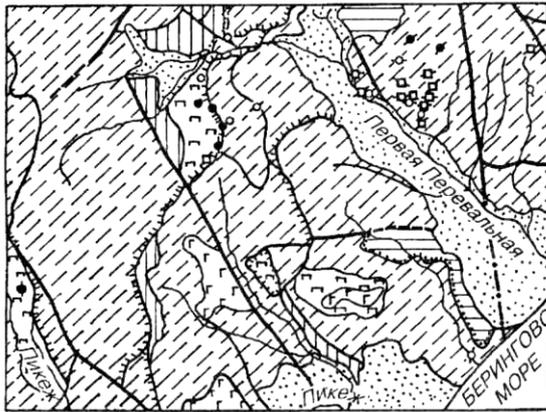


Рис. 1. Схема геологического строения бассейна р. Первая Перевальная, п-ов Камчатский мыс.

- 1 — четвертичные отложения: валунники, галечники, гравийники, пески, глины; 2 — плиоцен-четвертичные отложения Ольховской свиты: песчаники, пески, гравийники, глины, глинистые алевриты; 3 — миоценовые отложения горбушинской толщи: песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты; 4 — меловые отложения африканской серии: туфы, кремни, известняки, песчаники, базальты; 5, 6 — раннемеловой африканский комплекс пород фундамента: 5 — габбро, 6 — гипербазиты; 7—9 — позднемиоцен-плиоценовый дайковый комплекс: а — тектонические блоки в меланже, б — линейно вытянутые дайки, 7 — магнезиальные андезиты (спессартиты, вогезиты, дациты), 8 — низко- и умеренно-магнезиальные андезиты (диоритовые порфириты, микродиориты, андезиты, дациты), 9 — породы основного состава (долериты, базальты, микрогаббро).

лампрофиров были отмечены здесь ранее [11, 12], однако авторы публикаций не обратили внимания на высокую магнезиальность пород среднего состава и их геохимическую специфику.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ АНДЕЗИТОВ

Широкое развитие поздненеогеновых дайковых пород на п-ове Камчатский мыс было впервые отмечено М. Ю. Хотинным [13]. Позднее было установлено, что поздненеогеновые дайки и силлы образуют здесь субширотный пояс, протягивающийся от мыса Африка на востоке до бассейна р. Пикеж на западе [12]. Однако обильные проявления пород этого комплекса в бассейне р. Первая Перевальная, где они детально изучались авторами настоящего сообщения (рис. 1).

Среди пород, слагающих дайки и силлы, выделяются следующие четыре группы: 1) щелочные высокотитанистые габбро; 2) долериты, базальты и микрогаббро умеренной щелочности; 3) мезо- и лейкократовые амфиболовые и пироксен-амфиболовые андезиты, диоритовые порфириты и порфиридные микродиориты; 4) спессартиты и вогезиты, соответствующие по особенностям химического состава магнезиальным андезитам. В составе дайкового комплекса наиболее распространены породы второй и третьей групп, несколько менее — четвертой, а первой — весьма редко. Дайки прорывают гипербазиты раннемелового фундамента, меловые отложения африканской серии и миоценовые осадочные породы горбушинской толщи. Мощность даек обычно 0,5—1,5 м, иногда до 4—5 м, протяженность от нескольких десятков до первых сотен метров. В отдельных случаях в дайках заметны узкие (2—3 см) зонки закалки. Нередко в тектонических зонах и меланже наблюдаются „закатанные“ изометричные или удлиненные блоки пород (размером до 15 м по наибольшему измерению), аналогичные по составу породам дайкового комплекса.

Возраст пород дайкового комплекса устанавливается по косвенным признакам. Дайки прорывают отложения миоценовой горбушинской толщи, но не отмечены в плиоцен-плейстоценовых осадочных отложениях Ольховской свиты. Практически все типы пород дайкового комплекса встречаются в виде будин в тектонических зонах и меланже. Верхний предел надвигообразования определяется по данным геолого-съемочных работ на уровне нижней подсвиты ольховской свиты. Изложенные данные позволяют предполагать позднемиоцен-раннеплиоценовый возраст пород дайкового комплекса.

ПЕТРОГРАФИЯ И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ АНДЕЗИТОВ

Спессартиты и вогезиты, которые, как уже говорилось, соответствуют магнезиальным андезитам по химическому составу, представляют собой мелкозернистые (иногда тонкозернистые) полнокристаллические породы с гипидиоморфно-зернистой или порфировой (серийно-порфировой) структурой. Сложены они преимущественно амфиболом и полевым шпатом, хотя в ряде случаев к ним присоединяется клинопироксен, особенно обильный в вогезитах мыса Африка. В качестве второстепенных минералов встречаются кварц, магнетит, апатит, а также сульфиды Fe, Cu и Sn. Цветное число достигает 40—50 %, причем в породах с содержанием SiO₂ менее 59—60 %, вкрапленники представлены только темноцветными минералами, что характерно для лампрофиров и магнезиальных андезитов. В более дифференцированных (более кислых) разностях среди вкрапленников присутствует также полевой шпат.

Таблица 1.

**Представительные анализы клинопироксенов и амфиболов
из даек магнезиальных андезитов п-ова Камчатский мыс**

Компонент	1(с)	2(с)	3(с)	4(г)	5(с)	6(с)	7(с)	8(г)	9(с)	10(с)	11(с)
SiO ₂	52,70	52,61	54,06	51,32	44,13	42,89	46,15	45,61	44,40	43,57	41,65
TiO ₂	0,23	0,48	0,36	0,70	2,72	2,75	1,42	1,26	1,54	3,25	3,71
Al ₂ O ₃	2,58	2,14	1,55	3,00	10,29	11,96	10,59	11,29	11,55	11,24	12,97
Cr ₂ O ₃	0,38	0,68	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,88	3,94	4,16	5,80	8,08	9,04	7,53	7,25	9,86	8,50	9,69
MgO	16,83	16,41	16,66	15,27	16,71	15,72	17,47	17,64	15,55	16,16	15,15
CaO	21,51	22,00	21,65	21,84	11,23	11,26	11,12	11,82	11,70	11,47	11,68
Na ₂ O	0,21	0,08	0,21	0,25	3,33	3,26	2,45	2,43	2,47	2,72	2,55
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,77	0,32	0,31	0,36	0,48	0,53
Сумма	99,33	98,34	99,20	98,18	97,17	97,65	97,06	97,60	97,42	97,40	97,93
K_{mg}	86,0	88,1	87,7	82,4	78,7	75,6	80,5	81,3	73,8	77,2	73,6

Примечание. 1—4 — клинопироксены; 5—11 — амфиболы; 1, 7—9 — обр. 7616, 5, 6 — обр. 7610, 2—4, 10—11 — обр. 7622. с — ядра кристаллов, г — краевые зоны.

