

Lu-Hf изотопная систематика циркона из плагиогнейсов Кольской сверхглубокой скважины

Ветрин В.Р.

*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты
ФГБУ ИМГРЭ, Москва, vetrin@geoksc.apatity.ru*

Аннотация. Приведены результаты изучения изотопных Lu-Hf и Sm-Nd систем, соответственно, в цирконе и вмещающих плагиогнейсах архейского комплекса Кольской сверхглубокой скважины СГ-3 (69°25' с.ш., 30°44' в.д.), пробуренной в северо-западной части Мурманской области. Исследованы кристаллы циркона из плагиогнейсов 8-й толщи (обр. 26, глубина 10780 м) и 10-й толщи (обр. 43, глубина 11778 м). Согласованность Hf- и Nd- изотопных систем в цирконе и породе определяет магматический генезис ядер и оболочек, кристаллизовавшихся в равновесии с силикатной матрицей породы. Циркон метаморфических кайм по величине отношения $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_{\text{in}}$ близок с ядрами и оболочками кристаллов, что свидетельствует о формировании метаморфических кайм кристаллов циркона из плагиогнейсов СГ-3 главным образом в условиях закрытой системы.

Ключевые слова: Кольская сверхглубокая скважина, плагиогнейсы, циркон, Lu-Hf и Sm-Nd изотопные системы.

Lu-Hf isotope systematics of zircon from plagiogneisses of the Kola Superdeep Borehole

Vetrin V.R.

*Geological Institute, Kola Science Centre of RAS, Apatity
Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements, Moscow*

Abstract. The article provides results of Lu-Hf and Sm-Nd isotope systems investigation in zircon (Lu-Hf) and plagiogneisses (Sm-Nd) of an Archaean complex of the Kola Superdeep Borehole SD-3 (69 °25' n.l., 30 °44' e.l.), drilled in the northwest part of the Murmansk region. Zircon crystals from plagiogneisses of the 8th suite are studied (sample 26, depth is 10780 m) and the 10th suite (sample 43, depth is 11778 m). The coherence of Hf- and Nd-of isotope systems in zircon and rocks indicates the magmatic genesis of the cores and covers crystallized in equilibrium with a silicate matrix of rock. Zircon of metamorphic borders in relation size $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_{\text{in}}$ is close to cores and covers of crystals that demonstrates formation of metamorphic borders mainly in the conditions of the closed system.

Key words: Kola Superdeep Borehole, plagiogneisses, zircon, Lu-Hf and Sm-Nd isotope systems.

В строении докембрийской земной коры существенную роль играют породы тоналит-трондьемит-гранодиоритового состава (ТТГ), известные также под названием плагиогнейсы или «серые гнейсы». Породы испытали один или несколько этапов метаморфизма и образованы метаморфогенными парагенезисами породообразующих минералов. Одним из реликтовых минералов протолитов плагиогнейсов является циркон магматического генезиса. В ряде случаев его кристаллы содержат расплавные включения, определяющие состав и эволюцию исходных магм (Thomas et al., 2003). Циркон устойчив к механическим воздействиям, слабо взаимодействует с расплавами и флюидами, имеет высокую температуру закрытия U-Th-Pb и Lu-Hf изотопных систем, вследствие чего является перспективным геохронометром и маркером петрологических процессов. В то же время необходимым условием изучения процессов магматизма и метаморфизма является соответствие полученных данных конкретным геологическим событиям. Для решения поставленных задач требуется определение генетических типов циркона на основании изучения морфологии кристаллов, их внутреннего строения, состава включений, редкоэлементного и изотопного состава.

В настоящем сообщении приведены результаты изучения циркона из плагиогнейсов архейского комплекса Кольской сверхглубокой скважины СГ-3 (69°25' с.ш., 30°44' в.д.), пробуренной в

породах северной части палеопротерозойской Печенгской структуры в северо-западной части Мурманской области. Определение генетических типов циркона выполнено на основании его Lu-Hf изотопного состава и Sm-Nd изотопной систематики вмещающих плагиогнейсов, а также по составу захваченных кристаллами расплавных и газовой-жидких включений.

