

5. Liu Y., Samaha N.-T., Baker D.R. Sulfur concentration at sulfide saturation (SCSS) in magmatic silicate melts // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2007. V. 71. P. 1783-1799.
6. Mavrogenes J.A. O'Neill H.St.C. The relative effects of pressure, temperature and oxygen fugacity on the solubility of sulfide in mafic magmas // *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 1999. V. 63. P. 1173-1180.
7. Moretti R., Ottonello G. Solubility and speciation of sulfur in silicate melts: the conjugated Toop-Samis-Flood-Grjotheim (CTSFG) model // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2005. V. 69. P. 801-823.
8. Moretti R., Baker D.R. Modeling the interplay of f_{O_2} and f_{S_2} along the FeS-silicate melt equilibrium // *Chemical Geology.* 2008. V. 256. P. 286-298.
9. O'Neill H.St.C., Mavrogenes J.A. The sulfide capacity and the S content at sulfide saturation of silicate melts at 1400°C and 1 bar // *J. Petrol.* 2002. V. 43. P. 1049-1087.
10. Wallace P., Carmichael I.S.E. Sulfur in basaltic magmas. 1992. 56(5). P. 1863-1874.
11. Fincham C.J.B., Richardson F.D. The behaviour of sulphur in silicate and aluminate melts // *Proc. R. Soc. Lond.* 1954. A223. P. 40-62.
12. Nilsson R., Seetharaman S., Jakob K.T. A modified sulphide capacity function // *ISIJ International* 34, 1994. No. 1. P. 876-882.
13. Nzotta M.M., Andreasson M., Sichen Du, Seetharaman S. A study on sulphide capacities of steelmaking slags // *Scand. J. Metall.* 1999. V. 29 (4). P. 177-184.
14. Shankar A., Garnerup M., Lahiri A.K., Seetharaman S. Sulfide Capacity of High Alumina Blast Furnace Slags // *Metall. Mater. Trans.* 2006. 37B, 941-947.
15. Bychkov K.A., Ariskin A.A., Barmina G.S., Danyushevsky L.V. () A test of sulfide solubility models using anhydrous experimental melts and natural tholeiitic glasses // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2008. V. 72. (Suppl. 1: Abs. 18th Annual Goldschmidt conf., Vancouver, Canada, 2008). A126.
16. Арискин А.А., Конников Э.Г., Данюшевский Л.В., Кислов Е.В., Николаев Г.С., Орсов Д.А., Бармина Г.С., Бычков К.А. Довыренский интрузивный комплекс: проблемы петрологии и сульфидно-никелевой минерализации // *Геохимия.* 2009. [в печати].
17. Ford C.E., Russell D.G., Craven J.A., Fisk M.R. Olivine-liquid equilibria: temperature, pressure and composition dependence of the crystal/liquid cation partition coefficients for Mg, Fe, Ca and Mn // *J. Petrol.* 1983. V. 24. P. 256-265.
18. Арискин А.А., Данюшевский Л.В., Конников Э.Г., Бармина Г.С., Николаев Г.С. Использование линий оливинового контроля и модели КОМАГМАТ для оценки состава исходной магмы расслоенного Йокко-Довыренского интрузива. 2009. (см. этот том).
19. Арискин А.А., Конников Э.Г., Кислов Е.В. Моделирование равновесной кристаллизации ультрамафитов в приложении к проблемам формирования фазовой расслоенности Довыренского плутона (Северное Прибайкалье, Россия) // *Геохимия.* 2003. № 2. С. 131-155.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕКОГЕРЕНТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СУЛЬФИДНЫХ ГОРИЗОНТАХ РАССЛОЕННЫХ МАССИВОВ

Бычкова Я.В.

Институт геохимии и аналитической химии РАН, Москва, Россия
e-mail: yanab66@yandex.ru

PECULIARITY OF NON COHERENT ELEMENTS DISTRIBUTION IN SULPHIDE HORIZONS OF LAYERED INTRUSIONS

Bychkova Ya.V.

Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia
e-mail: yanab66@yandex.ru

Sulphide horizons of Kivakka layered intrusion were researched. Fractionation of non coherent element was established. In low and upper horizons correlation between S and Ni is different. In the low horizons Ni correlates with pyroxene concentration as rare element in this mineral. In the upper horizons it correlates with S, as a component of sulphide minerals. REE are concentrated in the most

fractionated rocks of the intrusion. But in the sulphide horizons there concentration is low beside of Eu. This element form maximum in the lanthanide spider-diagram.

Расслоенные массивы характеризуются фракционированием компонентов в процессе кристаллизационной дифференциации. Халькофильные элементы образуют сульфидные минералы по мере накопления достаточного количества серы в расплаве и ликвации его на сульфидную и силикатную составляющие. Редкоземельные элементы накапливаются в остаточном расплаве. Проведены исследования распределения халькофильных и редкоземельных элементов 4 сульфидных горизонтов Киваккского расслоенного базит-гипербазитового массива (Северная Карелия), слагающих 2 основных сульфидных уровня.