Породы часто заметно изменены: цветные минералы с краев, а иногда и полностью замещены зеленым хлоритом (редко эпидотом), полевые шпаты сосюритизированы и пелитизированы. В основной массе некоторых пород развивается желтоватый слюдястый минерал. Редкие поры заполнены хлоритом и карбонатом. В ряде разновидностей пород с пониженным содержанием кремнезема отмечаются полностью замещенные хлоритом и боулингитом вкрапленники, сходные по кристаллографическим очертаниям с оливином (см. также [11]).

Амфибол, преобладающий темноцветный минерал пород, обычно слабо окрашен в желтовато-зеленых тонах, а иногда почти бесцветен. По составу (табл. 1, рис. 2) он отвечает разностям, переходным между паргаситом и гастингситом, отличаясь высокой глиноземистостью (Al^4 более 1,5 ф.е.), магнезиальностью (преобладающие значения $K_{mg} = 0,72—0,78$) и заметно варьирующими в разных образцах концентрациями TiO_2 (1,2—3,7 мас.%), Na_2O (2,4—3,3 мас.%) и K_2O (0,3—0,8 мас.%). Высокие значения коэффициента магнезиальности необычны для амфиболов из пород среднего состава. Так, преобладающие значения K_{mg} вкрапленников амфибола из четвертичных известково-щелочных андезитов Камчатки и Курил лежат в пределах 0,63—0,66. Только в магнезиальных андезитах вулкана Шивелуч, Камчатка одна из генераций амфибола (более магнезиальная) соответствует по этому признаку амфиболам изученных пород (см. рис. 2). Концентрации титана и щелочей в изученных амфиболах лежат в пределах, обычных для амфиболов известково-щелочных андезитов Курило-Камчатского региона, однако причина столь существенных вариаций этих компонентов в сходных по химическому составу дайках не ясна. Клинопироксены спессартинов и вогезитов

относятся по составу к диопсидам и эндиопсидам (см. табл. 1) с умеренным содержанием Al_2O_3 (1,5—4,0 %), TiO_2 (0,3—0,8) и Cr_2O_3 (0,0—0,7). Значения K_{mg} в клинопироксенах, как и в случае амфиболов, существенно выше, чем во вкрапленниках этого минерала из четвертичных известково-щелочных андезитов Камчатки и Курил, однако близки к таковым во вкрапленниках магнезиальных андезитов влк. Шивелуч (см. рис. 2) и подводного влк. Пийпа (Западные Алеуты), где преобладающие значения K_{mg} лежат в пределах 0,85—0,88 [6].

Рис. 2. Вариации коэффициента магнезиальности (K_{mg}) амфиболов и клинопироксенов из магнезиальных андезитов п-ова Камчатский мыс и влк. Шивелуч (Камчатка), а также из четвертичных известково-щелочных андезитов Камчатки и Курил.

По данным микронзондовых определений, n — число анализов.

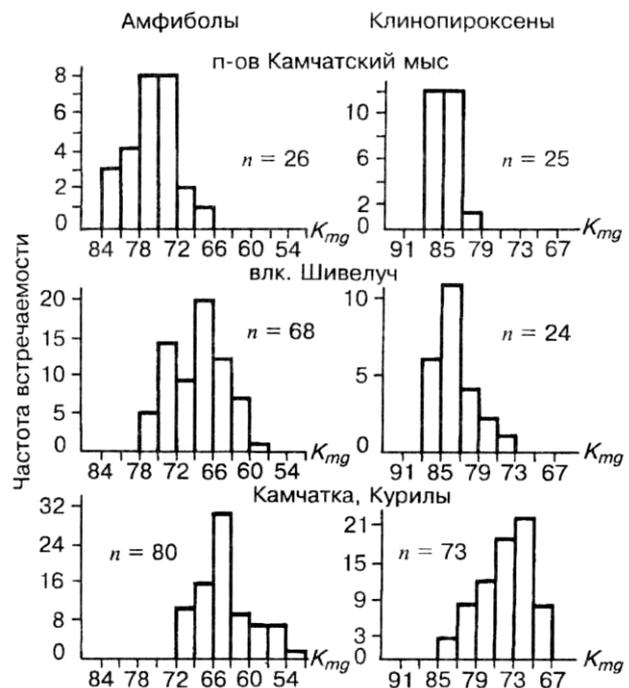


Таблица 2. Представительные анализы полевых шпатов из даек магнезиальных андезитов п-ова Камчатский мыс

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	64,94	63,69	64,26	66,73	67,23	66,62	67,81	53,89	67,47	65,44	58,30
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Al ₂ O ₃	18,56	18,28	18,21	18,91	19,07	19,94	20,08	22,51	20,70	21,43	26,96
FeO	0,04	0,00	0,00	0,11	0,16	0,00	0,00	1,83	0,18	0,42	0,70
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,08	0,04	0,06	0,03
CaO	0,03	0,01	0,00	0,74	0,62	0,51	0,40	10,82	0,37	2,60	8,60
Na ₂ O	0,00	0,57	0,17	12,04	5,29	12,12	11,57	5,99	11,10	10,34	6,30
K ₂ O	16,49	16,90	17,32	11,69	8,10	0,09	0,03	0,00	0,00	0,38	0,33
Сумма	100,06	99,46	99,96	100,22	100,61	99,27	99,88	95,11	100,93	100,68	101,22
Or	99,8	95,0	98,5	75,8	48,6	0,4	0,1	0,0	0,5	2,0	1,9
Ab	0,0	4,9	1,5	20,1	48,3	97,3	98,0	50,0	94,6	86,0	55,9
An	0,2	0,1	0,0	4,1	3,1	2,3	1,9	50,0	4,9	12,0	42,2

Примечание. 1—5 — К- и К-Na полевые шпаты; 6—11 — плагиоклазы. 1, 2, 6 — обр. 7610, 3, 7, 8 — обр. 7616, 4, 5, 9—11 — обр. 7622.

