

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ВУЛКАНИТОВ И ГЕОХИМИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНО ИЗМЕНЕННЫХ ПОРОД ХРЕБТА ВЕРНАДСКОГО (О-В ПАРАМУШИР)

Дриль С.И.¹, Мартынов Ю.А.¹, Рычагов С.Н.², Калачева Е.Г.²,
Сандиминова Г.П.¹, Королева Г.П.¹, Голубева Е.Д.¹

¹ *Институт геохимии им. А.П.Виноградова СО РАН, г.Иркутск,*

E-mail: sdril@igc.irk.ru

² *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г.Петропавловск-Камчатский*

Предложена модель формирования калиевой «аномалии» в плиоцен-четвертичных лавах северного фланга Курильской островной дуги. Мантийным источником базальтов вулканов Карпинского, Чикурачки и Эбеко (о-в Парамушир) являлся деплетированный шпинелевый лерцолит, претерпевший предварительный эпизод флюидно-метасоматического обогащения. Плиоцен-четвертичные базальты острова Парамушир характеризуются высокими величинами LILE/HFSE, что характеризует их как типичные островодужные образования, в которых не устанавливается влияния астеносферного или плюмового источников вещества. Процессы гидротермального изменения пород вблизи промежуточных очагов базальтоидных островодужных магм приводят к формированию значительных объемов ультракислых гидротермалитов, в которых $K_2O \gg Na_2O$ и крайне низки содержания REE и LILE. Эти специфические породы могут вовлекаться в магматический процесс путем непосредственного плавления или в результате ассимиляции базальтоидными расплавами. Показано, что формирование изотопного состава стронция подземных и поверхностных вод гидротермальной системы вулкана Эбеко происходит под влиянием трех источников: стронция атмосферных осадков, стронция морской воды и стронция вмещающих силикатных пород.

ORIGIN OF QUATERNARY VOLCANICS AND GEOCHEMISTRY OF HYDROTHERMALLY ALTERED ROCKS OF THE VERNADSKY RIDGE, PARAMUSHIR ISLAND

Dril S.I.¹, Martynov Yu.A.¹, Rychagov S.N.², Kalacheva E.G.², Sandimirova G.P.¹,
Koroleva G.P.¹, Golubeva E.D.¹

¹ *Institute of Geochemistry, Siberian Branch of Russian academy of Sciences, Irkutsk*

E-mail: sdril@igc.irk.ru

² *Institute of Volcanology and Seismology FED RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky*

The model of origin of potassium "anomaly" in the Pliocene-Quaternary lavas of northern flank of the Kuril Island Arc is considered. Basalts from Karpinskiy, Chikurachki and Ebeko volcanoes (Paramushir Island) can be products of melting of the depleted spinel lherzolite, underwent the recent fluid-metasomatic enrichment. The Quaternary basalts of the Paramushir island are marked by high LILE/HFSE values, that characterizes them as typical island arc formations without influence of asthenosphere or plume sources. The processes of hydrothermal alteration of rocks in the vicinity of intermediate chambers of basaltoid island arc magmas lead to the formation of voluminous ultra-acid hydrothermalites, in which $K_2O \gg Na_2O$, and the contents of REE and LILE are extremely low. These specific rocks can be involved in the magmatic process through melting or due to assimilation of basaltoid melts. It was shown that formation of isotope composition of strontium of underground and surface waters of the hydrothermal system of Ebeko volcano occurs under effect of three sources: strontium of atmospheric precipitation, strontium of marine water and that of hosting silicate rocks.

Вопрос о генезисе магм островных дуг и природе островодужных серий вулканитов остается дискуссионным, несмотря на длительную историю изучения. Для Курильской островной дуги, наряду с поперечной зональностью, многими исследователями [Пискунов, 1987, Богатиков, Цветков, 1988, Федорченко, Родионова, Абдурахманов, 1989, Подводный вулканизм ...1992] отмечается существование продольной геохимической неоднородности, связанной с возрастанием к северу содержания калия в вулканитах, уменьшению величин отношений Na_2O/K_2O , а также возрастанию содержания некогерентных элементов в однотипных породах.

