

## **Изотопно-геохимические характеристики коровых процессов вулкана Ключевской**

**О.В. Бергаль-Кувикас<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: [kuvikas@mail.ru](mailto:kuvikas@mail.ru)*

<sup>2</sup> *Институт физики Земли РАН, Москва*

<sup>3</sup> *Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва*

Соотношения редких элементов и изотопные отношения стронция, свинца в лавах вулкана Ключевской указывают на значительные процессы ассимиляции магмы в коре. Расположения побочных прорывов в сравнении с геофизическими наблюдениями позволяют предположить гетерогенность фундамента и наличие регионального разлома, контролирующего проявления побочных извержений.

### **Проблема исследования**

Ключевской вулкан, расположенный в Центрально-Камчатской депрессии, является одним из наиболее активных вулканов, сформированных в островодужной обстановке. Многочисленные публикации прошлых лет, в основном, освещали вопросы мантийного генезиса магм. Однако состав и строение коры также влияет на положение побочных прорывов, состав магм и формирование типов извержений. В представленной работе рассматривается роль коры в формировании магм вулкана Ключевской.

### **Результаты и обсуждение**

Анализ изотопно-геохимических данных, пространственное расположение побочных прорывов и время извержений позволили выделить несколько групп исторических извержений вулкана Ключевской (рис. 1). Группа 1 включает в себя извержения с 1932 г. по 1938 г., высоты прорывов 200-1000 м. Лавы извержений характеризуются высокими содержаниями MgO, CaO, Sr, Ba, K<sub>2</sub>O. Группа 2А состоит из извержений 1945-1966 гг., сформированных на высотах 800-2000 м. Состав лав имеет наивысшие концентрации Sr, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Группа 2В – это побочные извержения 1974-1980 гг., высоты прорывов 2900-4000 м. Группа 3 – вершинные извержения с составами магм с относительно высокими содержаниями MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Y.

Соотношение несовместимых элементов Rb, Sr не демонстрирует общий, единый тренд дифференциации (рис. 2), следовательно, данные вариации сложно объяснить простым фракционированием магм. Изотопные отношения в магмах в сравнении с породами, слагающими основание вулкана, явно демонстрируют ассимиляцию пород хавывенской свиты и осадочных толщ ветловской серии, дроздовской толщи. Об этом однозначно свидетельствует рост отношений изотопов стронция с увеличением содержания кремнекислоты. Находки коровых ксенолитов в продуктах извержений вулканов Толбачик [7] и Безымянный [6], схожесть тренда ассимиляции магм для Ключевского вулкана по изотопам свинца свидетельствуют о едином основании для Ключевской группы вулканов. Важно отметить, что вариации изотопов кислорода магм Ключевского вулкана – одни из самых тяжелых в мире, что подтверждает гипотезу о значительном переплавлении нижней коры [5].