Среди полевых шпатов (табл. 2) преобладают почти чистые альбиты (Ab_{96,5-99,5}) и калиевые полевые шпаты (Or_{98,0-99,8}), тогда как Ca-Na полевые шпаты (андезин-лабрадоры) редки и обычно сохраняются лишь в виде реликтов в зернах альбита. Только в вогезитах мыса Африка наряду с альбитами, калиевыми полевыми шпатами и редкими андезин-лабрадорами установлены также олигоклазы (Ab₈₁₋₈₆Or₁₋₂An₁₂₋₁₈) и К-Na полевые шпаты с переменным содержанием Or-молекулы (Ab₁₁₋₄₈Or₄₈₋₈₁An₄₋₈). По-видимому, только андезин-лабрадор, К-Na полевые шпаты и может быть олигоклазы являются первичными минералами дайковых пород, тогда как появление альбитов и чистых калиевых полевых шпатов связано, на наш взгляд, с метасоматической переработкой их. На невозможность кристаллизации альбита из магматических расплавов указывал в свое время В. Н. Лодочников [14]. Вероятно, низкотемпературный эпитеермальный или гидротермальный генезис имеют также и почти чистые калиевые полевые шпаты, поскольку, согласно сводке [15], щелочные полевые шпаты с содержанием более 90 % Or-молекулы встречаются только в жилах альпийского типа (адуляры) и в некоторых пегматитах (микроклины).

ВАЛОВОЙ ХИМИЧЕСКИЙ И РЕДКОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ

Содержание SiO₂ в дайковых породах, относящихся к группе магнезиальных андезитов, колеблется от 54 до 66 мас.% в пересчете на безводный остаток при вариациях коэффициента магнезиальности от 0,66 — 0,68 до 0,61 — 0,63, так что в целом они образуют достаточно дифференцированную серию, сходную по этим параметрам с дифференцированной серией лав (магнезиальный андезит-дацит) подводного влк. Пийпа на Западных Алеутах [6, 7]. В породах диорит-порфирит—микродиоритовой группы при сходных вариациях в содержании SiO₂ значение коэффициента магнезиальности существенно ниже: от 0,58 — 0,60 в разностях с SiO₂ 56—58 мас.% до 0,43—0,50 в более кремнеземистых разностях (табл. 3, рис. 3).

Большинство пород группы магнезиальных андезитов, как и группы диорит-порфиритов—микродиоритов характеризуются высоким содержанием щелочей (Na₂O + K₂O = 7—9 мас.%), что дало С.Р. Тихомировой [12] формальное основание отнести их к представителям субщелочного и щелочного рядов. Однако полученные нами данные не согласуются с таким заключением. Действительно, коэффициент агпаитности (Na₂O + K₂O/Al₂O₃ мол.%) во всех типах пород ниже единицы, а при минералогических исследованиях (микроскопия, микрозонд) щелочных минералов в породах не обнаружено. Более того, преобладание среди полевых шпатов в большинстве изученных образцов альбита и чистого калиевого полевого шпата, а также широкое развитие хлорита указывают на интенсивное низкотемпературное метасоматическое преобразование пород и вторичный характер повышенной щелочности. Особенно это касается пород с высоким Na₂O/K₂O (4—7). Высокие значения потерь при прокаливании (до 5 мас.%) в валовых химических составах пород согласуются с заметным вторичным преобразованием их. По-видимому, только небольшая часть дайковых пород (например, вогезиты мыса Африка), содержащих не только альбит и чистый калиевый полевой шпат, но также андезин-лабрадор и К-Na щелочной полевой шпат и имеющих умеренное Na₂O/K₂O (1,5—3,0), может быть реально отнесена к субщелочным разностям. Щелочные же породы в составе двух указанных групп даек вообще отсутствуют. Хотя повышенная Na щелочность изученных магнезиальных андезитов связана, по-видимому, с процессами низкотемпературного преобразования их, повышенная магнезиальность пород является их первичной геохимической особенностью, на что указывают высокие значения K_{mg} амфиболов и клинопироксенов.

Таблица 3. Содержание главных (мас. %) и редких элементов (г/т) в дайковых породах

Компонент	7622	7610a	7610	7616	7618	5517/1	5518/4	7597
SiO ₂	53,10	59,00	56,10	57,07	58,43	59,24	60,07	60,91
TiO ₂	0,96	0,99	0,97	0,61	0,60	0,60	0,56	0,74
Al ₂ O ₃	14,30	14,45	15,10	16,75	17,86	16,10	18,19	13,85
Fe ₂ O ₃	3,39	2,19	2,79	1,82	1,58	1,05	1,18	3,03
FeO	2,75	3,02	2,51	3,16	2,44	2,73	2,66	1,51
MnO	0,12	0,11	0,10	0,10	0,07	0,06	0,07	0,10
MgO	8,60	5,40	5,93	5,68	4,13	3,76	3,62	3,65
CaO	5,28	4,56	5,48	3,76	4,10	5,97	2,65	4,07
Na ₂ O	3,91	5,33	5,01	5,28	6,04	6,19	7,57	4,60
K ₂ O	3,30	2,65	2,76	2,17	2,52	2,08	1,69	2,15
P ₂ O ₅	0,50	0,47	0,52	0,18	0,31	0,23	0,22	0,33
LOI	4,06	2,68	2,39	1,95	1,59	1,43	1,09	4,80
Сумма	100,27	100,85	99,66	99,53	99,67	99,44	99,57	99,74
Cr	—	208	235	209	131	108	97	172
Ni	—	158	163	134	130	78	80	138
Co	—	27,1	25,6	21,7	20	16,3	16,9	-21,0
Sc	—	16,6	14,0	16,2	—	9,8	11,8	-11,1
V	—	110	—	120	100	100	100	100
Rb	—	23	—	33	30	22	15	18
Cs	—	—	0,08	—	—	0,08	—	-0,09
Ba	—	490	536	537	400	602	279	496
Sr	—	337	398	675	453	269	156	238
Ta	—	0,32	0,35	0,21	—	0,14	0,11	0,21
Nb	—	3	—	—	3	—	—	—
Hf	—	4,66	4,58	2,56	—	3,51	3,50	3,53
Zr	—	188	—	108	142	132	113	154
Y	—	16	—	11	13	12	12	15
Th	—	3,20	3,13	1,10	—	2,54	2,44	2,90
U	—	1,35	0,68	0,96	—	1,23	1,14	0,66
La	—	27,4	29,41	9,0	—	16,76	15,6	23,96
Ce	—	64,0	72,00	20,1	—	36,34	35,0	52,60
Nd	—	36,6	43,87	12,6	—	23,39	21,6	30,91
Sm	—	6,7	7,18	2,98	—	4,3	4,13	5,34
Eu	—	1,92	1,82	0,87	—	0,97	1,19	1,37
Gd	—	4,4	—	2,7	—	—	3,1	—
Tb	—	0,57	0,58	0,41	—	0,35	0,41	0,44
Yb	—	1,06	0,92	1,09	—	0,95	0,88	0,69
Lu	—	0,167	0,150	0,152	—	0,117	0,130	0,123
K _{mg}	72,5	65,9	67,8	67,8	65,8	64,8	63,6	63,1
La/Yb	—	25,8	32,0	8,3	—	17,6	17,7	34,7
La/Ta	—	85,6	84	43	—	120	142	-114
Ni/Sc	—	9,5	11,6	8,3	—	8,0	6,8	-12,4
Ni/Cr	—	0,76	0,69	0,64	0,99	0,72	0,82	0,80
Компонент	2064	7596	7592	7604	7600	MOF-81	ADK-53	ADK-52
SiO ₂	64,71	54,88	55,42	57,94	58,97	55,98	55,50	56,56
TiO ₂	0,38	1,33	1,33	1,08	0,90	0,81	0,86	0,82
Al ₂ O ₃	16,81	15,79	15,97	17,51	17,81	16,58	15,50	16,54
Fe ₂ O ₃	1,00	3,91	3,74	3,87	3,84	2,99	4,70	—
FeO	1,80	2,80	2,91	2,66	2,33	3,00	1,98	6,84
MnO	0,05	0,12	0,11	0,13	0,12	0,05	0,07	0,14
MgO	2,57	5,24	4,83	2,63	2,25	5,42	5,58	5,84
CaO	3,29	6,60	5,97	3,75	2,87	9,06	9,51	9,17
Na ₂ O	6,20	5,65	5,33	7,42	8,21	2,75	3,32	2,82
K ₂ O	0,85	1,44	2,55	1,26	1,05	1,51	1,47	1,57
P ₂ O ₅	0,13	0,39	0,38	0,30	0,28	0,31	0,32	0,34
LOI	1,86	1,47	1,15	1,04	1,12	1,14	—	—
Сумма	99,65	99,62	99,69	99,59	99,65	99,60	98,71	100,64
Cr	81	145	160	74	86	663	377	367

