

## Литература

1. Варлаков А.С., Кузнецов Г.П., Кораблев Г.Г., Муркин В.П. Гипербазиты Вишневогорско-Ильменогорского метаморфического комплекса (Южный Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, 1998. 195 с.
2. Ворожук Д.В., Русин А.И. Опорный геологический разрез средней части Ильменогорско-Сысертской полиметаморфической зоны // Путеводитель геологических экскурсий. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. С. 64-95.
3. Кононова В.А., Донцова Е.И., Кузнецова Л.Д. Изотопный состав кислорода и стронция ильмено-вишневогорского щелочного комплекса и вопросы генезиса миаскитов // Геохимия. 1979. № 12. С. 1784-1795.
4. Кориневский В.Г., Кориневский Е.В. Новое в геологии, петрографии и минералогии Ильменских гор. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 102 с.
5. Левин В.Я., Роненсон Б.М., Самков В.С. и др. Щелочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. 274 с.
6. Макагонов Е.П., Баженов А.Г., Вализер Н.И. и др. Глубинное строение Ильменогорского миаскитового массива. Миасс: ИМин УрО РАН, 2003. 180 с.
7. Недосекова И.Л., Прибавкин С.В. Карбонатиты Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса: геология, вещественный состав, возраст, геохимия, источники вещества // Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород. Миасс: УрО РАН, 2006. С. 167-173.
8. Русин А.И., Краснобаев А.А., Вализер П.М. Геология Ильменских гор: ситуация, проблемы // Тр.ИГЗ УрО РАН, Миасс, 2006. С.3-19.
9. Русин А.И., Краснобаев А.А., Русин И.А. и др. Щелочно-ультраосновная ассоциация Ильменских-Вишневых гор // Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород. Миасс: УрО РАН, 2006. С. 222-227.
10. Чернышов И.В., Кононова В.А., Крамм У., Грауэрт Б. Изотопная геохронология щелочных пород Урала в свете данных уран-свинцового метода по цирконам // Геохимия. 1987. №. 3. С. 323-328.
11. Штейнберг Д.С., Левин В.Я. Основные проблемы геологического строения, истории формирования и состава Ильменогорского комплекса метаморфических и магматических горных пород // Тр. Ильменского гос. заповедника. Вып. IX. Свердловск: УФАН СССР, 1971. С. 6-22.

## МЕХАНИЗМ ПРОЦЕССОВ КИМБЕРЛИТООБРАЗОВАНИЯ

*Рябчиков И.Д.*

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва  
[iryab@igem.ru](mailto:iryab@igem.ru)*

Состав кимберлитов существенно отличается от выплавок из не содержащих летучие перидотитов: кимберлиты характеризуются более высокими отношениями катионов-модификаторов к катионам-сеткообразователям. Это объясняется высокими содержаниями  $\text{CO}_2$  в протокимберлитовых расплавах.  $\text{CO}_2$  присутствует в форме карбонатов: доломитоподобных расплавов при равновесии с лерцолитом [1, 2, 3, 4] и более магнезиальных карбонатов в случае гарцбургитов. Сравнение отношений  $(\text{Mg}+\text{Fe}+\text{Ca})/(\text{Si}+\text{Al})$  в кимберлитах группы 1А и в близсолидусных выплавках из не содержащего летучие пиролита при условии, что избыток этого отношения отвечает присутствию доломитоподобного компонента, показывает, что исходные кимберлитовые расплавы содержали около 20%  $\text{CO}_2$  (оценено из экспериментальных данных при 5 ГПа) или 15%  $\text{CO}_2$  (оценено для 5 ГПа). Сходное значение оценивается и для насыщенного в отношении  $\text{CO}_2$  расплава, равновесного с гарцбургитовой минеральной ассоциацией: расплав состава кимберлита группы 1А сосуществует с оливином и ортопироксеном при 4.5 ГПа и 1650°C, что отвечает 15%  $\text{CO}_2$  в расплаве. Таким образом, первичные кимберлитовые магмы являются промежуточными между силикатными и карбонатными расплавами.

