

УДК 552.42 + 552.48

U-Pb ВОЗРАСТ УНАСЛЕДОВАННОГО ЦИРКОНА В ЛЕЙКОСОМЕ СЕРЫХ ГНЕЙСОВ РАЙОНОВ САЛМА И ГРИДИНО, БЕЛОМОРСКАЯ ПРОВИНЦИЯ

**Т. В. Картушинская¹, В. В. Балаганский^{1,2}, И. А. Горбунов¹,
А. Н. Ларионов³, П. А. Львов^{3,4}**

¹ Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия

² Мурманский государственный технический университет, Россия

³ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, Россия

Приводятся результаты датирования унаследованного циркона в лейкосомах районов Салма и Гридино. Лейкосомы образовались во время палеопротерозойского расщепления и будинажа архейских тоналит-трондьемит-гранодиоритовых (серых) гнейсов, вмещающих амфиболиты, в которых присутствуют реликты эклогитов. Кристаллы циркона содержат округлые ядра, обычно занимающие $\geq 90\%$ объема кристалла и имеющие тонкую осцилляторную зональность, типичную для циркона из гранитоидов. Они окружены каймами с грубой зональностью, образующими призматические кристаллы с высокой степенью идиоморфизма. Ядра датированы U-Pb методом на вторично-ионном масс-спектрометре SHRIMP II. U-Pb возраст ядер циркона из лейкосомы района Салма, рассчитанный по верхнему пересечению дискордии с конкордией, равен 2740 ± 8 млн лет, причем возрасты большинства ядер являются конкордантными. Для ядер циркона из лейкосомы района Гридино получен конкордантный возраст 2831 ± 8 млн лет (Concordia age). Обе датировки интерпретируются как возраст кристаллизации магматических протолитов гнейсов, из которых выплавились лейкосомы. В районе Гридино намечены эпизоды последующей переработки гнейсов 2,76–2,73 и 2,71–2,68 млрд лет назад. Все полученные датировки отвечают этапам обширного формирования тоналитовых гнейсов в Беломорье на рубеже 2,8 млрд лет, внедрения новой генерации гранитоидов на рубеже 2,74 млрд лет и последующей переработки на рубеже 2,7 млрд лет. Самые древние возрасты единичных зерен, унаследованных гранитоидными расплавами в районе Гридино, составляют $\sim 3,15$ млрд лет.

Ключевые слова: SHRIMP II; мигматизация; плагиогранитогнейсы; Беломорье; Фенноскандинавский щит.

**T. V. Kartushinskaya, V. V. Balagansky, I. A. Gorbunov, A. N. Larionov,
P. A. L'vov. U-Pb AGE OF INHERITED ZIRCONS FROM LEUCOSOMES
IN GREY GNEISSES OF THE SALMA AND GRIDINO STUDY AREAS,
BELOMORIAN PROVINCE**

Inherited zircons in leucosomes from the Salma and Gridino study areas have been dated. The leucosomes were formed in Palaeoproterozoic shear zones cross-cutting

Archaean tonalite-trondhjemite-granodiorite (grey) gneisses, which host amphibolites with eclogite relics. Zircon crystals contain rounded inherited cores, whose proportion is usually $\geq 90\%$ of grain volume. The cores display a fine oscillatory zoning typical for zircon from granitoids, and are enveloped by rims that show a coarse zoning and define the highly euhedral prismatic morphology. The cores have been analyzed by the U-Pb SIMS (SHRIMP II) technique. Cores of the zircon from a leucosome from the Salma study area have yielded an upper intercept age of 2740 ± 8 Ma, and most of them have concordant ages. Cores of the zircon from the Gridino leucosome have given a concordia age of 2831 ± 8 Ma. Both these datings are interpreted as the time of crystallization of igneous protoliths of grey gneisses in which the leucosomes occur. In the Gridino study area the grey gneisses seem to have been reworked 2.76–2.73 and 2.71–2.68 Ga ago. All the obtained dates are consistent with the stages of the extensive formation of the grey gneisses in the Belomorian region at ca. 2.8 Ga, the emplacement of a new generation of granitoids at 2.74 Ga, and a reworking at ca. 2.7 Ga. The oldest ages of individual crystals inherited by igneous protoliths of the Gridino grey gneisses are ~ 3.15 Ga.

Key words: SHRIMP II; migmatization; TTG gneiss; Belomorian region; Fennoscandian Shield.

Эта работа посвящается памяти Виктора Андреевича Глебовицкого, многосторонний и огромный вклад которого в изучение метаморфизма пород Беломорской провинции и особенно столь ярко проявленной в них мигматизации трудно переоценить.

Введение

Архейская Беломорская провинция, сложенная в основном архейскими тоналит-тронджемит-гранодиоритовыми (далее серыми) гнейсами, отличается широким развитием раннедокембрийских эклогитов [Володичев и др., 2004; Mints et al., 2010; Щипанский и др., 2012а; Пожиленко и др., 2016]. Особое внимание к этим столь древним эклогитам привлекают находки в них микровключений алмаза и муассanita [Сидоров, Щипанский, 2017], которые вместе с ультравысокобарическими эклогитами палеопротерозоя Гренландии [Glassley et al., 2014] являются доказательствами образования раннедокембрийских эклогитов в условиях глубинной субдукции. Следовательно, от установления возраста беломорских ультравысокобарических эклогитов зависит определение начала действия тектоники литосферных плит в современном виде. В первой детальной работе по эклогитам, изученным и датированным в районе села Гридино, был обоснован их архейский возраст [Володичев и др., 2004], подтвержденный позднее в работе [Li et al., 2015]. Находки эклогитовых парагенезисов в палеопротерозойских дайках базитов [Травин, Козлова, 2005] и последующие изотопные исследования привели к выводу о проявлении эклогитового метаморфизма в палеопротерозое [Скублов и др., 2011; Yu et al., 2017]. Структур-

ные наблюдения не противоречат образованию эклогитов как в архее, так и в палеопротерозое [Слабунов и др., 2011; Babarina, Sibelev, 2015; Balagansky et al., 2015]. Тем не менее проявление архейского эклогитового метаморфизма в Беломорье до сих пор является предметом острейших дискуссий.

Один из подходов к оценке возраста эклогитового метаморфизма заключается в изучении истории проявления деформаций, метаморфизма и гранитоидного магматизма, включая мигматитообразование, в амфиболитах с реликтами эклогитов и вмещающих их серых гнейсах [например, Babarina, Sibelev, 2015; Balagansky et al., 2015]. С этой целью нами было начато геохронологическое изучение мигматитов в породах участков Куру-Ваара, Салма и Гридино, в которых развиты эклогиты (рис. 1, а, б). Для датирования выбирались те мигматиты, образование лейкосомы которых однозначно привязано к конкретным этапам геологической истории указанных участков. В данном сообщении излагаются результаты датирования унаследованных ядер циркона из лейкосом участков Широкая Салма и Избная Луда (соответственно районы Салма и Гридино). Результаты датирования циркона, образовавшегося при кристаллизации лейкосомы, будут рассмотрены в отдельной работе.

Геологическая характеристика

Участок Широкая Салма находится на востоке Ёнско-Риколатвинской зоны Беломорской провинции (рис. 1, б). Породы этого участка обнаруживают очень высокую степень деформации, связанную с образованием Широкосалминской зоны сдвигового течения (сдвиговой

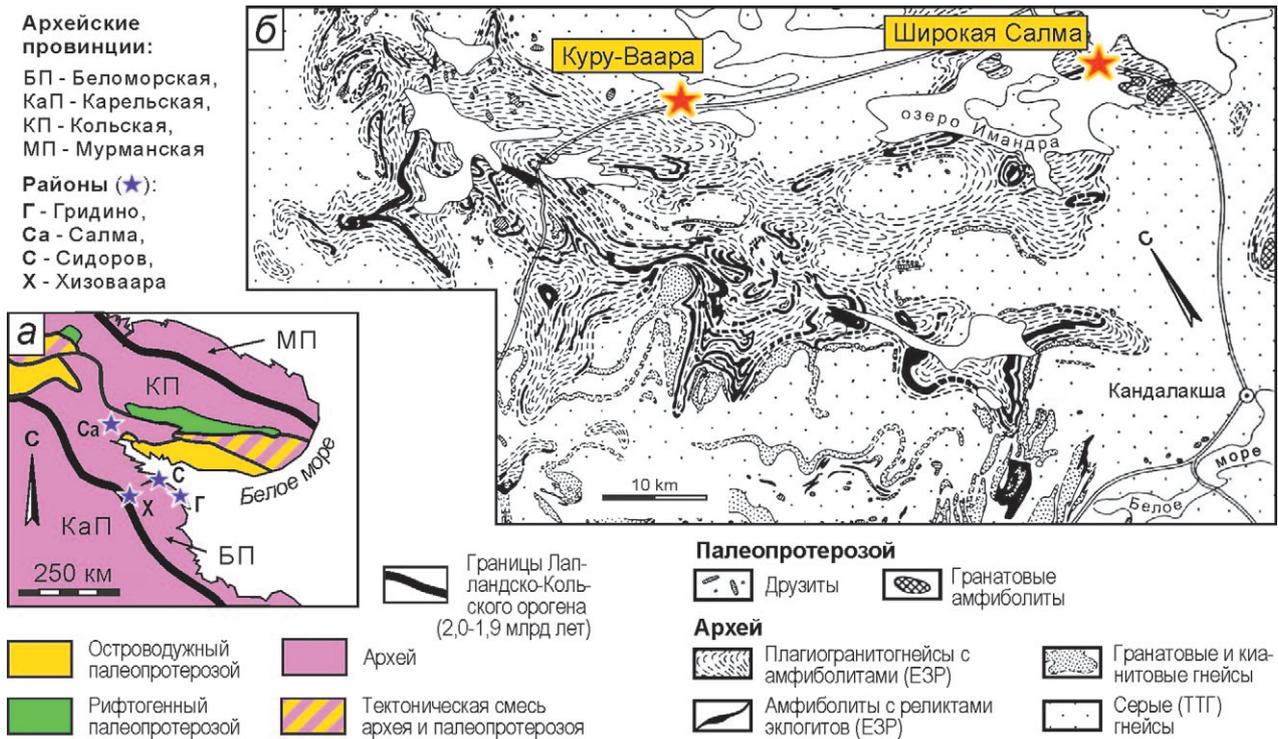


Рис. 1. (а) Схема геологического строения северо-востока Фенноскандинавского щита (по: [Балаганский и др., 2006] с упрощениями); (б) геологическая карта Ёнско-Риколатвинской зоны (ЕРЗ) Беломорской провинции (по: [Пожиленко, 1987], с упрощениями и добавлениями)

Fig. 1. (a) Scheme of geological structure of the north-eastern Fennoscandian Shield (after [Balagansky et al., 2006] with simplifications); (b) a geological map of the Enskoye-Rikolatva zone (ERZ) of the Belomorian Province (after [Pozhilenko, 1987], with simplifications and additions)

зоны) во время лапландско-кольской коллизионной орогении 1,91–1,94 млрд лет назад [Балаганский и др., 2006]. Во время этой деформации архейские серые гнейсы и фрагменты амфиболитовых будин были милонитизированы и затем мигматизированы с образованием плагноклаз-микроклиновой пегматоидной лейкосомы. Шейки некоторых крупных будин были залечены такой же лейкосомой. Реликты полностью симплектитизированных эклогитов сохранились только в отдельных будинах, а во всех остальных они были полностью преобразованы в амфиболиты. Самая представительная будина с реликтами эклогитов (67°30'9,8880" с. ш. 32°21'0,1440" в. д.) была впервые описана Н. Е. Козловой [Balagansky, Kozlova, 1992]. Внутреннее строение будины является резко несогласным с вмещающими сильно расщепленными серыми гнейсами (рис. 2). Во время деформации будина вращалась, после чего ее восточное и западное окончания частично были залечены упомянутым выше пегматоидным материалом. Образование этого материала является одним из самых поздних событий, связанных с палеопротерозойской лапландско-кольской коллизией, которая привела к поч-

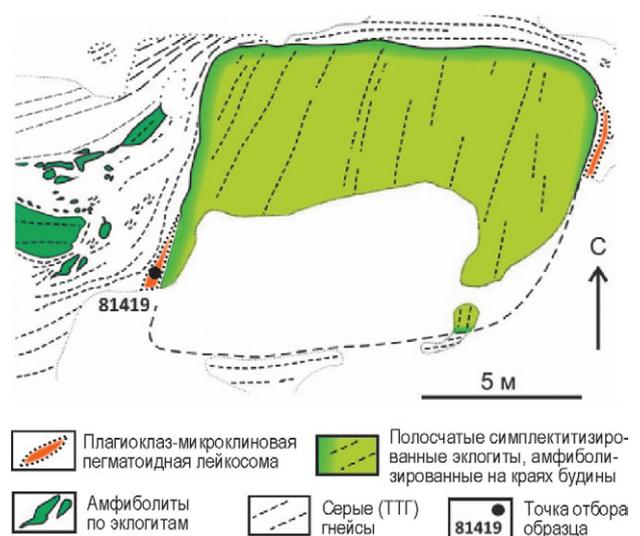


Рис. 2. Будина симплектитизированных эклогитов в серых гнейсах участка Широкая Салма

Fig. 2. Boudin of symplectitic eclogites in grey gneisses of the Shirokaya Salma study area

ти повсеместному уничтожению эклогитов [Balagansky et al., 2015].

