

А.А. ЦВЕТКОВ, Н.Г. ГЛАДКОВ, О.Н. ВОЛЫНЕЦ

**ПРОБЛЕМА СУБДУКЦИИ ОСАДКОВ И ИЗОТОП ^{10}Be
В ЛАВАХ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ И КАМЧАТКИ***(Представлено академиком Ф.В. Чухровым 5 1 1988)*

При изучении островодужного магматизма одним из важнейших является вопрос о его источниках. Ключевая проблема в связи с этим — доказательство субдукции океанской плиты под островную дугу и участия слагающих ее пород, в первую очередь осадков, в островодужном магматизме [1—3].

Известно [4], что короткоживущий (период полураспада - 1,5 млн. лет) космогенный изотоп ^{10}Be концентрируется в пелитовых осадках, покрывающих океанское дно (более $1 \cdot 10^9$ ат/г). Содержание ^{10}Be в осадках более чем в 1000 раз превышает его содержание в базальтах срединно-океанических хребтов (MORB) и базальтах океанских островов — других слагаемых субдуцируемой литосферной плиты, а в мантийных ультрабазитах вообще равно нулю. В случае вовлечения осадочной компоненты в процесс выплавления островодужных магм в современных лавах островных дуг должно фиксироваться повышенное количество ^{10}Be (более $1 \cdot 10^6$ ат/г) по сравнению с лавами вулканов, не связанных с зонами субдукции (острова, рифты и т.п.). Действительно, такие явления установлены для ряда областей конвергенции плит (Алеутская и Японская дуги, Центрально-Американские Кордильеры, Чилийско-Перуанский сегмент Анд). В то же время известны островные дуги (Зондская, Марианская, Хальмахера), в лавах которых содержание изотопа ^{10}Be сопоставимо с его содержанием в лавах срединно-океанических хребтов, океанских островов и молодых континентальных платобазальтах (менее $1 \cdot 10^6$ ат/г). Такие факты обычно интерпретируются как свидетельство преобладания аккреционных процессов, приводящих к "скупиванию" осадков у подножия дуги, над их субдукцией.

В отделе земного магнетизма Института Карнеги в Вашингтоне (США) под руководством проф. Ф. Тера и Дж. Моррис в 23 образцах современных лав Курило-

Т а б л и ц а 1
Содержание ^{10}Be в современных лавах Курило-Камчатской островодужной системы и Северной Японии

№ п.п.	Вулкан, остров, структурная зона	Дата извержения	Порода	№ обр.	^{10}Be , 10^{-6} ат/г
К у р и л ь с к и е о с т р о в а					
1	Тятя, о. Кунашир, ф	1973	Б	8342/2	2,2
2	Медвежий, о. Итуруп, ф	1883	А	В-15-392	7,9
3	Берга, о. Уруп, ф	1937	"	111-Б	4,1
4	Черного, о. Чирпой, ф	1857	"	В-15-325	5,2
5	Заварицкого, о. Симушир, ф	1957	"	ФБ-37	5,4
6	Сарычева, о. Матуга, ф	1976	А-Б	М-764	3,4
7	Чиринкотан, о. Чиринкотан, т	1980	А	В-11-527	6,7
8	То же	1980	"	В-11-527А	6,7
9	Креницына, о. Онекотан, ф	1952	"	8322/3	2,6
10	Алаид, о. Атласова, т	1934	Б	2/3-81	3,6
11	То же	1972	"	В-11-575	3,6; 3,7
12	"	1972	"	В-11-576	3,2
13	"	1981	"	<u>А-3(6)</u> А-81	4,2
К а м ч а т к а					
14	Опала, т	500 (^{14}C)	Р	86-204	2,5
15	Авачинский, ф	1938	А-Б	29147	0,7; 0,8
16	Карымский, ф	1976	"	Кр-476	1,2
17	Крашенинникова, ф	1400 (^{14}C)	Д	629/2	3,7
18	Толбачик, т	1975	Б	6010	1,0
19	"	1975	"	ТОЛ-1	0,0
20	Безымянный, ф	1977	А	6462	1,0
21	Ключевской, ф	1932	А-Б	3-8	0,4
22	"	1983	"	115/83	0,4
23	Шивелуч, ф	1980	А	8037	0,6
С е в е р н а я Я п о н и я [4]					
24	Раусудакэ, о. Хоккайдо, ф	?	?	?	2,5
25	Меакан, о. Хоккайдо, ф	?	?	?	2,2
26	Такачи, о. Хоккайдо, т	?	?	?	2,2
27	Турумани, о. Хоккайдо, ф	?	А	0805-04	0,5
28	Усу, о. Хоккайдо, ф	1978	"	0805-03	0,2
29	Эсан, о. Хоккайдо, ф	?	?	0,805-012	13,5
30	Камагатаки, о. Хоккайдо, ф	?	А	0805-02	4,4
31	Осима-Осима, о. Осима-Осима, т	1741 (?)	Б, Д	0805-01	0,5; 0,5; 1,4; 1,7
32	Фунагата, о. Хонсю, ф	?	Б, А	?	0,8; 0,6; 0,3; 0,1
33	Фудзи, о. Хонсю, ф	864	Б	0803-03	0,2

