

УДК 550.93 + 551.2.4

U-Pb ВОЗРАСТ ТИТАНИТОВ КААПВААЛЬСКОГО КРАТОНА: ГЕОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ, СОПОСТАВЛЕНИЕ С КАРЕЛЬСКИМ КРАТОНОМ

Н. С. Нестерова¹, А. И. Слабунов¹, Н. Г. Ризванова²

¹ Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

² Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, Россия

Приводятся результаты датирования титанитов Каапваальского кратона. Показано, что в восточной части террейна Свазиленд в пределах пояса неоархейской тектоно-термальной активизации титаниты, метаморфогенные цирконы, апатиты, амфиболы, гранаты имеют возраст около 2,74 млрд лет, в то время как за пределами этого пояса возраст титанитов палео-мезоархейский (3,21–3,16 млрд лет), близкий ко времени становления посткинematических калиевых гранитов, что соответствует этапу кратонизации. Проведено сопоставление полученных результатов с данными о времени формирования титанитов в пределах Карельского кратона. Так, по западной периферии Водлозерского террейна Карельского кратона возрасты титанитов неоархейские (2,74–2,63 млрд лет), что коррелируется с основной фазой аккреционных процессов. При этом в центральной части Водлозерского террейна титаниты имеют возраст 2,87–2,86 млрд лет и свидетельствуют о стабилизации коры начиная с этого времени. В Каапваальском и Карельском кратонах возраст древних титанитов (3,21–3,16 и 2,87–2,86 млрд лет соответственно) коррелируется со временем ранней кратонизации земной коры, а более молодые отражают время неоархейской тектоно-термальной активизации и косвенно подтверждают вхождение кратонов в состав единого неоархейского суперконтинента Кенорленд. Сопоставляя полученные результаты по кратонам, можно сделать вывод, что возраст титанитов является надежным индикатором времени проявления поздних тектоно-термальных процессов.

Ключевые слова: геохронология; U-Pb метод; титанит; архей; Каапваальский кратон; Карельский кратон; террейн Свазиленд; Водлозерский террейн.

N. S. Nesterova, A. I. Slabunov, N. G. Rizvanova. U-Pb AGE OF KAAPVAAL CRATON TITANITE: GEOTECTONIC INTERPRETATION AND CORRELATION WITH THE KARELIAN CRATON

The results of dating of Kaapvaal Craton titanite are reported. It is shown that metamorphic zircon, apatite, amphibole and garnet in the Neoarchaeal tectono-thermal activation belt in the eastern Swaziland terrane have an age of ca. 2.74 Ga, while the age of titanite outside the belt is Palaeo-Mesoarchaeal (3.21–3.16 Ga), similar to the time of formation of post-kinematic K-granite consistent with a cratonization stage. Titanite occurring in the western periphery of the Vodlozero terrane in the Karelian Craton is also Neoarchaeal (2.74–2.63 Ga), correlating with the main phase of accretion processes there. Titanite in the central part of the terrane shows an age of 2.87–2.86 Ga, suggesting that the crust began to stabilize at that time. The ages of old titanites from the Kaapvaal

and Karelian Cratons (3.21–3.16 and 2.87–2.86 Ga, respectively) correlate with the time of early crustal cratonization, while younger titanites date back to the time of Neoproterozoic tectono-thermal activation and this dating indirectly supports the assumption that both cratons were part of one Neoproterozoic Kenorland Supercontinent. Correlation of the results obtained for the two cratons has led the authors to conclude that the age of titanites is a reliable indicator of the time of late tectono-thermal processes.

Key words: geochronology; U-Pb method; titanite; Archean; Kaapvaal Craton; Karelian Craton; Swaziland terrane; Vodlozero terrane.

Введение

Каапваальский и Карельский кратоны в неоархее (около 2,7 млрд лет) входили в состав неоархейского суперконтинента Кенорленд [Лубнина, Слабунов, 2011, 2017]. Более того, мезо-неоархейская история формирования земной коры этих кратонов имеет важные черты сходства, например, субдукционно-аккреционные события в мезоархее и коллизионные в неоархее. Однако ряд корреляций пока не вполне ясны: в неоархее (около 2,74 млрд лет) в восточной части Каапваальского кратона в относительно узкой полосе отмечается всплеск гранитного магматизма, метаморфизма (до гранулитовой фации) [Hofmann et al., 2015], природа которых не вполне очевидна. В то время как на Карельском кратоне в это время формируются субдукционно-аккреционные комплексы [Слабунов и др., 2006]. Новые данные по геохронологии титанита и ряда других минералов из зоны тектоно-термальной активизации Каапваальского кратона могут быть полезными для понимания геодинамической природы обозначенной зоны.