Район Гридино (рис. 1, а) сложен серыми гнейсами архея, которые вмещают архейские

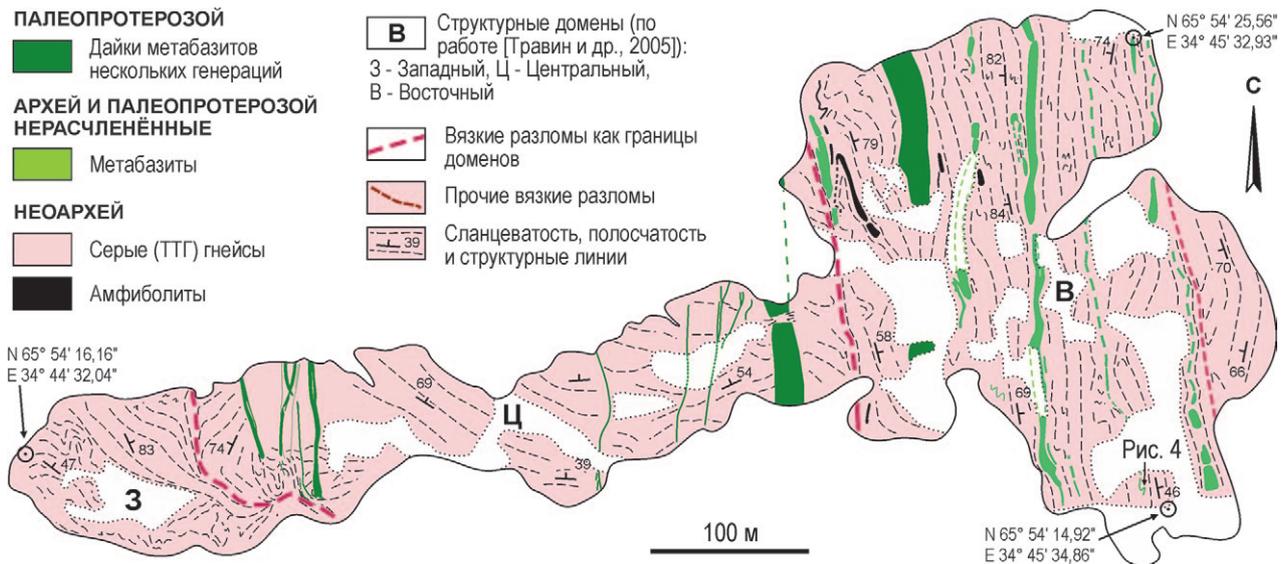


Рис. 3. Схема геологического строения о. Избная Луда (сост. И. А. Горбунов с использованием материалов В. В. Балаганского, Т. В. Картушинской, О. А. Максимова, С. В. Мудрука и О. С. Сибелева, собранных при участии А. М. Лезжова и С. С. Храповицкого)

Fig. 3. Scheme of geological structure of Iznaya Luda Island (compiled by I. A. Gorbunov with the use of materials of V. V. Balagansky, T. V. Kartushinskaya, O. A. Maksimov, S. V. Mudruk and O. S. Sibelev collected with the help of A. M. Lezzhov and S. S. Khrapovitsky)

амфиболиты с реликтами эклогитов [Володичев и др., 2004] и эклогитизированные палеопротерозойские дайки [Травин, Козлова, 2005]. В линейных зонах северо-западного простирания серые гнейсы содержат многочисленные тела, фрагменты и будины («обломки») основных и ультраосновных пород и интерпретируются как своеобразные тектонические брекчии (зоны меланжа). Серые гнейсы и тектонические брекчии прорываются палеопротерозойскими основными дайками нескольких генераций [Степанов, Степанова, 2006], что определяет архейский возраст брекчий и деление деформаций на додайковые и постдайковые [Babarina, Sibelev, 2015].

Постдайковые деформации проявлены неравномерно. Один из ярких примеров их проявления можно наблюдать на о. Избная Луда (рис. 3). В строении острова выделены Западный, Центральный и Восточный домены, при этом серые гнейсы и дайки Восточного домена испытали в палеопротерозое интенсивное рассланцевание [Травин и др., 2005]. Это рассланцевание почти полностью уничтожило додайковые деформации и сопровождалось мигматизацией серых гнейсов, наложенной на архейские мигматиты.

В одном из обнажений (65°54'15,6024" с. ш. 34°45'33,6276" в. д.) дайка базитов неясного возраста (неоархей или палеопротерозой), интерпретируемых как метагаббро умеренно-щелочного и нормального ряда [Степанов, Степанова, 2006], смята в асимметричные,

сжатые до изоклинали складки. В замке одной из них развиты жилы лейкосомы (с невыраженной мелансомой), расположенные веерообразно вблизи ее округлого замка и параллельно осевой плоскости на удалении от него (рис. 4). Такая область внешней поверхности

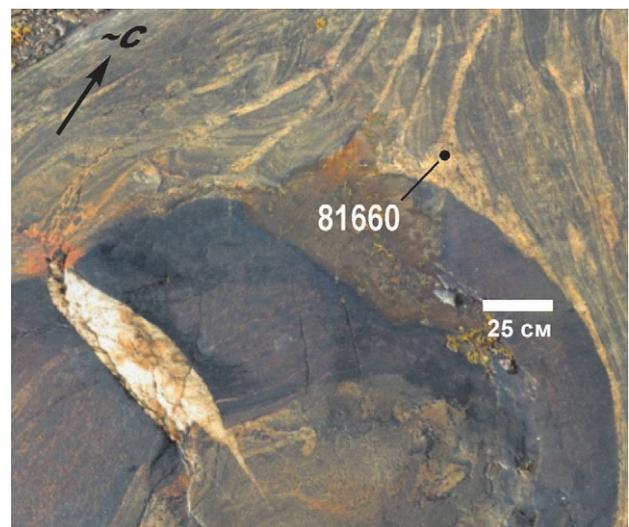


Рис. 4. Лейкосома сложной морфологии в замковой части складки, в которую смята дайка метагаббро умеренно-щелочного и нормального ряда, и место взятия образца 81660

Fig. 4. Leucosome of complex morphology in the hinge part of the fold, in which metagabbro dike of moderate alkaline and normal types is squeezed, and sampling site 81660

замка является зоной пониженного давления за счет локального растяжения при смятии в складку компетентной дайки базитов [Fossen, 2010]. Лейкосомы, параллельные осевым поверхностям складок, могут образовываться как инъекционным путем, так и *in situ* [Vernon, Clarke, 2008]. Одним из механизмов образования лейкосомы параллельной осевой плоскости *in situ* может быть течение или диффузия местных расплавов в зоны пониженного давления [Vernon, Clarke, 2008], как в нашем случае. Рядом с контактом дайки мощность жил увеличивается, а сами они сливаются друг с другом, образуя единое жильное тело сложной конфигурации.

Краткая характеристика лейкосом и циркона

Участок Широкая Салма. Лейкосома в обр. 81419 представляет собой крупнозернистую светлую породу с массивной текстурой и гранобластовой структурой. Главные минералы представлены микроклином (50–60 %), плагиоклазом (10–15 %), кварцем (20–25 %) и амфиболом (7–10 %), а второстепенные – биотитом (2–3 %) и титанитом (1–2 %). Среди акцессориев присутствуют апатит, циркон, рутил, алланит, эпидот и клиноцоизит. На диаграммах $Or - Q - (Ab+An)$ [Streckeisen, 1976] и $Ab - An - Or$ [O'Connor, 1965] эта лейкосома находится в поле гранита ($SiO_2 = 70,26$; $Na_2O = 3,47$; $K_2O = 4,25$ мас. %; $Mg\# = 0,18$).

Циркон в лейкосоме 81419 представлен морфологически однородной популяцией призматических кристаллов с хорошей огранкой (рис. 5, а), внутреннее строение которых отличается сложной зональностью. На катодолюминесцентных (CL) изображениях кристаллов во всех без исключения зернах наблюдаются ядра, обычно занимающие ~ 90 % объема кристалла. Они окружены как минимум двумя поздними каймами. Внешняя кайма максимально развита на пирамидальных головках кристаллов и сложена несколькими полосками, цвет которых на CL-изображениях варьирует от темно-серого до черного (рис. 5, б). Полосы параллельны граням кристаллов и имеют одинаковую морфологию. Такие структурные особенности кристаллов характерны для магматического циркона [Corfu et al., 2003], что позволяет связывать образование внешней каймы с кристаллизацией расплава лейкосомы.

Ядра имеют округлые контуры и отличаются тонкой осцилляторной зональностью (рис. 5, в–д). Границы зон, как правило, параллельны общему призматическому контуру ядер. От-

дельные ядра имеют вид очень хорошо развитых кристаллов, подвергшихся слабому растворению, которое обусловило их округлый облик (рис. 5, в). Внешняя кайма всех без исключения кристаллов отделена от ядра промежуточной каймой, резко выделяющейся на CL-изображениях светло-серым до белого цветом. Эта светлая промежуточная кайма нередко под значительными углами срезает тонкую осцилляторную зональность округлых ядер. Все указанные особенности строения ядер и каем характерны для ксеногенного циркона, унаследованного магматическим расплавом [Corfu et al., 2003]. В свою очередь, призматические кристаллы с тонкой осцилляторной зональностью являются типичными для магматического циркона.

Участок Избная Луда. Лейкосома в обр. 81660 также имеет крупнозернистое массивное сложение и гранобластовую структуру. Главными минералами являются кварц (50–55 %) и плагиоклаз (35–40 %), а второстепенными – биотит (1–3 %) и роговая обманка (1–2 %). Акцессорные минералы представлены гранатом, цирконом, эпидотом, титанитом и пиритом.

