

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

# ГЕОХИМИЯ

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

3

МОСКВА · 1975

УДК 550.40

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОЛИВИНОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ БАЗАЛЬТОВ КАМЧАТКИ И КУРИЛ В СВЯЗИ С ВОПРОСАМИ ПЕТРОГЕНЕЗИСА

О. Н. ВОЛЫНЕЦ, А. В. КОЛОСКОВ, Э. И. ПОПОЛИТОВ, В. М. НОВИКОВ,  
И. Т. КИРСАНОВ, Г. Б. ФЛЕРОВ, Ю. М. ДУБИК

*Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР, Петропавловск-Камчатский  
и Институт геохимии СО АН СССР, Иркутск*

Изучено распределение главных (Mg, Fe) и малых (Ca, Mn, Ti, Al, Co, Ni, Cr) элементов в оливинах четвертичных базальтов Камчатки, Курильских островов и полнокристаллических включений в них. В основу работы положено 45 полных силикатных анализов оливинов (34 из них не опубликованы) и более 70 анализов мономинеральных проб на отдельные элементы, выполненных методом атомной абсорбции. Показано, что оливины из разных типов базальтов Камчатки и Курил отличаются по магнизальности, а также по содержанию элементов-примесей. Содержание Ni в оливинах обнаруживает прямую, а Mn и Co — обратную зависимость от содержания Fe-молекулы. Содержание Ca, Ti, Al не коррелируется с содержанием Fe. По содержанию Cr обнаруживаются две региональные группы: с одной стороны, базальты Восточной Камчатки и Курил, с другой — Центральной Камчатки. В целом особенности химизма оливинов согласуются с особенностями химизма вмещающих пород.

Среди четвертичных базальтов Камчатки и Курил выделяются следующие типы [1]: высокоглиноземистые (известково-щелочные), обычные для островных дуг; низкокальциевые (близкие к океаническим толеитам), высокомагнезиальные (близкие к оливиновым толеитам), субщелочные (как высокоглиноземистые, так и высокомагнезиальные). Эти типы базальтов отличаются по содержанию и соотношению петрогенных элементов — Na, K, Al, Mg, а также малых элементов — Rb, Li, Ba, Sr, Co, Ni, Cr и т. д. [2].

В ассоциации с низкокальциевыми базальтами встречены оливин-анортитовые, оливин-пироксен-анортитовые включения типа алливалитов, троктолитов, эвкритов. В связи с другими типами базальтов отмечаются ультраосновные включения состава оливинитов, гарцбургитов, лерцолитов. В целом, однако, и те и другие включения значительно чаще встречаются в ассоциации с породами более кислыми, чем базальты. Особенно обильны они в андезитовой и андезитодацитовой пирокластике.

Поставив перед собой задачу сравнительного анализа особенностей минерального состава выделенных типов базальтов и включений в них, авторы настоящего сообщения излагают результаты изучения составов оливинов как одного из типичных и информативных минералов этих пород. В основу работы положены результаты 45 полных силикатных анализов оливинов (34 из них не опубликованы) и 72 анализов мономинеральных проб на отдельные элементы (Mg, Fe, Ca, Mn, Co, Ni, Cr), выполненные методом атомной абсорбции. Кроме того, для определения железистости оливинов использовались многочисленные (более 300) определения показателей преломления их (методом вращающейся иглы на приборе ППМ-1). Для сравнения привлекаются данные авторов по оливинам из ультраосновных интрузий Камчатки, а также литератур-