Накопление в расплаве серы определяет появление сульфидных минералов, что реализуется в образовании двух сульфидных уровней, подробно описанных в [1], где выявлено характерное строение из 2 горизонтов (в основании и в кровле каждого уровня) и промежуточной зоны.

Детальное исследование сульфидных горизонтов показало, что для нижнего и верхнего уровней распределение элементов, входящих в состав сульфидов не одинаково (рис. 1). Так, в верхнем уровне распределение Cu и Ni согласуются с распределением S в обоих горизонтах. В нижнем уровне характер распределения Ni соответствует количественно-минеральному составу сульфидсодержащих пород (что определяется вхождением Ni в состав пироксенов в качестве рассеянного элемента).

Распределение редкоземельных элементов по разрезу всего массива свидетельствует о накоплении их в остаточном расплаве и максимальной концентрации в наиболее фракционированных дифференциатах. При этом конфигурация спайдер-диаграмм в целом однотипна и отвечает базальтовым расплавам. Начиная с уровня норитов отмечено присутствие небольшого европиевого максимума.

Исследование сульфидных уровней показало, что содержание РЗЭ в сульфидсодержащих норитах существенно ниже, чем в норитах без сульфидов, и отличается широким диапазоном значений несмотря на небольшую мощность исследуемых разрезов (первые десятки метров). Концентрации редкоземельных элементов в породах варьируют в диапазоне от характерного для оливинитов-гарцбургитов (минимальное содержание) до бронзититов, реже норитов (максимальное содержание). При этом конфигурация спайдер-диаграмм может различаться (рис. 2). Часть спайдер-диаграмм имеют отчетливый европиевый максимум, они изображены на рис. 2 серыми

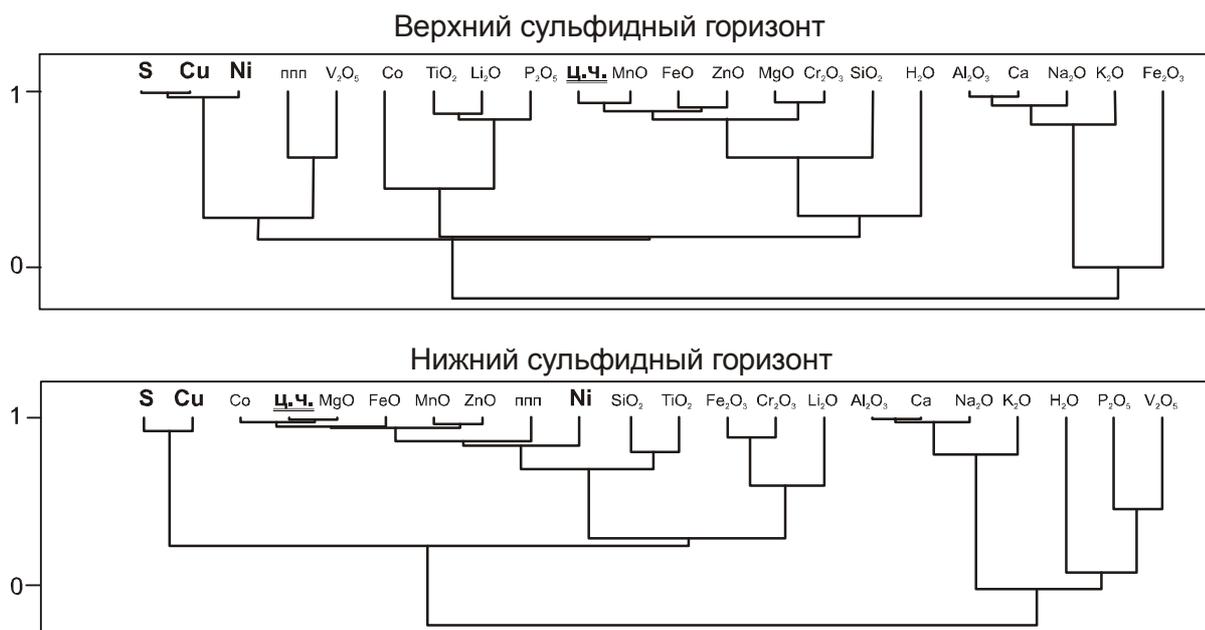


Рис. 1. Дендрограммы корреляций компонентов в сульфидных горизонтах.
 Ц.ч. – цветное число породы

