

УДК 551.2.08(470.21)

© В. Р. ВЕТРИН,\* Е. А. БЕЛОУСОВА,\*\* д. чл. А. А. КРЕМЕНЕЦКИЙ\*\*\*

# **Lu-Hf ИЗОТОПНАЯ СИСТЕМАТИКА ЦИРКОНА ИЗ КСЕНОЛИТОВ НИЖНЕЙ КОРЫ БЕЛОМОРСКОГО ПОДВИЖНОГО ПОЯСА**

\* ГИ КНЦ РАН, 184209, Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, 14;  
e-mail: vetrin@geoksc.apatity.ru

\*\* NSW 2109, Macquarie University, Dept. of Earth and Planetary Sciences,  
Faculty of Science, Sydney, Australia;  
e-mail: elena.belousova@mq.edu.au

\*\*\* ИМГРЭ, 121357, Москва, ул. Вересаева, 15;  
e-mail: nauka@imgre.ru

Приведены результаты изучения строения кристаллов, их геохимии, U-Pb возраста и изотопного состава Hf в цирконе из ксенолитов гранатовых гранулитов нижней коры Беломорского подвижного пояса. Установлен первично магматический протолитовый генезис циркона раннего палеопротерозойского возраста (2.47 млрд лет), образованного в процессе кристаллизации базитовых пород нижней коры. Циркон мезо- и неоархейского возраста представлен ксенотенными кристаллами, захваченными расплавами основного состава при их контаминации более древним силикатическим веществом коры. Поздний палеопротерозойский возраст (1.75 млрд лет) имеют метаморфогенные зерна циркона, и палеозойское время образования установлено для магматического кристалла, образованного при инъекции ксенолитов расплавами щелочно-ультраосновного состава, доставлявших ксенолиты к поверхности. На основании U-Pb датировок и Lu-Hf систематики кристаллов намечены этапы образования и преобразования нижней коры региона.

*Ключевые слова:* ксенолиты, нижняя кора, циркон, Lu-Hf изотопная система, согласованность Lu-Hf и Sm-Nd изотопных систем, этапы формирования нижней коры, Кольский полуостров.

V. R. VETRIN,\* E. A. BELOUSOVA,\*\* A. A. KREMENETSKIY\*\*\* Lu-Hf ISOTOPE  
SYSTEMATICS OF ZIRCON FROM XENOLITHS OF THE LOWER CRUST  
OF THE BELOMORIAN MOBILE BELT

\* Geological Institute, Kola Science Centre of RAS, Apatity, Russia

\*\* Dept. of Earth and Planetary Sciences, Macquarie University, Sydney, Australia

\*\*\* Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements,  
Moscow, Russia

Structure, geochemistry, U-Pb age and Lu-Hf isotopic composition of zircon crystals from xenoliths of garnet granulites of the lower crust of the Belomorian mobile belt have been studied. There was revealed the primary magmatic protolithic origin of Early Palaeoproterozoic zircon (2.47 billion years), formed during crystallization of mafic rocks in the lower crust has been established. Zircon of

Meso- and Neoarchaeon is represented by xenogenic crystals trapped by basic melts during their contamination with the more ancient sialic crust material. Metamorphogenic zircon grains yielded Late Palaeoproterozoic age (1.75 billion years). Paleozoic age has been revealed for magmatic crystals with well-manifested oscillatory zoning, formed during xenolith injection by alkaline ultrabasic melts which have brought xenoliths to the surface. On the basis of U-Pb dating and Lu-Hf systematics of crystals, stages of formation and transformation of the lower crust in the region were defined.

*Key words:* xenoliths, lower crust, zircon, Lu-Hf isotopic system, consistency of Lu-Hf and Sm-Nd isotopic systems, stages of the lower crust formation, Kola Peninsula.

Циркон является устойчивым к внешним воздействиям минералом-геохронометром, часто сохраняющим изотопную память при участии в последующих процессах магматизма, метаморфизма и осадконакопления (Corfu et al., 2003). Применяемые в настоящее время методы локального изотопного исследования циркона на вторичноионных масс-спектрометрах (SIMS) позволяют определять возраст отдельных зон кристаллов (ядра, оболочки, каймы) на участках менее 20 мкм. В то же время при SIMS-датировании кристаллов циркона из одной породы, исследователи часто получают спектр дискретных значений возраста с интервалом в десятки и сотни миллионов лет. Корреляция полученных данных с конкретными геологическими событиями производится при изучении морфологии, внутреннего строения и геохимии кристаллов, но не всегда дает однозначные результаты. Дополнением к указанным методикам определения генезиса циркона является исследование в нем изотопного состава Hf и сопоставление полученных результатов с данными Sm-Nd изотопной системы в породе, содержащей анализируемый минерал (Blicher-Toft, Albarede, 1997; Vervoort, Blicher-Toft, 1999).

В настоящей статье приведены результаты изучения строения кристаллов, их геохимии, U-Pb возраста и изотопного состава Hf в цирконе из ксенолитов гранатовых гранулитов нижней коры Беломорского подвижного пояса. Установлен первично-магматический протолитовый генезис циркона раннего палеопротерозойского возраста (2.47 млрд лет), образованного в процессе кристаллизации базитовых пород нижней коры. Циркон мезо- и неоархейского возраста представлен ксеногенными кристаллами, захваченными расплавами основного состава при их контаминации более древним сиалическим веществом коры. Поздний палеопротерозойский возраст (1.75 млрд лет) имеют метаморфогенные зерна циркона, и палеозойское время образования установлено для зонального магматического кристалла, образованного при инъекции ксенолитов расплавами щелочно-ультраосновного состава, доставлявших ксенолиты к поверхности. На основании U-Pb датировок и Lu-Hf систематики кристаллов намечены этапы образования и преобразования нижней коры региона.