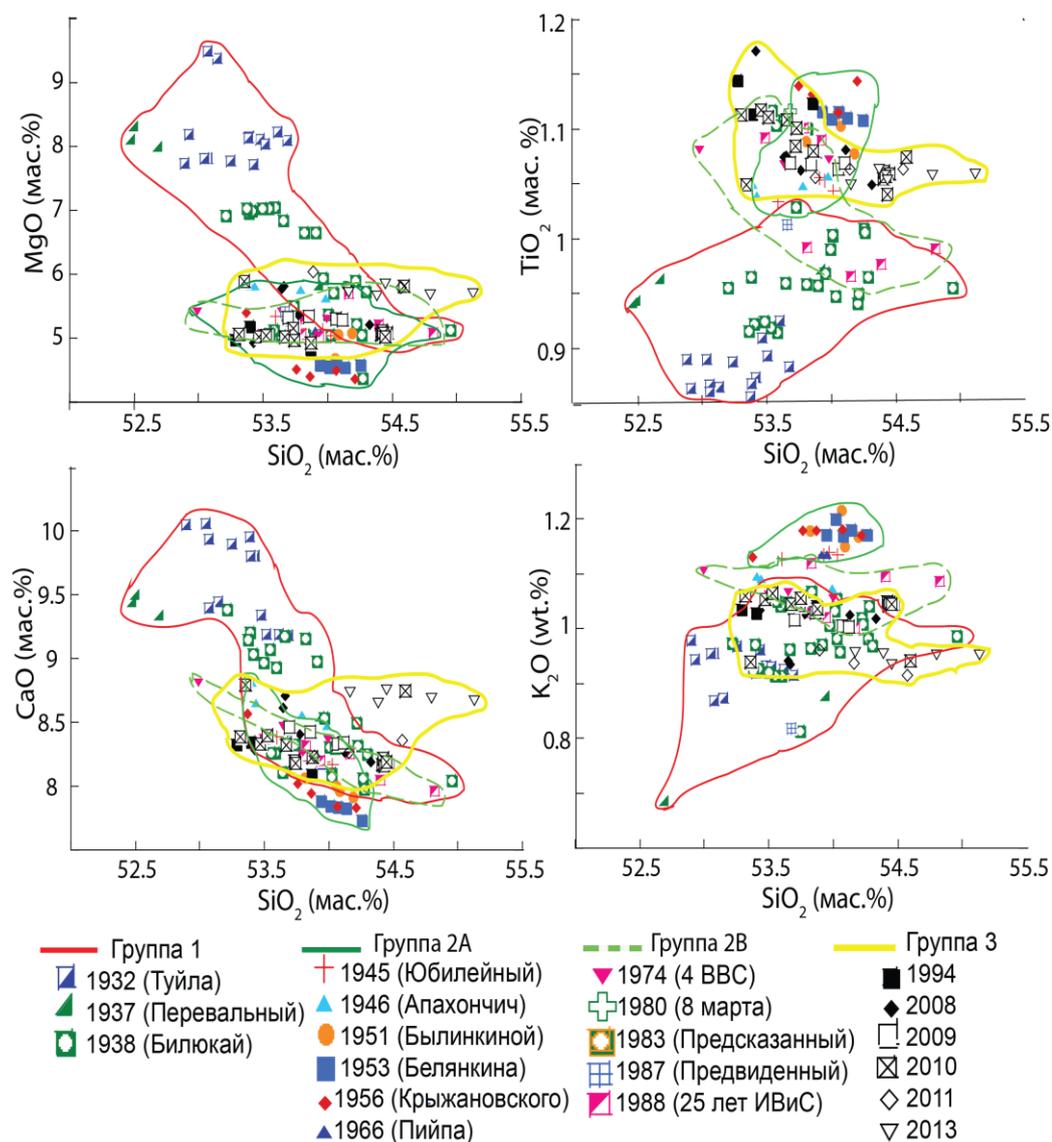
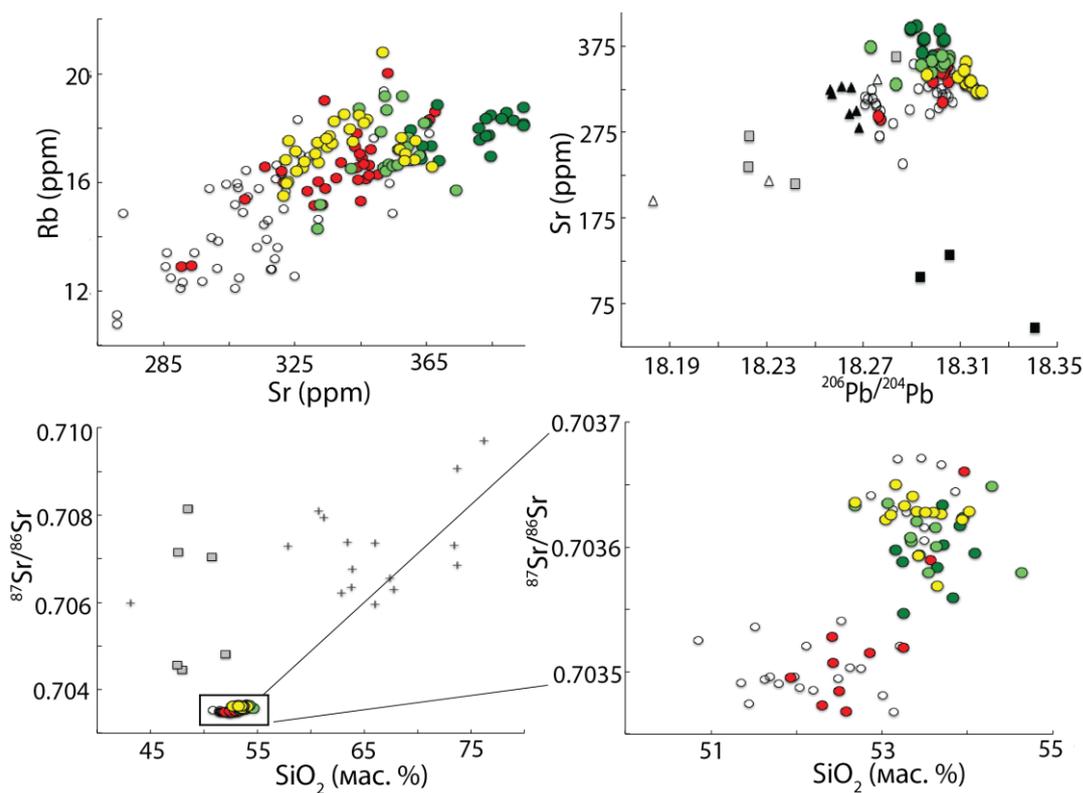