Компонент	2064	7596	7592	7604	7600	MOF-81	АДК-53	АДК-52
Ni	88	67	42	—	5,7	—	153	113
Co	—	24,6	24,3	16,3	13,3	21,1	—	—
Sc	—	23,1	21,5	3,0	8,8	20,0	20,9	19,9
V	60	200	200	150	110	—	—	—
Rb	10	7	23	18	12	—	16	17
Cs	—	—	0,06	—	0,03	—	0,24	0,42
Ba	276	271	356	236	276	616	476	492
Sr	276	230	314	296	213	—	1783	758
Ta	—	0,41	0,49	0,40	0,38	0,21	—	—
Nb	4	8	5	9	3	—	—	—
Hf	—	4,05	4,84	3,75	3,50	3,83	4,03	4,10
Zr	86	194	202	149	146	—	54	—
Y	12	22	19	21	23	—	—	—
Th	—	3,30	4,10	2,40	2,26	2,65	3,00	3,03
U	—	1,45	1,54	0,83	1,02	0,99	1,29	1,34
La	—	21,3	23,01	15,4	14,95	32,2	29,15	32,30
Ce	—	49,0	56,05	36,9	76,70	73,0	64,11	73,20
Nd	—	30,9	34,69	21,7	23,22	42,4	34,06	38,50
Sm	—	6,35	5,98	4,92	4,50	7,10	5,77	6,35
Eu	—	1,61	1,58	1,44	1,21	2,00	1,64	1,78
Gd	—	4,7	—	4,3	—	4,2	—	—
Tb	—	0,67	0,64	0,65	0,59	0,55	0,50	0,49
Yb	—	1,81	1,94	2,08	2,17	0,96	0,94	0,98
Lu	—	0,270	0,244	0,326	0,289	0,143	0,131	0,146
K_{mg}	63,1	59,8	58,0	43,4	41,5	62,9	61,6	60,3
La/Yb	—	11,8	11,9	7,4	6,9	33,5	31,0	33,1
La/Ta	—	52	47	39	39	153	—	—
Ni/Sc	—	2,9	2,0	—	0,7	—	7,3	5,7
Ni/Cr	1,09	0,46	0,26	—	0,07	—	0,41	0,42

Примечание. Обр. 7622, 7610а, 7610, 7616, 7618, 5517/1, 5618/4, 7597, 2064 — магнезиальные андезиты п-ова Камчатский мыс; обр. 7596, 7592, 7604, 7600 — диорит-порфириты, микродиориты п-ова Камчатский мыс; обр. MOF-81, АДК-53, АДК-52 — магнезиальные андезиты о. Адак. Концентрации REE, Ta, Hf, Th, U, Cs, Cr, Ba, Sr, Ni, Co, Sc определены методом ИНАА в Аналитическом центре ОИГТМ СО РАН, г. Новосибирск (обр. 7610а, 7616, 5518/4, 7596, 7604, MOF-81) и Корнелльском университете, г. Итака, США (обр. 7610, 5517/1, 7597, 7592, 7600, АДК-53, АДК-52). Концентрации Rb, Nb, Zr, Y, V во всех образцах, а также Cr, Ni, Co, Ba, Sr в обр. 7618 и 2064 определены методом РФА в Институте геохимии СО РАН, г. Иркутск. Данные для обр. АДК-53, АДК-52 из работы [22].

Таблица 4. Геохимические характеристики магнезиальных андезитов А- и П-типов из Циркумтихоокеанского региона

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	56—65	56—61	54—57	56—58	54,9—58,9	56—61	54—61	56—58	59—59	53—66
K_{mg}	61—68	70—71	60—65	62—72	55—70	61—72	58—66	65—77	50—61	62—81
Ni/Cr	0,7—1,1	0,7—0,8	0,2—0,4	0,4—0,9	0,34—0,62	0,3—0,6	0,2—0,3	0,3—0,6	0,3—0,5	0,1—0,3
Ni/Sc	7—12	12—14	4—7	—	1,1—3,9	2—7	2—4	5—12	1,7—2,3	2—12
La/Yb	17—35	43—57	31—33	16—44	6,9—10,3	4—6	4—7	5—11	1,0—1,1	1—8
La/Cs	210—370	155—340	80—120	—	—	41—52	10—14	—	—	—
K/La	750—1030	500—600	390—420	410—480	615—670	1050—2000	1100—1800	650—2400	2400—2900	2200—6700
Rb/La	0,75—1,3	0,5—1,0	0,5—0,6	0,25—1,1	0,82—1,2	0,9—1,8	2,2—2,8	—	6—11	1—11
Sr/Y	13—35	130—160	—	45—260	24—41	20—31	22—45	—	10—18	9—48
Ca/Sr	60—160	21—22	37—38	21—39	85—199	80—150	80—130	—	580—850	100—900

Примечание. 1—5 — магнезиальные андезиты А-типа: 1 — п-ов Камчатский мыс (данные авторов, обр. 7616 исключен), 2 — подводный вулкан в Камчатском проливе [5], 3 — о. Адак (Центральные Алеуты) [1, 22], 4 — Baja, California [3], 5 — магнезиальные андезиты южного обрамления Новых гибридов [23]; 6—9 — магнезиальные андезиты П-типа: 6 — подводный влк. Пийпа (Западные Алеуты) [7], 7 — влк. Шивелуч и Заречный на Камчатке (данные авторов), 8 — вулканическая зона Setouchi, Юго-Восточная Япония [2], 9 — Марианская дуга [24]; 10 — бониниты [25].