Оцененные высокие содержания  $\text{CO}_2$  в кимберлитовых магмах не требуют аномальной обогащенности летучими их источника. Кимберлиты сильно обогащены не

только в отношении  $\text{CO}_2$ , но также и в отношении всех несовместимых элементов. Это является следствием их образования при очень низких степенях частичного плавления. В базальтовом магматизме геохимическими аналогами  $\text{CO}_2$  ( т.е. элементами с близкими значениями комбинированных коэффициентов распределения) являются такие сильно несовместимые элементы, как Nb, Th и Ba [7]. В расплавах базальтов срединных океанических хребтов отношение  $\text{CO}_2/\text{Th}$  близко к 5500. Среднее содержание тория в южноафриканских кимберлитах приблизительно равно 60 г/т. Допуская, что отношение  $\text{CO}_2/\text{Th}$  в них такое же как и для базальтов срединных океанических хребтов, получаем 33%  $\text{CO}_2$ , что даже выше оценок, базирующихся на составе в отношении петрогенных компонентов.

Частичные выплавки из лерцолитовых перидотитов характеризуются значительно более высокими Ca/Mg отношениями по сравнению с кимберлитами [1, 2, 3]. Это может служить указанием на то, что кимберлитовые магмы были в равновесии не с лерцолитами, а с гарцбургитами. Экспериментальные данные для системы кимберлит -  $\text{CO}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  подтверждают это предположение близиквидусные минералы представлены оливином и ортопироксеном, а субликвидусные гранаты характеризуются низкокальциевым составом [1, 5].

Наиболее вероятный сценарий происхождения кимберлитов включает формирование в поднимающихся мантийных диапирах близосolidусных расплавов, обогащённых летучими и несовместимыми компонентами, которые впоследствии мигрируют через межзерновое пространство субконтинентальной литосферы и переуравновешиваются с преобладающими здесь гарцбургитами. Частичная кристаллизация инфильтрующегося расплава приводит к повышению содержания в нём несовместимых и летучих компонентов. Потеря кальция при увеличении содержания MgO в расплаве снижает растворимость в нём  $\text{CO}_2$  [6]. Всё это приводит к началу дегазации на больших глубинах. Появление газовой фазы приводит к началу гидравлического трещинообразования, в результате чего кимберлитовые расплавы, несущие большое количество ксенокристов и мантийных ксенолитов быстро поднимаются к поверхности. Этот быстрый подъём способствует сохранности алмазов и других высокобарных минералов. Такой сценарий подтверждается также анализом поведения несовместимых элементов в кимберлитах [8, 9].

#### Литература

- 1 I.D. Ryabchikov, G.P. Brey, L.N. Kogarko and V.K. Bulatov, Partial melting of carbonated peridotite at 50 kbar, *Geokhimiya*(1), 1989.
- 2 I.D. Ryabchikov, G.P. Brey and V.K. Bulatov, Carbonate melts coexisting with mantle peridotites at 50 kbar, *Petrology* 1, 159-163, 1993.
- 3 J.A. Dalton and D.C. Presnall, Carbonatitic melts along the solidus of model lherzolite in the system CaO-MgO- $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$ - $\text{CO}_2$  from 3 to 7 GPa, *Contrib Mineral Petrol* 131, 123-135, 1998.
- 4 I.D. Ryabchikov and D.L. Hamilton, Interaction of carbonate-phosphate melts with mantle peridotites at 20-35 kbar, *S. Afr. J. Geol.* 96(3), 143-148, 1993.
- 5 A.V. Girnis, G.P. Brey and I.D. Ryabchikov, Origin of Group 1a Kimberlites - Fluid-Saturated Melting Experiments At 45-55 Kbar, *Earth and Planetary Science Letters* 134, 283-296, 1995.
- 6 G.P. Brey and I.D. Ryabchikov, Carbon-Dioxide in Strongly Silica Undersaturated Melts and Origin of Kimberlite Magmas, *Neues Jahrbuch Fur Mineralogie-Monatshefte*(10), 449-463, 1994.
- 7 A.E. Saal, E.H. Hauri, C.H. Langmuir and M.R. Perfit, Vapour undersaturation in primitive mid-ocean-ridge basalt and the volatile content of Earth's upper mantle, *Nature* 419, 451-455, 2002.
- 8 K.M. Tainton and D. McKenzie, The generation of kimberlites, lamproites, and their source rocks, *Journ. Petrology* 35, 787-817, 1994.
- 9 I.D. Ryabchikov, Geochemical model of the generation of kimberlitic melts, *Geochemistry International* 32, 103-111, 1995.