**Геология и петрография ксенолитов.** Беломорский подвижный пояс (БПП) протяженностью более 1500 км расположен между Карельским кратоном и Кольской провинцией Балтийского щита. В северо-западной части пояса находится около 1000 эксплозивных даек и более 40 трубок взрыва, содержащих ксенолиты гранатовых гранулитов ( $\text{Grt} + \text{Cpx} + \text{Pl} \pm \text{Opx} \pm \text{Qtz} \pm \text{Kfs} \pm \text{Phl} \pm \text{Hbl}$ ,<sup>1</sup>  $T = 750\text{—}930\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 12\text{—}15$  кбар; Ветрин, Калинин, 1992; Kempton et al., 1995), и в меньшем количестве — двупироксеновых и гранатовых пироксенитов. При исследовании глубинных ксенолитов была обоснована принадлежность пород к отторженцам нижней коры (Шарков, Пухтель, 1987; Ветрин, Калинин, 1992; Неймарк и др., 1993; Kempton et al.,

<sup>1</sup> Символы минералов (по: Kretz, 1983).

1995, 2001; Downes et al., 2002; Ветрин, 2006; Ветрин и др., 2009). Максимальное количество и наиболее разнообразный состав ксенолитов установлен в трубке взрыва на о-ве Еловом, расположенном в 12 км к юго-востоку от г. Кандалакши. Трубка выполнена эруптивной брекчией, состоящей из остроугольных обломков вмещающих пород (20—30 %), округлых включений гранатовых гранулитов (40—50 %), пироксенитов, горнблендитов (5—10 %) и связующих ультраосновных лампрофиров (10—20 %). К-Аг возраст лампрофиров определен в  $368 \pm 15$  млн лет, и близок  $^{40}\text{Ar}$ — $^{39}\text{Ar}$  возрасту амфибола из ксенолита амфиболитов в трубке взрыва ( $393.1 \pm 0.8$  млн лет; Beard et al., 1996). Гранатовые гранулиты — это среднезернистые породы, состоящие из граната (10—60 %), клинопироксена (<1—40 %), плагиоклаза (20—70 %), ромбического пироксена (0—4 %), роговой обманки (0—17 %) и представленные всеми переходными типами от мафических (эклогитовых) до фельзических разновидностей. Содержание кварца, ортоклаза, скаполита и карбоната в ксенолитах не превышает 3—7 % для каждого минерала. В акцессорных количествах находятся апатит, флогопит, циркон, титанит, пирит, ильменит, рутил, эгирин и магнетит. Гранулиты часто имеют такситовую, иногда полосчатую текстуру, образованную прерывистыми слоями меланократового ( $\text{Grt} + \text{Cpx} \pm \text{Opx} \pm \text{Pl}$ ) и более лейкократового ( $+\text{Pl} \pm \text{Qtz}$ ) состава, и местами гранитизированы (Шарков, Пухтель, 1987; Ветрин, Калинин, 1992). В ряде случаев отмечается инъецирование ксенолитов прожилками вмещающих ультраосновных лампрофиров. По химическому составу гранатовые гранулиты соответствуют кварцевым и оливиновым толеитам.

**Методы исследования.** Кристаллы циркона выделены из 3 образцов гранатовых гранулитов, отобранных в трубке взрыва на о-ве Еловом. Измерение концентраций Sm, Nd и изотопного состава Nd в ксенолитах выполнено на масс-спектрометре TRITON в ЦИИ ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург. Коррекция отношения  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  произведена по стандартам La Jolla ( $0.511833 \pm 6$ ,  $n = 11$ ) и JNd ( $0.512072 \pm 2$ ,  $n = 44$ ). Изотопный состав Hf в цирконе из датированных на вторичноионном масс-спектрометре SHRIMP II кристаллах определен в Университете Маквари, Сидней, Австралия методом MC-LA-ICP-MS по методике (Griffin et al., 2000). Модельный возраст изученных кристаллов циркона  $T_{\text{Hf}}(\text{DM})$ , отражающий минимальный возраст его источника, определялся по одностадийной модели. Проведенный корреляционный анализ не выявил положительной корреляции между величинами отношений  $\epsilon_{\text{Hf}}(\text{T})$  с  $^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$  и  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ , чем определяется корректный учет изобарных наложений. Во время измерений среднее значение  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  для стандарта Мад Танк составило  $0.282529 \pm 0.000012$  ( $n = 6$ ) и для цирконового стандарта Темора II —  $0.282666 \pm 0.000022$  ( $n = 10$ ). С целью вычисления инициальных  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  и эpsilon Hf использованы значения возраста по изотопному отношению  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  для данного участка циркона, измеренное отношение  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$  и константа распада  $^{176}\text{Lu} = 1.865 \times 10^{-11} \text{ год}^{-1}$  (Scherer et al., 2001). Современные хондритовые отношения приняты как  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0.0336 \pm 0.0001$  и  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.282785 \pm 0.000011$  (Bouvier et al., 2008).

**Строение, возраст и состав кристаллов циркона.** При U-Pb исследовании циркона из ксенолитов гранатовых гранулитов на микрозонде SHRIMP-II (Ветрин и др., 2009) установлено расположение датировок кристаллов в интервале от 2.84 до 0.33 млрд лет с образованием пяти возрастных этапов — мезо- и неогаргейского, раннего и позднего палеопротерозойского и палеозойского (рис. 1).