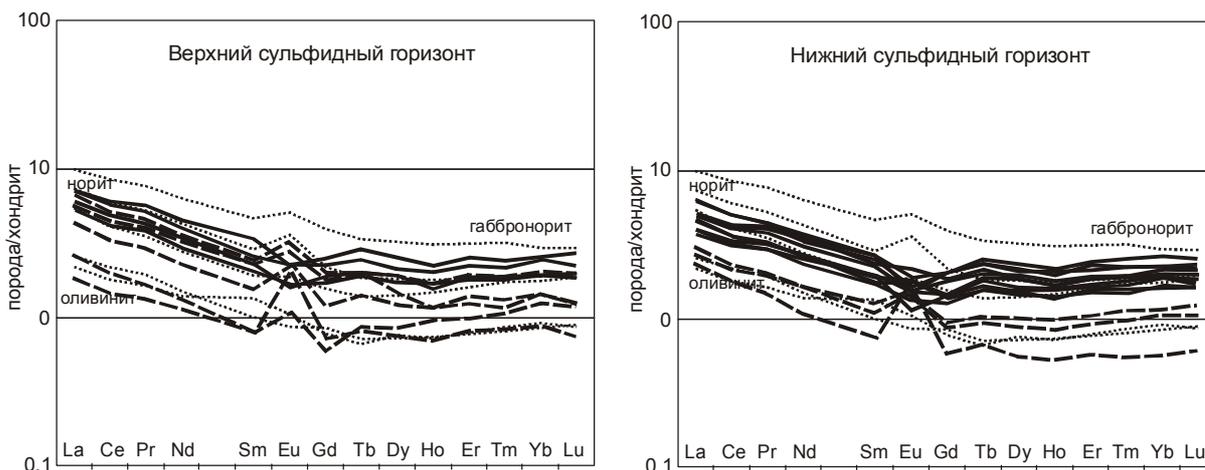


Рис. 2. Спайдер-диаграммы для редкоземельных элементов в сульфидных горизонтах.

Точечными линиями показано содержание РЗЭ в целом по разрезу, простыми – в породах одного сульфидного горизонта, штриховыми выделены образцы с *Eu* максимумом.

линиями. Существенная положительная *Eu* аномалия (Eu/Eu^* до 2.7) в сульфидсодержащих лейко- и мезократовых норитах, характерна в основном для нижних сульфидных горизонтов. Необходимо отметить, что чем меньше редкоземельных элементов содержится в породе, тем выше концентрация *Eu*, в результате чего независимо от концентрации остальных лантаноидов вариации содержания европия колеблется в диапазоне бронзититов-норитов. Верхние сульфидные горизонты (ВСГ) различаются в разных уровнях. В нижнем сульфидном уровне (СУ), находящемся в подзоне контрастного переслаивания бронзититов и норитов, ВСГ характеризуется отсутствием максимума, кроме единичных случаев (например, для нижнего уровня – 3 прослоя из 15 изученных), причем содержание в них REE существенно ниже, чем в других образцах этого горизонта.

Появление сульфидной жидкости в расплаве существенно влияет на поведение некогерентных элементов. Судя по концентрациям РЗЭ, сульфидный расплав вытесняет существенную долю интеркумулятивной жидкости, в которой происходит накопление некогерентных элементов. При этом в верхнем сульфидном уровне *Ni* преимущественно входит в состав сульфидной фазы, а в нижнем – в пироксены в качестве рассеянного элемента. Это может свидетельствовать о том, что в верхнем СУ кристаллизация сульфидов происходит непосредственно из ликвидирующего расплава, где *Ni* связывается в сульфид, а в нижнем СУ этого элемента в остаточном расплаве существенно меньше, поскольку он уже был захвачен в состав пироксенов. Об этом же говорит отсутствие отчетливой корреляции *Ni* и *S* в нижнем СУ и наличие ее в верхнем СУ. Поскольку подзона контрастного переслаивания по своим геохимическим характеристикам не должна содержать достаточного количества серы для начала отделения сульфидной жидкости, можно предположить, что нижний СУ образовался в результате поступления сульфидного расплава из другой части разреза, согласно [2], а нижний сульфидный горизонт этого уровня – в результате просачивания сульфидной жидкости сквозь «магматическую кашу» кристаллизующихся норитов.

Пониженное содержание РЗЭ скорее всего связано с поступлением сульфидного расплава и вытеснением интеркумулуса. При этом *Eu*, благодаря изменению физико-химических условий и возможности менять валентность, мог активно входить в состав плагиоклаза, сохраняя в отличие от всех остальных платиноидов, концентрацию, близкую к исходной. Об этом свидетельствуют малые вариации концентрации этого элемента на фоне широкого диапазона значений других РЗЭ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бычкова Я.В., Бондаренко С.В, Андреева О.А., Закревская О.Ю. Закономерности пространственного распределения малосульфидной платинометальной минерализации в Кивакском интрузиве (Северная Карелия) // Геохимия. 2009. № 1. С. 41-57.
2. Бычкова Я.В., Коптев-Дворников Е.В. Ритмическая расслоенность кивакского типа: геология, петрография, петрохимия, гипотеза формирования // Петрология. 2004. Т. 12. № 3. С. 281-302.