Таблица 1

Состав оливинов из различных типов базальтов Камчатки и Курил

Базальты *	Mg, %	Fe, %	Fe <sub>0</sub> , %	Ca, %	Ni, γ	Co, γ	Cr, γ	Mn, %	Al, %	Ti, %
1	27,05 (19) 24,88—29,57	9,49 (19) 7,49—13,07	86,7 (19) 81,2—89,9	0,60 (19) 0,17—1,94	1614 (23) 890—2310	214 (19) 160—250	543 (23) 137—1000	0,13 (10) 0,10—0,19	0,58 (10) 0—1,59	0,064 (8) 0,0—0,12
2	26,32 (3) 25,49—27,55	11,35 (3) 11,27—11,42	84,1 (3) 83,7—84,7	0,42 (5) 0,32—0,53	4240 (6) 800—1550	217 (7) 400—270	341 (7) 140—710	0,22 (3) 0,16—0,26	0,30 (2) 0,31—0,28	0,054 (2) 0—0,108
3	24,27 (14) 22,98—25,93	14,90 (14) 11,67—17,09	78,98 (14) 75,5—83,2	0,47 (16) 0,13—0,82	624 (13) 230—1000	254,3 (7) 210—270	81,5 (12) 10—165	0,22 (10) 0,18—0,24	0,25 0—0,52	0,06 (7) 0—0,16
4	24,54 (1)	15,78 (1)	78,1 (1)	0,3 (3) 0,2—0,45	626,7 (3) 500—780	233,3 (3) 210—250	113,3 (3) 60—160	0,25 (3) 0,24—0,27	—	—
5	20,17 (3) 19,61—20,86	20,17 (3) 19,95—20,45	69,6 (3) 69,2—70,4	0,96 (3) 0,41—1,61	290 (3) 190—390	270 (2) 250—290	140 (2) 140—140	0,35 (2) 0,34—0,36	0,67 (1)	0,06 (1)

\* Базальты Камчатки: 1 — высокомагнезиальные; 2 — высокоглинцезистые; 3 — низкоглинцезистые; базальты Курил: 4 — высокоглинцезистые; 5 — субщелочные; в скобках — количество проб.

Таблица 2

Состав оливинов из различных типов включений в базальтах Камчатки и Курил, а также из альпидных гипербазитов Восточной Камчатки

Породы *	Mg, %	Fe, %	Fe <sub>0</sub> , %	Ca, %	Ni, γ	Co, γ	Cr, γ	Mn, %	Al, %	Ti, %
1	29,48 (13) 28,19—30,73	6,89 (13) 5,55—8,15	90,77 (13) 89,2—92,6	0,38 (14) 0—0,52	2441 (6) 1410—2570	202 (6) 180—230	215 (6) 120—170	0,11 (11) 0,04—0,18	0,488 (8) 0—0,48	0,009 (8) 0,0—0,048
2	—	—	—	0,48 (1)	190 (1)	190 (1)	150 (1)	0,15 (1)	—	—
3	23,94 (23) 22,21—26,15	15,33 (23) 15,33 (23)	78,2 (23) 75,0—82,3	0,52 (25) 0,42—1,00	415 (10) 230—630	259 (10) 240—280	51,7 (10) 20—150	0,24 (19) 0,19—0,31	0,31 (15) 0,0—1,02	0,092 (14) 0,0—0,22
4	23,46 (3) 22,39—23,75	17,58 (3) 16,07—18,83	75,27 (3) 73,1—76,8	0,45 (3) 0,00—0,27	240 (1)	270 (1)	45 (2) 30—60	0,24 (2) 0,23—0,25	0,48 (2) 0,20—0,77	0,039 (2) 0,03—0,048
5	29,94 (8) 29,25—30,53	6,65 (8) 5,98—7,31	91,23 (8) 90,4—92,17	0,32 (8) 0,19—0,46	2610 (4) 2510—2660	207,5 (4) 190—220	135 (4) 50—240	0,09 (5) 0,08—0,09	0 (4)	0 (4)

\* 1 — перidotитовые включения Камчатки; 2 — оливинитовые включения Курил; 3 — оливин-агеритовые включения Камчатки; 4 — оливин-агеритовые включения Курил; 5 — перidotитовые альпидные гипербазиты Восточной Камчатки.

ные данные по составам этого минерала в четвертичных базальтах Японии [3], Гавайских островов, третичных толеитах Шотландии [4], а также ультраосновных включений в базальтах [5].

Вкрапленники оливина встречаются в подавляющем большинстве четвертичных базальтов Камчатки и Курил. Содержание их колеблется от долей процента до 10—12%, при среднем значении около 3%. Максимальные содержания отмечаются в высокомагнезиальных базальтах. Для фенокристов оливинов характерны идиоморфные формы и коррозия основной массой. Нередко проявлена спайность по (010) и (001), особенно во включениях.