П р и м е ч а н и е. Проанализированы образцы из следующих коллекций: нис "Вулканолог" — 2, 4, 7, 8; А.В. Колоскова — 1, 9; Б.Н. Пискунова — 3; Г.Б. Флерова — 5; В.Н. Андреева — 6, 20; А.А. Цветкова — 10; Г.П. Авдейко — 13; И.В. Мелекесцева — 14; М.Ю. Пузанкова — 15; И.Б. Симбирева - 16; В.В. Пономаревой — 17; О.Н. Вольница — 18; Д.И. Фрих-Хара — 19; А.Н. Озерова — 21, 22; Ю.М. Дубика — 23. Структурные зоны: ф — фронтальная, т — тыловая. Породы: Б — базальт, А — андезит, А — Б — андезито-базальт, Р — риолит, Д — дацит

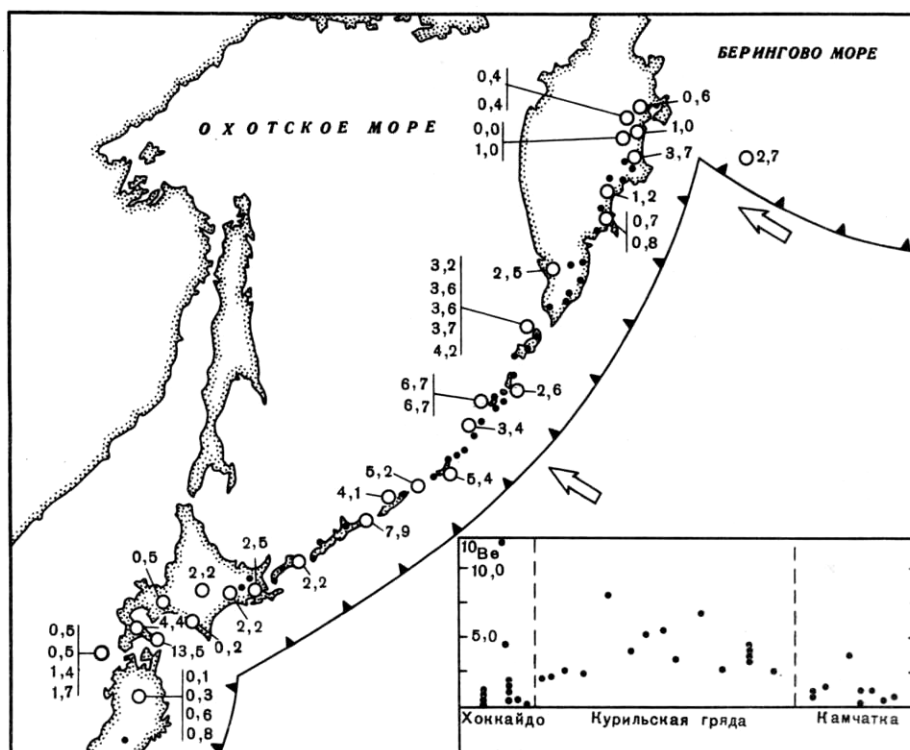


Рис. 1. Распределение ^{10}Be в современных лавах курильских, камчатских и японских вулканов. На врезке - изменение содержаний ^{10}Be в направлении простираения Курило-Камчатской островодужной системы. Содержание ^{10}Be - 10^6 ат/г. Стрелки - направление перемещения субдицируемой тихоокеанской плиты; сплошная линия - положение Курило-Камчатского и Алеутского глубоководных желобов. Полые кружки - вулканы, в лавах которых определено содержание ^{10}Be , залитые - прочие активные вулканы