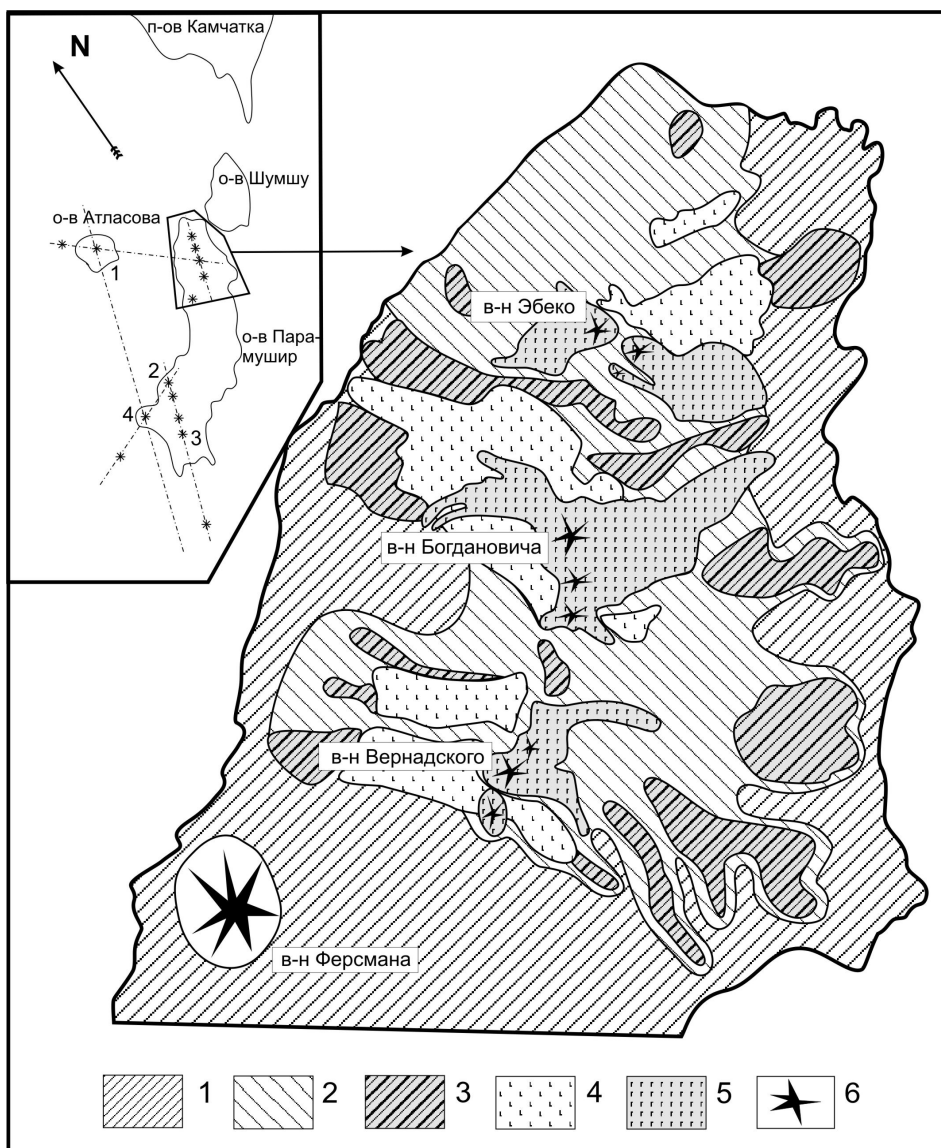


Рис. 1. Схема расположения вулканов хребта Вернадского (о-в Парамушир) по [Горшков, 1967]: 1 – неогеновый фундамент; 2 – эродированные участки четвертичных вулканических построек; 3 – участки доледниковых лав, сохранившие первоначальный рельеф; 4 – межледниковые лавы; 5 – голоценовые лавы; 6 – вулканические постройки. Цифрами на врезке обозначены вулканы: 1 –Алаид, 2 – Чикурачки; 3 – Карпинского; 4 – Фусса.

