

ВЛИЯНИЕ ЛЕТУЧЕСТИ КИСЛОРОДА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ РУДОГЕНЕЗА И РАЗВИТИЕ БИОСФЕРЫ В ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЕ МЕЖДУ МАНТИЙНЫМИ И КОРОВЫМИ СИСТЕМАМИ ЛИТОСФЕРЫ

Балашов Ю.А.

*Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты,
e-mail: balashov@geoksc.apatity.ru*

Проблема сопоставления распределения кислорода в породах и минералах коры и мантийной части литосферы возникла совсем недавно с появлением результатов измерения в составе редкоземельных элементов вариаций отношения четырех- и трехвалентного церия (Ce^{+4}/Ce^{+3}) в цирконах как геохимического буфера («CeB») [Балашов, Скублов, 2011; Balashov, Martynov, 2012] для коры и мантии. Однако, у петрологического буфера FMQ для мантийных пород [Ballhaus, 1993; Balashov, Martynov, 2012] максимальное значение $\Delta \log fO_2$ достигает + 4 или ~ 34 по буферу CeB [Balashov, Martynov, 2012], что существенно меньше, чем обнаруженные изменения в ряде цирконов из докембрийских и фанерозойских пород (табл. 1).

Таблица 1

Корреляция параметров геохимического (CeB) и петрологического (FMQ) буферов для летучести кислорода ($\Delta \log fO_2$) в мантийных и измененных вторичными процессами цирконах литосферы.

Ce^{+4}/Ce^{+3}	Lg: ($Ce^{+4}/^{+3}$)	Lg: (FMQ)	Регион, порода/циркон	№ пробы
506*		>> мантия	Норвегия, сиенитовый пегматит	Zc-8-9
185*		>> мантия	Норвегия, Не-сиенитовый пегматит	Zc-7-6
50*		>> мантия	Норвегия, Не-сиенитовый пегматит	Zc-7-4
34.1*	1.52	+4	Китай, перидотит ксен.	Y974-25
16.1	1.2	+3	Якутия, хромитов. ксен.	Onekh-2B
9.9*	1.0	+2	Австралия, лампроит	Arg-2
5.71*	0.78	+1	Якутия, кимберлит	An 152-A
3.9*	0.6	0.0	Украина, долерит	023/86-26
2.47*	0.4	-1	Якутия, тр. Мир, кимберлит	Mir-core-1
1.83***	0.27	-2	Ю.Афр., Ноенипут, кимберлит	M32-3
1.1	0.0	-3	Ю.Африка, Монастери, кимберлит	MZ-05-1
0.49	-0.75	-4	Ю.Африка, Лемфана, кимберлит	M27-3
0.14	-1.25	-5	Ю.Африка, Као 1, кимберлит	M42(2)2
0.01	-1.95	-6	Ю.Африка, Дайка 170, кимберлит	M28(8)1

*измененные наложенными вторичными процессами цирконы мантии и коры.

*** пограничная зона между верхней и нижней частями мантийной литосферы в районах кимберлитового и лампроитового магматизма [Belousova et al., 2002; Belousova et al., 2006; Balashov, Martynov, 2012].

Как видно из табл.1, между нижней и верхней частями мантийной литосферы существует отчетливое различие по летучести кислорода, измеренное по геохимическому (Ce^{+4}/Ce^{+3}) = «CeB» и петрологическому (FMQ) буферам: преобладание восстановительных режимов генерации цирконов и пород в нижних частях разреза и окисленных в верхних [Ballhaus, 1993; Balashov, Martynov, 2012]

На рис. 1 суммирована информация по цирконам во всем интервале от хадея до фанерозоя для выявления зависимости летучести кислорода в геологическом времени.

Прежде всего, следует обратить внимание на факт почти полного совпадения диапазона вариаций отношения Ce^{+4}/Ce^{+3} в цирконах верхней части мантийной литосферы и цирконов из разнообразных типов пород коры (интервал от 34 до 2), включающих хадейские и

архейские детритовые цирконы Австралии [Belousova et al., 2002; Belousova et al., 2006], архейские тоналитовые и гранодиоритовые гнейсы Гренландии [Whitehouse, Kamber, 2002],

