

U-Pb (SIMS, LA-ICP-MS) возраст циркона из двуслюдяного кварцито-гнейса кадиозерской свиты «гимольской серии» Гимольско-Суккозерской структуры (Карельская провинция, Фенноскандинавский щит)

Кучеровский Г. А.^{ORCID}, Егорова Ю. С., Адамская Е. В., Чекулаев В. П., Арестова Н. А., Плоткина Ю. В.

ИГГД РАН, Санкт-Петербург, gleb.kuchеровskiy@yandex.ru

Аннотация. Приведены первые результаты U–Th–Pb LA-ICP-MS-датирования детритового циркона из кварцито-гнейсов толщи флишеподобных пород Гимольско-Суккозерской структуры Центрально-Карельского Домена Карельской провинции Фенноскандинавского щита. Пик вероятности возраста, рассчитанный по 63 конкордантным значениям возраста зёрен, составил 2814 млн лет (минимальное значение – 2726 млн лет, максимальное значение – 2904 млн лет). Породы сходного возраста, которые могли бы служить источником обломочного материала не распространены в пределах Центрально-Карельского домена. Близкие значения возраста имеет циркон кислых вулканитов шурловарской свиты Костомукшского зеленокаменного пояса, средне-кислые вулканиты Керетского зеленокаменного пояса и поясов Типасъярви и Кухмо. Отсутствие циркона с возрастом – 2750 млн лет в метаосадках кадиозерской свиты может свидетельствовать либо об их формировании на более раннем этапе и/или об их «аллохтонной» природе и тектоническом совмещении с породами суккозерской и межезерской свит Гимольско-Суккозерской структуры.

Ключевые слова: Фенноскандинавский щит, Карельская провинция, гимольская серия, стратиграфия, геохронология.

U-Pb (SIMS, LA-ICP-MS) age of zircon from two-mica quartzite-gneiss of the Kadiozero formation of the «Gimoly suite» of the Gimoly-Sukkozero structure (Karelian province, Fennoscandian shield)

Kuchеровskiy G. A.^{ORCID}, Egorova Yu. S., Adamskaya E. V., Chekulaev V. P., Arestova N. A., Plotkina Yu. V.

IPGG RAS, Saint-Petersburg, gleb.kuchеровskiy@yandex.ru

Abstract. The first results of U–Th–Pb LA-ICP-MS dating of detrital zircon from flysch-like rocks (quartzite-gneisses) of the Gimoly-Sukkozero structure of the Central Karelian Domain of the Karelian province of the Fennoscandian shield are presented. The age probability peak calculated from 63 concordant grain ages was 2814 Ma (minimum – 2726 Ma, maximum – 2904 Ma). Rocks of similar age that could serve as a source of clastic material are not known in the Central Karelian domain. Zircon from felsic volcanics of the Shurlovär Formation of the Kostomuksha greenstone belt, Keret greenstone belt, and intermediate volcanics of the Tipasjärvi and Kuhmo belts have similar age values. The absence of zircon with an age of 2750 Ma in the metasediments of the Kadiozero Formation may indicate either their formation at an earlier stage, as assumed by a number of researchers, and/or their «allochthonous» nature and tectonic combination with the rocks of the Sukkozero and Mezhezero formations of the Gimoly-Sukkozero structure, as was established for the metasedimentary complex of the Khedozero-Bolshezero structure.

Key words: Fennoscandian shield, Karelian province, Gimoly suite, stratigraphy, geochronology.

Введение

Гимольская серия – стратотип вулканогенно-осадочного разреза верхнего лопия (неоархей) Центральной Карелии (Общая стратиграфическая..., 2002). Однако ее стратиграфическое положение до сих пор остается дискуссионным. Стратотипическими районами ее развития являются Костомукшская и Гимольско-Суккозерская структуры, детально описанные во 2-й половине XX в. (Чернов, Стенарь, 1960; Чернов и др., 1970; Горьковец и др., 1991 и др.). В строении гимольской серии исторически выделялись суккозерская, межезерская, костомукшская и кадиозерская (сурлампинская) свиты (табл. 1). Позднее по результатам деятельности региональной межведомствен-

ной стратиграфической комиссии по Северо-Западу России (1984–2010) (Богданов, Робонен, 2011) гимольская серия была отнесена к нижнему интервалу верхнего лопия (неоархея), а метаморфизованные вулканогенно-осадочные отложения Гимольско-Суккозерской структуры (суккозерская, межезерская и кадиозерская свиты, которые ранее относились к гимольской серии) выделены в самостоятельную залегающую выше паданскую толщу (табл. 2). Такое расчленение верхнего лопия (неоархея) Карельской провинции легло в основу легенды и записки к последней Госгеолкарте 1000/3 (Максимов и др., 2015).

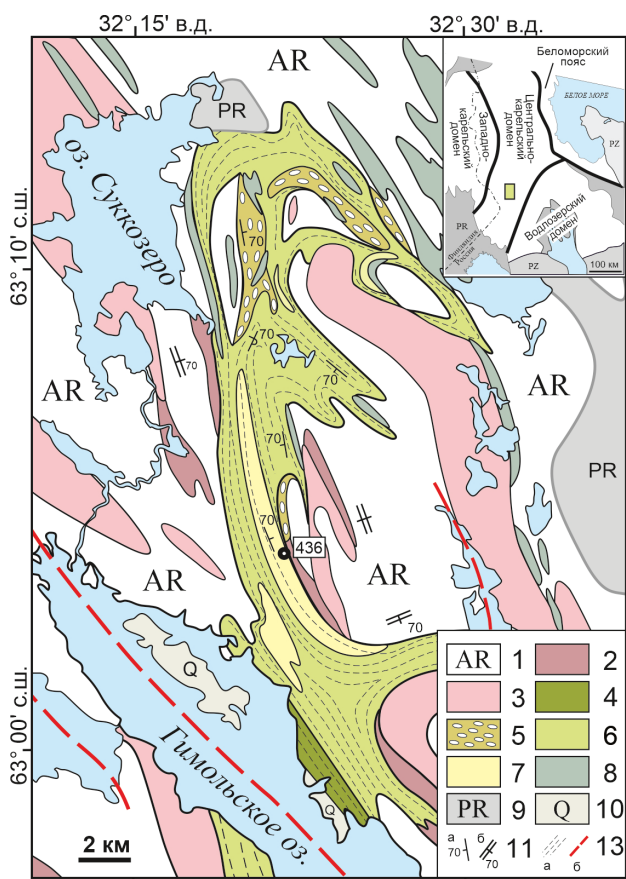
Таблица 1. Обобщенное стратиграфическое строение гимольской серии Костомукшской и Гимольско-Суккозерской структур по (Чернов, Стенарь, 1960; Чернов и др., 1970; Горьковец и др., 1991) с привязкой новых геохронологических данных

