

УДК 551.71/72:552.513.1

## ВОЗРАСТ ПЕСЧАНИКОВ В ОСНОВАНИИ РАЗРЕЗА УРАЛИД НА ХР. САБЛЯ (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ U-Pb ДАТИРОВАНИЯ ДЕТРИТНЫХ ЦИРКОНОВ

*Н.Ю. Никулова<sup>1</sup>, О.В. Удоратина<sup>1</sup>, В.Б. Хубанов<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup> Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

<sup>2</sup> Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ

<sup>3</sup> Бурятский государственный университет, Улан-Удэ

Поступила в редакцию 11.02.16

Приводится обоснование возраста песчаников в основании палеозойского разреза хр. Сабля (Приполярный Урал) по результатам U-Pb датирования детритных цирконов. Установлено, что нижним пределом возраста псаммитовой толщи является верхний кембрий. На основании литолого-геохимических особенностей и датировок возраста содержащихся в песчаниках цирконов сделан вывод о том, что псаммитовая толща формировалась в пределах эпиконтинентального рифта за счет разрушения древнего кристаллического фундамента и венд-кембрийских магматических образований. Значительный вклад в формирование вещественного состава песчаников внесли синхронно существующие магматические очаги, сопровождавшие осадконакопление в области развития рифтовых формаций. Песчаники не содержат продуктов размытия кембрийской коры выветривания, что объясняет отсутствие в них золоторудной минерализации, характерной для отложений этого стратиграфического уровня в большинстве известных разрезов зоны межформационного контакта на севере Урала.

*Ключевые слова:* песчаники, детритные цирконы, состав, условия образования, граниты, вулканы.

*Nikulova N.Yu., Udoratina O.V., Khubanov V.B.* Age of sandstones of basal section of Sablya Ridge Uralides (Subpolar Urals) according to U-Pb dating of detrital zircons. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series. 2016. Volume 91, part 1. P. 15–23.

The paper provides a rationale for the age of sandstones at the base of the Paleozoic section of the ridge Sablya (Subpolar Urals) according to the U-Pb dating of detrital zircons. We've found that the upper Cambrian is the lower age limit of psammitic mass. Basing on lithological and geochemical characteristics and on the age of the zircons from sandstones, it became possible to explain that psammitic mass was formed within the epicontinental rift due to the destruction of ancient crystalline basement and Vendian-Cambrian magmatic formations. A significant contribution to the formation of the material composition of sandstones belongs to the simultaneously existing magma chambers, which accompanied the sedimentation in the rift formation areas. Sandstones do not contain the products of Cambrian erosion weathering crust; this explains the absence of the gold mineralization in them, despite the fact that it is typical for such stratigraphic levels in most of the known interformational contact sections on the north of the Urals.

*Key words:* sandstones, detrital zircons, composition, conditions of formation, granites, volcanics.

В северной части хр. Сабля (Приполярный Урал) терригенные толщи в зоне межформационного контакта между рифей-вендским комплексом доуралид и каледоно-герцинским комплексом уралид, являющиеся перспективным объектом для поисков золотой и редкоземельно-редкометалльной минерализации, долгое время не имели однозначной трактовки возраста и генезиса (рис. 1).

Их относили к различным стратиграфическим подразделениям — хобеинской (RF<sub>3</sub> hb), лаптопайской (V<sub>2</sub>-Є<sub>1</sub>lp) или тельпосской (O<sub>1</sub>tl) свитам (Пучков, 1975, 2010; Фишман, 1956). Для установления стратиграфической принадлежности источников поступления материала и выяснения условий образования проведено U-Pb датирование детрит-

ных цирконов из песчаников, содержащих обломочный материал всех разрушавшихся в это время пород, изучены их литологические, минералогические и геохимические особенности, что имеет большое значение для металлогенического прогнозирования и расшифровки истории геодинамического развития региона.