Циркон из лейкосомы 81660 представлен разнообразными по морфологии зернами, среди которых заметно преобладают хорошо сформированные кристаллы, варьирующие по морфологии от коротко- до длиннопризматических (рис. 5, е–л). Как и циркон из лейкосомы участка Широкая Салма, он имеет сложное строение, обусловленное наличием древних ядер и нескольких поздних обрастаний. Однако в отличие от циркона Широкой Салмы доля самой внешней каймы, определяющей правильную призматическую морфологию кристаллов, варьирует от ~80 % (рис. 5, ж) до ~20 % (рис. 5, к). На катодолюминесцентных изображениях эта внешняя кайма хорошо выделяется светло-серым цветом (рис. 5, ж–л), что, по предварительным данным изотопного анализа, обусловлено низким содержанием урана (от 1 до 10 ppm). Другой важной чертой этой каймы является зональность, в которой границы зон параллельны граням призм и бипирамид призматических кристаллов. Более древние ядра и каймы, вокруг которых росла самая поздняя кайма, имеют округлую форму и, как правило, тонкую осцилляторную зональность (рис. 5, ж–л).

Слабоудлиненные зерна с округлыми очертаниями находятся в подчиненном количестве. Они отличаются тем, что внешняя кайма, аналогичная описанной выше, очень тонкая и нередко прерывистая, а ее доля составляет несколько процентов (рис. 5, м–п). Таким об-

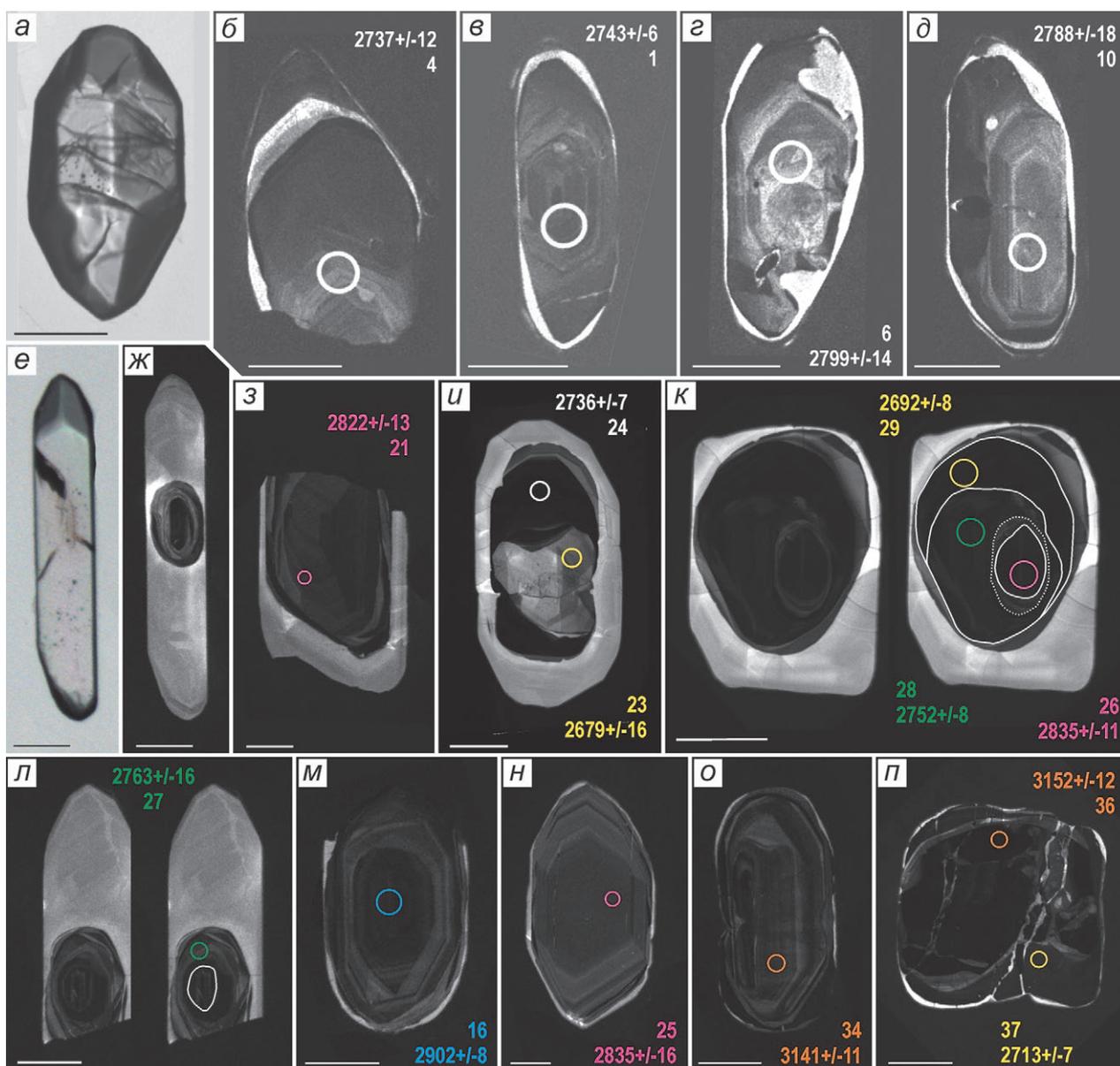


Рис. 5. Изображения кристаллов циркона из лейкосом участков Широкая Салма (а–д) и Избная Луда (е–п): оптические (а, е) и катодолуминесцентные (б–д, ж–п). Кружки – участки датирования; цифры обозначают номер анализа в таблице и $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст в млн лет ($\pm 1\sigma$). Масштабный штрих – 100 микрон

Fig. 5. Images of zircon crystals from the leucosomes of the areas of the Shirokaya Salma (a–d) and Izbnyaya Luda (e–p): optical (a, e) and cathodoluminescent (б–д, ж–п). The circles indicate the dating area; the numbers indicate the analysis number in the table and $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age in mln years ($\pm 1\sigma$). Scale dashed lines – 100 microns

разом, округлая эллипсоидная морфология этих зерен циркона определяется округлостью более ранних цирконовых зерен, которую мы связываем с их растворением в тоналит-трондьемит-гранодиоритовом (далее плагиогранитном) расплаве лейкосомы. В единичных случаях видно, что частичному растворению подвергались хорошо ограненные кристаллы с тонкой осцилляторной зональностью, один из которых практически избежал растворения (рис. 5, н).

Многие ядра циркона окружены каймами нескольких генераций, образование которых предшествовало росту внешней каймы. Эти ранние каймы имеют как тонкую, так и более грубую ростовую зональность, причем на катодолуминесцентных изображениях цвет зон варьирует от серого и темно-серого до почти черного. Все ядра и ранние каймы имеют округлые очертания. Самые яркие примеры кристаллов циркона со сложным внутренним строением приведены на рис. 5, и, к, л, о, п.

События, сформировавшие циркон. Сложное строение циркона в сочетании с огранкой кристаллов и характером зональности позволяет выделить в истории пород обоих участков два главных события. Более молодое из них – это образование гранитной пегматоидной лейкосомы в шейках будин с реликтами симплектизированных эклогитов на участке Широкая Салма и плагиогранитной пегматоидной лейкосомы, связанной со складкой, на участке Избная Луда. Более древнее событие, определению возраста которого посвящена данная работа, – это кристаллизация циркона в магматическом протолите вмещающих серых гнейсов, унаследованного расплавом лейкосом и иногда окруженного каймами, которые предшествовали образованию лейкосом.

Методика датирования

Датирование выполнено в ЦИИ ВСЕГЕИ на вторично-ионном масс-спектрометре SHRIMP-II, принцип работы которого описан в [Williams, 1998]. Рабочие параметры датирования приведены в [Larionov et al., 2004]. Pb/U-отношения были нормализованы относительно цирконового стандарта TEMORA [Black et al., 2003]. Погрешность при калибровке стандарта TEMORA составила 0,68 %. В качестве «стандарта концентрации урана» использован циркон 91500 [Wiedenbeck et al., 1995]. При выполнении данного исследования для стандарта 91500 был получен $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст 1065 ± 7 млн лет ($n = 6$). Все данные обработаны с использованием компьютерных программ К. Р. Людвига SQUID 1.02 и Isoplot/Ex 3.00, а также величин констант распада урана, приведенных в работе [Steiger, Jäger, 1977]. Поправка на нерадиоогенный Pb выполнена с использованием измеренных $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ и модельных значений в работе [Stacey, Kramers, 1975]. Аналитические погрешности изотопных отношений, указанных в таблице, и возрастов составляют 1σ , а значения возрастов, приведенные в тексте и на рисунке, рассчитаны на уровне 2σ .

Результаты датирования

Участок Широкая Салма. В 13 ядрах циркона из лейкосомы 81419 были сделаны 14 изотопных анализов (табл.). Точки датирования показаны на рис. 5, б–д. Девять анализов дали близкие друг к другу конкордантные возрасты (эллипс аналитической погрешности перекрывает конкордию). Конкордантный возраст, рассчитанный по этим девяти анализам, составля-

ет 2727 ± 9 млн лет (Concordia age), но высокая величина среднего квадратичного взвешенного отношения (СКВО) этой датировки, равная 13, не позволяет считать этот возраст окончательным. Два анализа (№№ 2 и 5 в табл.) дали субконкордантные возрасты (эллипсы аналитической погрешности находятся рядом с конкордией), $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ значения которых совпадают с возрастом 2,73 млрд лет. Для одного ядра получены сильно дискордантные значения возраста ($D = 46\%$, № 12 в табл.). По этим 12 анализам была построена дискордия с возрастом верхнего пересечения 2740 ± 8 млн лет (рис. 6, а). Низкая величина СКВО, равная 0,95, позволяет принять данную датировку приемлемой.

Наконец, два ядра (рис. 5, г, д) имеют дискордантные возрасты около 2,8 млрд лет (№№ 6 и 10 в табл.). Они заметно отклоняются от дискордии, рассчитанной по всем остальным ядрам кристаллов циркона, и поэтому не были приняты в расчет.

Для самых поздних каем по пяти точкам был получен конкорданный возраст 1866 ± 48 млн лет. Детальному рассмотрению этих каем с привлечением новых аналитических данных будет посвящена отдельная статья.

Участок Избная Луда. В обр. 81660 пегматоидной лейкосомы были сделаны 24 определения возраста ядер в 19 идиоморфных призматических кристаллах, образование которых связывается с кристаллизацией лейкосомы. Для 13 округлых ядер с тонкой осцилляционной зональностью (рис. 5, з, к (точка 26), н; №№ 15, 17–22, 25–26, 30, 32–33, 35 в табл.), идентичной таковой в унаследованных ядрах циркона из лейкосомы Широкой Салмы и типичной для тоналит-трондьемит-гранодиоритовых пород, рассчитан конкордантный возраст 2831 ± 8 млн лет (Concordia age) при СКВО конкордантности, равном 0,81 (рис. 6, б).