Table 1. Generalized stratigraphic structure of the Gimoly suite of the Kostomuksha and Gimoly-Sukkozzero structures according to (Chernov, Stenar, 1960; Chernov et al., 1970; Gorkovets et al., 1991) with reference to new geochronological data

Костомукшская структура		Гимольско-Суккозерская	
Свиты	Литологические типы пород	Свиты	Литологические типы пород
Сурлампинская	Безрудные метаграувакки флишоидного типа: слюдяные сланцы и гнейсы, в т. ч. со ставролитом и гранатом	Кадиозерская (Сурлампинская) < 2814 млрд лет (новые данные)	Безрудные метаграувакки флишоидного типа: слюдяные сланцы, слюдяные гнейсы и кварцито-гнейсы
Костомукшская 2753 ± 19 млрд лет (Слабунов и др., 2021)	BIF: слюдяные сланцы, магнетитовые кварциты	Костомукшская	BIF: слюдяные сланцы, магнетитовые кварциты
Межезерская 2787 ± 8 млрд лет (Бибикова и др., 2005)	Кислые метавулканиты и туфы	Межезерская 2735 ± 8 млрд лет (Егорова и др., в печати)	метадациты, метаандезиты и, изредка, метаандезит-базальты (слюдяные и амфибол-содержащие сланцы) и их туфы
Суккозерская	Конгломераты	Суккозерская < 2757 млрд лет (Кучеровский и др., 2023)	конгломераты

Другим спорным вопросом остается последовательность комплексов пород внутри гимольской серии, в частности, положение конгломератов суккозерской свиты в Гимольско-Суккозерской структуре. По мнению одних исследователей (Чернов, Стенарь, 1960; Чернов и др., 1970; Горьковец и др., 1991) они лежат в основании разреза, тогда как другие склонны считать, что они завершают разрез (Харитонов и др., 1966; Хейсканен и др., 1977; Максимов и др., 2015).

Породы гимольского надгоризонта подвергнуты значительной структурно-метаморфической переработке и представлены лишь небольшими разрозненными фрагментами на современном эрозионном срезе. Неполнота существующего разреза затрудняет корреляцию как с различными подразделениями внутри гимольской серии, так и с другими вулканогенно-осадочными комплексами Карельской провинции. С целью уточнения времени формирования вулканогенно-осадочного комплекса пород Гимольско-Суккозерской структуры, ранее относимого к гимольской серии, и его корреляции с аналогичными комплексами, было выполнено U–Th–Pb (LA-ICP-MS) геохронологическое исследования циркона из двуслюдяного кварцито-гнейса кадиозерской (сурлампинской) свиты Гимольско-Суккозерской структуры (рис. 1). Геохронологическая проба 436 (63°04'22.10»N; 32°21'46.10»E) была отобрана на одном из серии обнажений супракрустальных пород, протягивающихся в С-СЗ направлении вдоль восточного борта дороги Гимолы-Суккозеро. Метаосадочные породы представлены ритмичным чередованием Bt-Pl-Qtz сланцев с кордиеритом и порфиробластическим



совидности, 12: а – кристаллизационная сланцеватость, б – предполагаемые линии разломов. Кружком отмечено место отбора геохронологической пробы.

Fig. 1. Scheme of the geological structure of the northern part of the Gimoly-Sukkozzero belt according to the State Geological Map of 1965 (1:200000) and 2015 (1:1000000) with additions from the authors.

Legend: 1–7 – Archean: 1 – undifferentiated basement rocks, mainly TTG and migmatites on them, 2 – gneisses, granite-gneisses, plagiogneisses (leptites), 3 – Neoarchean intrusions of granitoids; 4–7 – metamorphosed volcanic and sedimentary rocks Gimoly-Sukkozzero belt: 4 – pillow lavas of metabasalts (Kontokskaya suite after Gorkovets et al., 1991); 5–7 – «Gimoly suite» («Padan sequence» according to Maksimov et al., 2015): 5 – polymictic conglomerates (Sukkozzero formation), 6 – metasedimentary rocks (various shales with interlayers of quartzites) with lenses and interlayers of metaandesites and metadacites (Mezhezerskaya formation), 7 – predominantly metasedimentary rocks (Kostomuksha and Kadiozerskaya (Surlampinskaya) formations): metagraywackes of flyschoid type: mica schists ($\pm$ quartz, plagioclase, garnet, amphibole, cordierite); mica gneisses and quartzite-gneisses, magnetite quartzites (BIF), phyllitic and graphitic schists; 8 – dikes and gabbro intrusions, 9 – Proterozoic supracrustal formations, 10 – Quaternary deposits, 11 – elements of occurrence: a – layering, b – crystallization foliation and gneiss, 12: a – crystallization foliation, b – supposed fault lines. The circle marks the location where the geochronological sample was taken.

грюнеритом, мелкозернистых Amf-Pl-Qtz и Bt-Pl-Qtz сланцев, двуслюдяных гнейсов и кварцито-гнейсов, с прослоями магнетитовых кварцитов. Мощность ритмов – первые см – десятки см.

В точке отбора геохронологической пробы порода представлена мелкозернистым двуслюдяным кварцито-гнейсом, состоящим из кварца (65 %), биотита (10 %), хлорита (10 %), соссюритизированного плагиоклаза (10 %) и мусковита (5 %). Содержание петрогенных оксидов: SiO_2 72–82 %; Ti_2O 0.26–0.35 %; Al_2O_3 9.3–13.2 %; FeO (общее) 1.1–3.8; MnO 0.02–0.04; MgO 1–4.2 %; CaO 0.1–1.2 %; Na_2O 0.5–2.7 %; K_2O 0.9–1.7 %; P_2O_5 0.04–0.07 %.