### Геологическое строение района

Хребет Сабля расположен в центральной части Приполярного Урала (рис. 1) и совпадает с субмеридионально вытянутой антиклинальной структурой, в ядре которой вскрываются основные вулканы саблегорской свиты (RF<sub>3</sub>-V sb), а крылья сложены

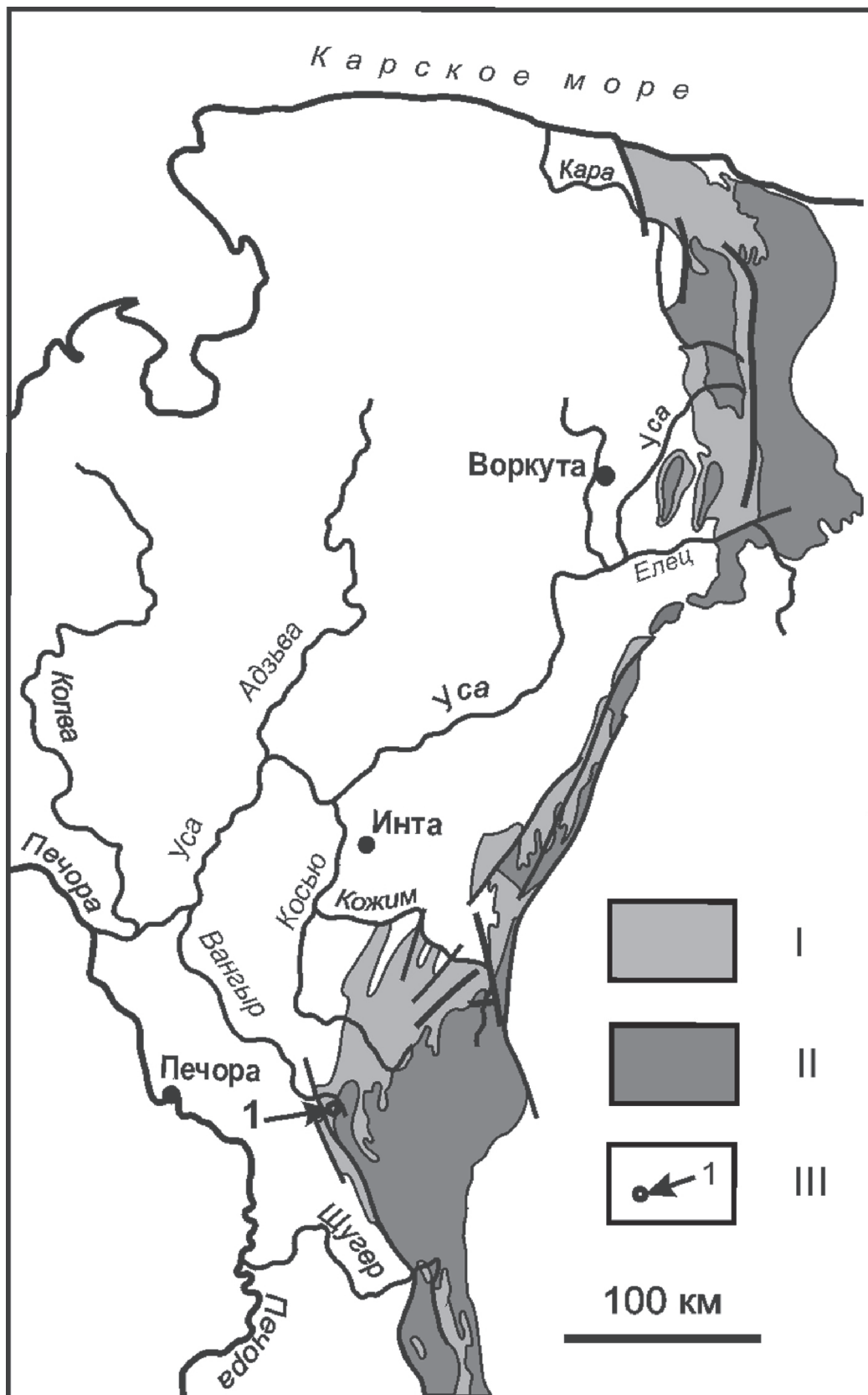


Рис. 1. Схема расположения нижнеордовикских и допалеозойских образований на севере Урала (по М.Л. Ключиной, 1985 и В.Н. Пучкову, 1979). Условные обозначения: I — нижнепалеозойские отложения; II — доордовикские отложения; III — изученный разрез

нижнепалеозойскими терригенными отложениями. Изученный разрез в крайней северной точке хребта сложен в нижней части андезибазальтами и базальтами, сменяющимися вверх по разрезу кластола-

вами основного состава, в свою очередь, плавно переходящими в туфогравелиты с подчиненными прослоями туфопесчаников. Мощность туфогенно-осадочной пачки около 10 м, азимут падения по-