В цирконе лейкосомы Избной Луды ядра унаследованного магматического циркона возраста 2,83 млрд лет часто отделены от идиоморфной внешней каймы одной или несколькими промежуточными каймами циркона (рис. 5, з–м). На рис. 5, к, показан кристалл циркона, в котором внешняя кайма отделена от округлого ядра возраста 2835 ± 22 млн лет четырьмя промежуточными каймами. Датирование двух из них дало конкордантные $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возрасты 2752 ± 16 млн лет для более древней из них и 2692 ± 16 млн лет для более молодой (рис. 5, к; соответственно №№ 28 и 29 в табл.). С учетом того, что принципиально отличающиеся друг от друга участки кристалла, показанного на рис. 5, и, также имеют разные возрасты,

Изотопные данные для ядер кристаллов циркона из лейкосом на границах между базитами и серыми гнейсами
Isotope data for zircon crystals nuclei from the leucosomes at the boundary between basites and grey gneisses

№ п/п No.	Точка Point	$^{206}\text{Pb}_e$, % ¹	U, ppm	Th, ppm	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$^{206}\text{Pb}^*$, ppm ²	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, ± 1σ, %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, ± 1σ, %	Rho ³	Возраст ± 1σ, млн лет Age ± 1σ, mln yrs		D ⁴	
										$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		
Гранитная (плаггиоклаз-микроклиновая) лейкосома 81419, участок Широкая Салма Granite (plagioclase-microcline) leucosome 81419, the Shirokaya Salma area													
1	1.1	0,08	217	200	0,95	97,3	0,1901 ± 0,36	13,70 ± 1,2	0,5229 ± 1,14	0,95	2711 ± 6	2743 ± 6	1,4
2	2.1	-	49	43	0,89	21,4	0,1882 ± 0,79	13,06 ± 1,7	0,5033 ± 1,46	0,88	2628 ± 31	2727 ± 13	4,4
3	3.1	0,32	22	18	0,86	9,77	0,1890 ± 1,19	13,65 ± 2,2	0,5240 ± 1,87	0,84	2716 ± 41	2734 ± 20	0,8
4	4.1	-	48	37	0,81	21,5	0,1894 ± 0,75	13,73 ± 1,7	0,5258 ± 1,48	0,89	2714 ± 33	2737 ± 12	0,6
5	6.1	0,10	46	37	0,82	20,6	0,1865 ± 0,81	13,28 ± 1,7	0,5163 ± 1,49	0,88	2683 ± 33	2712 ± 13	1,3
6	7.1	-	39	26	0,67	17,2	0,1967 ± 0,85	13,79 ± 1,8	0,5083 ± 1,57	0,88	2649 ± 34	2799 ± 14	6,0
7	8.1	-	294	47	0,17	131,0	0,1867 ± 1,63	13,30 ± 2,0	0,5168 ± 1,11	0,56	2685 ± 24	2713 ± 27	1,3
8	11.1	0,17	26	27	1,06	11,7	0,1908 ± 1,02	13,74 ± 2,0	0,5223 ± 1,77	0,87	2709 ± 39	2749 ± 17	1,8
9	12.1	-	55	44	0,82	24,7	0,1884 ± 0,68	13,48 ± 1,6	0,5191 ± 1,42	0,90	2695 ± 31	2728 ± 11	1,5
10	13.1	0,17	34	34	1,05	14,6	0,1954 ± 1,12	13,51 ± 1,9	0,5015 ± 1,60	0,82	2620 ± 34	2788 ± 18	7,3
11	14.1	0,02	112	75	0,69	49,9	0,1886 ± 0,54	13,49 ± 1,5	0,5186 ± 1,40	0,93	2693 ± 31	2730 ± 9	1,7
12	15.1	-	3910	1132	0,30	893,0	0,1737 ± 3,82	6,37 ± 4,0	0,2659 ± 1,05	0,26	1520 ± 14	2594 ± 64	46,3
13	15.2	0,02	200	22	0,11	88,1	0,1901 ± 1,63	13,43 ± 2,0	0,5126 ± 1,15	0,58	2668 ± 25	2743 ± 27	3,3
14	16.1	-	128	138	1,11	54,9	0,1902 ± 0,43	13,13 ± 1,3	0,5007 ± 1,19	0,94	2617 ± 26	2744 ± 7	5,6

Плаггиогранитная лейкосома 81660, участок Избная Луда
Plagiogranite leucosome 81660, the Izbnaya Luda area

15	3.1	0,10	62	69	1,16	28,7	0,1976 ± 0,84	14,74 ± 1,5	0,5410 ± 1,3	0,84	2788 ± 29	2807 ± 14	0,7
16	3.1re	0,11	168	90	0,55	80,4	0,2096 ± 0,50	16,08 ± 1,2	0,5565 ± 1,0	0,90	2852 ± 24	2902 ± 8	1,8
17	4.1	0,09	67	58	0,89	31,3	0,2004 ± 0,82	15,08 ± 1,5	0,5456 ± 1,3	0,84	2807 ± 29	2829 ± 13	0,8
18	4.1re	0,08	71	61	0,88	34,5	0,1980 ± 0,78	15,32 ± 1,5	0,5613 ± 1,2	0,85	2872 ± 29	2810 ± 13	-2,2
19	4.2	0,07	110	106	1,00	53,0	0,2025 ± 0,61	15,59 ± 1,3	0,5584 ± 1,1	0,88	2860 ± 26	2846 ± 10	-0,5
20	5.1	0,02	55	50	0,95	26,2	0,2004 ± 0,86	15,39 ± 1,6	0,5570 ± 1,3	0,84	2854 ± 30	2829 ± 14	-0,9
21	6.1	0,18	70	60	0,89	33,0	0,1995 ± 0,81	15,04 ± 1,5	0,5468 ± 1,2	0,84	2812 ± 28	2822 ± 13	0,4
22	6.1re	0,14	63	64	1,05	30,7	0,2027 ± 0,83	15,86 ± 1,5	0,5676 ± 1,3	0,84	2898 ± 30	2848 ± 14	-1,7
23	7.1	0,21	65	20	0,32	28,7	0,1829 ± 0,96	12,87 ± 1,6	0,5106 ± 1,3	0,80	2659 ± 28	2679 ± 16	0,7
24	7.2	0,04	242	71	0,30	107,0	0,1893 ± 0,44	13,36 ± 1,1	0,5117 ± 1,0	0,92	2664 ± 23	2736 ± 7	2,7
25	8.1	0,10	42	52	1,27	20,3	0,2011 ± 0,99	15,57 ± 1,7	0,5613 ± 1,4	0,82	2872 ± 33	2835 ± 16	-1,3
26	9.1	0,08	135	206	1,57	64,5	0,2010 ± 0,67	15,34 ± 1,3	0,5535 ± 1,1	0,85	2840 ± 25	2835 ± 11	-0,2
27	9.1re	0,24	53	22	0,43	23,2	0,1924 ± 0,99	13,56 ± 1,7	0,5109 ± 1,3	0,81	2661 ± 29	2763 ± 16	3,9
28	9.2	0,04	172	4	0,03	79,0	0,1912 ± 0,51	14,07 ± 1,1	0,5336 ± 1,0	0,90	2757 ± 23	2752 ± 8	-0,1
29	9.3	0,07	230	31	0,14	104,0	0,1843 ± 0,46	13,39 ± 1,1	0,5268 ± 1,0	0,91	2728 ± 22	2692 ± 8	-1,3

Продолжение табл.
Table (continued)

№ п/п No.	Точка Point	$^{206}\text{Pb}_o, \%^1$	U, ppm	Th, ppm	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$^{206}\text{Pb}^*,$ ppm ²	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb},$ $\pm 1\sigma, \%$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U},$ $\pm 1\sigma, \%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U},$ $\pm 1\sigma, \%$	Rho ³	Возраст $\pm 1\sigma$, млн лет Age $\pm 1\sigma$, mln yrs		D ⁴
											$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
30	10.1	0.16	67	60	0.92	31.5	0,2003 \pm 0,82	15,13 \pm 1,5	0,5480 \pm 1,2	0,83	2817 \pm 28	2829 \pm 13	0,4
31	10.1re	0.13	99	13	0.14	47.5	0,2087 \pm 0,65	16,04 \pm 1,3	0,5575 \pm 1,1	0,87	2856 \pm 26	2896 \pm 11	1,4
32	11.1re	0.17	80	106	1.36	38.6	0,1998 \pm 0,76	15,37 \pm 1,4	0,5580 \pm 1,2	0,84	2858 \pm 28	2824 \pm 12	-1,2
33	12.1re	0.27	40	88	2.27	19.4	0,1992 \pm 1,10	15,38 \pm 1,8	0,5601 \pm 1,5	0,80	2867 \pm 34	2820 \pm 18	-1,7
34	13.1re	0.30	84	29	0.36	40.1	0,2431 \pm 0,68	18,67 \pm 1,3	0,5570 \pm 1,2	0,86	2854 \pm 27	3141 \pm 11	10,0
35	14.1	0.17	98	112	1.18	45.3	0,1996 \pm 0,69	14,81 \pm 1,3	0,5381 \pm 1,1	0,86	2775 \pm 26	2823 \pm 11	1,7
36	15.1	0.71	1771	320	0.19	94.1	0,2449 \pm 0,77	2,072 \pm 1,2	0,06137 \pm 0,96	0,78	383,9 \pm 3.6	3152 \pm 12	721,0
37	15.2	0.07	266	33	0.13	117.0	0,1867 \pm 0,43	13,13 \pm 1,1	0,5102 \pm 1,0	0,92	2657 \pm 22	2713 \pm 7	2,1
38	16.1re	0.17	76	14	0.20	36.8	0,2132 \pm 0,72	16,56 \pm 1,4	0,5633 \pm 1,2	0,86	2880 \pm 28	2930 \pm 12	1,7

Примечание. ⁽¹⁾ $^{206}\text{Pb}_o$ – обыкновенный свинец. ⁽²⁾ $^{206}\text{Pb}^*$ – радиогенный свинец; поправка на обыкновенный свинец сделана с использованием измеренного ^{204}Pb . ⁽³⁾ Rho – коэффициент корреляции между погрешностями отношений $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ и $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$. ⁽⁴⁾ Дискордантность, рассчитанная по формуле $D = [(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \text{ age} / ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \text{ age}) - 1] \times 100$.

Note. ⁽¹⁾ $^{206}\text{Pb}_o$ – ordinary lead. ⁽²⁾ $^{206}\text{Pb}^*$ – radiogenic lead; the correction for ordinary lead is made with the use of measured ^{204}Pb . ⁽³⁾ Rho – correlation coefficient between the margins of the relations $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$. ⁽⁴⁾ The discordancy is calculated by formula $D = [(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \text{ age} / ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \text{ age}) - 1] \times 100$.

можно наметить периоды роста каем 2,76–2,74 и 2,71–2,68 млрд лет назад (рис. 6, в; соответственно №№ 24, 27, 28 и 23, 29, 37 в табл.).

В пяти случаях оказалось, что в популяции циркона также присутствуют реликты более древних кристаллов (рис. 5, м, о, п). Для трех из них (№№ 16, 31, 38 в табл.) были получены три близкие субконкордантные $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ датировки 2,90; 2,90 и 2,93 млрд лет (рис. 6, в). В двух случаях древние реликты имеют дискордантные $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возрасты 3,14 и 3,15 млрд лет (№№ 34 и 36 в табл.; наименее дискордантный показан на рис. 6, в). Эти кристаллы интерпретируются как ксеногенные относительно магматического протолита серых гнейсов. Они указывают на существование более древней континентальной коры, в истории которой можно предполагать этапы ее образования и (или) преобразования возраста 2,90–2,93 и 3,14–3,15 млрд лет (рис. 6, в). Реликты такой древней коры в Фенноскандинавском щите являются единичными (см. обзор в работе [Слабунов и др., 2006]).

По десяти точкам рассчитан конкордный возраст самых поздних каем – 1935 \pm 34 млн лет. Эти данные также будут подробно рассмотрены в отдельной работе, совместно с возрастом каем цирконов участка Широкая Салма.

Обсуждение и выводы

Участок Широкая Салма. Мы полагаем, что циркон, слагающий ксеногенные ядра с тонкой осцилляторной зональностью в кристаллах циркона из пегматоидной лейкосомы 81419, имеет возраст 2740 \pm 8 млн лет. Он интерпретируется как возраст кристаллизации магматического протолита серых гнейсов, вмещающих будину амфиболитов с реликтами симплектизированных эклогитов. Два кристалла циркона возраста 2,79–2,80 млрд лет рассматриваются как захваченные или унаследованные этим магматическим протолитом, внедрившимся 2,74 млрд лет назад.

Участок Избная Луда. Образование циркона с тонкой осцилляторной зональностью, который слагает доминирующую часть по количеству и объему ядер в кристаллах циркона в лейкосоме 81660, связывается с кристаллизацией магматического расплава, давшего начало плагиогранитам, преобразованным затем в серые гнейсы. Соответственно, возраст этого циркона 2831 \pm 8 млн лет рассматривается как время магматической кристаллизации плагиогранитов.