Судя по результатам определений показателей преломления оливинов, содержание форстеритовой молекулы в них колеблется от  $Fo_{60}$  до  $Fo_{100}$ . При этом заметные колебания в содержании  $Fo$  (до 15—20%) могут наблюдаться для оливинов из одного образца. Вариации средних составов оливинов из отдельных пород, полученные на основе химического и атомно-абсорбционного анализа валовых мономинеральных проб, несколько более узкие  $Fo_{65}$ — $Fo_{90}$  (табл. 1). Анализ табл. 1 показывает, что средние составы оливинов из различных типов базальтов отличаются по магнезиальности. В порядке убывания магнезиальности оливинов намечается следующий ряд базальтов: оливин-толеитовые ( $\bar{x} Fo = 86,7$ ), высокоглиноземистые Камчатки ( $\bar{x} Fo = 84,1$ ), низкокальневые Восточной Камчатки и высокоглиноземистые Курил ( $\bar{x} Fo = 78,9$ — $78,1$ ), субщелочные западной зоны Курил ( $\bar{x} Fo = 69,6$ ). Однако вариации содержаний форстерита в оливинах каждого типа базальтов довольно широки и для разных типов перекрываются. В связи с этим магнезиальность оливинов близких по химизму базальтов разных вулканов может отличаться, а разных по химизму базальтов одного вулкана быть сходной. Так, оливины из оливин-толеитовых базальтов вулкана Горелый содержат  $Fo_{81,5}$ , а аналогичных базальтов вулкана Шивелуч —  $Fo_{89,5}$ . Напротив, оливины высокоглиноземистых и оливин-толеитовых базальтов Ключевского вулкана характеризуются близкими содержаниями  $Fo$  — 84,1 и 85,8% соответственно.

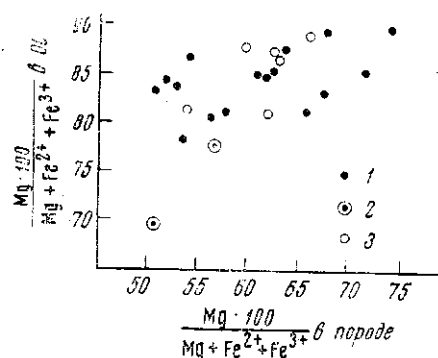


Рис. 1. Соотношение между магнезиальностью оливинов и вмещающих пород

Базальты: 1 — Камчатки; 2 — Курил; 3 — Гавайских островов

В целом магнезиальность оливинов зависит от магнезиальности валовых составов пород: так в оливин-толеитовых базальтах Камчатки величина  $mg = \frac{Mg \cdot 100}{Mg + Fe^{2+} + Fe^{3+}} = 67,2$  (среднее из 22 анализов), в высокоглиноземистых — 55,1 (среднее из 39), в низкокальневых — 52,1 (среднее из 10). Наглядное представление о соотношении магнезиальности оливинов и пород дает рис. 1. Как видно на рисунке, сходная зависимость наблюдается и для гавайских лав, данные по которым взяты из [6].

Оливины полнокристаллических включений также неодинаковы по магнезиальности (табл. 2). Четко выделяются две группы: высокомагнезиальные оливины ультраосновных бесполевошпатовых включений (оливинитов, гарцбургитов, лерцолитов) —  $\bar{x} Fo = 90,8$  и значительно более железистые оливины анортитсодержащих включений —  $\bar{x} Fo = 75,3$  (Курилы),  $\bar{x} Fo = 78,2$  (Камчатка). Первые близки по составу к

Оливины полнокристаллических включений также неодинаковы по магнезиальности (табл. 2). Четко выделяются две группы: высокомагнезиальные оливины ультраосновных бесполевошпатовых включений (оливинитов, гарцбургитов, лерцолитов) —  $\bar{x} Fo = 90,8$  и значительно более железистые оливины анортитсодержащих включений —  $\bar{x} Fo = 75,3$  (Курилы),  $\bar{x} Fo = 78,2$  (Камчатка). Первые близки по составу к

оливином альпинотипных гипербазитов Камчатки ( $\bar{x} Fo=92,0$ ) и некоторых оливин-толеитовых базальтов (например, вулкана Шивелуч, где  $\bar{x} Fo=89,5$ ), вторые — к оливином низкокальциевых базальтов Камчатки и Курил, в ассоциации с которыми они обычно встречаются.