Примечательно, что эта калиевая «аномалия» в плиоцен-четвертичных лавах о-ва Парамушир пространственно совпадает с областью высокого аномального теплового потока (30-80 mW/m²) [Геолого-геофизический атлас ..., 1987], что, возможно, указывает на существование под северным флангом Курил структуры типа астеносферного окна. Для проверки этого предположения были исследованы геохимические особенности базальтов вулканов Карпинского и Чикурачки (южная часть о-ва Парамушир) и Эбеко (хребет Вернадского в северной части острова) (**рис. 1**). Базальты всех трех вулканических центров относятся к умеренно-калиевой известково-щелочной серии пород. При этом уровни накопления K₂O в них в 1,5-2 раза превышают таковые в базальтах округловской и океанской свит, представляющих неогеновый фундамент острова Парамушир. Это может служить указанием на то, что парамуширская калиевая «аномалия» существует лишь в течение плиоцен-четвертичного времени. Разный уровень щелочности в четвертичных и неогеновых базальтах обуславливает как различия в уровнях накопления REE, так и степени дифференцированности редкоземельных спектров пород. Величины La/Yb в базальтах фундамента лежат в пределах 1,2 – 2,3, тогда как в четвертичных базальтах эта величина возрастает и составляет 2,7-4,2 (вулкан Чикурачки), 3,6-4,5 (вулкан Карпинского) и 4,2-5,0 (вулкан Эбеко).

В тоже время, «внутриплитные» четвертичные базальты Камчатки, происхождение которых связывается в последнее время со структурами астеносферных окон [Khanchuk Gonevchuk., 2003], имеют существенно более дифференцированные спектры распределения REE = 5,9-10,8 [Волынец, 1993].

Для выяснения природы мантийных субстратов, генерировавших неогеновые и четвертичные базальты острова Парамушир, рассчитаны модели равновесного немодального плавления деплетированных шпинелевого и плагиоклазового лерцолитов, примитивных шпинелевого и гранатового лерцолитов, а также метасоматически обогащенного шпинелевого лерцолита (**рис. 2**). Фигуративные точки составов базальтов фундамента, как самые деплетированные, тяготеют к области плавления субстратов типа истощенного плагиоклазового или истощенного шпинелевого лерцолита. Составы четвертичных базальтов вулканов Карпинского, Чикурачки и Эбеко образуют довольно компактный рой в области плавления неистощенного шпинелевого лерцолита.

С другой стороны, они могут являться и продуктами плавления истощенного шпинелевого лерцолита, испытавшего эпизод недавнего флюидно-