Результаты датирования циркона, выделенного непосредственно из серых гнейсов участ-

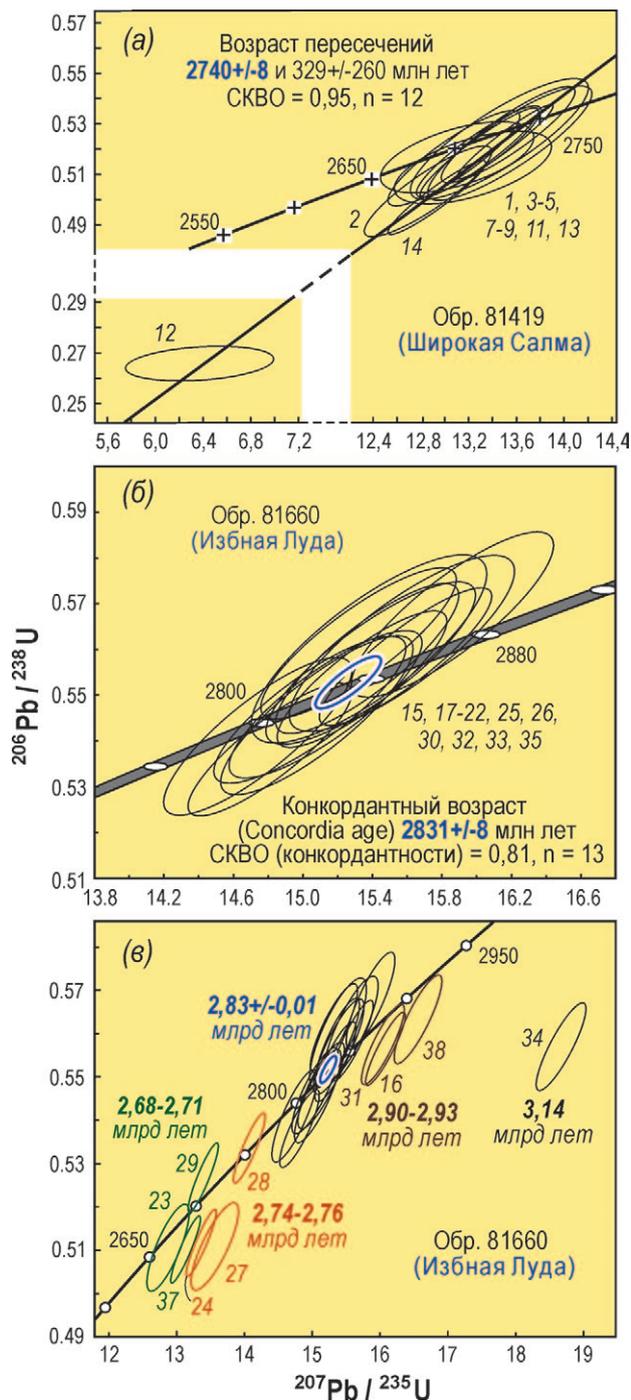


Рис. 6. Диаграммы с конкордией для ядер кристаллов циркона (эллипсы погрешности отвечают 2σ ; числа у эллипсов – номера анализов в таблице)

Fig. 6. Concordia diagrams for zircon crystals nuclei (margin ellipses mark 2σ ; ellipses numbers – analyses numbers in the table)

ка Избная Луда [Докукина и др., 2009, 2012], не противоречат этому выводу. Большая часть циркона была датирована классическим U-Pb методом по нескольким фракциям, включающим десятки зерен. Почти все возрасты этого циркона дискордантны, и все приводимые

значения возраста получены по пересечению дискордий с конкордией. На катодолюминесцентных изображениях [Докукина и др., 2012] видно, что по крайней мере часть зерен состоит из древних ядер, окруженных более молодыми каймами. Более того, дискордии построены по циркону, имеющему различные и морфологию, и внутреннее строение. Это обычно для гранитоидов и серогнейсовых полиметаморфических комплексов архея, как давно известно из многочисленных литературных источников [например, Kröner, Jaekel, 1994; Corfu et al., 2003]. Поэтому большинство архейских датировок для серых гнейсов являются, по нашему мнению, возрастными смешениями. Они означают лишь то, что возраст одних генераций циркона близок или превышает 2,82 млрд лет, возраст других меньше 2,65 млрд лет, а возраст третьих варьирует между этими двумя значениями. В пределах аналитических погрешностей возраст самых древних фракций циркона совпадает с возрастом наиболее распространенных ядер зерен циркона из лейкосомы 81660. Мы склонны полагать, что эти древние фракции почти полностью образованы кристаллами циркона возраста 2,83 млрд лет.

Более определенные выводы следуют из результатов датирования циркона из даек метабазитов на ионном микрозонде SHRIMP II [Докукина и др., 2009, 2012]. В дайке базитов, прорывающей серые гнейсы участка Варгас (~6 км к СЗ от участка Избная Луда), выявлено разнообразие зерен циркона, часть из которых имеет осцилляторную зональность. Эта зональность сходна с таковой в изученных нами унаследованных ядрах возраста 2831 ± 8 млн лет, а также в магматическом цирконе из гранитоидов [Corfu et al., 2003]. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возрасты циркона (одно конкордантное и два субконкордантных значения) составляют 2836 ± 46 , 2811 ± 50 и 2804 ± 20 млн лет соответственно, при этом утверждается, что данный циркон имеет геохимические черты сходства с магматическим цирконом из вмещающих серых гнейсов [Докукина и др., 2009]. Дискордия, построенная с учетом данных для этих и аналогичных им по внутреннему строению кристаллов циркона, дает возраст верхнего пересечения 2822 ± 39 млн лет [Докукина и др., 2012], который в пределах аналитической погрешности совпадает с полученным нами возрастом 2831 ± 8 млн лет. Наконец, в дайке оливиновых метагаброноритов участка Избная Луда также было выявлено разнообразие кристаллов циркона по возрасту, морфологии и внутреннему строению, при этом возраст наиболее древних зерен составил 2840 млн лет [Слабунов и др.,

2011]. С учетом всех этих данных, а также не-редкого присутствия в базитах кристаллов цир-кона, захваченных из вмещающих кислых по-род [например, Баянова, 2004; Miao et al., 2010; Villasaca et al., 2011], мы интерпретируем все эти кристаллы циркона как захваченные бази-товыми расплавами из серых гнейсов. Поэто-му кристаллизация магматических протолитов серых гнейсов участков Избная Луда и Варгас связывается нами с датировкой 2831 ± 8 лет.

Более древние единичные ядра цирко-на из лейкосомы 81660 возраста 2,90–2,93 и 3,14–3,15 млрд лет интерпретируются как захваченные или унаследованные плагиогран-нитным расплавом из более древних коровых источников осадочного и (или) магматическо-го происхождения. Более молодые каймы вок-руг ядер возраста 2831 ± 8 млн лет, за исклю-чением самой внешней каймы, связываемой с кристаллизацией лейкосомы, по-видимому, отражают структурно-метаморфические пре-образования плагиогранитов в серые гней-сы 2,76–2,74 и 2,71–2,68 млрд лет назад. Для более определенных выводов требуется зна-чительно большее количество аналитических данных.

Сопоставление с другими участками Бе-ломорья. Возраст кристаллизации магмати-ческого протолита серых гнейсов участка Ши-рокая Салма 2740 ± 8 млн лет даже без учета погрешностей анализа практически идентичен таковому серых гнейсов соседнего эклогитово-го участка Узкая Салма, равному 2737 ± 21 млн лет [Konilov et al., 2011]. Почти одновременно с внедрением магматических протолитов этих гнейсов накапливались кислые и основные вул-каниты Воче-Ламбинского зеленокаменного пояса, расположенного в 24 км к СВ от участ-ка Широкая Салма (2,75–2,67 млрд лет [Кис-лицын и др., 2000]). Сходный возраст имеют и кислые метавулканиты кислогубской свиты (2718 ± 10 млн лет [Чашин и др., 2004]), обна-жающиеся в 6 км далее к СВ от участка Воче-Ламбина. Мигматизированные парагнейсы чупинской свиты на участке оз. Долгое имеют возраст 2710 ± 15 млн лет, а субсогласно зале-гающие в них тела гранат-микроклиновых лей-когранитов, которые, в свою очередь, связаны с лейкосомами мигматитов, – 2706 ± 14 млн лет [Слабунов и др., 2016]. При этом в работе [Бибикова и др., 2004] время проявления ме-таморфизма высоких давлений в беломорских парагнейсах оценивается в 2710 ± 15 млн лет.

Возрастными аналогами гранитоидов воз-раста 2831 ± 8 млн лет района Гридино (пре-имущественно тоналитового состава [Доку-кина и др., 2012]) являются трондьемитовые

гнейсы возраста 2830 ± 5 млн лет, слагающие фундамент Воче-Ламбинского зеленокамен-ного пояса [Морозова, 2012]. В составе этого фундамента присутствуют дайки метаграно-диоритов возраста 2814 ± 4 млрд лет [Моро-зова и др., 2011] и тоналитовые гнейсы воз-раста 2807 ± 10 млн лет [Balashov et al., 1992]. Последним разновозрастны трондьемитовые гнейсы возраста 2805 ± 11 млн лет участка Ку-ру-Ваара [Щипанский и др., 2012б] (рис. 1, б). Гранитоиды возраста примерно 2,8 млрд лет также известны на участке Хизоваара (рис. 1, а), на котором обнажаются метадио-риты и метатрондьемиты возраста 2826 ± 18 и 2804 ± 27 млн лет соответственно [Бибикова и др., 2003]. В то же время в беломорских па-рагнейсах установлены зональные цирконы метаморфического генезиса (амфиболитовая фация) возраста 2820 ± 15 млн лет [Бибикова и др., 2004]. Наконец, унаследованное ядро циркона с осцилляторной зональностью грани-тоидного типа из кислой пегматитовой жилы, рвущей дайку базитов, секущих серые гнейсы на о. Сидоров (рис. 1, а), то есть в ситуации, аналогичной таковой в районе Гридино, имеет конкордантный возраст 2820 ± 28 млн лет [Бе-резин и др., 2013].

Таким образом, полученные данные со-гласуются с выводом о том, что становление континентальной коры северной части Бело-морской провинции протекало в два этапа – 2,83–2,80 и 2,76–2,72 млрд лет [Слабунов, 2008]. Важно, что эти два этапа оказываются разделенными периодом метаморфизма и деформации. На это указывает нахождение в гальке конгломератов Воче-Ламбинского зе-ленокаменного пояса возраста 2,75–2,66 млрд лет двух разновидностей серых гнейсов и пег-матоидной жилы, смятых в складку, при этом магматический протолит одной из разновид-ностей серых гнейсов из гальки имеет воз-раст 2807 ± 7 млн лет [Кислицын и др., 2000]. В. А. Глебовицкий с соавт. [2017] пришли к вы-воду, что в архейской истории Беломорской провинции заметно выделяется крупный этап формирования древнейших тоналитовых гней-сов на рубеже 2,8 млрд лет и последующего их преобразования, включая мигматизацию, на рубеже 2,7 млрд лет. Полученные нами ре-зультаты подтверждают этот вывод и детализи-руют архейскую историю Беломорья, которая насыщена эпизодами кислого магматизма, ме-таморфизма, мигматизации и деформации [на-пример, Ранний..., 2005; Слабунов и др., 2006].

Авторы благодарны А. В. Антонову за высо-кокачественные изображения кристаллов цир-

кона в катодоллюминесценции и обратно-рассеянных электронах, а также Е. А. Селивановой и М. Ю. Глазуновой за помощь в минералогических исследованиях. Замечания Т. В. Каулиной и С. В. Мудрука после тщательного прочтения рукописи сделали ее более строгой и понятной.