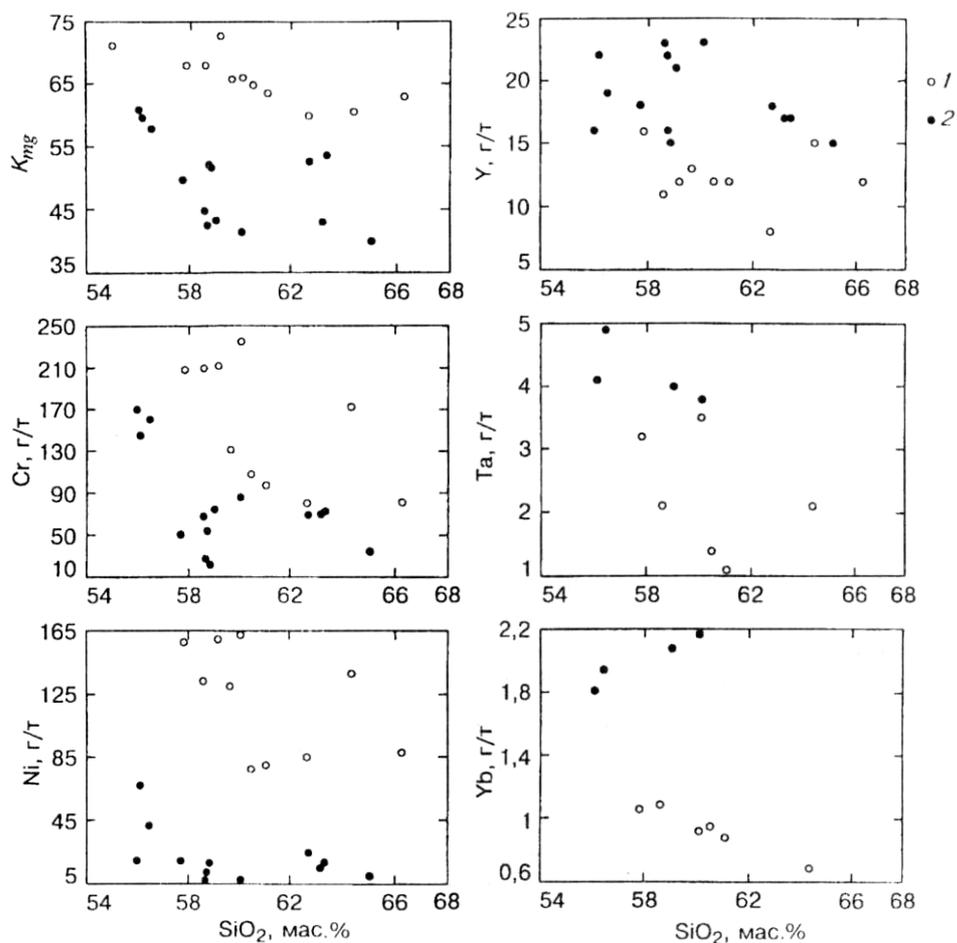


Рис. 3. Вариации коэффициента магнезиальности, концентраций Ni, Cr, Y, Ta, Yb (г/т) в дайковых породах среднего состава, п-ов Камчатский мыс.

Породы группы: 1 — магнезиальных андезитов; 2 — диоритовых порфиритов—микродиоритов.

Содержание редких элементов в породах группы магнезиальных андезитов заметно колеблется, причем концентрации элементов группы железа (Cr, Ni, Co, Sc, V), а также Cu, Yb, Lu уменьшаются с ростом кремнекислотности пород, тогда как концентрации легких редких земель (La, Ce), Zr, Hf, Y, Th, U, Ba не обнаруживают связи с этим параметром (см. табл. 3, рис. 3). Подчеркнем, что вариации концентраций подавляющего большинства редких элементов (REE, Ta, Zr, Hf, Ti, Y, Ni, Cr и др.) в породах не зависят от степени вторичного преобразования их, что проявляется, в частности, в отсутствии корреляции между содержаниями редких элементов и величинами LOI (см. табл. 3).

Наиболее обогащенные легкими редкоземельными элементами разности (см. табл. 3, обр. 7610 и 7597) очень близки по редкоэлементному составу (за исключением существенно более низких концентраций Sr) и весьма высокой величине La/Yb к геохимическому прототипу магнезиальных андезитов А-типа с о. Адак и подводного вулкана в Камчатском проливе на северо-западе Командорского блока ([1,5]; см. табл. 3, обр. MOF-81 и рис. 4), но существенно отличаются от магнезиальных андезитов П-типа и бонинитов, тогда как два последних типа пород по этим характеристикам сходны (табл. 4). Другая часть дайковых пород из группы магнезиальных андезитов имеет содержания легких редкоземельных элементов и особенно величины La/Yb отношений хотя и повышенные по сравнению с обычными известково-щелочными умеренно-калиевыми андезитами Курило-Камчатской островной дуги [9, 16], однако заметно более низкие, чем в типоморфных магнезиальных андезитах А-типа (обр. 5517/1, 5518/4 и особенно 7616 в табл. 3), так что в целом наблюдается довольно широкий спектр кривых распределения REE (рис. 4). Вместе с тем, по значениям большинства характеристических отношений редких элементов (La/Cs, Rb/La, K/La, Ni/Cr, Ni/Sc) типичными для магнезиальных андезитов А-типа [8], все изученные образцы даек магнезиальных

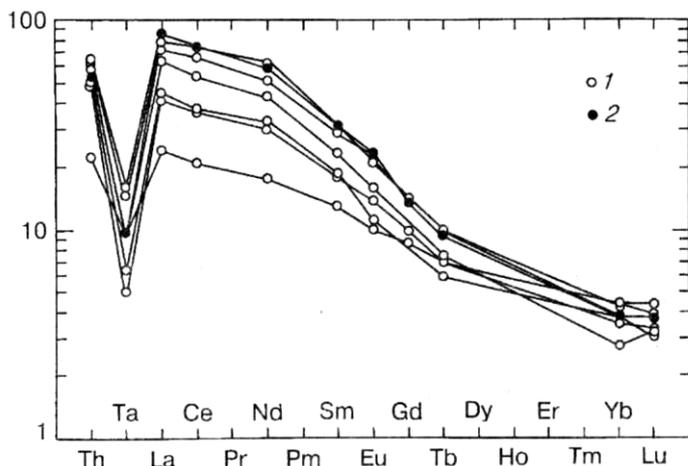


Рис. 4. Вариации концентраций REE, Th и Ta в магнезиальных андезитах.