Ранее на примере Карельского кратона и Беломорского подвижного пояса Фенноскандинавского щита было показано, что изучение титанитов является надежным маркером времени проявления наложенных тектоно-термальных процессов [Бибикова и др., 1999; Нестерова, 2012]. Цель данной работы – сравнить и протестировать возможности использования этого подхода на примере Свазилендского террейна Каапваальского кратона для оценки области распространения и времени проявления наложенной неоархейской активизации, а также в сочетании с данными об изотопном возрасте других минералов-геохронометров оценить скорость этого процесса, что позволит ограничить число возможных геодинамических моделей.

Краткий геологический очерк

Каапваальский кратон расположен в южной части африканского континента и является

частью Южно-Африканского щита. В составе кратона выделяют древнее ядро, кратонизированное около 3,1 млрд лет назад, – террейн Свазиленд (рис. 1). Наиболее древние породы террейна представлены комплексом архейских гнейсов, который состоит из эо-, палео- и мезоархейских (~3640 до ~3200 млн лет) гранито-гнейсов тоналит-трондьемит-гранодиоритового (ТТГ) состава с телами амфиболитов, зеленокаменных комплексов (Барбетонского на севере и его аналогами Ассегаи, Коммондале на юге), гранитоидов, в том числе калиевых посткинematических (например, калиевые граниты Мпулузе с возрастом 3,1 млрд лет). На древнем фундаменте залегают мезоархейские (3,0–2,9 млрд лет) осадочные и вулканогенно-осадочные комплексы группы Понгола [Hofmann et al., 2015 и ссылки в ней]. Породы группы Понгола метаморфизованы главным образом в условиях зеленосланцевой фации, но в северной части в обрамлении купола, сложенного гнейсами Нхлангано, они преобразованы в условиях гранулитовой фации (830–855 °С, 4,4–6,4 кбар) и известны как гнейсы серии Мкхондо и Махамба [Taylor et al., 2010; Hofmann et al., 2015]. Время проявления гранулитового метаморфизма оценивается по цирконам в $2732,4 \pm 7,6$ [Taylor et al., 2010] и 2745 ± 2 [Condie et al., 1996] млн лет, Sm-Nd датирование гранатов показало возраст 2750 млн лет (определено с большой ошибкой) [Condie et al., 1996]. Ar-Ar датирование амфиболов из гнейсов Махамба дало возраст 2,74–2,71 млрд лет [Hofmann et al., 2015]. Возраст протолита гнейсов Нхлангано оценивается по данным U-Pb датирования цирконов в 2,98 [Hofmann et al., 2015] и 3,28–3,24 [Schoene, Bowring, 2010] млрд лет. U-Pb возраст апатита из гнейсов Нхлангано составляет 2,73 млрд лет и отражает стадию остывания неоархейского метаморфического комплекса [Schoene, Bowring, 2010]. Также в пределах только восточной части террейна Свазиленд широко проявлен неоархейский (2,8–2,7 млрд лет) гранитный магматизм (рис. 1).