Петрографическое изучение проведено согласно плану НИР ГИ КНЦ РАН (тема № 0231-2015-0004), а изотопные данные были получены при финансовой поддержке проекта РФФИ 16-05-01031А.

Литература

Балаганский В. В., Минц М. В., Дэйли Дж. С. Палеопротерозойский Лапландско-Кольский ороген // Строение и динамика литосферы Восточной Европы. Результаты исследований по программам EUROPROBE / Ред. А. Ф. Морозов, Н. И. Павленкова. М.: Геос, 2006. С. 158–171.

Баянова Т. Б. Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма. СПб.: Наука, 2004. 174 с.

Березин А. В., Скублов С. Г., Марин Ю. Б., Мельник А. Е., Богомолов Е. С. Новое проявление эклогитов в Беломорском подвижном поясе: геология, условия метаморфизма и изотопный возраст // ДАН. 2013. Т. 448, № 1. С. 64–75. doi: 10.7868/S0869565213010180

Бибикова Е. В., Богданова С. В., Глебовицкий В. А., Клайссон С., Шельд Т. Этапы эволюции Беломорского подвижного пояса по данным U-Pb циркононой геохронологии (ионный микрозонд NORDSIM) // Петрология. 2004. Т. 12, № 3. С. 227–244.

Бибикова Е. В., Самсонов А. В., Щипанский А. А., Богина М. М., Грачева Т. В., Макаров В. А. Хизоваарская структура Северо-Карельского зеленокаменного пояса как аккрецированная островная дуга позднего архея: изотопно-геохронологические и петрологические данные // Петрология. 2003. Т. 11, № 3. С. 289–320.

Володичев О. И., Слабунов А. И., Бибикова Е. В., Конилов А. Н., Кузенко Т. И. Архейские эклогиты Беломорского подвижного пояса, Балтийский щит // Петрология. 2004. Т. 12, № 6. С. 609–631.

Глебовицкий В. А., Седова И. С., Ларионов А. Н., Бережная Н. Г. Изотопная периодизация магматических и метаморфических событий на рубеже архея и палеопротерозоя в Беломорском поясе, Фенноскандинавский щит // ДАН. 2017. Т. 476, № 4. С. 435–439. doi: 10.7868/S0869565217280179

Докукина К. А., Каулина Т. В., Конилов А. Н. Датирование реперных событий в истории докембрийских сложнодислоцированных комплексов (на примере Беломорской эклогитовой провинции) // ДАН. 2009. Т. 425, № 1. С. 83–88.

Докукина К. А., Баянова Т. Б., Каулина Т. В., Травин А. В., Минц М. В., Конилов А. Н., Серов П. А. Беломорская эклогитовая провинция: последовательность событий и возраст формирования маг-

матических и метаморфических пород ассоциации Гридино // Геология и геофизика. 2012. Т. 53, № 10. С. 1335–1373.

Кислицын Р. В., Балаганский В. В., Манттари И. Возраст супракомплекса полигона Воче-Ламбина, Кольский полуостров, по результатам U-Pb датирования по циркону // Общие вопросы расчленения докембрия: Материалы III Всероссийского совещания (Апатиты, 13–17 июня 2000 г.). Апатиты, 2000. С. 103–106.

Морозова Л. Н. Геология, геохимия и возраст гранитоидов полигона Воче-Ламбина (Кольский полуостров): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Апатиты, 2012. 22 с.

Морозова Л. Н., Баянова Т. Б., Серов П. А. Основные этапы гранитообразования в архее северо-востока Балтийского щита (на примере полигона Воче-Ламбина) // Литосфера. 2011. № 6. С. 14–26.

Пожиленко В. И. Метагипербазиты Енско-Риколатвинской зоны северо-западного Беломорья // Базит-гипербазитовый магматизм главных структурно-формационных зон Кольского полуострова. Апатиты: Кол. фил. АН СССР, 1987. С. 83–87.

Пожиленко В. И., Конилов А. Н., Ван К. В. Эклогиты северо-восточной части Ёнского сегмента Беломорья: новые данные // Труды Ферсмановской научной сессии. 2016. Вып. 13. С. 118–122.

Ранний докембрий Балтийского щита / Ред. В. А. Глебовицкий. СПб.: Наука, 2005. 711 с.

Сидоров М. Ю., Щипанский А. А. Фазы углерода в УНР-эклогитах и эклогитовых породах Беломорской провинции: результаты исследований методом рамановской спектроскопии // Геодинамика раннего докембрия: сходства и различия с фанерозоем: мат-лы междунар. науч. конф. и путеводитель науч. экскурсий (Петрозаводск, 29–31 мая 2017 г.). Петрозаводск, 2017. С. 224–228.

Скублов С. Г., Астафьев Б. Ю., Марин Ю. Б., Березин А. В., Мельник А. Е., Пресняков С. Л. Новые данные о возрасте эклогитов Беломорского подвижного пояса в районе с. Гридино // ДАН. 2011. Т. 439, № 6. С. 795–802.

Слабунов А. И., Азимов П. Я., Глебовицкий В. А., Жанг Л., Кевлич В. И. Архейская и палеопротерозойская мигматизации пород Беломорской провинции Фенноскандинавского щита: петрология, геохронология, геодинамические следствия // ДАН. 2016. Т. 467, № 1. С. 71–74. doi: 10.7868/S0869565216070239

Слабунов А. И., Володичев О. И., Скублов С. Г., Березин А. В. Главные стадии формирования палеопротерозойских эклогитизированных габбро-норитов по результатам U-Pb (SHRIMP) датирования цирконов и изучения их генезиса // ДАН. 2011. Т. 437, № 2. С. 238–242.

Слабунов А. И. Геология и геодинамика архейских подвижных поясов (на примере Беломорской провинции Фенноскандинавского щита). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 296 с.

Слабунов А. И., Лобач-Жученко С. Б., Бибилова Е. В., Балаганский В. В., Сорьонен-Вард П., Володичев О. И., Щипанский А. А., Светов С. А., Чекулаев В. П., Арестова Н. А., Степанов В. С. Архей

Балтийского щита: геология, геохронология, геодинамические обстановки // Геотектоника. 2006. № 6. С. 3–32.

Степанов В. С., Степанова А. В. Ранние палеопротерозойские метагаббро района с. Гридино (Беломорский подвижный пояс) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 9. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 55–71.

Травин В. В., Козлова Н. Е. Локальные сдвиговые деформации как причина эклогитизации (на примере структур Гридинской зоны меланжа, Беломорский подвижный пояс) // ДАН. 2005. Т. 405, № 3. С. 376–380.

Травин В. В., Степанов В. С., Докукина К. А. Характеристика и условия образования тектонотропа острова Избная Луда (район села Гридино, северо-западное Беломорье) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 8. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 40–49.

Чащин В. В., Баянова Т. Б., Левкович Н. В. Кислогубская свита верхнеархейского Терско-Аллареченского зеленокаменного пояса (Кольский полуостров, Россия): стратотипический разрез и U-Pb возраст // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2004. Т. 12, № 6. С. 3–15.

Щипанский А. А., Ходоревская Л. И., Конилов А. Н., Слабунов А. И. Эклогиты Беломорского пояса (Кольский полуостров): геология и петрология // Геология и геофизика. 2012а. Т. 53, № 1. С. 3–29.

Щипанский А. А., Ходоревская Л. И., Слабунов А. И. Геохимия и изотопный возраст эклогитов Беломорского пояса (Кольский полуостров): свидетельства о субдуцировавшей архейской океанической коре // Геология и геофизика. 2012б. Т. 53, № 3. С. 341–364.

Babarina I. I., Sibelev O. S. Deformation events in the Gridino zone, Belomorian Province, Fennoscandian Shield: relationships between mafic dike swarms and eclogite-bearing mélange // Int. Geol. Rev. 2015. Vol. 57, no. 11–12. P. 1607–1618. doi: 10.1080/00206814.2014.971079

Balagansky V. V., Kozlova N. Ye. A short outline of the main structural features of archaean rocks in the Shirokaya Salma area, the Kola Peninsula / Ed. F. P. Mitrofanov. Apatity: Kola Science Center RAS, 1992. 9 p.

Balagansky V. V., Shchipansky A. A., Slabunov A. I., Gorbunov I. A., Mudruk S. V., Sidorov M. Yu., Azimov P. Ya., Egorova S. V., Stepanova A. V., Voloshin A. V. Archaean Kuru-Vaara eclogites in the northern Belomorian Province, Fennoscandian Shield: Crustal architecture, timing, and tectonic implications // Int. Geol. Rev. 2015. Vol. 57, no. 11–12. P. 1541–1563. doi: 10.1080/00206814.2014.958578

Balashov Yu. A., Mitrofanov F. P., Balagansky V. V. New geochronological data on Archaean rocks of the Kola Peninsula // Correlation of Precambrian Formations in the Kola-Karelian Region and Finland. Apatity: KSC RAS, 1992. P. 13–34.

Black L. P., Kamo S. L., Allen C. M., Aleinikoff J. N., Davis D. W., Korsch R. J., Foudoulis C. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U–Pb geochronology // Chem. Geol. 2003. Vol. 200, no. 1–2. P. 155–170. doi: 10.1016/S0009-2541(03)00165-7

Corfu F., Hancher J. M., Hoskin P. W. O., Kinny P. Atlas of zircon textures // Rev. Mineral. Geochem. 2003. Vol. 53, no. 1. P. 469–500. doi: 10.2113/0530469

Fossen H. Structural Geology. New York: Cambridge University Press, 2010. 480 p.

Glassley W. E., Korstgård J. A., Sørensen K., Platon S. W. A new UHP metamorphic complex in the ~1.8 Ga Nagssugtoqidian Orogen of West Greenland // Am. Mineral. 2014. Vol. 99. P. 1315–1334. doi: 10.2138/am.2014.4726

Konilov A. N., Schipansky A. A., Mints M. V., Dokukina K. A., Kaulina T. V., Bayanova T. B., Natapov L. M., Belousova E. A., Griffin W. L., O'Reilly S. Y. The Salma eclogites of the Belomorian Province, Russia: HP/UHP metamorphism through the subduction of mesoarchean oceanic crust // Ultrahigh-Pressure Metamorphism 25 Years after the discovery of coesite and diamond / Eds. L. F. Dobrzhinetskaya, S. W. Faryad, S. Wallis, S. Cuthbert. Amsterdam; Boston: Elsevier, 2011. P. 623–664. doi: 10.1016/B978-0-12-385144-4.00018-7

Kröner A., Jaeckel P. Precise dating of granitoids by single zircon geochronology: a nightmare! // US Geological Survey Circular. 1994. Iss. 1107. 181 p.

Larionov A. N., Andreichev V. A., Gee D. G. The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U-Pb zircon ages of gabbros and syenite // The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica / Geological Society, London, Memoirs. 2004. Vol. 30. P. 69–74. doi: 10.1144/gsl.mem.2004.030.01.07

Li X., Zhang L., Wei C., Slabunov A. I. Metamorphic PT path and zircon U-Pb dating of Archean eclogite association in Gridino complex, Belomorian province, Russia // Precambrian Res. 2015. Vol. 268. P. 74–96. doi: 10.1016/j.precamres.2015.07.009

Miao L., Zhang F., Liu D., Shi Y., Xie H. Zircon SHRIMP U-Pb dating for gabbro at Chaotiehe in the Haicheng area, eastern Liaoning // Chin. Sci. Bull. 2010. Vol. 55, no. 4–5. P. 403–410. doi: 10.1007/s11434-009-0404-z

Mints M. M., Belousova E. A., Konilov A. N., Natapov L. M., Shchipansky A. A., Griffin W. L., O'Reilly S. Y., Dokukina K. A., Kaulina T. V. Mesoarchean Subduction Processes: 2.87 Ga eclogites from the Kola Peninsula, Russia // Geology. 2010. Vol. 38, no. 8. P. 739–781. doi: 10.1130/G31219.1

O'Connor J. T. A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios // U. S. Geol. Surv., Prof. Pap. 1965. 525B. P. 79–84.