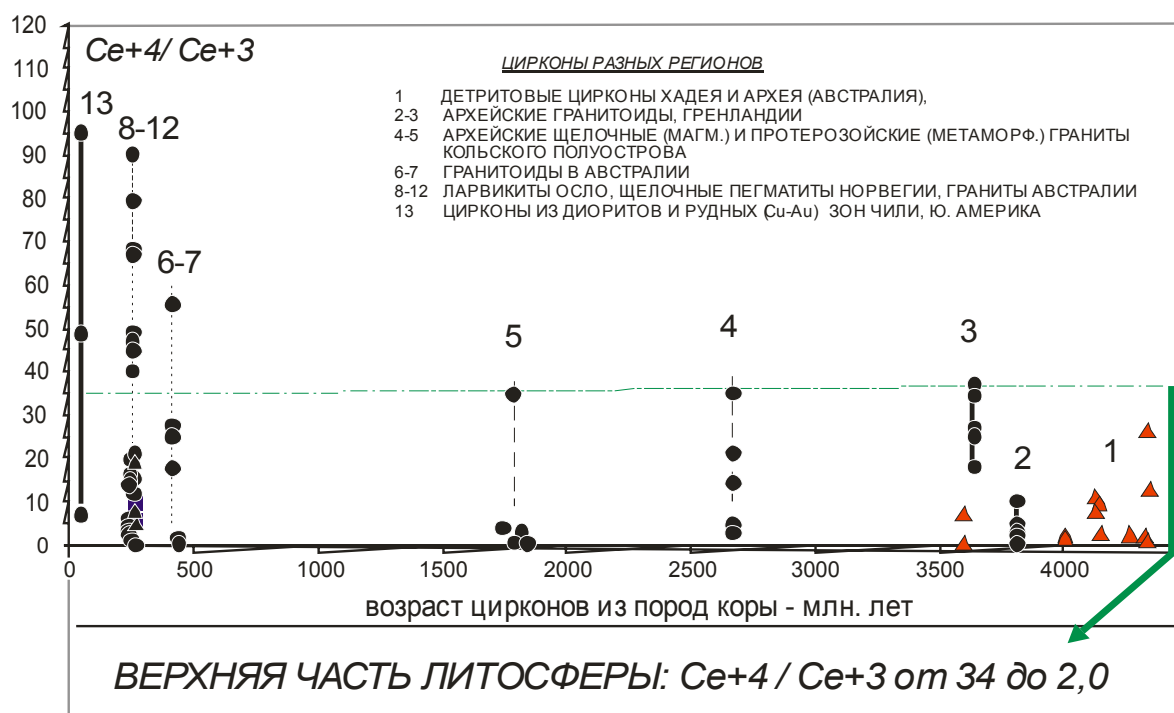


Рис. 1. Отношения Ce^{+4}/Ce^{+3} в цирконах из мантийной литосферы и коры

архейские щелочные граниты Кольского полуострова и их протерозойские метаморфические разновидности [Балашов, Скублов, 2011] и часть гранитоидов фанерозоя Австралии и Чили [Hoskin et al., 2000; Ballard et al., 2002; Belousova et al., 2002; Belousova et al., 2006; Balashov, Martynov, 2012]. Более того, новейшие данные по цирконам докембрия для ряда дунитов Урала относятся к уникально окисленным по уровню отношения Ce^{+4}/Ce^{+3} среди цирконов из мантийных пород литосферы. Таким образом, наблюдается аналогия в интенсивности окисленности цирконов на всем интервале времени геологического развития коры и мантии. Столь резкое увеличение отношения Ce^{+4}/Ce^{+3} регистрируется в гранитоидах Чили из зон вторичного их преобразования, сопровождавшегося появлением Cu-Au оруденения [Ballard et al., 2002]. Вместе с тем, ограниченность представленного корового материала не исключает вероятности для более глубокого развернутого анализа в будущем. Во всяком случае, следует обратить особое внимание на признаки окислительной среды в глубоком хадее и архее, что имеет прямое отношение к выяснению условий зарождения жизни на Земле, поскольку повышенная летучесть кислорода в детритовых цирконах отражает с большой вероятностью существование кислорода в гидросфере и атмосфере. Здесь уместно напомнить, что изотопный состав кислорода в хадейских и архейских детритовых цирконах варьирует от 15‰ до 5.4‰ $\delta^{18}O$ [Mojzsis et al., 2001; Peck et al., 2001], что указывает на взаимодействие цирконов с водой (гидротермальные процессы?). Знание режимов летучести кислорода, таким образом, приобретает важнейшее значение в связи с необходимостью расшифровки истории биогенной активизации на Земле. В последние годы это нашло отражение в двух схемах циклически-стадийной эволюции биосферы [Добрецов, 2005; Добрецов и др., 2007; Sorokhtin et al., 2010]. Обе схемы условные, они отражают представления авторов о возможной эволюции «кислородной атмосферы», но не подтверждаются геохронологическими данными, использование которых позволяют описать реальную картину кислородной летучести в хадее (рис. 1). Кроме того, для цирконов верхней части мантийной литосферы отмечается отчетливое формирование в окисленной обстановке. В перидотитах и их породообразующих минералах выявлена повышенная концентрация H_2O и OH^- , которая сохраняется до глубин 150-160 км при FMQ от -1.4 до -0.1 [Бабушкина и др.,