Таким образом, в восточной части террейна Свазиленд выделяется неоархейский пояс

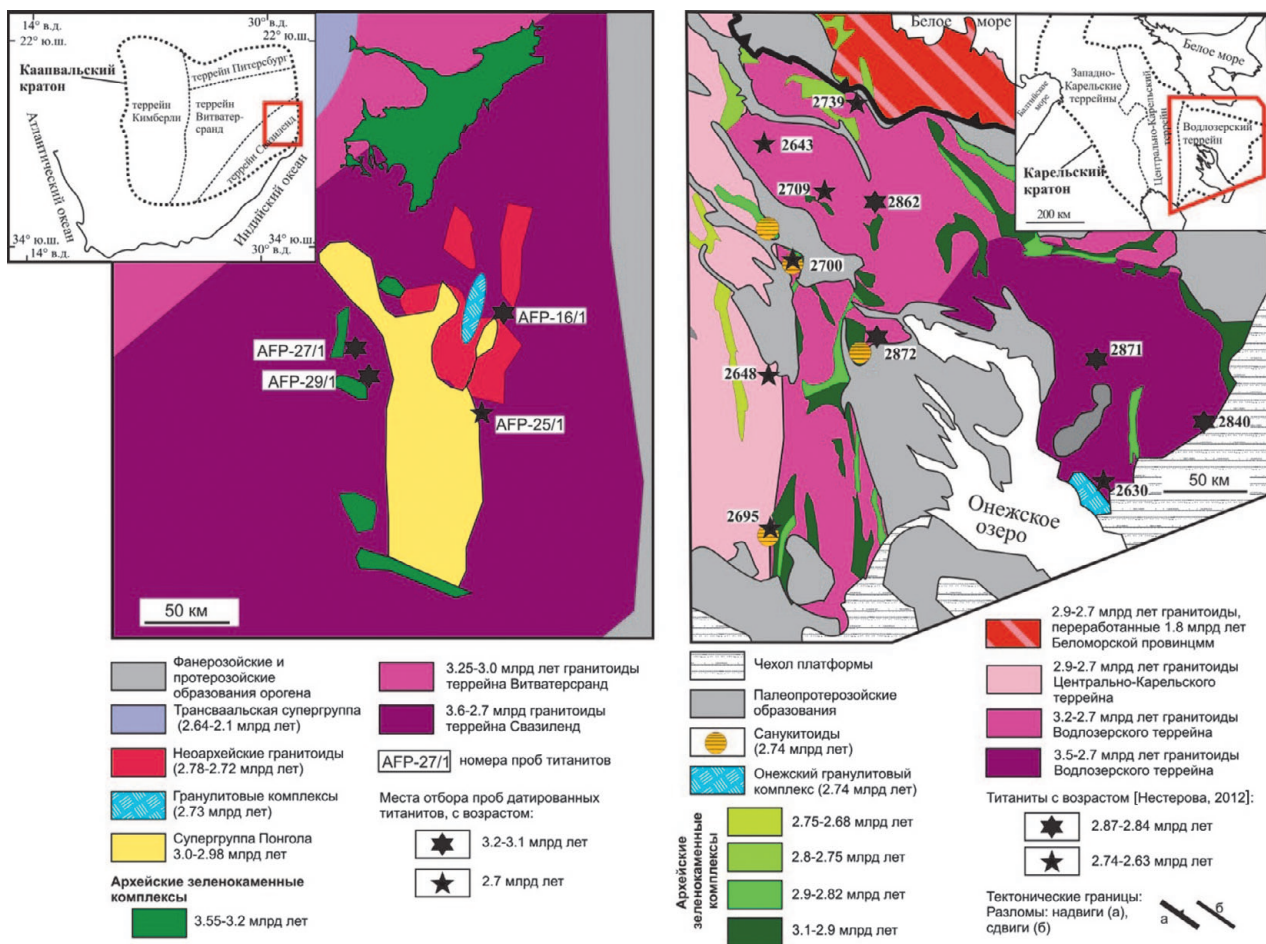


Рис. 1. Расположение датировок титанитов на схеме геологического строения Каапваальского и Карельского кратонов [схемы составлены с использованием: Нестерова, 2012 и ссылки в ней; Hofmann et al., 2015]

Fig. 1. Location of titanite dating on the scheme of the geological structure of the Kaapvaal and Karelian Cratons based on: [Nesterova, 2012 with references; Hofmann et al., 2015]

тектоно-термальней активизации, протягивающийся в меридиональном направлении более чем на 200 км, который маркируется проявлениями гранулитового метаморфизма, гранитным магматизмом и деформациями [Taylor et al., 2010; Hofmann et al., 2015]. В поле его влияния частично попадают древнейшие ТТГ с амфиболитами, архейские зеленокаменные комплексы, мезоархейские породы группы Понгола и структуры Нхлангано.

Для сравнения поведения U-Pb систем различных минералов-геохронометров нами привлечены данные по Карельскому кратону, изученному ранее [Бибикова и др., 1999; Нестерова, 2012].

Карельский кратон входит в состав Фенноскандинавского щита. В его южной части выделяют Водлозерский террейн (рис. 1). Наиболее древние породы Водлозерского террейна образуют ядро, вокруг которого развита система мезо-неоархейских зеленокаменных поясов: Водлозерско-Сегозерского, Южно-

Выгозерского, Сумозерско-Кенозерского, а Маткалахтинский зеленокаменный пояс рассекает его. Древнейшие породы Водлозерского террейна с возрастом до 3,24 млрд лет представлены главным образом метаморфизованными тоналитами, амфиболитами и гнейсами, сохранившимися в виде фрагментов среди более поздних (мезоархейских) гранитоидов [Ранний..., 2005 и ссылки в ней]. Помимо этого в пределах Водлозерского террейна развиты расслоенные мафит-ультрамафитовые комплексы с возрастом 2,98–2,9 млрд лет, которые секутся более молодыми ТТГ породами (2,88 млрд лет). Здесь также установлены древнейшие на щите двуполевошпатовые граниты (2,87 млрд лет), а кроме того, распространены массивы посттектонических калиевых гранитов с возрастом 2,70–2,68 млрд лет [Ранний..., 2005 и ссылки в ней]. Титанит из включения ранних амфиболитов из ТТГ имеет возраст 2871 ± 6 млн лет, из мезоархейских гранито-гнейсов – 2862 ± 6 млн лет [Несте-