1 — п-ов Камчатский мыс, 2 — о. Адак (Алеуты).

ными андезитами *П*-типа, чем с магнезиальными андезитами *А*-типа.

Породы группы магнезиальных андезитов отличаются от проявленных совместно с ними одновозрастных пород диорит-порфирит-микродиоритовой группы не только более высокими значениями K_{mg} , но также более высокими концентрациями Ni и Cr при больших значениях Ni/Cr и Ni/Sc отношений и более низких концентрациях ряда литофильных редких элементов (см. рис. 3), имеющих высокие коэффициенты распределения в эклогитовом гранате (Yb, Y) и рутиле (Ta). Соответственно, они характеризуются более высокими значениями Zr/Y, La/Yb и Hf/Ta при фиксированных содержаниях Zr, La и Hf (рис. 5). Однако вариации концентраций Sr, Hf, Zr, Th, U, а также величины La/Cs, La/Rb, K/La отношений в обеих группах пород близки (см. табл. 3).

Изотопный состав Sr и Nd определен только в одном образце магнезиального андезита п-ова Камчатский мыс, наиболее близком геохимическому прототипу с о. Адак. В отличие от последнего, он оказался типично островодужным с более высоким значением $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и более низким ϵNd (табл. 5, см. также [1]). Сходные особенности отличают анализируемый образец от магнезиальных андезитов *П*-типа с подводного влк. Пийпа на Западных Алеутах [7]. Вместе с тем значение ϵNd в изученном образце сходно с наблюдаемыми в магнезиальных андезитах *А*-типа с подводного вулкана в Камчатском проливе на северо-западе Командорского блока и магнезиальных андезитов *П*-типа с влк. Шивелуч и Заречный на Камчатке, а значение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ отношения выше, чем для первых, но ниже, чем для вторых (см. табл. 5, см. также [1, 5]).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Магнезиальные андезиты позднеогеновых даек п-ова Камчатский мыс близки к своим геохимическим аналогам из других районов Тихоокеанского обрамления (Алеуты, Камчатка, Калифорния, Япония и т. д.) по соотношению K_{mg} с SiO_2 , но резко отличаются от большинства из них по минералогическим особенностям, прежде всего по наличию амфибола — часто единственного темноцветного минерала в этих породах. Действительно, из всех известных здесь проявлений маг-

Рис. 5. Вариации Zr/Y, La/Yb и Hf/Ta в дайковых породах среднего состава, п-ов Камчатский мыс.

Породы группы: 1 — магнезиальных андезитов, 2 — диоритовых порфиритов—микродиоритов.

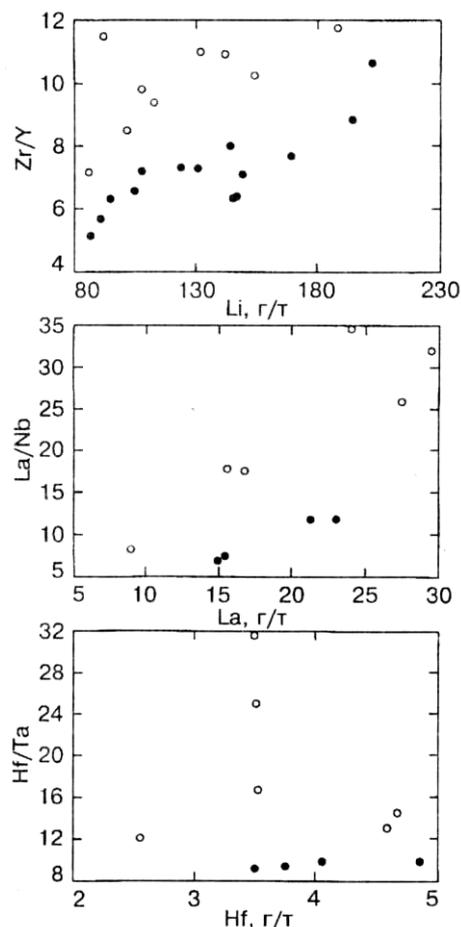


Таблица 5. Изотопный состав Sr и Nd в магнезиальных андезитах зоны сочленения Алеутской и Курило-Камчатской островных дуг

Номер обр.	Район	SiO ₂	K _{mg}	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	εSr	εNd
7610	П-ов Камчатский мыс (Камчатка)	57,9	67,9	0,70326 ± 7	0,513075 ± 15	-17,6 ± 1,0	+8,52 ± 0,29
MOF-81	О. Адак (Алеуты)	57,0	62,9	0,70308 ± 7	0,513113 ± 15	-20,2 ± 1,0	+9,27 ± 0,29
B38-40/1	Камчатский пролив	58,5	70,5	0,70277 ± 7	0,513055 ± 8	-24,6 ± 1,0	+8,13 ± 0,16
5749	Влк. Шивелуч (Камчатка)	56,0	64,7	0,70353 ± 3	0,513098 ± 10	-13,8 ± 0,4	+8,97 ± 0,20
1004	Влк. Заречный (Камчатка)	56,5	64,8	0,70347 ± 7	0,513069 ± 9	-14,6 ± 1,0	+8,41 ± 0,18

Примечание. Изотопный состав Sr и Nd определен в Институте геологии и геохронологии докембрия РАН на масс-спектрометре МАТ-260 с использованием стандарта ВНИИМ для Sr и La, Jolla для Nd.

незиальных андезитов амфибол обнаружен лишь в лавах влк. Шивелуч и Заречный (Камчатка) [9, 10]. Обилие в породах среднего состава амфибола, согласно экспериментальным данным (см., например, [17]), свидетельствует о высоком (>5—6 мас.%) содержании воды в расплавах магнезиальных андезитов и относительно низких (менее 930 °С) температурах кристаллизации их. Что касается высокой водонасыщенности расплавов магнезиальных андезитов, то это достаточно удивительная точка зрения (см., например, [2]). Относительно же низкие температуры кристаллизации расплавов в случае магнезиальных андезитов п-ова Камчатский мыс могут быть обусловлены проявлением изученных пород в субвулканической, а не в вулканической фации. Добавим, что среди специфических архейских интрузивных пород („санукитоидов"), которые рассматриваются как проявление расплавов магнезиальных андезитов в плутонической фации, описаны биотит - амфиболовые монцодиориты [18].