2009], что сопоставимо с уровнем Ce^{+4}/Ce^{+3} от 1.9 до 3.7. Громадный запас воды в верхних частях литосферы – источник выноса воды при наращивании массы океанов в геологическом времени – одновременно является условием для процессов окисления самих пород верхней части литосферы при повышенных значениях P-T параметров в литосфере. К этому следует добавить, что в современном элементном составе «солнечного ветра» [Canuto et al., 1983; Anders, Grevesse, 1989] постоянно присутствует большая концентрация кислорода.

Литература

Бабушкина М.С., Никитина Л.П., Гончаров А.Г., Пономарева Н.И. Вода в структуре минералов мантийных перидотитов: связь с термальными и окислительно-восстановительными условиями в верхней мантии // Записки Российского Минералогического Общества. 2009. Ч. СXXXVIII, №1. С. 3-19.

Балашов Ю.А., Скублов С.Г. Контрастность геохимии магматических и вторичных цирконов // Геохимия. 2011. № 6. С. 622-633.

Добрецов Н.Л. О ранних стадиях зарождения и эволюции жизни // Информационный Вестник ВОГиС. 2005. Т. 9, № 1. С. 43-54.

Добрецов Н.Л. Колчанов Н.А., Суслов В.В. Ранние этапы эволюции геосферы и биосферы // Материалы совещания «Фундаментальные проблемы геотектоники». 2007. Т. 1. С. 225-226.

Anders E., Grevesse N. Abundances of the elements: Meteoritic and solar // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1989. V. 53. P. 197-214.

Balashov Yu.A., Martynov E.V. Correlation of oxygen fugacity in the mantle lithosphere between Ce^{+4}/Ce^{+3} relation of zircons and petrological buffer FMQ // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15. № 2. С. 311-329.

Ballard J.R., Palin J.M., Campbell I.H. Relative oxidation state of magmas inferred from Ce(IV)/Ce(III) in zircon: application to porphyry copper deposits of northern Chile // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2002. V. 144. P. 347-364.

Ballhaus C. Redox states of lithospheric and asthenospheric upper mantle // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1993. V. 114. P. 331-348.

Belousova E.A., Griffin W.L. and O'Reilly S.Y. Zircon crystal morphology, trace element signatures and Hf isotope composition as a tool for petrogenetic modeling: examples from Eastern Australian granitoids // *J. Petrology*. 2006. V. 47, № 2. P. 329-353.

Belousova E.A., Griffin W.L., O'Reilly S.Y., Fisher N.I. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2002. V. 143. P. 602-622.

Canuto V.M., Levine J.S., Augustsson T.R., Imhoff C.L., Giampapa M.S. The young Sun and the atmosphere and photochemistry of the early Earth // *Nature*. 1983. V. 305. P. 281-286.

Hoskin P.W.O., Kinny P.D., Wyborn D., Chappell B.W. Identifying accessory mineral saturation during differentiation in Granitoid Magmas: an Integrated Approach // *J. Petrology*. 2000. V. 41. № 9. P. 1365-1396.

Mojzsis S.J., Harrison T.M., Pidgeon R.T. Oxygen-isotope evidens from ancient zircons for liquid water at the Earth's surface 4,300 Myr ago // *Nature*. 2001. V. 409. P. 178-181.

Peck W.H., Valley J.W., Wilde S.A., Graham C.M. Oxygen isotope ratios and rare earth elements in 3,3 to 4,4 Ga zircons: Ion microprobe evidence for high $\delta^{18}O$ continental crust and oceans in the Early Archean // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2001. V. 65, № 22. P. 4215-4229.

Sorokhtin O.G., Chilingar G.V., Sorokhtin N.O. Theory of development of the Earth // *Moskou-Izevsk*. 2010. P. 1-751.

Whitehouse M.J., Kamber B.S. On the over abundance of light rare earth elements in terrestrial zircons and its Earth's earliest magmatic differentiation // *Earth and Planet. Sci. Letters*. 2002. V. 204. P. 333-346.