Камчатской островной дуги — продуктах исторически датированных извержений — было выполнено 25 определений количества ^{10}Be . Это первые определения изотопа ^{10}Be для данного региона, представляющего собой единственную активную островную дугу Советского Союза. Измерения проводились по известной методике, включающей предварительную подготовку проб (выпиливание центральной, неизменной части образцов), химическую обработку с целью выделения Be и масс-спектрометрию. Анализировался достаточно широкий петрографический спектр пород - от базальтов до риолитов (табл. 1).

Установлено, что в образцах курильских дав ^{10}Be присутствует в количестве $2,2\text{—}7,9 \cdot 10^6$ ат/г, тогда как в лавах камчатских вулканов его содержание значительно ниже и колеблется от 0 до $3,7 \cdot 10^6$ ат/г, причем лишь для двух вулканов — Опала и Крашенинникова — количество определенного ^{10}Be превышает $1,2 \cdot 10^6$ ат/г. Заметим, что согласно многим исследователям Курильский сегмент Курило-Камчатской островодужной системы заканчивается не на широте Северных Курил, а продолжается на территорию Камчатского полуострова, захватывая южную его часть, вплоть до Начикинской складчато-глыбовой поперечной зоны, аналогично тому, как на юге Курильский сегмент продолжается на территорию о. Хоккайдо. Таким образом, одна из "высоких" цифр (вулкан Опала) относится, скорее всего, еще к Курильскому сегменту Курило-Камчатской островодужной системы, хотя сам вулкан располагается на п-ове Камчатка.

При анализе полученных результатов наблюдается тенденция к уменьшению содержания ^{10}Be в лавах на северном и южном флангах Курильского сегмента, там, где островная дуга переходит на более консолидированные структуры (рис. 1). Однако в области ее сочленения с дугой Хонсю содержания ^{10}Be во фронтальной части дуги резко возрастают [4]. При этом на юго-западе о. Хоккайдо наблюдается последовательное уменьшение концентраций ^{10}Be от фронта к тылу дуги: $13,5 \cdot 10^6$ т/г для вулкана Эсан, $4,4 \cdot 10^6$ ат/г для вулкана Камагатаки и $1,5 \cdot 10^6$ ат/г для вулкана Осима-Осима, т.е. имеет место отчетливая поперечная зональность. Интересно отметить, что дальше на юг содержания ^{10}Be опять уменьшаются и на о. Хонсю для вулканов Фунагата и Фудзи составляют менее $1 \cdot 10^6$ ат/г, т.е. лежат в тех же пределах, что и для большинства вулканов Камчатки. Можно предположить, что подобный характер распределения ^{10}Be обусловлен каким-то масштабным планетарным явлением, на которое локально наложены отдельные более мелкие процессы. Так, в частности, наличие двух противоположных по направленности и длительно существующих океанских течений, с юга и севера сходящихся у о. Хоккайдо, вполне могло привести к значительно более быстрому накоплению там осадочного материала, обогащенного ^{10}Be , субдуцирование которого, возможно, и вызвало появление отмеченного тренда. При этом, несомненно, очень важную роль играла и региональная специфика основных геодинамических параметров процесса субдукции на разных участках Курило-Камчатской островодужной системы — угла наклона и скорости конвергенции литосферных плит, наличие продольных и поперечных тектонических нарушений в районе глубоководного желоба, а также вещественный состав и мощность осадков, покрывающих Тихоокеанскую плиту.