род 295–300°, угол 50°. Между грубообломочными туфогенной и терригенной толщами залегает пачка (2,3 м) вишневых мелкозернистых песчаников с прослоями и линзами алевролитов, по облику и пространственной ориентировке сходная с подстилающими туфогравелитами. В песчаниках наблюдаются фрагменты тонкой косои слоистости, по трещинам и на поверхностях напластования располагаются тончайшие «корочки» микроагрегатного рудного минерала, иногда лимонитизированные. Верхняя часть разреза представлена гравелито-конгломератовой с редкими линзами грубозернистого косослоистого песчаника толщей. Азимуты падения совпадают, угол падения уменьшается до 30°. Подробное описание горных пород, слагающих разрез зоны межформационного контакта, проведено нами ранее (Никулова, 2015).

### Объект и методы исследования

Для изучения отобрана проба мелкозернистого песчаника, залегающего на контакте вулканогенно-осадочной и терригенной толщ (64°54'47.4" с.ш., 58°51'57.8" в.д.). Петрографический состав песчаников изучался в прозрачных шлифах. Содержание породообразующих оксидов в породах определялось традиционным весовым химическим методом в ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар), интерпретация результатов химических анализов проводилась с использованием нескольких классификаций и методических приемов палеореконов (Предовский, 1980; Юдович, Кетрис, 2000; Bhatia, 1983; Roser, Korsch, 1986 и др.), дающих возможность оценить вклад отдельных обломочных компонентов, установить генетическую принадлежность, состав и интенсивность гипергенных преобразований материнских пород.

Выделенная по стандартной методике (дробление, разделение на фракции, бромформирование) монофракция циркона интегрирована в эпоксидную шашку. В режиме отраженных электронов цирконы предварительно изучены в ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар), исследования в режиме катодолюминесценции проведены на электронном микроскопе LEO1450, оснащенный катодолюминесцентной приставкой PANA CL в ГИ Коми НЦ РАН (г. Апатиты). Определения U-Pb изотопного возраста цирконов проводились с помощью лазерной абляции UP-213 (NewVawe Research) и одноколлекторного магнитно-секторного масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Element XR (Thermo Science) (LA-ICP-FS-MS метод) в лаборатории инструментальных методов анализа ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ). Методика измерения, обработка масс-спектрометрического сигнала и расчет изотопных отношений и возрастов изложены в работе (Хубанов и др., 2016). Применялось лазерное излучение с частотой импуль-

сов 10 Гц, плотностью потока энергии 3,5 Дж/см<sup>2</sup> и диаметром пучка излучения 25 мкм. В качестве внешних стандартов и контрольных образцов использовались эталонные цирконы Plešovice (Sláma et al., 2008) и 91500 (Wiedenbeck et al., 1995). При построении гистограммы распределения датировок цирконов во внимание принимались оценки возраста, дискордантность которых не превышала 10%. При этом для цирконов древнее 1,0 млрд лет использованы оценки возраста, рассчитанные по отношению <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb, а для более молодых цирконов — по отношению <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U.

### Литолого-геохимическая характеристика песчаника

Мелкозернистый песчаник имеет бластопамятную сланцеватую текстуру, обусловленную ориентировкой чешуек слюдястых минералов в поровом пространстве, с участками базального цемента (рис. 2).

Преобладающий размер обломков 0,2–0,3 мм. В мелкозернистой породе присутствуют сложенные более крупными (до 0,8 мм) зернами и алевритовые слойки (рис. 2), при этом слоистость почти перпендикулярна сланцеватости. Окатанность обломочного материала различная — встречаются хорошо окатанные обломки, но преобладают неокатанные, в том числе оскольчатые с вогнутыми поверхностями зерна, встречаются обломки с оплавленными контурами. Обломки пород представлены кварцитом, силицитом, тонкозернистой кварцполевошпатовой породой, кислым вулканитом с микрофельзитовой структурой, мелкозернистой полевошпат-кварцевой породой с аплитовой структурой, хлоритизированным вулканическим стеклом и поликристаллическим кварцем, сложенным пластически деформированными зернами с неравномерным погасанием. Обломки породообразующих минералов представлены преимущественно кварцем,