Геология и петрология плагиогнейсов

Породы архейского комплекса СГ-3 вскрыты на глубинах 6842-12262 м и образуют 5 ритмов, нижние части которых (сверху вниз: 2-я, 4-я, 6-я, 8-я, 10-я толщи) сложены метавулканиками дацит-плагиориодацитового состава (плагиогнейсами), занимающими ~ 45 % разреза (Кольская свержглубокая., 1984; 1998). Образование исходных магм плагиогнейсов СГ-3 предполагается за счет плавления метабазитовых источников в равновесии с гранатсодержащим реститом при $P \geq 10-15$ кбар (Ветрин и др., 2003).

Изученные образцы

Исследованы кристаллы циркона из плагиогнейсов 8-й толщи (обр. 26, глубина 10780 м) и 10-й толщи (обр. 43, глубина 11778 м). Образцы плагиогнейсов представлены среднезернистыми гнейсовидными породами, состоящими из олигоклаза (50-60 %), микроклина (5-7 %), кварца (25-30 %), биотита (5-10 %), эпидота, титанита, апатита, алланита, циркона, магнетита. Кристаллы циркона включены преимущественно в зерна кварца, реже в зерна плагиоклаза, апатита или приурочены к интерстициальным промежуткам породы. Структура пород гранобластовая, бластогранитовая, с отчетливо проявленным идиоморфизмом плагиоклаза по отношению к кварцу и микроклину. По химическому составу породы относятся к высокоглиноземистому типу ($Al_2O_3 > 14.5$ %) с ASI ($Al_2O_3 / CaO + Na_2O + K_2O$, мол. кол-ва) от 0.99 до 1.13, и соответствуют плагиориодациту (трондьемиту) или дациту (тоналиту).

Морфология и этапы образования кристаллов циркона

Кристаллы циркона из плагиогнейсов СГ-3 имеют однородное или сложное строение и в последнем случае состоят из ядер, занимающих преобладающую часть объема зерен, оболочек и незональных кайм [6-8, 2]. Кристаллизация ядерных частей кристаллов происходила в интервале времени от 2887 до 2812 млн. лет для плагиогнейсов 8-й толщи, и от 2880 до 2830 млн. лет для ТТГ 10-й толщи, и конкордантный возраст ядер определен, соответственно, в 2857 ± 9 и 2852 ± 4 млн. лет. Образование оболочек кристаллов (соответственно, 2810 ± 10 и 2831 ± 9 млн. лет) предполагается в результате излияния на поверхность и быстрой кристаллизации расплавов. При неоархейском метаморфизме (2770 ± 10 и 2692 ± 5 млн. лет) в периферических частях зерен были образованы незональные каймы и обособленные изометричные сложнограненные кристаллы (Чупин и др., 2005; 2006). В то же время длительный интервал кристаллизации ядерных частей кристаллов, а также морфологические особенности зерен позволяют предполагать их образование и в результате захвата магмой ксеногенных кристаллов циркона из вмещающих пород. Трактовка генезиса оболочек кристаллов также не однозначна, и наряду с магматическим генезисом допускается их образование в процессе гранулитового метаморфизма.

Lu-Hf систематика циркона

При широком интервале вариаций Hf- изотопных характеристик, ядра и оболочки кристаллов циркона из плагиогнейсов имеют сходные средние значения $^{176}Hf/^{177}Hf_m$, свидетельствующие об их близком по составу источнике (Ветрин и др., 2016). Циркон метаморфических кайм по величине этого отношения и в пределах аналитических ошибок близок с ядрами и оболочками кристаллов, что свидетельствует, вероятно, о формировании метаморфических кайм кристаллов циркона из плагиогнейсов СГ-3 главным образом в условиях закрытой системы.

Обсуждение результатов

При реконструкции генетических типов кристаллов циркона целесообразно использование изотопных Lu-Hf и Sm-Nd систем, ведущих себя когерентно в процессах магматической дифферен-