Отличающиеся по магниальности оливины характеризуются также разными концентрациями малых элементов — Ni, Co, Mn и др. (табл. 1,

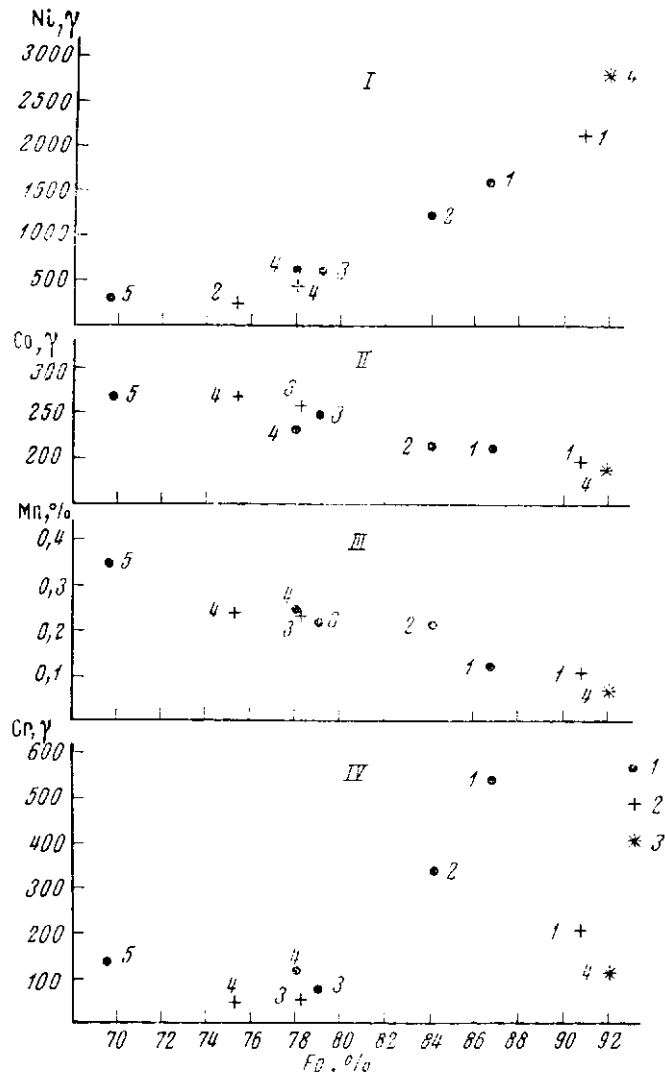


Рис. 2. Диаграммы корреляционной зависимости между содержаниями Ni (I), Co (II), Mn (III), Cr (IV) и форстерита в оливинах из различных типов пород Камчатки и Курил 1 — базальты; 2 — включения в базальтах; 3 — альпинотипные гипербазиты. Цифры на графиках соответствуют порядковому номеру соответствующего типа пород в табл. 1 и 2

2). При этом наблюдается прямая корреляция между содержанием форстеритовой молекулы в оливинах и содержанием Ni и обратная между Fo, с одной стороны, и Mn и Co — с другой (рис. 2). Наличие подобной зависимости неоднократно отмечалось ранее [4]. Примечательно, что в единый ряд объединяются и оливины разных типов базальтов Камчатки и Курил, и разных по составу включений в них, и альпинотипных гипербазитов Камчатки.

На корреляционной диаграмме  $Fe—Cr$  выделяются две резко обособленные группы фигуративных точек: первая, соответствующая оливинам низкокальциевых базальтов Камчатки, высокоглиноземистых и субщелочных базальтов Курил и оливинам анортитсодержащих включений; вторая, соответствующая оливинам высокомагнезиальных и высокоглиноземистых базальтов Камчатки, перидотитовых включений в них и камчатских гипербазитов. Аналогичные группы оливинов наблюдаются и на любых корреляционных диаграммах, где участвует  $Cr$ . Кроме того, оливины этих групп базальтов отличаются также по абсолютным содержаниям  $Fe$ ,  $Co$ ,  $Mn$  (более высокие в первой группе) и  $Mg$ ,  $Ni$  (более высокие во второй группе).