Рис. 1. Диаграммы Харкера исторических извержений вулкана Ключевской. Составы магм по данным [4].

Соотношения изотопов свинца, наряду с редкими элементами, свидетельствуют о наиболее контаминированных магмах в группе 2А и группе 3. Пространственное положение группы 2А совпадает с северо-восточным, восточным, юго-восточным секторами вулкана. Сопоставление изотопно-геохимических измерений магм с геофизическими данными позволяет предположить опускание постройки сегмента вулкана с сопутствующими мощными процессами ассимиляции и фракционирования магм. Группа 1 и 2В находятся на продолжении регионального разлома и характеризуются наиболее мафическими разностями пород.

### Заключение

На основании изотопно-геохимических данных было показано, что наряду с фракционированием магм существуют и значительные процессы ассимиляции магм в коре. Фундамент вулкана гетерогенен. В северо-восточном, восточном, юго-восточном сегментах постройки вулкана происходит накопление магмы и формируются разности с максимальными признаками ассимиляции коровых пород. Вместе с тем, наиболее мафические магмы приурочены к зоне регионального разлома.



Извержения вулкана Ключевской:  
 ○ доисторические, ● 1, ● 2А, ● 2В, ● 3 группы

Вулкан Безымянный:  
 ▲ включения [6],  
 △ коровые ксенолиты [6]

Состав коры:

- Хавывенская серия, верхняя толща [2, 3],
- Хавывенская серия, нижняя толща [2, 3],
- + Осадки, флиш [1]

Рис. 2. Соотношения редких элементов и изотопов лав Ключевского вулкана в сравнении с составами коры. Условные обозначения см. на рис. 1.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке мегагранта Минобрнауки РФ 14.W03.31.0033. Автор благодарит А. Романа, К. Джапарта, Н.М. Шапиро, О.Э. Мельника за обсуждение физических параметров магм и эволюции магматического очага, Т.Г. Чурикову, Б.Н. Гордейчика, Г. Ворнера за критические замечания и дискуссии о геохимических и изотопных маркерах, Д.В. Коваленко за представление данных об осадочных толщах.

### Список литературы

1. Коваленко Д.В., Ставрова О.О., Цуканов Н.В. Изотопные и геохимические характеристики позднемеловых и кайнозойских отложений флиша Камчатки и юга Корякии // Тихоокеанская геология. 2010. № 29.1. С. 3-14.
2. Тарарин И.А., Бадреддинов З.Г. Геохимия и возраст метаморфических пород Хавывенской возвышенности Восточной Камчатки // Геохимия. 2007. № 9. С. 962-980.
3. Тарарин И.А., Дриль С.И., Сандимирова Г.П. и др. Изотопный состав стронция, неодима и свинца в метаморфических породах Хавывенской возвышенности восточной Камчатки // Доклады Академии наук. 2010. № 431. Т. 2. С. 238-241.
4. Bergal-Kuvikas O., Nakagawa M., Kuritani T. et al. A petrological and geochemical study on time-series samples from Klyuchevskoy volcano, Kamchatka arc // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2017. V. 172(5). 35.

5. *Bindeman I.N., Ponomareva V.V., Bailey J.C. et al.* Volcanic arc of Kamchatka: a province with high- $\delta^{18}\text{O}$  magma sources and large-scale  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  depletion of the upper crust // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2004. V. 68(4). P. 841-865.
6. *Kayzar T.M., Nelson B.K., Bachmann O. et al.* Deciphering petrogenic processes using Pb isotope ratios from time-series samples at Bezymianny and Klyuchevskoy volcanoes, Central Kamchatka Depression // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2014. V. 168(4). 1067.
7. *Portnyagin M., Duggen S., Hauff F. et al.* Geochemistry of the late Holocene rocks from the Tolbachik volcanic field, Kamchatka: quantitative modelling of subduction-related open magmatic systems // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2015. V. 307. P. 133-155.