Отметим также относительно повышенные содержания ^{10}Be ($6,7 \cdot 10^6$ ат/г — по определениям в двух образцах) в лавах вулкана Чиринкотан в тыловой зоне Северных Курил. Лавы вулканов Креницына на о. Онекотан и Сарычева на о. Матуа, расположенных в 70—100 км от него соответственно к северу и югу и во фронтальной зоне, содержат лишь $2,6—3,4 \cdot 10^6$ ат/г ^{10}Be . Вряд ли следует искать объяснение этим фактам, исходя из предпосылки о большей доли осадочной компоненты в магматическом источнике тыловой зоны по сравнению с магматическим источником фронтальной зоны. Как известно, вулкан Чиринкотан расположен примерно в 250 км от оси глубоководного желоба, а расстояние до сейсмофокальной зоны под ним составляет около 190 км. Исходя из теоретических представлений тектоники плит, маловероятно, что степень контаминации островодужного источника осадочным материалом будет возрастать по мере удаления от фронта конвергирующих плит и заглупления зоны Заварицкого—Беньофа. Поэтому мы считаем, что наличие относительно обогащенных ^{10}Be пород в тылу Курильского сегмента островодужной системы, как и любых других островных дуг Мирового океана, в частности лав о. Богослов в Алеутской дуге ($15,3 \cdot 10^6$ ат/г ^{10}Be), скорее всего является не закономерным, а случайным событием, например за счет существования грабенных или "карманов" на поверхности субдуцируемой плиты в области ее перегиба, где мощность молодых осадков, а следовательно, и суммарное количество ^{10}Be в них резко повышены. Подобные явления задокументированы, в частности, в районе Японского и Центрально-Американского глубоководных желобов и обусловлены тектоническими причинами [5]. В пользу подобной интерпретации свидетельствуют и особенности распределения ^{10}Be в лавах вулканов северо-восточного Хонсю, где, как уже отмечалось, на фоне низких концентраций этого изотопа во фронтальной зоне к северу и к югу от юго-западной оконечности о. Хоккайдо, в пределах сравнительно узкой поперечной зоны, наблюдаются значительно более высокие содержания ^{10}Be , последовательно убывающие от фронтальной к тыловой зоне дуги.

Установленный для Курило-Камчатской островодужной системы характер продольной зональности по ^{10}Be определенным образом повторяет тенденцию к из-

менению изотопных параметров стронция. Так, согласно имеющимся данным [6], отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ на центральном участке Курильского сегмента составляет 0,70316 для лав его фронтального и 0,70298 для лав тылового участка, тогда как в области его перехода на Камчатку и о. Хоккайдо оно несколько повышается соответственно до 0,70338 (фронт) - 0,70315 (тыл) и 0,70350 (фронт) - 0,70330 (тыл). В целом Курильский сегмент Курило-Камчатской островодужной системы вполне сопоставим с такими дугами, как, например, Алеутская, а также Центрально-Американскими Кордильерами (Гватемала, Никарагуа), для которых ранее было установлено участие осадочной компоненты в процессе магмогенезиса. В то же время количество ^{10}Be в камчатских лавах, за указанными исключениями, соизмеримо с количеством ^{10}Be в породах Зондской и Марианской островных дуг, дуги Хальмахера, а также абиссальных толлитах и молодых платобазальтах (траппах), не превышающим $1,0 \cdot 10^6$ ат/г. Причины подобного характера распределения ^{10}Be , по-видимому, могут быть следующие: 1) большая степень распада ^{10}Be в осадках камчатского сегмента дуги, вызываемая более длительной их транспортировкой до уровней магмогенерации (время субдукции для Камчатки ~2,4, для Курил ~2,1 млн. лет). Простейшие расчеты показывают, что камчатские лавы за счет этого должны быть в среднем на 15% беднее ^{10}Be , чем курильские; 2) разубоживание в районе Камчатки наиболее молодых, обогащенных ^{10}Be пелагических осадков, составляющих верхнюю часть субдуцируемой осадочной колонны, терригенным материалом с низким содержанием ^{10}Be (скв. 192 DSDP); 3) преимущественная аккреция верхнего слоя осадочной колонны вблизи Камчатки и его субдукция в районе Курил; 4) значительная контаминация камчатских лав веществом древней континентальной коры; 5) преимущественное вхождение осадочного компонента в источник курильских магм по сравнению с камчатским источником. Есть данные [7], что дифференциация магматического расплава на вулкане Крашенинникова происходила непосредственно в теле вулканической постройки, поэтому повышенные содержания ^{10}Be в его дацитовых лавах ($3,7 \cdot 10^6$ ат/г), возможно, являются следствием процессов ассимиляции магмой молодых осадков, входящих в состав кальдерных отложений.