Stacey J. S., Kramers J. D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // Earth and Planetary Science Letters. 1975. Vol. 26. P. 207–221. doi: 10.1016/0012-821x(75)90088-6

Steiger R. H., Jäger E. Subcommission on geochronology: convention of the use of decay constants in geo- and cosmochronology // Earth and Planetary Science Letters. 1977. Vol. 36, no. 3. P. 359–362. doi: 10.1016/0012-821x(77)90060-7

Streckeisen A. To each plutonic rock its proper name // Earth-Sci. Rev. 1976. Vol. 12. P. 1–33.

Vernon R. H., Clarke G. L. Principles of Metamorphic Petrology. New York: Cambridge University Press, 2008. 446 p.

Villaseca C., Orejana D., Belousova E., Armstrong R. A., Pérez-Soba C., Jeffries T. E. U-Pb isotopic ages and Hf isotope composition of zircons in Variscan gabbros from central Spain: evidence of variable crustal contamination // *Mineral. Petrol.* 2011. Vol. 101, no. 3–4. P. 151–167. doi: 10.1007/s00710-010-0142-6

Wiedenbeck M., Alle P., Corfu F., Griffin W. L., Meier M., Oberli F., von Quadt A., Roddick J. C., Spiegel W. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace elements and REE analyses // *Geostandards Newsletter.* 1995. Vol. 19, no 1. P. 1–23. doi: 10.1111/j.1751-908X.1995.tb00147.x

Williams I. S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe // *Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes.* Rev. Econ. Geol. Spec. Publ. 1998. Vol. 7. P. 1–35.

Yu H. L., Zhang L. F., Wei C. J., Li X. L., Guo J. H. Age and P-T conditions of the Gridino-type eclogite in the Belomorian Province, Russia // *J. Metamorph. Geol.* 2017. Vol. 35, no. 8. P. 855–869. doi: 10.1111/jmg.12258

Поступила в редакцию 28.02.2018

References

Balaganskii V. V., Mints M. V., Daly J. S. Paleoproterozoiskii Laplandsko-Kol'skii orogen [The Palaeoproterozoic Lapland-Kola orogen]. *Stroenie i dinamika litosfery Vostochnoi Evropy: rezul'taty issledovaniy po programmam EUROPROBE* [Structure and dynamics of the lithosphere of Eastern Europe. Results of the studies under the EUROPROBE Program]. Moscow: Geos, 2006. P. 158–171.

Bayanova T. B. Vozrast reперnykh geologicheskikh kompleksov Kol'skogo regiona i dlitel'nost' protsessov magmatizma [Age of key geologic complexes of the Kola Region and duration of magmatic processes]. St. Petersburg: Nauka, 2004. 174 p.

Berezin A. V., Skublov S. G., Marin Yu. B., Mel'nik A. E., Bogomolov E. S. Novoe proyavlenie eklogitov v Belomorskom podvizhnom poyase: geologiya, usloviya metamorfizma i izotopnyi vozrast [New occurrence of eclogite in the Belomorian mobile belt: Geology, metamorphic conditions, and isotope age]. *DAN* [Dokl. Earth Sciences], 2013. Vol. 448, no. 1. P. 43–53. doi: 10.1134/S1028334X13010029

Bibikova E. V., Bogdanova S. V., Glebovitskii V. A., Claesson S., Skiöld T. Etapy evolyutsii Belomorskogo podvizhnogo poyasa po dannym U-Pb tsirkonovoi geokhronologii (ionnyi mikrozonod NORDSIM) [Evolution of the Belomorian belt: NORDSIM U-Pb Zircon dating of the Chupa paragneisses, magmatism, and metamorphic stages]. *Petrology.* 2004. Vol. 12, no. 3. P. 195–210.

Bibikova E. V., Samsonov A. V., Shchipanskii A. A., Bogina M. M., Gracheva T. V., Makarov V. A. Khizovaarskaya struktura Severo-Karel'skogo zelenokamennogo poyasa kak akkretirovannaya ostrovnaya duga pozdnego arkhaya: izotopno-geokhronologicheskie i petrologicheskie dannye [The Hisovaara structure in the northern Karelian greenstone belt as a late Archean accreted Island arc: Isotopic geochronological and petrological evidence]. *Petrology.* 2003. Vol. 11, no. 3. P. 289–320.

Chashchin V. V., Bayanova T. B., Levkovich N. V. Kislogubskaya svita verkhnearkheiskogo Tersko-Allarechenskogo zelenokamennogo poyasa (Kol'skii poluostrov, Rossiya): stratotipicheskii razrez i U-Pb vozrast [The Kislaya Guba Formation of the Late Archean Terskii-Allarechensk greenstone belt (Kola Peninsula, Russia): Stratotype and U-Pb age]. *Stratigraphy and Geological Correlation.* 2004. Vol. 12, no. 6. P. 541–552.

Dokukina K. A., Kaulina T. V., Konilov A. N. Datirovanie reперnykh sobytii v istorii dokembriiskikh slozh-

nodslotsirovannykh kompleksov (na primere Belomorskoi eklogitovoi provintsii) [Dating of key events in the Precambrian polystage complexes: An example from Archaean Belomorian Eclogite Province, Russia]. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 2009. Vol. 425, no. 1. P. 296–301. doi: 10.1134/s1028334x09020275

Dokukina K. A., Bayanova T. B., Kaulina T. V., Travin A. V., Mints M. V., Konilov A. N., Serov P. A. Belomorskaya eklogitovaya provintsia: posledovatel'nost' sobytii i vozrast formirovaniya magmaticheskikh i metamorficheskikh porod assotsiatsii Gridino [The Belomorian eclogite province: Sequence of events and age of the igneous and metamorphic rocks of the Gridino association]. *Russian Geology and Geophysics.* 2012. Vol. 53, no. 10. P. 1023–1054. doi: 10.1016/j.rgg.2012.08.006

Glebovitskii V. A., Sedova I. S., Larionov A. N., Berezhnaya N. G. Izotopnaya periodizatsiya magmaticheskikh i metamorficheskikh sobytii na rubezhe arkhaya i paleoproterozoya v Belomorskom poyase, Fennoskandinavskii shchit [An isotopic timing of the magmatic and metamorphic events at the turn of the Archaean and Proterozoic within the Belomorian Belt, Fennoscandinavian Shield]. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 2017. Vol. 476, no. 2. P. 1143–1146. doi: 10.1134/S1028334X1710004X

Kislitsyn R. V., Balaganskii V. V., Manttari I. Vozrast suprakompleksa poligona Voche-Lambina, Kol'skii poluostrov, po rezul'tatam U-Pb datirovaniya po tsirkonu [Age of the supracrustal complex of the Voche-Lambina study area, Kola Peninsula, according to results of a U-Pb zircon dating]. *Obshchie voprosy raschleneniya dokembriya: materialy III Vseross. Soveshch. (Apatity, 13–17 iyunya 2000 g.)* [General issues of Precambrian subdivision: Proceed. of the III all-Russ. conf. (Apatity, June 13–17, 2000)]. Apatity, 2000. P. 103–105.

Morozova L. N. Geologiya, geokhimiya i vozrast granitoidov poligona Voche-Lambina (Kol'skii poluostrov) [Geology, geochemistry and age of granitoid rocks in the Voche-Lambina area (Kola Peninsula)]: Summary of PhD (Cand. of Geol.-Min.) thesis. Apatity, 2002. 22 p.

Morozova L. N., Bayanova T. B., Serov P. A. Osnovnye etapy granitoobrazovaniya v arkhayevostoka Baltiiskogo shchita (na primere poligona Voche-Lambina) [Main stages of the formation of granitic rocks in the Archaean, northeastern Baltic shield (an example from the Voche-Lambina area)]. *Litosfera* [Litosphere]. 2011. No. 6. P. 14–26.

Pozhilenko V. I. Metagiperbazity Yonsko-Rikolatvinskoi zony severo-zapadnogo Belomor'ya [Metahyperbasites of the Yona-Rikolatva area of the Belomorian province]. *Bazit-giperbazitovyyi magmatizm glavnykh strukturno-formatsionnykh zon Kol'skogo poluostrova* [Mafic and ultramafic magmatism of the main structural-formational zones of the Kola Peninsula]. Apatity: Kol. fil. AN SSSR, 1987. P. 83–87.

Pozhilenko V. I., Konilov A. N., Van K. V. Eklogity severo-vostochnoi chasti Enskogo segmenta Belomor'ya: novye dannye [Eclogites of the northeastern Yona segment of the Belomorian province: new data]. *Trudy Fersmanovskoi nauchnoi sessii* [Proceed. of the Fersman Scientific Session]. 2016. Vol. 13. P. 118–122.

Rannii dokembrii Baltiiskogo shchita [Early Precambrian of the Baltic Shield]. St. Petersburg: Nauka, 2005. 711 p.

Shchipanskii A. A., Khodorevskaya L. I., Konilov A. N., Slabunov A. I. Eklogity Belomorskogo poyasa (Kol'skii poluostrov): geologiya i petrologiya [Eclogites from the Belomorian Mobile Belt (Kola Peninsula): Geology and petrology]. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics]. 2012a. Vol. 53, no. 1. P. 1–21. doi: 10.1016/j.rgg.2011.12.001

Shchipanskii A. A., Khodorevskaya L. I., Slabunov A. I. Geokhimiya i izotopnyi vozrast eklogitov belomorskogo poyasa (Kol'skii poluostrov): svidetel'stvo o subdutsirovavshei arkheiskoi okeanicheskoi kore [The geochemistry and isotopic age of eclogites from the Belomorian Belt (Kola Peninsula): Evidence for subducted Archean oceanic crust]. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics]. 2012b. Vol. 53, no. 3. P. 262–280. doi: 10.1016/j.rgg.2012.02.004

Sidorov M. Yu., Shchipanskii A. A. Fazy ugleroda v UHP eklogitakh i eklogitovykh porodakh Belomorskoi provintsi: rezul'taty issledovaniy metodom ramanovskoi spektroskopii [Carbon mineral phases in UHP eclogites and eclogitic rocks of the Belomorian province: results of a Raman spectroscopy study]. *Geodinamika rannego dokembriya: skhodstva i razlichiya s fanerozoem: mat-ly mezhdunar. nauch. konf. i putevoditel' nauch. ekskursii (Petrozavodsk, 29–31 maya 2017 g.)* [Early Precambrian vs Modern geodynamics: Extended abstracts and field trip guide book. (Petrozavodsk, May 29–31, 2017)]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2017. P. 125–128.

Skublov S. G., Astaf'ev B. Yu., Marin Yu. B., Berezin A. V., Mel'nik A. E., Presnyakov S. L. New data on the age of eclogites from the Belomorian mobile belt at Gridino settlement area. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 2011. Vol. 439, no. 2. P. 1163–1170. doi: 10.1134/S1028334X11080290

Slabunov A. I. Geologiya i geodinamika arheiskikh podvizhnykh poyasov (na primere Belomorskoi provintsi Fennoskandinavskogo shchita) [Geology and geodynamics of the Archean mobile belts (case of the Belomorian province of the Fennoscandian Shield)]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2008. 296 p.

Slabunov A. I., Kevlich V. I., Azimov P. Y., Glebovitskii V. A., Zhang L. Archaean and palaeoproterozoic migmatizations in the Belomorian Province, Fennoscandian Shield: Petrology, geochronology, and geodynamic

settings. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 2016. Vol. 467, no. 1. P. 259–263.