Рис. 1. Схема геологического строения северной части Гимольско-Суккозерского пояса по данным Госгеолкарты 1965 г. (1:200000) и 2015 г. (1:1000000) с дополнениями авторов.

Условные обозначения: 1–7 – Архей: 1 – нерасчлененные породы фундамента, преимущественно ТТГ и мигматиты по ним, 2 – гнейсы, гранито-гнейсы, плагиогнейсы (лептиты), 3 – неоархейские интрузии гранитоидов; 4–7 – метаморфизованные вулканогенные и осадочные породы Гимольско-Суккозерского пояса: 4 – подушечные лавы метабазальтов (контокская серия по Горьковец и др., 1991); 5–7 – «гимольская серия» («паданская толща» по Максимов и др., 2015): 5 – полимиктовые конгломераты (суккозерская свита), 6 – метаосадочные породы (различные сланцы с прослоями кварцитов) с линзами и прослоями метаандезитов и метадацитов (межезерская свита), 7 – преимущественно метаосадочные породы (костомукшская и кadioзерская (сурлампинская) свиты): метаграувакки флишоидного типа: слюдяные сланцы ($\pm$ кварц, плагиоклаз, гранат, амфибол, кордиерит); слюдяные гнейсы и кварцито-гнейсы, магнетитовые кварциты (BIF), филлитовидные и графитистые сланцы; 8 – дайки и интрузии габбро, 9 – протерозойские супракрустальные образования, 10 – четвертичные образования, 11 – элементы залегания: а – слоистости, б – кристаллизационной сланцеватости и гней-

Таблица 2. Фрагмент региональной схемы корреляции опорных разрезов Карелии по (Богданов, Робонен, 2011; Максимов и др., 2015)

Table 2. Fragment of the regional correlation scheme of reference sections of Karelia according to (Bogdanov, Robonen, 2011; Maksimov et al., 2015)

Эратема	Надгоризонт	Серия	Свиты района Костомукши	Свиты района Суккозера
2500 Верхний лопий (неоархей)	Гимольский			Паданская «толща»: Суккозерская Межезерская Кадиозерская
2800		Гимольская	Сурлампинская Костомукшская Суккозерская (?)	Челмозерская
Средний лопий (мезоархей)	Гокковский	Контокская		

Материалы и методы

CL-изображения циркона получены на электронном микроскопе TESCAN VEGA 3. U–Th–Pb (LA-ICP-MS) геохронологические исследования цирконов выполнены в ИГГД РАН с помощью системы лазерной абляции NWR-213 с камерой TwoVolumeTwo, совмещенной с ICP масс-спектрометром ELEMENT XR. Диаметр пучка лазера составлял 25 мкм, длительность измерения – 100 с (40 с – холостой по газу, 60 с – абляция). Калибровка производилась по стандартному циркону GJ-1 (Jackson et al., 2004). Для контроля качества аналитических данных использованы стандартные цирконы 91500 и Plešovice. Для стандартного циркона 91500 в ходе исследований получены средневзвешенные оценки возраста по отношению $^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$ 1068 ± 10 млн лет (2, n = 18, СКВО = 0.33, вероятность = 0.996) и по отношению $^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$ 1067 ± 11 млн лет (2, n = 18, СКВО = 0.026, вероятность = 1.000). Для стандартного циркона Plešovice в ходе исследований получена средневзвешенная оценка возраста по отношению $^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$ 334 ± 4 млн лет (2, n = 18, СКВО = 0.14, вероятность = 1.000). Полученные для стандартных цирконов значения возраста хорошо совпадают с рекомендованными данными (91500: $^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$ 1066.01 ± 0.61 млн лет, $^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$ 1063.51 ± 0.39 млн лет; Plešovice: $^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$ 337 ± 2 млн лет) (Horstwood et al., 2016). U–Th–Pb изотопные отношения рассчитаны в программе GLITTER 4.0 GEMOC (Jackson S. E., 2001). Поправки на обычный свинец вводились с помощью программы ComPb (Andersen, 2002). Расчет конкордантных возрастов (Concordia Ages) производился в программе IsoplotR (Vermeesch, 2018). Только конкордантные оценки возраста принимались во внимание при построении гистограмм, кривых относительной вероятности и расчете максимумов возрастов (Peak Ages) (Gehrels, 2012). Результаты исследований представлены в таблице 3.

Результаты и обсуждение

Из пробы 436 был выделен циркон, представленный преимущественно идиоморфными зёрнами различного габитуса размером 80–200 мкм. Часть зёрен хорошо огранена, некоторые зёрна имеют сглаженные грани и рёбра. В проходящем свете большинство зёрен прозрачные, часто трещиноватые, за редким исключением без ядер. На CL-изображениях почти во всех зёрнах наблюдается осцилляторная зональность и тёмные каймы (рис. 2). Материал кайм часто заполняет трещины и каверны в зёрнах циркона.

Анализ U-Th-Pb системы был выполнен для 111 зёрен циркона. Для 64 зёрен были получены конкордантные значения возраста. Возраст наиболее молодого зерна – 1834 млн лет, наиболее древнего – 2881 млн лет. Пик вероятности возраста по 63 зёрнам – 2814 млн лет (минимальное значение – 2726 млн лет, максимальное значение – 2904 млн лет) (рис. 3).