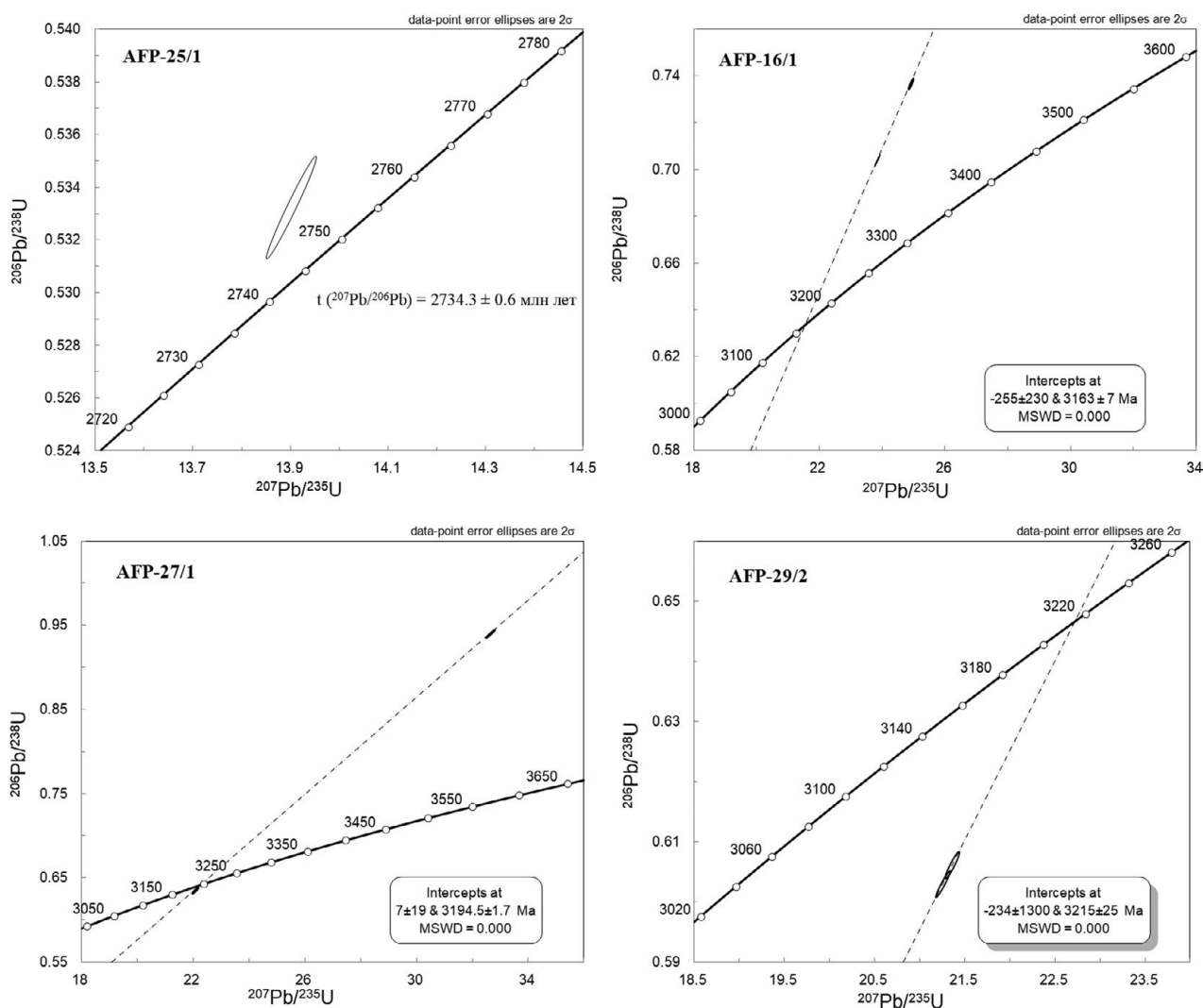


Рис. 2. Диаграммы с конкордией для титанитов из пород террейна Свазиленд, восточная часть Каапваальского кратона

Fig. 2. Concordia diagrams of ID-TIMS U-Pb titanite ages from the Swaziland terrane, the Kaapvaal Craton