Проведена оценка количества осадочного материала, участвующего в образовании курило-камчатских магматических расплавов. Расчеты велись по формуле:

$$\eta = \frac{f \eta_0 s}{\lambda h} \exp(-\lambda l / v) \quad [4], \text{ где } \eta - \text{ содержание } ^{10}\text{Be} \text{ (ат/г) в лаве; } \eta_0 = 5 \cdot 10^9 \text{ ат/г -}$$

средняя концентрация ^{10}Be в пелагических осадках Тихого океана; s — скорость осадконакопления (см/год) на поверхности Тихоокеанской плиты вблизи глубоководного желоба; $\lambda = 4,62 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ — скорость распада ^{10}Be ; h — мощность осадочной колонны (см); v — скорость конвергенции литосферных плит (см/год); l — длина траектории (см) по зоне Заварицкого—Беньофа от оси глубоководного желоба до корней вулканов; f — доля осадочной компоненты в лаве. Для Курило-Камчатской островодужной системы нами использованы следующие параметры [8, 9]: $s = 20$ м/млн. лет для Курил и 22 м/млн. лет для Камчатки — эти скорости промежуточные между скоростями осадконакопления в районе Японской и Алеутской островных дуг по [4]; $h = 300$ м для Курил и 400 м для Камчатки; $v = 9,5$ см/год; $l = 230$ км для Курил и 345 км для Камчатки.

Проделанные расчеты показывают, что максимальную долю осадочной составляющей в источнике современных лав Курильских вулканов можно оценить менее чем в 4%, Камчатки — менее чем в 2% (для двух вулканов — менее чем в 3,5%). Эти результаты подтверждают сделанный нами ранее на основании изучения изотопного состава Nd, Sr и распределения РЗЭ [2, 10] вывод о сравнительно незначительном, но реально происходящем вовлечении осадочного материала в процесс магмогенеза в области Курильской островной дуги. Полученные данные являются первым

прямым доказательством реальности механизма субдукции на этом участке зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану, и их следует учитывать при проведении геодинамических реконструкций.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Института вулканологии ДВО АН СССР за предоставленные образцы лав современных вулканов Курильских островов и Камчатки, а также проф. Ф. Тера и Дж. Моррис за аналитическое обеспечение.

Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Академии наук СССР, Москва
Институт вулканологии
Дальневосточного отделения Академии наук СССР,
Петропавловск-Камчатский

Поступило
12 1 1988

ЛИТЕРАТУРА

1. Богатиков О.А., Цветков А.А. Магматическая эволюция островных дуг. М.: Наука, 1988. 312 с.
2. Журавлев Д.З., Цветков А.А., Журавлев А.З. и др. - Геохимия, 1985, № 12, с. 1723-1736.
3. Океанический магматизм - эволюция, геологическая корреляция. М.: Наука, 1986. 270 с.
4. Tera F., Brown L., Morris J. et al. - Geochim. et cosmochim. acta, 1986, vol. 50, p. 535-550.
5. Уеда С. Новый взгляд на Землю. М.: Мир, 1980, 214 с.
6. Вольнец О.Н., Авдейко Г.П., Виноградов В.И., Григорьев В.С. - Тихоокеанская геол., 1988, № 1, с. 19-27.
7. Вольнец О.Н., Пономарева В.В., Цурюпа В.П. - Изв. АН СССР. Сер. геол., 1989, № 12, с. 19-27.
8. Геолого-геофизический атлас Курило-Камчатской островной системы. Л., 1987. 36 с.
9. Тихий океан. Осадкообразование в Тихом океане. Кн. 1, 2. М.: Наука, 1986. 270 с.
10. Цветков А.А. - Изв. АН СССР. Сер. геол., 1983, № 4, с. 3-19.