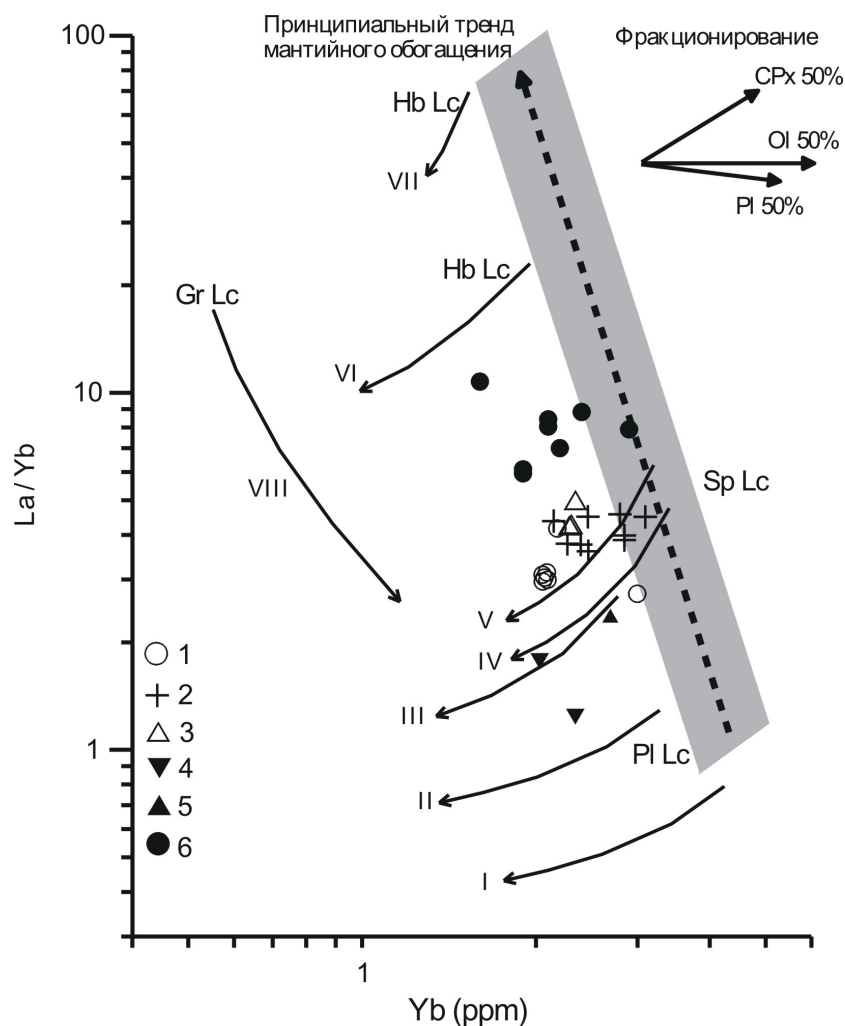


Рис. 2. La/Yb-Yb вариационная диаграмма, иллюстрирующая процессы равновесного немодального частичного плавления разных типов мантийных источников: Pl Lc – плагиоклазового лерцолита, тренды I, II; Sp Lc – шпинелевого лерцолита, тренды III, IV, V; Gr Lc – гранатового лерцолита, тренд VIII; Hb Lc – амфиболсодержащего шпинелевого лерцолита, тренды VI, VII. Базальты: 1 – в-н Чикурачки, 2 – в-н Карпинского, 3 – в-н Эбеко, 4 – округловская свита, 5 – океанская свита, 6 – «внутриплитные» вулканиты Камчатки [Вольнец, 1993].

метасоматического обогащения. Этот вариант представляется предпочтительным, т.к. величины $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в базальтах и андезито-базальтах вулканов Эбеко, Карпинского и Чикурачки лежат в пределах 0,7029-0,7032 (данные авторов), а также [Bailey, Larsen, Frolova, 1987] (рис. 3), что определенно указывает на истощенный характер плавящегося мантийного субстрата. Составы же «внутриплитных» четвертичных базальтов Камчатки располагаются в области плавления мантийных субстратов, испытавших существенное метасоматическое преобразование.

Принципиально важным для диагностики магматических образований, пространственно ассоциирующихся со структурами островной дуги, но генетически связанных с процессами плавления астеносферной мантии, является характер поведения элементов высоkozарядной группы: Zr, Nb, Hf, Ta. Четвертичные базальты