рова, 2012], что совпадает с возрастом мезоархейской переработки и древнейших двуполевошпатовых гранитов. В краевых частях террейна отмечаются интрузии санукитоидов с возрастом 2,74 млрд лет (рис. 1) [Ранний..., 2005; Нестерова, 2012 и ссылки в них]. Титаниты из Чалкинского санукитоидного массива имеют возраст 2690 ± 6 млн лет, а Панозерской трехфазной интрузии санукитоидов – около 2,70 млрд лет [Нестерова, 2012]. В западной части Водлозерского террейна проявлен неархейский гранулитовый метаморфизм, в ходе которого сформировался Онежский гранулит-чарнокит-эндербитовый комплекс. Условия пика метаморфизма соответствовали 5,5–6,5 кбар и 754–870 °C, U-Pb возраст гранулитового метаморфизма по цирконам составляет 2739–2734 и 2701 млрд лет [Лубнина, Слабунов, 2017].

Методы и результаты исследования титанитов

Нами были изучены 4 пробы титанитов из террейна Свазиленд Каапваальского кратона (рис. 2, табл.).

Возраст титанитов определялся по стандартной методике: отобранные вручную пробы титанита весом 2–4 мг разлагались в смеси кислот HF и HNO₃. Выделение Pb и U проводили на ионообменных смолах в HBr-форме по стандартной методике с последующим выделением U на смоле UTEVA. Изотопы Pb измеряли на многоколлекторном масс-спектрометре Triton TI (ИГГД РАН, Санкт-Петербург, Россия). Лабораторное загрязнение при исследованиях не превышало 0,05 нг Pb. Определение U-Pb возраста титанита было выполнено по стандартной методике с погрешностью измере-

Результаты U-Pb-изотопных исследований титанитов из пород террейна Свазиленд, восточная часть Каапваальского кратона

U-Pb data for titanites from the Swaziland terrane, the Kaapvaal Craton

№	Номер пробы Sample code	Содержание, мкг/г Concentration, ppm		Изотопные отношения Isotopic ratios					Rho	Th/U	Возраст, млн лет Ages, Ma		
		Pb	U	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb ^a	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ^b	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb ^b	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U			²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb
1	AFP-25/1	98	154	929	0,18909	0,12736	13,9023	0,53323	0,98	0,5	2755	2743	2734,3 ± 0,6 [Dlamini et al., 2017]
2	AFP-16/1	50	52	1894	0,24496	0,22875	24,8854	0,73678	0,85	0,8	3559	3304	3152,5 ± 1,5
	AFP-16/1	79	83	1606	0,24544	0,28738	23,8226	0,70395	0,98	1,0	3436	3261	3155,6 ± 0,5
3	AFP-27/1	82	68	854	0,25170	0,15873	32,6263	0,94014	0,99	0,6	4272	3569	3195,5 ± 0,7
	AFP-27/1	55	69	1147	0,25159	0,15555	22,0565	0,63585	0,96	0,6	3173	3186	3194,8 ± 0,5
4	AFP-29/2	44	50	186	0,25555	0,10842	21,3599	0,60618	0,94	0,4	3055	3155	3219,6 ± 0,9
	AFP-29/2	62	75	260	0,25562	0,09357	21,2554	0,60307	0,96	0,3	3042	3150	3219,9 ± 0,6

Примечание. а – изотопные отношения, скорректированные на бланк и фракционирование; б – изотопные отношения, скорректированные на бланк, фракционирование и обычный Pb; Rho – коэффициент корреляции погрешностей отношений ²⁰⁷Pb/²³⁵U и ²⁰⁶Pb/²³⁸U.

Note. a – isotopic ratios corrected for blank and fractionation; b – isotopic ratios corrected for blank, fractionation and common Pb; Rho – error correlation for ²⁰⁷Pb/²³⁵U vs ²⁰⁶Pb/²³⁸U.

ния Pb/U отношений, равной около 0,5 % (2σ). Изотопный состав обычного свинца рассчитан по модели Стейси – Крамерса. Изотопные отношения и возраст минералов рассчитывали по программе PBDAT.

Титаниты были выделены как из пород зоны неоархейской тектоно-термальной активизации, так и за ее пределами (рис. 1). Возраст изученных титанитов из мезоархейских гранито-гнейсов Махамба в пределах пояса составляет в 2734 ± 0,6 млн лет (проба AFP-25/1) [Dlamini et al., 2017].