Как уже отмечалось, наиболее обогащенные легкими РЗЭ различия магнезиальных андезитов п-ова Камчатский мыс весьма близки по геохимическим характеристикам к магнезиальным андезитам о. Адак и подводного вулкана в Камчатском проливе, образование которых связывается с процессами частичного плавления базальтового слоя субдуцируемой океанической коры на уровне эклогитовых парагенезисов и дальнейшего взаимодействия частичных выплавов, имеющих кислый состав, с веществом вышележащего мантийного клина [1]. При этом высокая степень фракционирования РЗЭ объясняется наличием в рестите граната — минерала с высоким (>>1) коэффициентом распределения Yb, а высокая магнезиальность пород и высокие содержания в них Ni и Sr — взаимодействием частичных выплавов из плиты с веществом мантийного клина. Модельные расчеты с использованием уравнения Рэлея подтвердили правомерность такой гипотезы [1, 5], причем было показано также, что наряду с гранатом в рестите остается также небольшое количество рутила, что обуславливает низкие содержания Ti и Ta в расплавах магнезиальных андезитов А-типа и экстремально высокие значения в них La/Ta отношений [5].

Отметим, что для эклогитовых гранатов характерны высокие коэффициенты распределения не только Yb, но также Y, Sc и Cr, в связи с чем магнезиальные андезиты А-типа как п-ова Камчатский мыс, так и других регионов имеют высокие значения не только La/Yb, но и Zr/Y, Ni/Sc и Ni/Cr отношений (см. табл. 4; см. также [8]). Низкие значения K/La и Ba/La отношений, а также высокие значения La/Cs и La/Rb отношений свидетельствуют, по-видимому, о весьма незначительном вкладе материала осадочной компоненты субдуцируемой плиты или флюидов из нее в формирование расплавов магнезиального андезита, поскольку наиболее существенная добавка Cs, Rb, Ba, K в происхождение островодужных магм обычно связывается именно с этим источником [16, 19]. Этот вывод согласуется с результатами модельных расчетов, проведенных ранее для магнезиальных андезитов Камчатского пролива [5].

Два важных вопроса, касающихся генезиса магнезиальных андезитов п-ова Камчатский мыс, не находят пока достаточного объяснения: 1) почему в магнезиальных андезитах наблюдаются существенные вариации содержания ряда когерентных редких элементов (легкие REE, Th, U и др.), не зависящие от степени фракционирования пород; 2) какова степень родства расплавов, продуцировавших породы группы магнезиальных андезитов и группы диорит-порфиритов—микродиоритов.

Что касается первого вопроса, то самое простое объяснение, связывающее вариации концентраций редких элементов в породах с неоднородностью отдельных порций магматических расплавов за счет разной степени взаимодействия выплавов из субдуцируемой плиты с мантийным субстратом, не согласуется с отсутствием корреляции между содержаниями указанных элементов и коэффициентом магнезиальности пород (см. табл. 3). Аналогично, отсутствие корреляции между концентрациями редких элементов и величинами потерь при прокаливании не позволяет связать эти

вариации со степенью вторичного изменения пород. Наконец, существует принципиальная возможность того, что указанные вариации обусловлены различной степенью взаимодействия расплавов магнезиальных андезитов с вмещающими породами на месте становления даек (*in situ*). Действительно, из 6 проанализированных в отношении REE образцов магнезиальных андезитов, самые низкие концентрации REE и величины La/Yb отношений наблюдаются в будине из серпентинитового меланжа (обр. 7616), промежуточные — в дайках, развитых на контакте серпентинитовой пластины (обр. 5717/1 и 5518/4), и самые высокие — в дайках, прорывающих вулканогенно-осадочные отложения африканской серии (обр. 7597 и 7610). Вместе с тем коэффициент магнезиальности пород и содержание в них когерентных редких элементов не зависят от геологического положения даек, что заставляет усомниться в справедливости предложенного объяснения. Добавим, что неоднородность составов магнезиальных андезитов, сходная с наблюдаемой в нашем случае, характерна и для некоторых других районов их проявления, где выходы ультраосновных пород не известны, например, Baja, California [3].

Что касается вопроса о степени родства расплавов, продуцировавших группы даек со сходными вариациями в содержании SiO₂, но устойчиво разной магнезиальностью во всем интервале кремнекислотности, то он не менее сложен. Хотя одинаковый возраст даек, принадлежащих разным группам, приуроченность их к единой достаточно ограниченной территории и небольшие, в общем, объемы магматических пород могли бы служить аргументом в пользу их происхождения из единого исходного расплава. Однако приведенные в предыдущем разделе данные о редкоземельном составе пород не согласуются с таким предположением, равно как не позволяют рассматривать породы групп диорит-порфирит—микродиорит как продукты фракционирования расплавов магнезиальных андезитов.

Как известно, магнезиальные андезиты достаточно редко встречаются в островных дугах и их проявления обычно связываются с субдукцией молодой (горячей) океанической плиты и субдукцией океанических хребтов [3, 20]. Некоторые авторы полагают, что образованию расплавов магнезиальных андезитов также способствует малая скорость субдукции. Именно такие условия характерны для зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг, где на западном окончании Алеутской дуги кайнозойская океаническая плита поддвигается под континентальную под очень небольшим углом в условиях почти адекватных трансформному разлому (*oblique subductions*) [21]. Что касается Камчатки, то в зоне сочленения Курило-Камчатской и Алеутской вулканических дуг, по-видимому, субдуцирует северное окончание Гавайского Императорского хребта. Таким образом, по-видимому, неслучайно обнаруженные нами магнезиальные андезиты являются уже четвертой находкой подобных пород в этом регионе. Ранее магнезиальные андезиты *A*-типа были установлены на подводном вулкане в Камчатском проливе [1,5], а магнезиальные андезиты *П*-типа обнаружены на подводном влк. Пийпа (Западные Алеуты) и на влк. Шивелуч и Заречный [9, 10].

ВЫВОДЫ

1. В составе комплекса позднемиоцен-раннеплиоценовых даек, развитых на территории п-ова Камчатский мыс, установлены спессартиты и вогезиты, отвечающие по химизму магнезиальным андезитам и отличающиеся высокой магнезиальностью темноцветных минералов (амфиболов и клинопироксенов).

2. Находка магнезиальных андезитов на п-ове Камчатский мыс в сочетании с ранее описанными случаями обнаружения подобных пород в зоне сочленения Курило-Камчатской островной дуги и Алеутских о-вов еще раз обращает внимание на особые условия генерации магм в этом регионе. Образование расплавов магнезиальных андезитов связано здесь, с одной стороны, с косою субдукцией (*oblique subduction*), а с другой — с субдукцией океанического хребта.