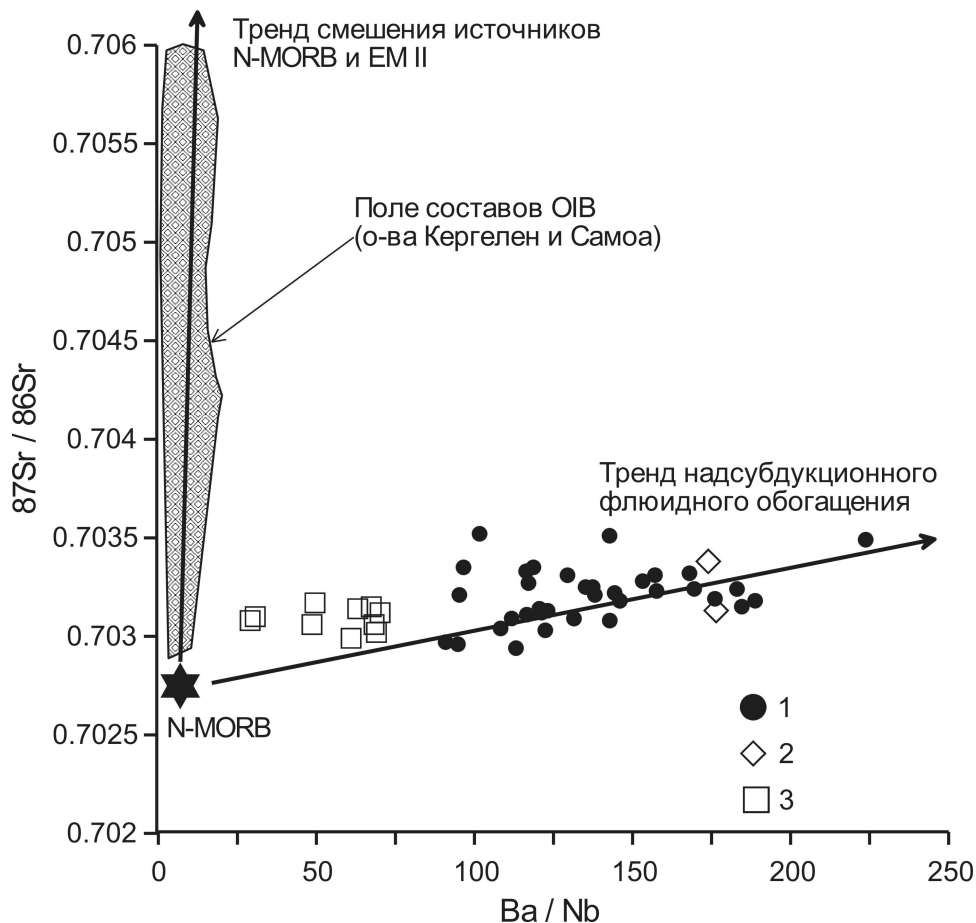


Рис. 3. Ba/Nb – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ вариационная диаграмма, демонстрирующая различия эволюционных трендов базальтов фронтальной и тыловой зоны Курил (смещение истощенного мантийного источника и надсубдукционного флюидного компонента) и базальтоидов, связанных с плюмовым процессом (смещение истощенного и обогащенного мантийных источников). Цифрами обозначены: 1 – четвертичные базальты, андезито-базальты и андезиты вулканов фронтальной зоны дуги (Эбеко, Ветровой, Вернадского, Чикурачки, Карпинского по данным авторов и [Bailey, Larsen, Frolova, 1987]; базальты вулканов тыловой зоны дуги: 2 – Фусса (авторские данные) и 3 – Алайд [Bailey, Larsen, Frolova, 1987].

острова Парамушир характеризуются высокими отношениями LILE/HFSE, что характеризует их как типичные островодужные образования. Вариационная диаграмма в координатах Ba/Nb – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (см. рис.3) также убедительно демонстрирует различия эволюционных трендов типичных субдукционных вулканитов Курил и внутриплитных вулканитов, формирующихся при участии плюмового источника вещества.

Изучение современных процессов минералообразования, доступных для непосредственного наблюдения исследователя, во многом является ключом к пониманию прошлой истории рудного процесса. Современные гидротермальные системы, приуроченные к долгоживущими вулканическими центрами островных дуг, тесно связаны в своем развитии с эволюцией близповерхностных магматических

очагов и вмещающей рамой гидротермально измененных пород [Пампура, 1981, Пампура, Сандиминова, 1991, и др.]. Понимание эволюции всех элементов структуры гидротермальной системы дает возможность реконструировать природу источников ее теплового и рудного питания, идентифицировать зоны перетока гидротермального рудного флюида – нисходящих и восходящих ветвей гидротермальной конвективной ячейки, другие параметры, важные для понимания современного процесса рудообразования. Кроме того, геохимическое исследование гидротермально измененных пород, являющихся неотъемлемой частью гидротермальной системы, важно для понимания возможности взаимодействия мантийных магм с веществом земной коры и роль этого процесса в петрогенезисе [Покровский, 2000]. Отмечается, что формирование ультракислых пород в пределах Курильской островной дуги (как правило – это пемзовидные включения в основных вулканитах) происходит при переплавлении продуктов гидротермальной деятельности [Виноградов и др., 1986], или ассимиляции расплавами глубоко гидротермально измененных пород [Zhuravlev et al., 1987]. Для построения адекватной модели любых процессов, в которых принимают участие породы в большей или меньшей степени измененные гидротермальными процессами, необходимо располагать детальной изотопно-геохимической характеристикой последних. Нами были исследованы в разной степени измененные породы неогенового фундамента вулканического хребта Вернадского на острове Парамушир: пропилитизированные вулканиты, туфы и туффиты, а также опалиты и сернистые кварциты, формирующиеся при глубоком кислотном выщелачивании первичного субстрата. Спектры распределения редких земель во всех трех группах пород представлены на **рис. 4**.