Остальные датированные титаниты из пород за пределами пояса тектоно-термальной активизации имеют более древний возраст. Восточнее пояса из крупнозернистых амфиболитов Шиселвени, залегающих среди древних ТТГ, отобрана проба Э-AFP-16/1. Титанит представлен медово-коричневыми прозрачными кристаллами, а его возраст оценивается в 3163 ± 7 млн лет. Юго-западнее пояса и протобассейна Понгола отобраны пробы Э-AFP-27/1 и AFP-29/2. Титаниты пробы Э-AFP-27/1 были выделены из амфиболитов, образующих линзовидные тела в древних гранито-гнейсах с возрастом мигматизации 3222 ± 8 и 3192 ± 9 млн лет [Saha et al., 2010]. Титаниты из амфиболитов имеют возраст 3195 ± 1,8 млн лет, т. е. близки ко времени поздней мигматизации. Проба AFP-29/2 также отобрана из крупного тела ортоамфиболитов (метагэббро), залегающего среди древних ТТГ. Возраст титанитов из них оценивается в 3215 ± 25 млн лет.

Обсуждение результатов

Проведенные исследования показали, что в пределах Свазилендского террейна Каапваальского кратона наиболее древние титаниты имеют палео-мезоархейские (3,21–3,16 млрд лет) возрасты, близкие к возрастам цирконов из лейкосом мигматизированных ТТГ и из пост-кинематических калиевых гранитов, являющихся индикатором зрелой континентальной коры. Таким образом, возраст древних титанитов здесь фиксирует время кратонизации.

Возраст более молодых титанитов террейна Свазиленд отражает время неоархейской тектоно-термальной активизации и сближен с возрастными метаморфогенных цирконов, апатитов, амфиболов, гранатов – около 2,74 млрд лет. С учетом того, что температура закрытия изотопной U-Pb системы циркона более 850 °С, титанита – около 600–700 °С, апатита – 500 °С, а изотопной Ar-Ar системы амфибола – 550–650 °С, скорость остывания земной коры Каапваальского кратона в зоне тектоно-термальной активизации грубо оценивается в 40 °С/млн лет.

Представленные данные по поясу могут свидетельствовать о быстром течении тектоно-термального процесса. Он мог быть связан с воздействием мантийного плюма, однако отсутствие базитового магматизма близкого возраста и линейная структура области влияния эпизода активизации делает это предположение менее вероятным. Скорее всего, рассматриваемая зона тектоно-термальной перера-

ботки связана с растяжением (рифтогенезом) континентальной коры и формированием комплекса метаморфических ядер [Hofmann et al., 2015]. Такая обстановка могла возникнуть в области тылового прогиба на активной континентальной окраине суперконтинента Кенорленд [Лубнина, Слабунов, 2017].

В центральной части Водлозерского террейна установлены самые древние титаниты Карельского кратона, имеющие возраст 2,87–2,86 млрд лет, что существенно моложе древнейших (3,24 млрд лет) гранитоидов. Возраст титанитов совпадает с возрастом мезоархейской переработки и двуполевошпатовых гранитов, которые, вероятно, свидетельствуют о стабилизации коры террейна в это время.

По западной периферии Водлозерского террейна отмечаются неархейские (2,74–2,63 млрд лет) возрасты титанитов, близкие к времени становления посттектонических калиевых гранитов и проявления гранулитового метаморфизма, здесь же развиты санукидоидные массивы с возрастом 2,74 млрд лет. Таким образом, неархейские титаниты в западной части Водлозерского террейна, по-видимому, отражают время поздних субдукционно-аккреционных процессов при становлении континентальной коры.

Заключение

Стадии формирования земной коры Свазилендского террейна Каапваальского кратона и Водлозерского террейна Карельского кратона отражаются в U-Pb возрастах титанитов. В обоих кратонах возраст древних титанитов (3,21–3,16 и 2,87–2,86 млрд лет соответственно) коррелируется со временем ранней кратонизации земной коры. Более молодые (2,74 млрд лет) титаниты Каапваальского кратона отражают время неархейской тектоно-термальной активизации в регионе, возможно, связанной с областью тылового прогиба на активной континентальной окраине в южной части неархейского суперконтинента Кенорленд, а в пределах Карельского кратона (2,74–2,63 млрд лет) они отражают время формирования континентальной коры западной части суперконтинента Кенорленд в ходе субдукционно-аккреционных процессов.

Исследования выполнены в рамках госзадания КарНЦ РАН (Институт геологии КарНЦ РАН). Изотопные исследования выполнены на средства РФФИ.

Авторы выражают благодарность Акселю Хофманну (Йоханнесбургский университет,

ЮАР) и Мартину Клайсену (Стелленбосский университет, ЮАР) за поддержку при проведении полевых работ.