Таблица 3. Результаты U–Th–Pb LA-ICP-MS-геохронологических исследований детритового циркона

Table 3. Results of U–Th–Pb LA-ICP-MS geochronological studies of detrital zircon

Точка анализа	U/Th	Дискордантность	Изотопные отношения				Rho	Изотопный возраст, млн. лет					
			²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
436_01	0.40	-6.86	0.1995	0.0021	14.0697	0.3276	1.00	2822	17	2754	22	2663	51
436_02	0.33	-12.46	0.2011	0.0021	13.4100	0.3190	0.99	2835	17	2709	22	2543	50
436_03	0.51	-1.65	0.1992	0.0021	14.8160	0.3457	1.00	2819	17	2803	22	2782	53
436_04	0.47	-11.08	0.2004	0.0021	13.5370	0.3198	1.00	2829	17	2718	22	2571	50
436_06	0.54	-6.72	0.1935	0.0020	13.3717	0.3146	1.00	2772	17	2706	22	2619	51
436_07	0.43	-10.03	0.2001	0.0021	13.6643	0.3240	1.00	2827	17	2727	22	2594	50
436_08	0.58	-15.76	0.1909	0.0020	11.7947	0.2814	0.99	2750	17	2588	22	2387	47
436_09	0.52	-6.47	0.1967	0.0021	13.7961	0.3312	0.99	2799	17	2736	23	2651	52
436_10	1.20	-4.01	0.1131	0.0012	4.9739	0.1202	0.98	1850	19	1815	20	1785	37
436_11	0.51	-1.01	0.1973	0.0021	14.6736	0.3483	1.00	2804	17	2794	23	2781	54
436_12	0.32	-8.45	0.2012	0.0021	14.0379	0.3342	1.00	2836	17	2752	23	2639	52
436_13	0.47	-9.47	0.1969	0.0021	13.3704	0.3189	1.00	2801	17	2706	23	2582	51
436_14	0.51	-10.71	0.1971	0.0022	13.2122	0.3242	0.99	2802	18	2695	23	2554	51
436_15	0.55	-12.43	0.2037	0.0022	13.7059	0.3264	1.00	2856	17	2730	23	2563	50
436_18	0.38	-0.47	0.1998	0.0021	15.0740	0.3591	1.00	2824	17	2820	23	2814	54
436_19	0.40	-6.2	0.1962	0.0021	13.7686	0.3319	1.00	2795	17	2734	23	2653	52
436_20	0.38	-2.1	0.2002	0.0022	14.8810	0.3569	1.00	2828	17	2808	23	2780	54
436_21	0.38	-4.93	0.2021	0.0022	14.6801	0.3549	0.99	2843	17	2795	23	2729	53
436_23	0.32	-0.32	0.1985	0.0022	14.9360	0.3634	0.99	2814	17	2811	23	2807	55
436_24	0.51	-0.26	0.2021	0.0022	15.4063	0.3771	0.99	2843	18	2841	23	2837	55
436_25	0.54	-1.43	0.2041	0.0022	15.4894	0.3812	0.98	2860	18	2846	23	2827	55
436_26	0.39	-2.54	0.2006	0.0022	14.8613	0.3589	0.99	2831	17	2806	23	2772	54
436_27	0.31	-9.58	0.2019	0.0022	13.9413	0.3391	0.99	2841	17	2746	23	2618	52
436_28	0.55	-3.61	0.1984	0.0021	14.4266	0.3470	1.00	2813	17	2778	23	2730	53
436_29	0.43	-6.53	0.1965	0.0024	13.7631	0.4197	0.82	2798	19	2734	29	2648	54
436_30	0.43	-4.1	0.2000	0.0021	14.5563	0.3487	1.00	2827	17	2787	23	2732	53
436_31	0.35	-17.98	0.1968	0.0023	12.1012	0.3538	0.84	2800	18	2612	27	2378	49
436_32	0.36	-6.19	0.2020	0.0022	14.4805	0.3539	0.99	2843	17	2782	23	2699	53

Таблица 3. Продолжение																
Точка анализа	U/Th	Дискор – дантность	Изотопные отношения						Rho	Изотопный возраст, млн. лет						
			²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	CA	1σ	
436_34	0.40	-7.5	0.2069	0.0026	14.8726	0.4635	0.5213	0.0130	0.80	2881	20	2807	30	2705	55	
436_35	0.28	-7.17	0.1963	0.0021	13.6428	0.3788	0.5040	0.0122	0.87	2796	17	2725	26	2631	52	
436_36	0.36	-2.55	0.1998	0.0022	14.7593	0.3621	0.5358	0.0130	0.99	2824	17	2800	23	2766	54	2817 31
436_37	0.51	-1.74	0.2014	0.0022	15.0854	0.3741	0.5433	0.0132	0.98	2837	17	2821	24	2797	55	2832 32
436_38	0.56	-11.98	0.1999	0.0022	13.3419	0.3238	0.4842	0.0117	1.00	2825	17	2704	23	2545	51	
436_39	0.35	-7.05	0.2048	0.0022	14.6917	0.3576	0.5202	0.0126	1.00	2865	17	2795	23	2700	53	
436_41	0.49	-0.62	0.1995	0.0022	15.0209	0.3616	0.5460	0.0132	1.00	2822	17	2817	23	2809	55	2820 31
436_42	0.35	-2.81	0.1970	0.0021	14.3680	0.3495	0.5290	0.0128	1.00	2801	17	2774	23	2737	54	2792 31
436_43	0.40	-0.93	0.1975	0.0021	14.7162	0.3562	0.5404	0.0131	1.00	2806	17	2797	23	2785	55	2803 31
436_44	0.68	-11.31	0.2058	0.0023	14.1357	0.3543	0.4981	0.0123	0.98	2873	17	2759	24	2606	53	
436_45	0.44	-1.95	0.2008	0.0022	14.9825	0.3664	0.5411	0.0131	0.99	2833	17	2814	23	2788	55	2827 31
436_46	0.57	-2.61	0.2008	0.0022	14.8839	0.3629	0.5375	0.0130	0.99	2833	17	2808	23	2773	55	2825 31
436_47	0.50	-10.37	0.2031	0.0023	13.9589	0.3537	0.4986	0.0123	0.98	2851	17	2747	24	2608	53	
436_49	0.52	-0.48	0.1981	0.0022	14.8537	0.3651	0.5439	0.0132	0.99	2811	17	2806	23	2800	55	2809 32
436_50	0.34	-1.94	0.1993	0.0022	14.7954	0.3700	0.5384	0.0132	0.98	2821	17	2802	24	2777	55	2815 32
436_51	0.50	-2.76	0.2018	0.0022	14.9859	0.3720	0.5386	0.0132	0.98	2841	17	2814	24	2778	55	2832 32
436_52	0.55	-12.73	0.1998	0.0022	13.2146	0.3250	0.4798	0.0117	0.99	2824	17	2695	23	2526	51	
436_53	0.34	-2.53	0.1997	0.0021	14.7551	0.3525	0.5358	0.0129	1.01	2824	16	2800	23	2766	54	2816 30
436_54	0.39	-0.81	0.1995	0.0021	14.9829	0.3580	0.5448	0.0131	1.01	2822	16	2814	23	2803	55	2819 30
436_55	0.47	-2.06	0.1996	0.0022	14.8140	0.3563	0.5382	0.0130	1.00	2823	17	2803	23	2776	54	2817 30
436_56	0.28	-0.91	0.2016	0.0022	15.2381	0.3698	0.5483	0.0133	1.00	2839	17	2830	23	2818	55	2836 31
436_57	0.58	-1.85	0.1987	0.0021	14.7242	0.3551	0.5375	0.0130	1.00	2815	17	2798	23	2773	54	2809 31
436_58	0.32	-1.9	0.1986	0.0022	14.7100	0.3591	0.5371	0.0131	1.00	2815	17	2797	23	2771	55	2809 31
436_60	0.35	-1.19	0.2000	0.0022	14.9928	0.3721	0.5437	0.0133	0.99	2826	17	2815	24	2799	56	2823 32
436_61	0.50	-1.5	0.2002	0.0022	14.9645	0.3637	0.5423	0.0132	1.00	2827	17	2813	23	2793	55	2823 31
436_62	0.36	-8.92	0.1985	0.0022	13.6465	0.3418	0.4986	0.0123	0.98	2814	17	2725	24	2608	53	
436_63	0.41	-0.19	0.1931	0.0021	14.2560	0.3481	0.5355	0.0130	1.00	2769	17	2767	23	2765	55	2768 31
436_64	0.39	-1.16	0.1989	0.0022	14.8551	0.3635	0.5417	0.0132	1.00	2817	17	2806	23	2791	55	2813 31
436_65	0.37	-1.35	0.1978	0.0021	14.6913	0.3510	0.5387	0.0129	1.00	2808	16	2795	23	2778	54	2804 30