Уровень накопления РЗЭ (61-84 ppm) и степень дифференцированности их спектра ($La/Yb(n)=2,4-3,8$; $Eu/Eu^*=0,83-0,89$) в пропилитизированных вулканитах среднего состава неогенового фундамента в районе р. Птичьей принципиально не отличается от таковых в свежих вулканитах плиоцен-четвертичного и четвертичного комплекса [Фролова и др., 1989]. Туфы и туффиты обладают характеристиками, сходными с вулканитами (сумма РЗЭ=31-74 ppm, $La/Yb(n)=2,2-3,95$; $Eu/Eu^*=0,82-0,97$), что указывает на преобладающую роль местного вулканогенного материала. Опалиты же гидротермальных полей характеризуются резко (на порядок) пониженными общими содержаниями лантаноидов (4,4 ppm) при сохранении степени дифференцированности их характера спектра ($La/Yb(n)=3,92$; $Eu/Eu^*=0,88$).

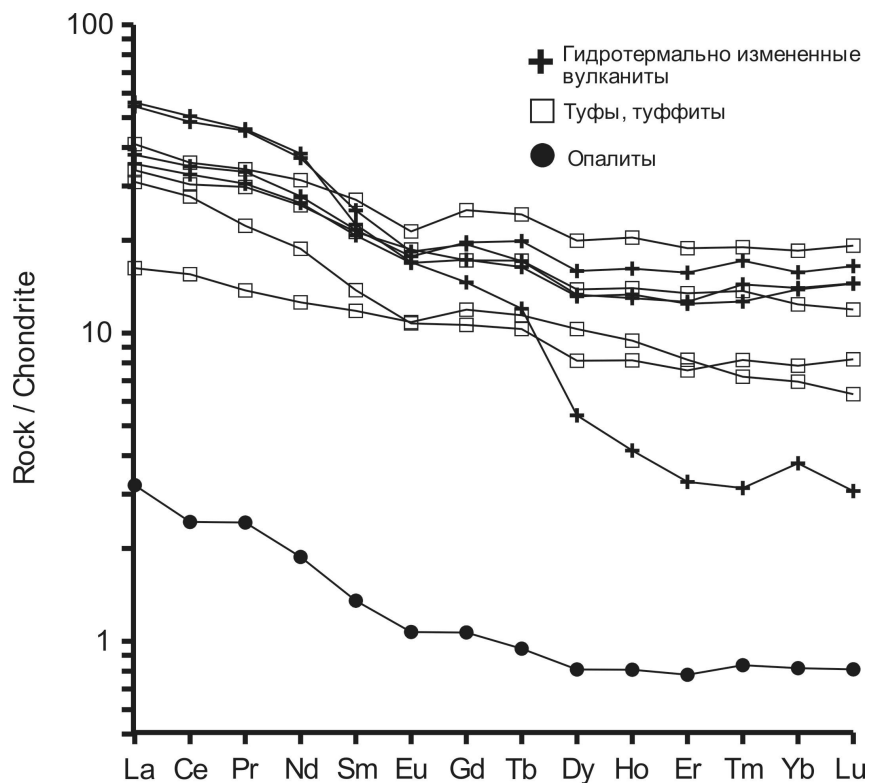


Рис. 4. Нормированные спектры распределения редких земель в пропилитизированных и гидротермально измененных породах неогенового фундамента хребта Вернадского (остров Парамушир).

Обращает на себя внимание практически полное отсутствие дефицита Eu во всех типах пород вплоть до опалитов, что указывает на высокий потенциал кислорода в процессах гидротермального изменения пород, препятствующий переходу европия в подвижную форму Eu(2+).

Важным геохимическим признаком прогрессивного гидротермального изменения пород, приводящего на завершающем этапе к формированию значительных объемов ультракислых опалитов и сернистых кварцитов, является преимущественный вынос натрия по сравнению с калием, что приводит к появлению составов с $K_2O/Na_2O \gg 1$.