Особенности химизма оливинов согласуются со спецификой химизма вмещающих пород. Это хорошо видно на примере вариаций  $Ni/Co$ -отношения (табл. 3).

Таблица 3

$Ni/Co$ -отношения в валовых составах пород и в оливинах из них

Тип базальтов	Валовый состав	Оливин
Высокомагнезиальные базальты Камчатки	2,7	7,7
Высокоглиноземистые » »	1,4	5,7
Низкокальциевые базальты Камчатки	0,7	2,3
Субщелочные базальты Курил	0,5	1,1
Оливин-анортитовые включения Камчатки	0,7	1,6
Ультраосновные » »	12,4	10,5
Альпийотипные гипербазиты Камчатки	15,5	14,9

Таким образом, наличие двух резко различающихся групп оливинов, возможно, свидетельствует о самостоятельности соответствующих групп базальтов. Кажется вероятным, что низкокальциевые базальты Восточной Камчатки генетически стоят ближе к базальтам Курил, чем к другим типам базальтов Камчатки.

Что касается оливин-анортитовых включений, то приведенный геохимический материал лишней раз подчеркивает родство их по отношению к вмещающим низкокальциевым базальтам. Оливины из ультраосновных включений, хотя и приближаются по своим геохимическим особенностям к оливинам из некоторых высокомагнезиальных базальтов (вулкан Шивелуч), но в целом ближе стоят к оливинам из альпийотипных гипербазитов Камчатки.

Сравнение полученных данных с материалами по другим регионам позволяет коснуться вопросов генетической интерпретации геохимических особенностей оливинов. На корреляционных диаграммах (рис. 3) нанесены значения содержаний  $Ni$ ,  $Co$ ,  $Mn$  и  $Ca$  в зависимости от содержания  $Fe$  в оливинах из базальтов, включений в них и интрузий различных регионов: Камчатки и Курил, Японии [3, 5], Гавайских островов [4, 7] и Шотландии [4]. Как видно на диаграмме  $Fe—Ni$  (рис. 3, I), оливины из разных регионов при сходных значениях  $Fe$  отличаются содержаниями  $Ni$ : максимальными — для Шотландии, промежуточными — для Гавайских островов и минимальными — для Камчатки, Курил и Японии. Эта закономерность прослеживается в равной степени для оливинов из лав, включений и интрузий. Любопытно совпадение полей фигуративных точек для Камчатки, Курил, Японии и смещение их для других регионов. Однако по содержанию  $Co$  оливины магматических пород Японии заметно отличаются от камчатских и курильских (рис. 3, II). По характеру накопления  $Mn$  в оливинах сравниваемых регионов