3. Несмотря на то, что породы даек подверглись заметному низкотемпературному вторичному изменению, выразившемуся в наличии альбита в их минеральном составе, чистого калиевого полевого шпата, хлорита и некоторых других минералов, а в химическом составе — в повышенном содержании Na₂O и величин LOI, уровень концентраций большинства редких элементов (REE, Ta, Zr, Hf, Y, Th, Cr, Ni, Sc и ряда других) не зависит от степени изменения пород и их геохимическая специфика сохраняется.

4. В целом по особенностям редкоземельного состава (прежде всего величинам La/Yb, K/La, Rb/La, La/Cs отношений) изученные магнезиальные андезиты близки геохимическому прототипу магнезиальных андезитов *A*-типа с о. Адак (Центральные Алеуты), но отличаются от последних по минеральному составу.

5. Дайки магнезиальных андезитов отличаются от развитых совместно с ними даек диорит-порфиритов—микродиоритов не только более высокими значениями коэффициента магнезиальности и более высокими концентрациями Ni, Cr в породах одинаковой кремнекислотности, но также более

низкими содержаниями Yb, Ta, Y, что позволяет предполагать генетическую независимость исходных для них расплавов.

Авторы благодарны коллективу Кроноцкой партии объединения „Камчатгеология“, совместно с которым проводились полевые исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 95-05-14303) и Международного научного фонда (гранты RMJ 000 и RMJ 300).

ЛИТЕРАТУРА

1. Kay R. W. Aleutian magnesian andesites: melts from subducted Pacific oceanic crust // *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 1978, v. 4, p. 497—522.
2. Tatsumi Y., Ishizaka K. Origin of high-magnesian andesites in the Setouchi volcanic belt, southeast Japan: Petrographical and chemical characteristics // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1982, v. 60, p. 293—304.
3. Saunders A. D., Rogers G., Marriner G. F. et al. Geochemistry of Cenozoic volcanic rocks Baja, California, Mexico: implications for petrogenesis of post-subduction magmas // *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 1987, v. 32, p. 223—245.
4. Keleman P. B. Origin of high-Mg# andesites and the continental crust // *Miner. Mag.*, 1994, v. 58A, p. 464—465.
5. Yogodzinski G. M., Kay R. W., Volynets O. N. et al. Magnesian andesites in the Western Aleutian — Komandorsky region: implication for slab melting and processes in the mantle wedge // *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1995, v. 107, p. 505—519.
6. Вольнец О. Н., Колосков А. В., Ягодзински Дж. и др. Бонинитовая тенденция в лавах подводного вулкана Пийпа и его обрамления (западная часть Алеутской дуги). 1. Геология, петрохимия, минералогия // *Вулканология и сейсмология*, 1992, № 1, с. 3—23.
7. Yogodzinski G. M., Volynets O. N., Koloskov A. V. et al. Magnesian andesites and the subduction component in a strongly calc-alkaline series at Piip volcano, Far Western Aleutians // *J. Petrol.*, 1994, v. 34, part 2, p. 113—204.
8. Volynets O. N., Koloskov A. V., Yogodzinski G. M., Kay R. W. Two types of magnesian andesites from the south part of Komandorsky basin, Bering sea // *The Third Conference on Asian Marine Geology (Evolution and Dynamics of the Asian Seas). Abstract volume. Cheju, Korea, 1995*, p. 204—205.
9. Вольнец О. Н., Флеров Г. Б., Шанцер А. Е., Мелекесцев И. В. Курило-Камчатская островная дуга. Камчатский сегмент // *Петрология и геохимия островных дуг и окраинных морей*. М., Наука, 1987, с. 56—85.
10. Мелекесцев И. В., Вольнец О. Н., Ермаков В. А., Кирсанова Т. П. Вулкан Шивелуч // *Действующие вулканы Камчатки*. Т. 1. М., Наука, 1991, с. 84—92.
11. Иващенко Р. У., Казакова Э. Н., Стрельцов М. И. Вогезиты п-ова Камчатский мыс // *Докл. АН СССР*, 1980, т. 250, № 1, с. 180—183.
12. Тихомирова С. Р. Миоцен-раннеплиоценовый магматизм западного фланга Алеутской островной дуги // *Изв. вузов. Геология и разведка*, 1994, № 1, с. 23—32.
13. Хотин М. Ю. Эффузивно-туфокремнистая формация Камчатского мыса. М., Наука, 1976, 194 с.
14. Лодочников В. Н. Главнейшие породообразующие минералы. М., Недра, 1974, 248 с.
15. Дир У. А., Хаун Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. Т. 4. Каркасные силикаты. М., Мир, 1966, 482 с.
16. Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги / Ред. Пушаровский Ю. М. М., Наука, 1992, 538 с.
17. Кадик А. А., Максимов А. П., Иванов Б. В. Физико-химические условия кристаллизации андезитов. М., Наука, 1986, 158 с.
18. Stern R. A., Hanson G. N. Archean high-Mg granodiorite: A derivative of light rare earth element-enriched monzodiorite of mantle origin // *J. of Petrol.*, 1991, v. 32, p. 201—238.
19. Gill J. B. Orogenic andesites and plate tectonics. Berlin: Springer-Verlag, 1981, 390 p.
20. Defant M. D., Drummond M. S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere // *Nature*, 1990, v. 347, p. 662—665.
21. Baranov B. C., Seliverstov N. I., Murav'ev A. V., Muzurov E. L. Kommandorsky boundary // *Tectonophysics*, 1991, v. 199, p. 237—269.
22. Kay S. M., Kay R. W. Aleutian magmas in space and time // *Geological Society of America, Decade of North American Geology: The geology of Alaska / Eds. Plafker G., Berg H. C. Boulder. Colorado, 1994*, v. G-1, p. 687—722.

24. Monzier M., Danyshevsky C. V., Crowford A. J. et al. High-Mg andesite from the southern termination of the New Hebrides island arc (SW Pasific) // J. Volcanol. and Geotherm. Res., 1993, v. 51, p. 193—217.
25. Hickey R.L., Frey F.A. Rare-earth element geochemistry of Mariana fore-arc volcanics: deep-sea drilling project, site 458 and hole 459 B // Init. reports of the Deep Sea Drilling project. Washington D.C., 1982, v. 60, p. 265—280.
26. Hickey R.L., Frey F.A. Geochemical characteristics of boninite series volcanics: implications for their source // Geochim. Cosmochim. Acta, 1982, v. 46, p. 2099—2115.

*Рекомендована к печати 19 июня 1998 г.
В. А. Кутолиным*

*Поступила в редакцию 20 августа 1996 г.,
после доработки — 19 июня 1998 г.*