Таким образом, процессы глубокого гидротермального изменения пород, важнейшей составной частью которых является глубокое кислотное выщелачивание последних, приводят к формированию значительных объемов ультракислых гидротермалитов, истощенных в отношении большинства петрогенных компонентов, а также REE и LILE, и обладающих при этом высококалиевой спецификой. Эти образования локализуются вблизи приповерхностных магматических очагов, что создает предпосылки для их вовлечения в магматических процесс путем

непосредственного плавления или в результате их ассимиляции островодужными расплавами.

В последние десятилетия большое внимание уделяется исследованию гидротермального геохимического цикла стронция во взаимосвязи всех источников этого элемента, когда вариации отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ используются для идентификации процессов в системе «вода – порода» и оценки роли вод океана в процессах формирования природных вод [Пампура, Сандиминова, 1991].

Действующим вулканом в пределах хребта Вернадского на острове Парамушир является Эбеко, характеризующийся в историческое время фреатическим типом извержений. На современном этапе активность вулкана заключается в периодических выбросах резургентного пепла и парогазовой смеси на фоне интенсивной фумарольной деятельности. Основная поверхностная разгрузка тепла и вещества осуществляется через три крупных вершинных кратера и по долинам рек. В целом, потоки метеорных, смешанных грунтовых и циркулирующих в недрах хребта Вернадского глубинных термальных вод локализуются в структуре Северо-Парамуширской длительноживущей рудообразующей гидротермально-магматической системы [Рычагов и др., 2002].

Подземные воды района разделяются на четыре основные геохимические группы: 1) ультракислые хлоридные воды, разгружающиеся в пределах постройки вулкана Эбеко; 2) кислые сульфатные, приуроченные к комплексу гидротермально измененных пород; 3) нейтральные гидрокарбонатные воды, распространенные вне зоны влияния процессов гидротермального метаморфизма и современного вулканизма; 4) слабощелочные хлоридно-гидрокарбонатные натриевые, вскрытые в процессе бурения вблизи г. Северо-Курильска.

Анализ распределения изотопов стронция показал (**рис.5**), что формирование изотопного состава стронция подземных и поверхностных вод происходит под влиянием трех источников: стронция атмосферных осадков, стронция морской воды и стронция неизмененных силикатных пород вмещающей рамы. Эти же источники вещества контролируют вариации изотопного состава стронция в измененных породах фундамента и гидротермалитах.

Продолжение исследований в области геохимии изотопов стронция магматических пород, гидротермальных новообразований и всех типов природных вод позволит получить новые данные об эволюции рудоносного гидротермально-магматического флюида и формировании крупных геотермальных месторождений.