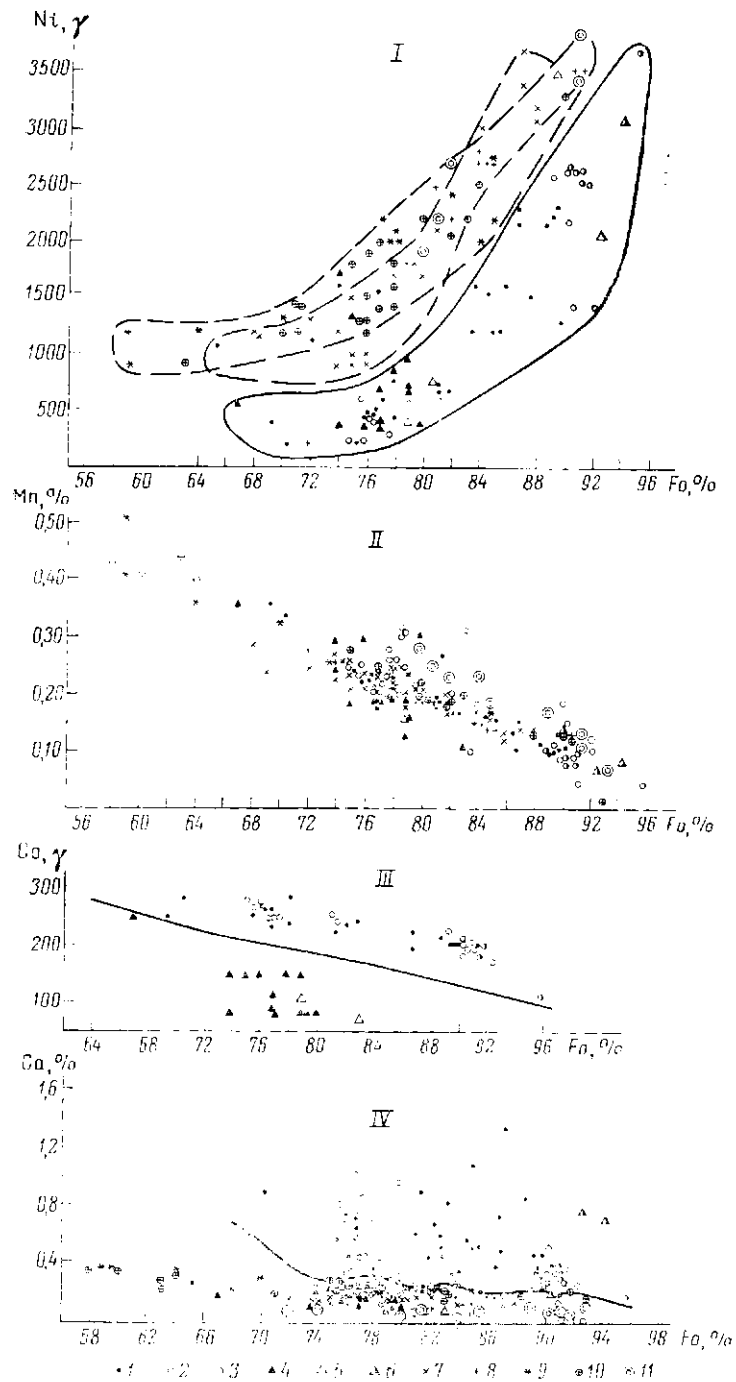


Рис. 3. Диаграммы корреляционной зависимости между содержаниями Ni (I), Mn (II), Co (III), Ca (IV) и форстерита в оливинах из магматических пород различных регионов

Камчатка и Курилы: 1 — базальты, 2 — включения в базальтах, 3 — гипербазиты; Япония: 4 — базальты, 5 — включения в базальтах, 6 — гипербазиты; Гавайские острова: 7 — базальты, 8 — включения в базальтах; Шотландия: 9 — базальты, 10 — гиабиссальные интрузии, 11 — абиссальные интрузии

никаких существенных различий не наблюдается (рис. 3, III). По содержанию Са оливины магматических пород Камчатки и Курил резко отличаются от оливинов других регионов (рис. 3, IV). При значениях  $Fo_{70-90}$  оливины Японии, Гавайских островов и Шотландии содержат, как правило, менее, а Камчатки и Курил — более 0,25% Са. При  $Fo > 90$  оливины из некоторых гипербазитов Камчатки содержат менее 0,25% Са, а некоторых японских гипербазитов характеризуются резко повышенным содержанием этого элемента. При  $Fo < 70$  отмечается повышение кальциевости некоторых шотландских оливинов, а также резко повышенное содержание Са в субщелочных базальтах Курил.

Обобщая большой фактический материал по содержанию Са в оливинах из различных магматических пород, Т. Симкин и Дж. Смит [4] предложили проводить границу между «вулканическими» и «плутоническими» оливинами по значению Са в них 0,1%, а основным фактором, определяющим степень вхождения Са в решетку оливина, считают давление. Что касается рассматриваемых интрузивных пород, то содержание Са во всех оливинах из камчатских и японских гипербазитов выше 0,1%, а распределение этого элемента в оливинах лав, в первую очередь, определяется фактором региональной приуроченности.