Литература

Бибикова Е. В., Слабунов А. И., Богданова С. В., Шельд Т. Тектоно-термальная эволюция земной коры Карельской и Беломорской провинций Балтийского щита в раннем докембрии по данным изотопного U-Pb-исследования сфенов и рутилов // *Геохимия*. 1999. № 8. С. 842–857.

Лубнина Н. В., Слабунов А. И. Карельский кратон в структуре неархейского суперконтинента Кенорленд: новые палеомагнитные и изотопно-геохронологические данные по гранулитам Онежского комплекса // *Вестник Московского университета. Геология*. 2017. № 5. С. 3–15.

Лубнина Н. В., Слабунов А. И. Реконструкция неархейского суперконтинента Кенорленд по палеомагнитным и геологическим данным // *Вестник Московского университета. Геология*. 2011. № 4. С. 18–25.

Нестерова Н. С. Районирование восточной части Фенноскандинавского щита с использованием U-Pb возрастов сфенов (титанитов) // *Региональная геология и металлогения*. 2012. № 49. С. 26–33.

Ранний докембрий Балтийского щита / Под ред. В. А. Глебовицкого. СПб.: Наука, 2005. 711 с.

Слабунов А. И., Лобач-Жученко С. Б., Бибикова 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.

Condie K. C., Kröner A., Milisenda C. C. Geochemistry and geochronology of the Mkhondo suite, Swaziland: Evidence for passive-margin deposition and granulite facies metamorphism in the Late Archean of Southern Africa // *J. Afr. Earth Sci.* 1996. Vol. 21, no. 4. P. 483–506.

Dlamini N., Hofmann A., Belyanin G., Xie H., Kröner A., Wilson A., Slabunov A. Supracrustal gneisses in southern Swaziland: a basalt-sandstone assemblage of the upper Mozaan Group deformed in the Neoproterozoic // *Geological Society of South Africa*. 2017. Vol. 120(4). P. 477–498. doi: 10.25131/gssajg.120.4.477

Hofmann A., Kröner A., Xie H., Hegner E., Belyanin G., Kramers J., Bolhar R., Slabunov A., Reinhardt J., Horváth P. The Nhlanguano gneiss dome in southwest Swaziland – A record of crustal destabilization of the eastern Kaapvaal craton in the Neoproterozoic // *Precambrian Res.* 2015. Vol. 258. P. 109–132. doi: 10.1016/j.precamres.2014.12.008

Saha L., Hofmann A., Xie H., Hegner E., Wilson A., Wan Y., Liu D., Kröner A. Zircon ages and metamorphic evolution of the Archean Assegaai – De Kraalen granulite – greenstone terrane, southeastern Kaapvaal Craton // *Am. J. Sci. Alfred Kröner Special Issue: Part II*. 2010. Vol. 310. P. 1384–1420. doi: 10.2475/10.2010.07

Schoene B., Bowring S. A. Rates and mechanisms of Mesoarchean magmatic construction, eastern

Kaapvaal craton, Swaziland // *Geol. Soc. Am. Bull.* 2010. Vol. 122, no. 3/4. P. 408–429. doi: 10.1130/B26501.1

Taylor J., Stevens G., Armstrong R., Kisters A. F. M. Granulite facies anatexis in the Ancient Gneiss Complex, Swaziland, at 2.73 Ga: Mid-crustal metamorphic evidence for mantle heating of the Kaapvaal

craton during Ventersdorp magmatism // *Precambrian Res.* 2010. Vol. 177. P. 88–102. doi: 10.1016/j.precamres.2009.11.005

Поступила в редакцию 03.05.2018

References

Bibikova E. V., Slabunov A. I., Bogdanova S. V., Shel'd T. Tektono-termal'naya evolyutsiya zemnoi kory Karel'skoi i Belomorskoi provintsii Baltiiskogo shchita v rannem dokembrii po dannym izotopnogo U-Pb-issledovaniya sfenov i rutilov [Early Precambrian tectono-thermal crustal evolution of the Karelian and Belomorian provinces of the Baltic Shield, as shown by the U-Pb isotopic study of sphenes and rutiles]. *Geokhimiya* [Geochemistry Int.]. 1999. Vol. 37(8). P. 750–764.