Slabunov A. I., Lobach-Zhuchenko S. B., Bibikova E. V., Balaganskii V. V., Sorjonen-Ward P., Volodichev O. I., Shchipanskii A. A., Svetov S. A., Cherkulaev V. P., Arestova N. A., Stepanov V. S. Arkhei Baltiiskogo shchita: geologiya, geokhronologiya, geodinamicheskie obstanovki [The Archean of the Baltic Shield: Geology, geochronology, and geodynamic settings]. *Geotectonica* [Geotectonics]. 2006. Vol. 40, no. 6. P. 409–433. doi: 10.1134/S001685210606001X

Slabunov A. I., Volodichev O. I., Skublov S. G., Berezin A. V. Glavnye stadii formirovaniya paleoproterozoi-skikh eklogitirovannykh gabbro-noritov po rezul'tatam U-Pb (SHRIMP) datirovaniya tsirkonov i izucheniya ikh genezisa [Main stages of the formation of paleoproterozoic eclogitized gabbro-norite: Evidence from U-Pb (SHRIMP) dating of zircons and study of their genesis]. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 2011. Vol. 437, no. 1. P. 396–400. doi: 10.1134/S1028334X11030202

Stepanov V. S., Stepanova A. V. Rannie paleoproterozoi-skie metagabbro raiona s. Gridino (Belomorskii podvizhnyi poyas) [Early Paleoproterozoic metagabbro of the Gridino area (Belomorian province)]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii* [Geology and mineral resources of Karelia]. Iss. 9. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2006. P. 55–71.

Travin V. V., Kozlova N. E. Lokal'nye sdvigovye deformatsii kak prichina eklogitizatsii (na primere struktur Gridinskoi zony melanzha, Belomorskii podvizhnyi poyas) [Local shear deformations as a cause of eclogitization: Evidence from the Gridino melange zone, Belomorian Mobile Belt]. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 2005. Vol. 405A, no. 9. P. 1275–1278.

Travin V. V., Stepanov V. S., Dokukina K. A. Harakteristika i usloviya obrazovaniya tektonitov ostrova Izbnya Luda (raion sela Gridino, severo-zapadnoe Belomor'e) [Description and conditions of the formation of tectonites in the Izbnya Luda island area (Gridino area, northwestern Belomorian province)]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii* [Geology and mineral resources of Karelia]. Iss. 8. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2005. P. 40–49.

Volodichev O. A., Slabunov A. I., Bibikova E. V., Konilov A. N., Kuzenko T. I. Arkheiskie eklogity Belomorskogo podvizhnogo poyasa, Baltiiskii shchit [Archean eclogites in the Belomorian mobile belt, Baltic Shield]. *Petrology*. 2004. Vol. 12, no. 6. P. 540–560.

Babarina I. I., Sibelev O. S. Deformation events in the Gridino zone, Belomorian Province, Fennoscandian Shield: relationships between mafic dike swarms and eclogite-bearing mélange. *Int. Geol. Rev.* 2015. Vol. 57, no. 11–12. P. 1607–1618. doi: 10.1080/00206814.2014.971079

Balagansky V. V., Kozlova N. Ye. A short outline of the main structural features of archaean rocks in the Shirokaya Salma area, the Kola Peninsula. Apatity: KSC RAS, 1992. 9 p.

Balagansky V. V., Shchipansky A. A., Slabunov A. I., Gorbunov I. A., Mudruk S. V., Sidorov M. Yu., Azimov P. Ya., Egorova S. V., Stepanova A. V., Voloshin A. V. Archaean Kuru-Vaara eclogites in the northern Belomorian Province, Fennoscandian Shield: Crust-

al architecture, timing, and tectonic implications. *Int. Geol. Rev.* 2015. Vol. 57, no. 11–12 P. 1541–1563. doi: 10.1080/00206814.2014.958578

Balashov Yu. A., Mitrofanov F. P., Balagansky V. V. New geochronological data on Archaean rocks of the Kola Peninsula. *Correlation of Precambrian Formations in the Kola-Karelian Region and Finland*. Apatity: KSC RAS, 1992. P. 13–34.

Black L. P., Kamo S. L., Allen C. M., Aleinikoff J. N., Davis D. W., Korsch R. J., Foudoulis C. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology. *Chem. Geol.* 2003. Vol. 200, no. 1–2. P. 155–170. doi: 10.1016/S0009-2541(03)00165-7

Corfu F., Hanchar J. M., Hoskin P. W. O., Kinny P. Atlas of zircon textures. *RiMG*. 2003. Vol. 53, no. 1. P. 469–500. doi: 10.2113/0530469

Fossen H. *Structural Geology*. New York: Cambridge University Press, 2010. 480 p.

Glassley W. E., Korstgård J. A., Sørensen K., Platon S. W. A new UHP metamorphic complex in the ~1.8 Ga Nagssugtoqidian Orogen of West Greenland. *Am. Min.* 2014. Vol. 99. P. 1315–1334. doi: 10.2138/am.2014.4726

Konilov A. N., Schipansky A. A., Mints M. V., Dokukina K. A., Kaulina T. V., Bayanova T. B., Natapov L. M., Belousova E. A., Griffin W. L., O'Reilly S. Y. The Salma eclogites of the Belomorian Province, Russia: HP/UHP metamorphism through the subduction of mesoarchean oceanic crust. *Ultrahigh-Pressure Metamorphism 25 Years after the discovery of coesite and diamond*. Amsterdam; Boston: Elsevier, 2011. P. 623–664. doi: 10.1016/B978-0-12-385144-4.00018-7

Kröner A., Jaeckel P. Precise dating of granitoids by single zircon geochronology: a nightmare! *US Geological Survey Circular*. 1994. Iss. 1107. 181 p.

Larionov A. N., Andreichev V. A., Gee D. G. The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U-Pb zircon ages of gabbros and syenite. *The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica*. Geological Society, London, Memoirs. 2004. Vol. 30. P. 69–74. doi: 10.1144/gsl.mem.2004.030.01.07

Li X., Zhang L., Wei C., Slabunov A. I. Metamorphic PT path and zircon U-Pb dating of Archean eclogite association in Gridino complex, Belomorian province, Russia. *Precambrian Res.* 2015. Vol. 268. P. 74–96. doi: 10.1016/j.precamres.2015.07.009

Miao L., Zhang F., Liu D., Shi Y., Xie H. Zircon SHRIMP U-Pb dating for gabbro at Chaotiehe

in the Haicheng area, eastern Liaoning. *Chin. Sci. Bull.* 2010. Vol. 55, no. 4–5. P. 403–410. doi: 10.1007/s11434-009-0404-z

Mints M. M., Belousova E. A., Konilov A. N., Natapov L. M., Shchipansky A. A., Griffin W. L., O'Reilly S. Y., Dokukina K. A., Kaulina T. V. Mesoarchean Subduction Processes: 2.87 Ga eclogites from the Kola Peninsula, Russia. *Geology*. 2010. Vol. 38, no. 8. P. 739–781. doi: 10.1130/G31219.1

O'Connor J. T. A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. *U. S. Geol. Surv., Prof. Pap.* 1965. No. 525B. P. 79–84.

Stacey J. S., Kramers J. D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *EPSL*. 1975. Vol. 26. P. 207–221. doi: 10.1016/0012-821x(75)90088-6

Steiger R. H., Jäger E. Subcommission on geochronology: convention of the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *EPSL*. 1977. Vol. 36, no. 3. P. 359–362. doi: 10.1016/0012-821x(77)90060-7

Streckeisen A. To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Rev.* 1976. Vol. 12. P. 1–33.

Vernon R. H., Clarke G. L. *Principles of Metamorphic Petrology*. New York: Cambridge University Press, 2008. 446 p.

Villaseca C., Orejana D., Belousova E., Armstrong R. A., Pérez-Soba C., Jeffries T. E. U-Pb isotopic ages and Hf isotope composition of zircons in Variscan gabbros from central Spain: evidence of variable crustal contamination. *Mineral. Petrol.* 2011. Vol. 101, no. 3–4. P. 151–167. doi: 10.1007/s00710-010-0142-6

Wiedenbeck M., Alle P., Corfu F., Griffin W. L., Meier M., Oberli F., von Quadt A., Roddick J. C., Spiegel W. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace elements and REE analyses. *Geostandards Newsletter*. 1995. Vol. 19, no 1. P. 1–23. doi: 10.1111/j.1751-908X.1995.tb00147.x

Williams I. S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. *Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes. Reviews in Economic Geology Special Publication*. 1998. Vol. 7. P. 1–35.

Yu H. L., Zhang L. F., Wei C. J., Li X. L., Guo J. H. Age and P-T conditions of the Gridino-type eclogite in the Belomorian Province, Russia. *J. Metamorph. Geol.* 2017. Vol. 35, no. 8. P. 855–869. doi: 10.1111/jmg.12258

Received February 28, 2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Картушинская Татьяна Владимировна

инженер 1-й категории
Геологический институт – обособленное подразделение
Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Федерального исследовательского центра
«Кольский научный центр Российской академии наук»
(ГИ КНЦ РАН)
ул. Ферсмана, 14, Апатиты, Мурманская обл., Россия,
184209
эл. почта: tanja_1992@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Kartushinskaya, Tat'yana

Geological Institute, Kola Science Centre,
Russian Academy of Sciences (GI KSC RAS)
14 Fersman St., 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia
e-mail: tanja_1992@mail.ru

Балаганский Виктор Валентинович

ведущий научный сотрудник, д. г.-м. н.
Геологический институт – обособленное подразделение
Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Федерального исследовательского центра
«Кольский научный центр Российской академии наук»
(ГИ КНЦ РАН)
ул. Ферсмана, 14, Апатиты, Мурманская обл., Россия,
184209

профессор каф. геологии и полезных ископаемых
Мурманский государственный технический университет,
Апатитский филиал
Академгородок, 50а, Апатиты, Мурманская обл., Россия,
184209
эл. почта: balagan@geoksc.apatity.ru

Горбунов Илья Александрович

младший научный сотрудник
Геологический институт – обособленное подразделение
Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Федерального исследовательского центра
«Кольский научный центр Российской академии наук»
(ГИ КНЦ РАН)
ул. Ферсмана, 14, Апатиты, Мурманская обл., Россия,
184209
эл. почта: gorbunov51@yandex.ru

Ларионов Александр Николаевич

старший научный сотрудник
Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт им. А. П. Карпинского
Средний пр. В. О., 74, Санкт-Петербург, Россия, 199106
эл. почта: alexander_larionov@vsegei.ru

Львов Павел Алексеевич

научный сотрудник
Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт им. А. П. Карпинского
Средний пр. В. О., 74, Санкт-Петербург, Россия, 199106
старший лаборант
Институт геологии и геохронологии докембрия РАН
наб. Макарова, 2, Санкт-Петербург, Россия, 199034
эл. почта: Pavel_Lvov@vsegei.ru

Balagansky, Viktor

Geological Institute, Kola Science Centre,
Russian Academy of Sciences (GI KSC RAS)
14 Fersman St., 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia
Murmansk State Technical University, Apatity Branch
50a Academgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region,
Russia
e-mail: balagan@geoksc.apatity.ru

Gorbunov, Il'ya

Geological Institute, Kola Science Centre,
Russian Academy of Sciences (GI KSC RAS)
14 Fersman St., 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia
e-mail: gorbunov51@yandex.ru

Larionov, Alexander

A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute
74 Sredniy Pr., 199106 St. Petersburg, Russia
e-mail: alexander_larionov@vsegei.ru

L'vov, Pavel

A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute
74 Sredniy Pr., 199106 St. Petersburg, Russia
Institute of Precambrian Geology and Geochronology,
Russian Academy of Sciences
2 Nab. Makarova, 199034 St. Petersburg, Russia
e-mail: Pavel_Lvov@vsegei.ru