Таблица 3. Продолжение																	
Точка анализа	U/Th	Дискор- дантность	Изотопные отношения						Rho	Изотопный возраст, млн. лет							
			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	CA	1σ
436_68	0.53	-2.21	0.2001	0.0021	14.8447	0.3547	0.5383	0.0129	1.00	2827	16	2805	23	2776	54	2819	30
436_70	0.44	-0.15	0.1986	0.0021	14.9642	0.3604	0.5466	0.0131	1.00	2814	16	2813	23	2811	55	2814	31
436_71	0.62	-9.12	0.1971	0.0021	13.4425	0.3255	0.4948	0.0119	0.99	2802	17	2711	23	2592	51		
436_72	0.54	-0.27	0.2018	0.0022	15.3630	0.3725	0.5523	0.0133	0.99	2841	17	2838	23	2835	55	2840	31
436_73	0.50	-9.88	0.2015	0.0022	13.8464	0.3410	0.4985	0.0121	0.98	2838	17	2739	23	2607	52		
436_74	0.49	-3.85	0.1942	0.0021	13.8739	0.3387	0.5181	0.0125	0.99	2778	17	2741	23	2691	53		
436_75	0.55	-2.67	0.1993	0.0022	14.6750	0.3564	0.5342	0.0128	0.99	2820	17	2794	23	2759	54	2812	31
436_76	0.28	-1.16	0.1995	0.0022	14.9350	0.3675	0.5430	0.0131	0.98	2822	16	2811	23	2796	55	2819	32
436_77	0.54	-2.79	0.2037	0.0022	15.2139	0.3727	0.5419	0.0130	0.98	2856	16	2829	23	2791	54	2847	31
436_78	0.42	-1.56	0.1998	0.0021	14.9081	0.3518	0.5413	0.0129	1.01	2824	16	2809	22	2789	54	2819	30
436_79	0.32	-7.98	0.1965	0.0021	13.5444	0.3265	0.5000	0.0120	1.00	2797	16	2718	23	2614	52		
436_80	0.34	-9.63	0.2002	0.0022	13.7307	0.3300	0.4976	0.0119	1.00	2827	16	2731	23	2604	51		
436_81	0.43	-5.54	0.1981	0.0021	14.0946	0.3349	0.5162	0.0123	1.00	2810	16	2756	23	2683	52		
436_82	0.71	-10.01	0.1878	0.0020	12.2521	0.2911	0.4732	0.0113	1.00	2723	16	2624	22	2497	49		
436_83	0.31	1.73	0.1940	0.0021	14.6462	0.3522	0.5477	0.0131	1.00	2776	16	2793	23	2816	55	2782	31
436_84	0.31	-13.9	0.1904	0.0021	12.0053	0.3049	0.4573	0.0113	0.97	2746	17	2605	24	2428	50		
436_85	0.47	-0.28	0.1977	0.0021	14.8386	0.3573	0.5443	0.0131	1.00	2808	16	2805	23	2802	55	2807	31
436_86	0.32	-14.22	0.1979	0.0022	12.7874	0.3146	0.4686	0.0114	0.99	2809	16	2664	23	2477	50		
436_87	0.47	-0.99	0.1984	0.0022	14.8125	0.3605	0.5417	0.0131	0.99	2813	16	2803	23	2790	55	2810	31
436_88	0.28	-4.71	0.1983	0.0022	14.2428	0.3497	0.5211	0.0126	0.98	2812	16	2766	23	2704	53		
436_92	0.44	-6.15	0.1970	0.0023	13.8751	0.4207	0.5108	0.0127	0.82	2801	17	2741	29	2660	54		
436_93	0.56	-0.54	0.1970	0.0021	14.7011	0.3508	0.5414	0.0130	1.00	2801	16	2796	23	2789	54	2799	30
436_94	0.42	-2.1	0.1989	0.0021	14.7106	0.3510	0.5365	0.0129	1.01	2817	16	2797	23	2769	54	2810	30
436_95	0.39	-2.77	0.1987	0.0021	14.5831	0.3482	0.5325	0.0128	1.00	2815	16	2788	23	2752	54	2806	30
436_96	0.36	-1.12	0.1983	0.0021	14.7871	0.3538	0.5409	0.0130	1.00	2812	16	2802	23	2787	54	2809	30
436_97	0.49	-1.44	0.1992	0.0021	14.8568	0.3536	0.5409	0.0130	1.01	2820	16	2806	23	2787	54	2815	30
436_98	0.58	-0.55	0.1996	0.0021	15.0394	0.3585	0.5465	0.0131	1.01	2823	16	2818	23	2811	55	2821	30
436_99	0.52	-0.3	0.1974	0.0021	14.7917	0.3523	0.5435	0.0130	1.01	2805	16	2802	23	2798	54	2804	30
Таблица 3. Окончание																	