циации, с положительной корреляцией начальных изотопных отношений $\epsilon\text{Nd}(T)$ в породе и $\epsilon\text{Hf}(T)$ в породе или цирконе (Vervoort, Blichert-Toft, 1999; Blichert-Toft, Albarede, 1997; Лохов и др., 2009). Графически указанная зависимость поведения изотопных систем выражается линией с параметром $\epsilon\text{Hf}(T)=1.36 \times \epsilon\text{Nd}(T)+3.0$, получившей название *terrestrial array*, или ТА, и с учетом дисперсий определения изотопных параметров – полосой ТА, имеющей ширину порядка 2-4 единиц эпсилон (рис.1). Захваченные (реликтовые) кристаллы циркона, имеющие в сравнении с породой более древний возраст, имеют повышенную величину $\epsilon\text{Nd}(T)$, и на диаграмме должны располагаться правее и ниже поля ТА. По сравнению с магматическим цирконом кристаллы метаморфического генезиса при их меньшем возрасте и, соответственно, пониженных значениях $\epsilon\text{Nd}(T)$ имеют близкий, или как правило более радиогенный состав Hf. Содержание радиогенной компоненты определяется вкладом вещества их магматических предшественников и количеством радиогенного ^{176}Hf , полученного цирконом при диффузионном обмене с Lu-содержащими темноцветными минералами породы – гранатом, пироксенами, амфиболом, биотитом.

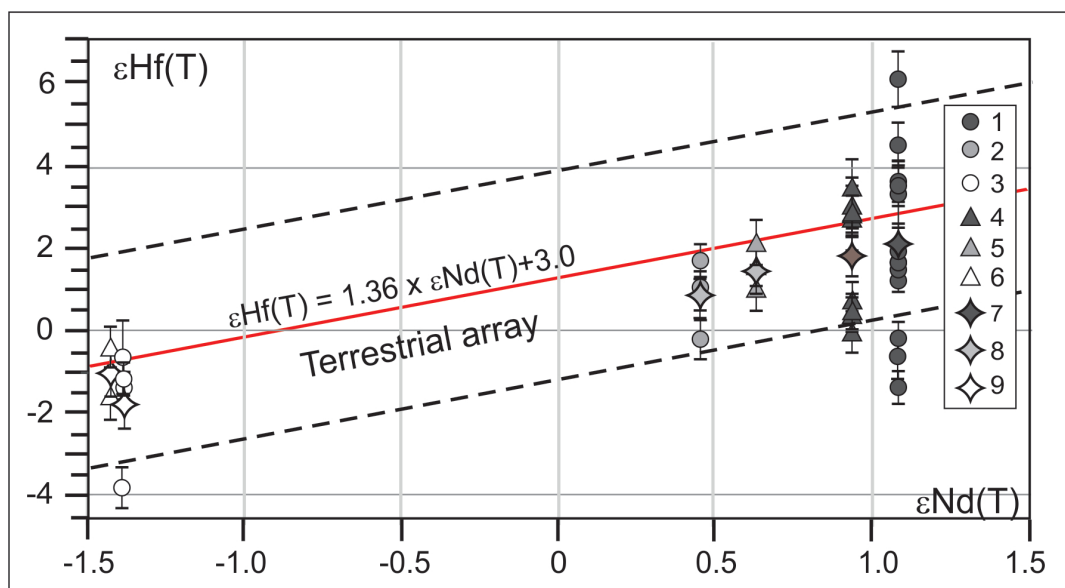


Рис.1. Изотопная Nd-Hf систематика циркона из плагиогнейсов СГ-3.

1-3 и 4-6-соответственно, обр. 26 и 43 (1, 4 – ядра, 2, 5 – оболочки, 3, 6 – каймы), 7-9 – средние значения для ядер, оболочек и кайм. Вертикальные линии у значков- погрешности определения $\epsilon\text{Hf}(T)$ на уровне 1σ . Результаты определения изотопного состава Hf в цирконе и Nd в породе приведены в (Ветрин и др., 2003; 2016).

Fig. 1. Isotope Nd-Hf systematics of zircon from SG-3 plagiogneiss. 1-3 and 4 - 6 – respectively, samples 26 and 43 (1, 4 – cores, 2, 5 – covers, 3, 6 – borders), 7-9 – average values for cores, covers and borders.

На диаграмме в координатах $\epsilon\text{Nd}(T) - \epsilon\text{Hf}(T)$ точки составов ядер и оболочек изученных кристаллов циркона образуют вертикальные тренды с приуроченностью их средних значений к центральным частям поля ТА. Нахождение точек состава в пределах поля ТА определяется согласованностью Hf- и Nd- изотопных систем в цирконе и породе, что наряду с наличием в кристаллах расплавных включений плагиориодацит-риолитового состава (Чупин и др., 2009) достоверно определяет магматический генезис ядер и оболочек, кристаллизовавшихся в равновесии с силикатной матрицей породы.