Таким образом, при региональных сопоставлениях оливинов показательным является содержание в них таких элементов, как Ni, Co и Са. Однако роль этих элементов для разных регионов различна. Как уже отмечалось, оливины Камчатки и Японии не различаются по содержанию Ni, но отличаются по Co. Максимальная кальциевость камчатских оливинов сочетается с их минимальной никелистостью, для японских же оливинов характерны минимальные содержания и Са и Ni. Весьма важной особенностью является также сохранение региональной геохимической специфики на Ni, Co, Са оливинов из различных типов базальтов, а также для пород разных фаций глубинности (эффузивы, интрузии, включения) и возраста. Последнее исключает возможность объяснения региональной геохимической специфики оливинов степенью консолидации региона, типом коры и характером геологических структур. Следовательно, причины региональной геохимической специфики оливинов следует искать либо в региональной геохимической специализации базальтов (которая, в свою очередь, определяется особенностями состава мантийного субстрата, или условиями выплавки), либо в закономерно повторяющихся для данного региона условиях кристаллизации оливинов. В пользу последнего предположения свидетельствуют, например, данные по Са. При близких содержаниях Са в базальтах Камчатки и Курил, с одной стороны, Японии и Гавайских островов, с другой, оливины из них характеризуются резко различными содержаниями этого элемента.

Поступила в редакцию  
2 июня 1974 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рудич К. Н., Волюнец О. П., Ермаков В. А., Колосков А. В. Многообразие вулканических пород Камчатки и проблемы их генезиса. Материалы IV Вулканол. совещания. Владивосток, 1974.
2. Леонова Л. Л., Пополитов Э. И., Волюнец О. П. и др. Типы четвертичных базальтов Камчатки в связи с проблемой первичных магм. Материалы IV Вулканол. совещания. Владивосток, 1974.
3. Iida S., Kuno H., Yamasaki K. Trace elements in minerals and rocks of the Izu-Hakone region, Japan. Part 1, Olivine.—Nagoya Univ. J. Earth Sci., v. 9, № 1, 1961.
4. Simkin T., Smith J. V. Minor elements distribution in olivine.—J. Geol., v. 78, № 3, 1970.
5. Ross C., Foster M., Myers A. Origin of dunites and of olivine rich inclusions in basaltic rocks.—Amer. Mineralogist, v. 39, № 9—10, 1954.



6. Грин Д. Х., Рингауд А. Е.: Происхождение базальтовых магм.— В сб.: Происхождение главных серий изверженных пород по данным экспериментальных исследований. «Недра», М., 1970.
7. Häkli T. A., Wright T. L. The fractionation of nickel between olivine and augite as a geothermometer.— *Geochim et cosmochim. acta*, v. 31, № 5, 1967.

---

GEOCHEMICAL PECULIARITIES OF OLIVINES FROM VARIOUS TYPES  
OF QUARTERNARY BASALTS OF THE KAMCHATKA AND THE KURIL ISLANDS  
IN CONNECTION WITH PROBLEMS OF PETROGENESIS

O. N. VOLYNETS, A. V. KOLOSKOV, E. I. POPOLITOV, V. M. NOVIKOV,  
I. T. KIRSANOV, G. B. FLEROV, Yu. M. DUBIK

*Institute of Volcanology of the Far-East Scientific Center of the USSR Academy  
of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatski and Institute of Geochemistry,  
Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, Irkutsk*

The distribution of major (Mg, Fe) and minor (Ca, Mn, Ti, Al, Co, Ni, Cr) elements in olivines of quarternary basalts of the Kamchatka, the Kuril Islands and of the holocrystalline inclusions in them has been studied. The work is based on 45 complete silicate analyses of olivines and more than 70 analyses of monomineral samples for separate elements carried out by the method of atomic absorption. It is shown that olivines from various basalt types of the Kamchatka and the Kuril Islands differ in magnesium content, as well as in the content of admixture-elements. The content of Ni in olivines shows a direct and that of Mn and Co an inverse relationship to the Fo-molecule content. The Ca, Ti, Al content does not correlate with the Fo content. Two regional groups are revealed by Cr content: 1) basalts of the Eastern Kamchatka and the Kuril Islands, 2) those of the Central Kamchatka.