Таблица 3. Окончание

Точка анализа	U/Th	Дискордантность	Изотопные отношения						Rho	Изотопный возраст, млн. лет							
			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	CA	1σ		
436_101	0.34	-2.64	0.1991	0.0021	14.6590	0.3499	0.5340	0.0128	1.00	2819	16	2793	23	2758	54	2810	30
436_102	0.52	-7.17	0.1983	0.0021	13.8833	0.3320	0.5078	0.0122	1.00	2812	16	2742	23	2647	52		
436_104	0.31	-6.23	0.1968	0.0021	13.8363	0.3931	0.5100	0.0125	0.86	2800	16	2739	27	2657	53		
436_105	0.45	-5.41	0.2050	0.0023	14.9647	0.3680	0.5297	0.0130	0.99	2866	17	2813	23	2740	55		
436_106L	0.12	-6.92	0.1932	0.0021	13.3126	0.3483	0.4996	0.0119	0.91	2770	17	2702	25	2612	51		
436_106R	0.42	-2.23	0.1965	0.0022	14.3923	0.3563	0.5313	0.0130	0.99	2797	17	2776	24	2747	55	2790	31
436_107	0.31	-2.37	0.1985	0.0022	14.6223	0.3657	0.5344	0.0132	0.99	2814	17	2791	24	2760	55	2806	32
436_108	0.41	-2.82	0.1972	0.0022	14.3951	0.3565	0.5295	0.0130	0.99	2803	17	2776	24	2739	55	2794	31
436_109	0.68	1.14	0.2004	0.0022	15.4032	0.3807	0.5575	0.0137	0.99	2830	17	2841	24	2856	57	2833	32
436_110	0.39	-0.68	0.2003	0.0022	15.1026	0.3724	0.5470	0.0134	0.99	2828	17	2822	23	2813	56	2826	31
436_111	0.42	-7.93	0.1986	0.0022	13.8072	0.3471	0.5042	0.0125	0.98	2815	17	2737	24	2632	53		
436_112	0.40	-1.41	0.1983	0.0022	14.7447	0.3665	0.5393	0.0133	0.99	2812	17	2799	24	2780	55	2808	32
436_113	0.59	-1.74	0.2006	0.0022	14.9912	0.3699	0.5420	0.0133	0.99	2831	17	2815	23	2792	55	2826	31
436_114	0.40	-0.23	0.2003	0.0022	15.1817	0.3760	0.5497	0.0135	0.99	2829	17	2827	24	2824	56	2828	32
436_115	0.53	1.41	0.2000	0.0022	15.3904	0.3842	0.5581	0.0137	0.99	2826	17	2840	24	2859	57	2831	32
436_131	0.44	1.07	0.1947	0.0020	14.6478	0.3390	0.5456	0.0127	1.01	2783	16	2793	22	2807	53	2786	30
436_132	0.44	-0.08	0.1957	0.0020	14.6083	0.3379	0.5414	0.0126	1.01	2791	16	2790	22	2789	53	2791	29
436_134	0.53	-2.69	0.1982	0.0021	14.5356	0.3370	0.5320	0.0124	1.01	2811	16	2785	22	2750	52	2802	29
436_135	0.78	-63.2	0.0538	0.0008	0.1582	0.0052	0.0213	0.0005	0.75	363	32	149	5	136	3		
436_136	0.58	-1.05	0.1983	0.0021	14.7974	0.3446	0.5412	0.0127	1.00	2812	16	2802	22	2788	53	2809	30
436_137	0.50	-1.58	0.2034	0.0022	13.8309	0.3426	0.4931	0.0119	0.97	2854	17	2738	23	2584	51		
436_138	0.57	1.21	0.1951	0.0020	14.7206	0.3433	0.5472	0.0128	1.00	2786	16	2797	22	2813	53	2790	30
436_139	0.49	-5.05	0.1973	0.0021	14.0805	0.3308	0.5175	0.0121	1.00	2804	16	2755	22	2688	51		

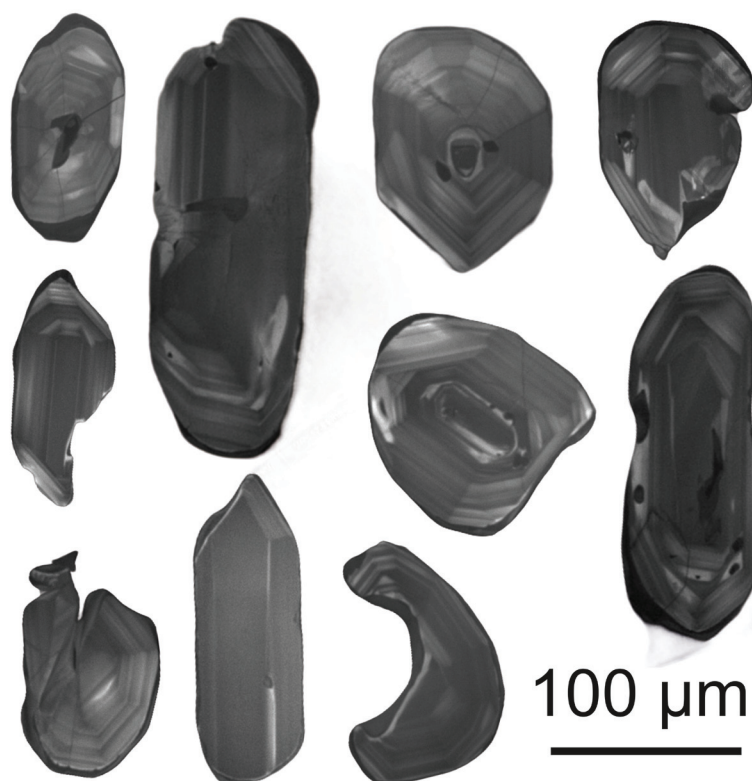


Рис. 2. CL- изображения зёрен циркона пробы 436, для которых были получены конкордатные значения возраста.