Циркон метаморфических кайм и сложнограненных изометрических кристаллов имеет пониженные значения $\epsilon\text{Nd}(T)$ и $\epsilon\text{Hf}(T)$, и преобладающая часть точек его состава располагается в центральной части поля ТА, что более свойственно для циркона магматического генезиса. В то же время заведомо метаморфогенное происхождение зерен поздней генерации циркона определяется отсутствием в них расплавных включений и наличием лишь газовой-жидких включений водных растворов (Чупин и др., 2005). Когерентность изотопных параметров метаморфогенных зерен циркона

с породой объясняется, вероятно, образованием кайм главным образом за счет вещества ядер и оболочек кристаллов магматического генезиса. Поскольку кристаллы циркона в плагиогнейсах СГ-3 включены главным образом в зерна плагиоклаза и кварца, не содержащих значимых количеств Lu, это способствовало сохранению изотопного состава магматических частей кристаллов при образовании метаморфических кайм.

Выводы

Приведенные результаты изучения изотопных составов Hf в цирконе и Nd в породе показывают достоверность определения по ним различных генетических типов циркона. Существенную помощь может быть получена при исследовании состава расплавных и газовой-жидких включений в кристаллах циркона.

Исследования выполнены по теме НИР 0226-2019-0052 при частичной поддержке РФФИ (грант 16-05-00756а) и госконтракта № 13/17-1.

Литература

1. Ветрин В.Р., Туркина О.М., Ладден Дж., Деленицин А.А. Геохимия и реконструкция состава протолитов фундамента Печенгского палеорифта. *Петрология*. 2003. Т. 11. № 2. С. 196–224.
2. Ветрин В.Р., Белоусова Е.А., Чупин В.П. Редкие элементы и Lu-Hf изотопная систематика циркона из плагиогнейсов Кольской сверхглубокой скважины: вещество палеоархейской коры в мезоархейских метавулканитах. *Геохимия*. 2016. № 1. С. 105–125.
3. Кольская сверхглубокая. Исследование глубинного строения континентальной коры с помощью бурения Кольской сверхглубокой скважины / Под ред. Козловского Е.А. / М: Недра. 1984. 490 с.
4. Кольская сверхглубокая. Научные результаты и опыт исследования / Под ред. Орлова В.П. и Лаверова Н.П. / М: Технонефтегаз. 1998. 260 с.
5. Лохов К.И., Салтыкова Т.Е., Капитонов И.Н., Богомолов Е.С., Сергеев С.А., Шевченко С.С. Корректная интерпретация U-Pb возраста по цирконам на основе изотопной геохимии гафния и неодима (на примере некоторых магматических комплексов фундамента Восточно-Европейской платформы) // *Региональная геология и металлогения*. 2009. № 38. С. 43–53.
6. Чупин В.П., Ветрин В.Р. Расплавные и флюидные включения в цирконе и породообразующих минералах из плагиогнейсов архейского комплекса Кольской сверхглубокой скважины (Балтийский щит). *Геохимия*. 2005. № 2. С. 206–212.
7. Чупин В.П., Ветрин В.Р., Родионов Н.В., Матуков Д.И., Бережная Н.Г., Сергеев С.А., Митрофанов Ф.П., Смирнов Ю.П. Состав расплавных включений и возраст цирконов из плагиогнейсов архейского комплекса Кольской сверхглубокой скважины (Балтийский щит). *Докл. АН*. 2006. Т. 406. № 4. С. 533–537.
8. Чупин В.П., Ветрин В.Р., Сергеев С.А., Бережная Н.Г., Родионов Н.В. Магматические включения в цирконе из архейских «серых гнейсов» Кольской сверхглубокой скважины как показатель происхождения и возраста протолитов. *Изотопные системы и время геологических процессов. Материалы IV Российской конференции по изотопной геохронологии*. СПб: ИП Каталкина. 2009. С. 266–268.
9. Thomas J.B., Bodnar R.J., Shimizu N., Chesner C.A. Melt Inclusions in Zircon. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2003. V. 53. № 1. P. 63–87.
10. Vervoort J.D., Blichert-Toft J. Evolution of depleted mantle: Hf evidence from juvenile rocks through time. *Geochim., Cosmochim. Acta*. 1999. V. 63. N. 3/4. P. 533–556.
11. Blichert-Toft J., Albarede F. The Lu-Hf isotope geochemistry of chondrites and evolution of the mantle-crust system. *Earth, Planet. Sci. Lett.* 1997. V. 148. P. 243–258.