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

Lubnina N. V., Slabunov A. I. Karel'skii kraton v strukture nearkheiskogo superkontinenta Kenorlend: novye paleomagnitnye i izotopno-geokhronologicheskie dannye po granulitam Onezhskogo kompleksa [The Karelian Craton in the structure of the Kenorland supercontinent in the Neoproterozoic: new paleomagnetic and isotopic geochronology data on granulites of the Onega Complex]. *Vestnik Moskovskogo univ. Geol.* [Moscow Univ. Geol. Bull.]. 2017. Vol. 72, no. 6. P. 377–390. doi: 10.3103/S0145875217060072

Lubnina N. V., Slabunov A. I. Rekonstruktsiya nearkheiskogo superkontinenta Kenorlend po paleomagnitnym i geologicheskim dannym [Reconstruction of the Kenorland supercontinent in the Neoproterozoic based on paleomagnetic and geological data]. *Vestnik Moskovskogo univ. Geol.* [Moscow Univ. Geol. Bull.]. 2011. Vol. 66, no. 4. P. 242–249. doi: 10.3103/S0145875211040077

Nesterova N. S. Raionirovanie vostochnoi chasti Fennoskandinavskogo shchita s ispol'zovaniem U-Pb vozrastov sfenov (titanitov) [Zoning of the eastern part of the Fennoscandian Shield with the use of U-Pb sphene ages (titanites)]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya* [Regional Geol. and Metallogeny]. 2012. Vol. 49. P. 26–33.

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, geo-

dinamicheskie obstanovki [The Archean of the Baltic Shield: geology, geochronology and geodynamic settings]. *Geotektonika* [Geotectonics]. 2006. Vol. 40. P. 409–433.

Condie K. C., Kröner A., Milisenda C. C. Geochemistry and geochronology of the Mkhondo suite, Swaziland: Evidence for passive-margin deposition and granulite facies metamorphism in the Late Archean of Southern Africa. *J. Afr. Earth Sci.* 1996. Vol. 21, no. 4. P. 483–506.

Dlamini N., Hofmann A., Belyanin G., Xie H., Kröner A., Wilson A., Slabunov A. Supracrustal gneisses in southern Swaziland: a basalt-sandstone assemblage of the upper Mozaan Group deformed in the Neoproterozoic. *GSSA.* 2017. Vol. 120.4. P. 477–498. doi: 10.25131/gssajg.120.4.477

Hofmann A., Kröner A., Xie H., Hegner E., Belyanin G., Kramers J., Bolhar R., Slabunov A., Reinhardt J., Horváth P. The Nhlangoane gneiss dome in southwest Swaziland – A record of crustal destabilization of the eastern Kaapvaal craton in the Neoproterozoic // *Precambrian Res.* 2015. Vol. 258. P. 109–132. doi: 10.1016/j.precamres.2014.12.008

Saha L., Hofmann A., Xie H., Hegner E., Wilson A., Wan Y., Liu D., Kröner A. Zircon ages and metamorphic evolution of the Archean Assegaai – De Kraalen granitoid – greenstone terrane, southeastern Kaapvaal Craton. *AJS. Alfred Kröner Special Issue: Part II.* 2010. Vol. 310. P. 1384–1420. doi: 10.2475/10.2010.07

Schoene B., Bowring S. A. Rates and mechanisms of Mesoproterozoic magmatic arc construction, eastern Kaapvaal craton, Swaziland. *Geol. Soc. Am. Bull.* 2010. Vol. 122, no. 3/4. P. 408–429. doi: 10.1130/B26501.1

Taylor J., Stevens G., Armstrong R., Kisters A. F. M. Granulite facies anatexis in the Ancient Gneiss Complex, Swaziland, at 2.73 Ga: Mid-crustal metamorphic evidence for mantle heating of the Kaapvaal craton during Ventersdorp magmatism. *Precambrian Res.* 2010. Vol. 177. P. 88–102. doi: 10.1016/j.precamres.2009.11.005

Received May 03, 2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Нестерова Наталья Сергеевна

научный сотрудник лаборатории геологии
и геодинамики докембрия, к. г.-м. н.
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: nest345@gmail.com

Слабунов Александр Иванович

заведующий лаб. геологии и геодинамики докембрия,
д. г.-м. н., проф.
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: slabunov@krc.karelia.ru

Ризванова Наиля Гаптрахмановна

старший научный сотрудник лаб. геохронологии
и геохимии изотопов, к. г.-м. н.
Институт геологии и геохронологии докембрия РАН
наб. Макарова, 2, Санкт-Петербург, Россия, 199034
эл. почта: rizng@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Nesterova, Natalya

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: nest345@gmail.com

Slabunov, Alexander

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: slabunov@krc.karelia.ru

Rizvanova, Nailya

Institute of Precambrian Geology and Geochronology,
Russian Academy of Sciences
2 Nab. Makarova, 199034 St. Petersburg, Russia
e-mail: rizng@mail.ru