Fig. 2. CL images of zircon grains from sample 436, for which concordant age values were obtained.

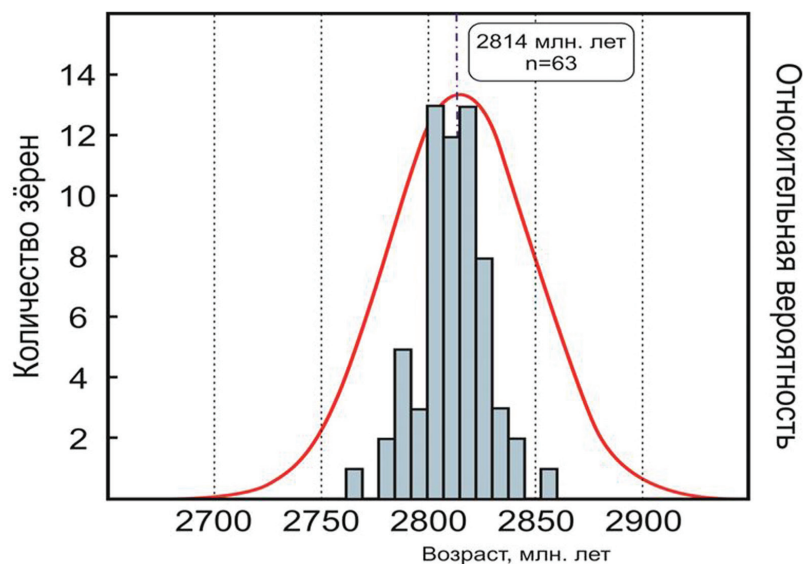


Рис. 3 График распределения вероятностной плотности возраста детритового циркона из пробы 436.

Fig. 3 Probability density plot of the age of detrital zircon from sample 436.

Морфология зёрен и характер их зональности позволяют предположить, что протолит исследованных кварцито-гнейсов имел магматическое происхождение (Corfu, 2003). Узкий диапазон полученных значений возраста указывает на незначительное разнообразие пород в источнике сноса.

Обсуждение результатов

Сравнение геохронологических данных, полученных для кварцито-гнейсов кадиозерской (сурлампинской) свиты района п. Гимолы, с возрастом детритового циркона из матрикса конгломе-

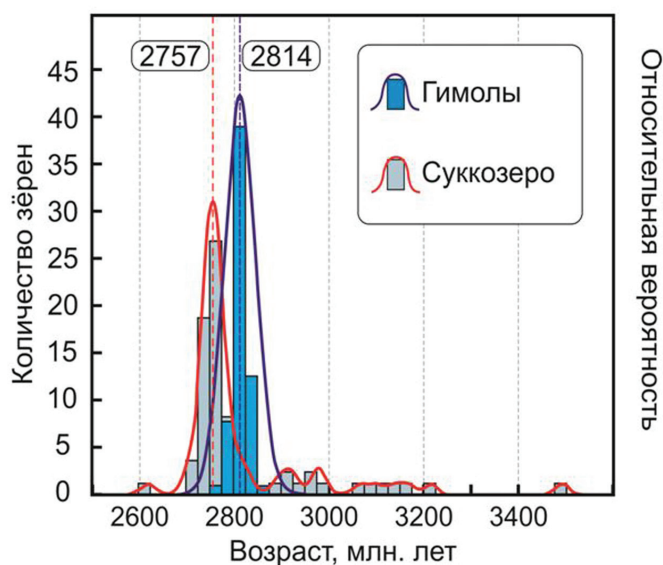


Рис. 4 График распределения вероятностной плотности возраста детритового циркона из проб 436 и C2013.

Fig. 4 Probability density plot of the age of detrital zircon from samples 436 and C2013.

ратов сукозерской свиты района п. Суккозеро (Кучеровский и др., 2023) показало существенное различие возрастов пород, преобладающих в источниках сноса (рис. 4). Преобладающая часть циркона матрикса конгломератов сукозерской свиты характеризуется более молодым значением возраста ~ 2750 млн лет, что согласуется с их формированием субсинхронно с неоархейской вулканической активностью (метавулканитами межезерской свиты). Более древние оценки возраста циркона метаосадков кадиозерской (сурлампинской) свиты Гимольско-Суккозерской структуры ставят под вопрос их стратиграфическое положение выше конгломератов сукозерской свиты (табл. 1). Не меньше вопросов вызывает сам источник циркона с возрастом ~ 2815 млн лет, так как породы с таким возрастом не известны в Центрально-Карельском домене, а вхо-

дят в состав более древних зеленокаменных поясов Западной Карелии и Восточной Финляндии, расположенных на значительном отдалении от Гимольско-Суккозерской структуры. В качестве источников циркона могут быть рассмотрены вулканы зеленокаменных поясов Водлозерского и Западно-Карельского доменов. Так, близкие значения возраста имеет циркон кислых вулканитов шурловарской свиты Костомукшского зеленокаменного пояса (Лобач-жученко и др., 2000), Керетского зеленокаменного пояса (Ранний Докембрий ..., 2005), средне-кислые вулканы поясов Типасъярви и Кухмо (Nuhma et al., 2012). В то же время значительное количество более древнего циркона в матриксе туфоконгломератов Суккозера говорит о вероятной более широкой области сноса для этих пород.

Литологический состав пород – флишеподобная ритмичная слоистость метаосадков кадиозерской (сурлампинской) свиты и валунно-галечный состав полимиктовых конгломератов, переслаивающихся с туфосланцами средне-кислого состава сукозерской свиты, подразумевают существенно разные условия осадконакопления. Полученные геохронологические данные не согласуются с представлением о последовательном увеличении глубины осадочного бассейна в этом районе в неоархее, так как предшествующий активный вулканизм ~ 2750 млн лет и гранитоиды фундамента близкого возраста, оставившие след в конгломератах сукозерской свиты, должны были играть существенную роль в качестве источника сноса и для «более молодых» осадков кадиозерской свиты, как это было установлено для палеопротерозойских конгломератов этого же района (Кучеровский и др., 2023). Отсутствие циркона с возрастом ~ 2750 млн лет в метаосадках кадиозерской свиты может свидетельствовать либо об их формировании на более раннем этапе, как предполагалось рядом исследователей (Харитонов и др., 1966; Хейсканен и др., 1977, Максимов и др., 2015), и/или об их «аллохтонной» природе и тектоническом совмещении с породами сукозерской и межезерской свит Гимольско-Суккозерской структуры, как это было установлено для метаосадочного комплекса Хедозерско-Большезерской структуры (Мысцова, Львов, 2019).