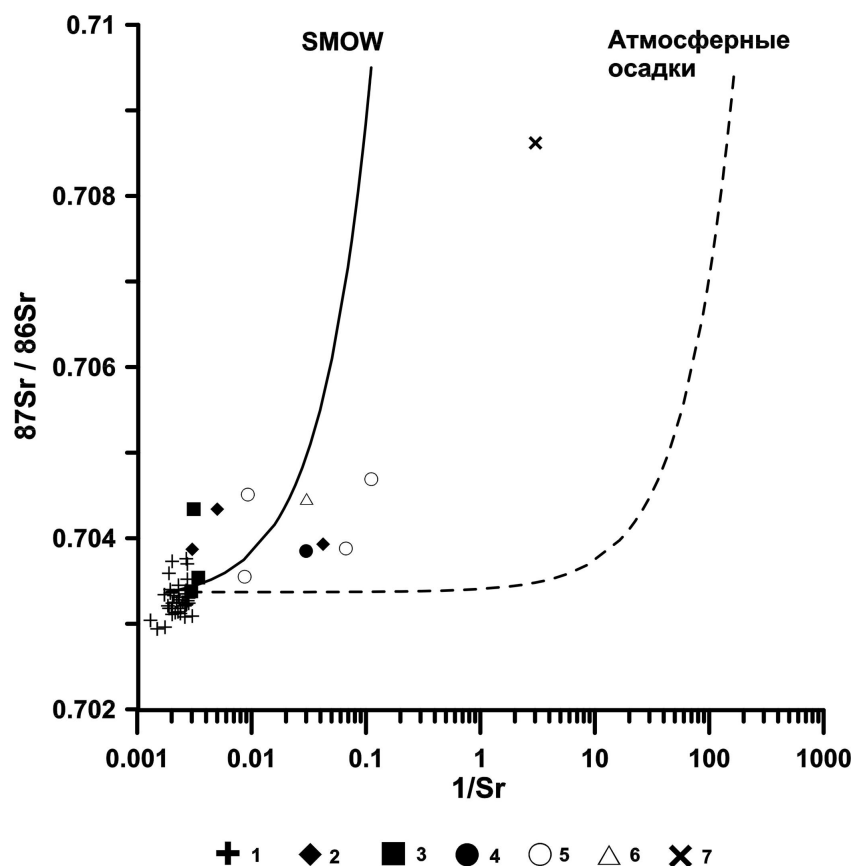


Рис. 5. Зависимость изотопного состава стронция от обратной его концентрации в свежих четвертичных вулканитах хребта Вернадского (остров Парамушир), различных типах гидротермально измененных пород, подземных и поверхностных водах, атмосферных осадках: 1 – неизмененные четвертичные вулканиты; 2 – туфы; 3 – гидротермально измененные вулканиты; 4 – опалиты; 5 – подземные воды, 6 – поверхностные воды; 7 – снег.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Интеграционного проекта СО РАН №70.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука. 1967. 273 с.
2. Богатилов О.А., Цветков А.А. Магматическая эволюция островных дуг. М.: Наука, 1988. 248 с.
3. Виноградов В.И., Григорьев В.С., Покровский Б.Г. Изотопный состав кислорода и стронция в породах Курило-Камчатской островной дуги – ключ к некоторым генетическим построениям // Эволюция системы кора – мантия. М.: Наука. 1986. С.78-103.
4. Волынец О.Н. Петрология и геохимическая типизация вулканических серий современной островодужной системы: Автореферат дисс. на соиск. уч. степени докт. геолого-минералогических наук. М.: МГУ. 1993. 67С.
5. Геолого-геофизический атлас Курило-Камчатской островной системы. К.Ф.Сергеев, М.Л.Красный (ред.). ВСЕГЕИ. Л.1987. 36 С.
6. Пампура В.Д. Геохимия гидротермальных систем областей современного вулканизма. Новосибирск. Наука. 1985. 137 с.
7. Пампура В.Д., Сандимирова Г.П. Геохимия и изотопный состав стронция в гидротермальных системах. Новосибирск. Наука. 1991. 111 с.
8. Пискунов Б.Н. Геолого-петрологическая специфика вулканизма островных дуг. М.: Наука. 1987. 250 с.

9. *Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги /под ред. Ю.М. Пуцаровского. М.: Наука, 1992. 527 с.*
10. **Покровский Б.Г.** Коровая контаминация мантийных магм по данным изотопной геохимии. М.: Наука. МАИК «НАУКА/ИНТЕРПЕРИОДИКА». 2000. 207 с.
11. **Рычагов С.Н., Белоусов В.И., Главатских С.Ф., Ладыгин В.М., Сандимирова Е.И.** Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая система: характеристика глубокого геологического разреза и модель современного минералорудообразования в ее недрах // *Вулканонология и Сейсмология*. 2002. №4. С.3-21.
12. **Федорченко В.И., Абдурахманов А.И., Родионова Р.И.** Вулканизм Курильской островной дуги: геология и петрогенезис. М.: Наука. 1989. 227 С.
13. **Фролова Т.И., Перчук Л.Л., Бурикова И.А.** Магматизм и преобразование земной коры активных окраин. М.: Недра. 1989. 255 с.
14. **Bailey J.C., Larsen O., Frolova T.I.** Strontium isotope variations in Lower Tertiary – Quaternary volcanic rocks from the Kurile island arc // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1987. (95). P.155-165.
15. **Khanchuk F.I., Gonevchuk V.G.** Paleogeodynamic model of the Sikhote-Alin tin-bearing system (Russia). –In: *Mineral Exploration and Sustainable Development. Eliopolus et al. (eds)@2003. Millpress, Rotterdam. P.295-298.*
16. **Zhuravlev D.Z. et al.** $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios in recent magmatic rocks of the Kurile island arc// *Chem.Geol. (Isotope Geosci. Sec.)*. 1987. Vol. 66. P.227-243.