Благодарности

Работа выполнена в рамках Госзадания (тема FMUW-2022-0004) с использованием оборудования ЦКП «АИРИЗ» (Кузнецов и др., 2022).

Литература

1. Богданов Ю. Б., Робонен В. И. Результаты деятельности региональной межведомственной стратиграфической комиссии по Северо-Западу России // Геология Карелии от архея до наших дней. Матер. докладов Всеросс. конф., посвящ. 50-летию Института геологии КарНЦ РАН. Петрозаводск, 24–26 мая 2011 г. Петрозаводск. Изд-во: Институт геологии КарНЦ РАН. 2011. С. 56–65.
2. Горьковец В. Я., Раевская М. Б., Володичев О. И., Голованова Л. С. Геология и метаморфизм железисто-кремнистых формаций. Л. Изд-во: Наука, 1991. 173 с.
3. Кузнецов А. Б., Зайцева Т. С., Сальникова Е. Б. Центр коллективного пользования «АИРИЗ» (ИГГД РАН, Санкт-Петербург): научное оборудование, основные направления исследований и результаты // Геодинамика и тектонофизика. 2022. Т. 13. № 2. С. 0584.
4. Кучеровский Г. А., Чекулаев В. П., Кузнецов А. Б., Егорова Ю. С., Арестова Н. А., Зайцева Т. С., Адамская Е. В., Плоткина Ю. В. U–Pb возраст детритового циркона из матрикса раннедокембрийских полимиктовых конгломератов Центрально-Карельского домена Карельской провинции Фенноскандинавского щита // Доклады РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 509. С. 165–176. <https://doi.org/10.31857/S2686739722602496>.
5. Лобач-Жученко С. Б., Чекулаев В. П., Арестова Н. А., Левский Л. К., Коваленко А. В. Архейские террейны Карелии; их геологическое и изотопно-геохимическое обоснование // Геотектоника. 2000. С. 26–42.
6. Максимов А. В., Богданов Ю. Б., Воинова О. А., Коссовая О. Л. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Балтийская. Лист Р-(35), 36 – Петрозаводск. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. 400 с.
7. Мыскова Т. А., Львов П. А. История формирования Хедозеро-Большозерской структуры Балтийского щита в свете новых геохимических и геохронологических данных // Труды КарНЦ РАН. 2019. № 10. С. 1–25. <https://doi.org/10.17076/geo996>.
8. Общая стратиграфическая шкала нижнего докембрия России. Объяснительная записка / (Ред.) Ф. П. Митрофанов и В. З. Негруца. Апатиты. 2002. 13 с.
9. Ранний докембрий Балтийского щита / (Ред.) В. А. Глебовицкий. СПб. Изд-во: Наука. 2005. 711 с.
10. Харитонов Л. Я. Структура и стратиграфия карелид восточной части Балтийского щита. М. Изд-во: Недра, 1966. 359 с.
11. Хейсканен К. И., Голубев А. И., Бондарь Л. Ф. Орогенный вулканизм Карелии // Тр. Ин-та геол. Карельск. фил. АН СССР. 1977. Вып. 36. 216 с.
12. Чернов В. М., Стенарь М. М. Стратиграфия карельских образований западной Карелии // Труды Карельского филиала АН СССР. Вып. 26. Петрозаводск, 1960. С. 29–45.
13. Чернов В. М., Инина К. А., Горьковец В. Я., Раевская М. Б. Вулканогенные железисто-кремнистые формации Карелии. Петрозаводск, 1970. 284 с.
14. Andersen T. Correction of common lead in U–Pb analyses that do not report ^{204}Pb // Chemical Geology. 2002. V. 192. P. 59–79. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00195-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00195-X).
15. Corfu F., Hanchar J. M., Hoskin P. W. O., Kinny P. Atlas of Zircon Textures // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 2003. V. 53. P. 469–500. <https://doi.org/10.2113/0530469>.
16. Gehrels G. Detrital Zircon U–Pb Geochronology: Current Methods and New Opportunities // Tectonics of Sedimentary Basins: Recent Advances. 2012. P. 45–62. <https://doi.org/10.1002/9781444347166.ch2>.
17. Horstwood M. S. A., Košler J., Gehrels G., Jackson S. E., McLean N. M., Paton C., Pearson N. J., Sircombe K., Sylvester P., Vermeesch P., Bowring J. F., Condon D. J., Schoene B. Community-Derived Standards for LA-ICP-MS U-(Th)-Pb Geochronology – Uncertainty Propagation, Age Interpretation and Data Reporting. Geostandards and Geoanalytical Research. 2016. V. 40. P. 311–332. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2016.00379.x>.
18. Huhma H., Mänttari I., Kontinen P., Halkoaho A., Hanski T., Hokkanen E., Layahe J., Vaasjoki P., Whitehouse M., Huhma Hannu, Mänttari Irmeli, Peltonen P., Kontinen A., Halkoaho T., Hanski E., Hokkanen T., Hölttä P., Juopperi H., Konnunaho J., Whitehouse Martin. The age of the Archaean greenstone belts in Finland. Special Paper – Geological Survey of Finland. 2012. V. 54. P. 73–174.
19. Jackson S. E. The application of Nd:YAG lasers in LA-ICP-MS. Principles and Applications of Laser Ablation-Mass Spectrometry in the Earth. Mineralogical Association of Canada Short Course Series. 2001. V. 29. P. 29–46.
20. Jackson S. E., Pearson N. J., Griffin W. L., Belousova E. A. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology // Chemical Geology. 2004. V. 211. P. 47–69. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.06.017>.
21. Vermeesch P. IsoplotR: A free and open toolbox for geochronology. Geoscience Frontiers, SPECIAL ISSUE: Frontiers in geoscience: A tribute to Prof. Xuanxue Mo 9, 2018. P. 1479–1493. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.04.001>.