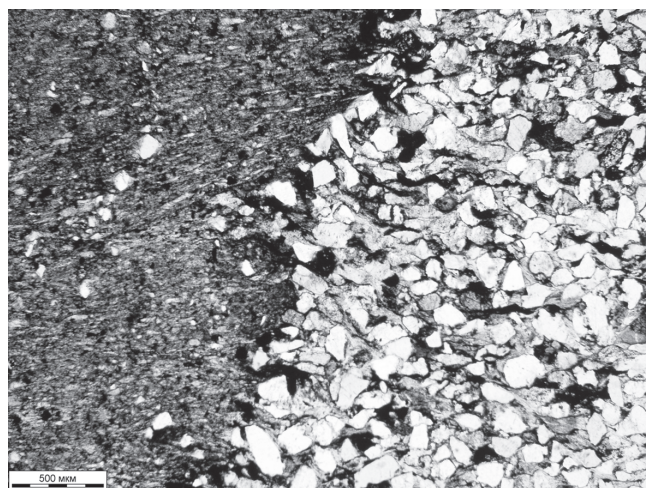


Рис. 2. Структура песчаника, контакт с алевролитовым прослоем

реже встречаются пелитизированный калиевый полевой шпат и средний плагиоклаз. Значительная часть обломков кварца и кварцита имеет кварцевые же регенерационные каймы, отделенные от основного зерна цепочкой пылеватого рудного пигмента. Акцессорные минералы представлены единичными окатанными зернами и обломками эпидота, апатитом, амфиболом и титанитом. Последний встречается в виде идиоморфных кристаллов и скоплений плохо окристаллизованных неиндивидуализированных зерен. Цемент, сложенный кварц-хлорит-серицитовым агрегатом, пигментирован микрозернистым рудным веществом, на отдельных участках рудный — гематитовый. Рудные минералы представлены микрокристаллическим пиритом, встречающимся в цементе вместе с гематитом, а также зернами гематита и ильменита, образующими цепочки, подчеркивающие седиментационную слоистость. По результатам нормативного минерального пересчета порода состоит (масс. %) из кварца (54,9), хлорита (15,9), мусковита (12,0), гематита (5,9), ортоклаза (5,6), плагиоклаза №15 (1,9), ильменита (1,2), апатита (0,9), лейкоксена (0,8) и кальцита (0,1). В тяжелой фракции протолочных проб отмечаются циркон, рутил, лейкоксен, апатит, эпидот, барит, гематит, магнетит и хромит.

Песчаник имеет следующий химический состав (мас. %):  $\text{SiO}_2$  68,44,  $\text{TiO}_2$  1,24,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  10,55,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  5,86,  $\text{FeO}$  2,96,  $\text{MnO}$  0,071,  $\text{MgO}$  2,92,  $\text{CaO}$  0,62,  $\text{Na}_2\text{O}$  0,20,  $\text{K}_2\text{O}$  2,40,  $\text{P}_2\text{O}_5$  0,380,  $\text{CO}_2$  0,05 и является высокоглинистым аркозом (Предовский, 1980). На диаграмме F3–F4 (Roser, Korsch, 1986) точка со значениями 6,98 и 1,11 попадает в поле песчаников, образовавшихся за счет разрушения изверженных пород основного состава. По классификации Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис, песчаники относятся к гипертитанистым ( $\text{TM} = 0,12$ ) гипосиаллитам ( $\text{GM} = 0,3$ ). Значения титанового модуля ( $\text{TM} = 0,11$ ) в два с половиной раза превышают средние значения  $\text{TM}$ , приведенные этими авторами для песчаных пород палеозоя и рифея (Юдович, Кетрис, 2000). Мы полагаем, что высокая титанистость песчаников обусловлена как их генетической связью с основными вулканитами, так и естественным шлихованием, что подтверждается наблюдаемым в шлифе распределением рудных минералов. На диаграммах  $\text{SiO}_2$ – $\text{K}_2\text{O}/\text{N}_2\text{O}$  (Roser, Korsch, 1986) и F1–F2 ( $F1 = 0,303 - 0,447 \cdot \text{SiO}_2 - 0,972 \cdot \text{TiO}_2 + 0,008 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 - 2,67 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,208 \cdot \text{FeO} - 3,082 \cdot \text{MnO} + 0,14 \cdot \text{MgO} + 0,195 \cdot \text{CaO} + 0,719 \cdot \text{Na}_2\text{O} - 0,032 \cdot \text{K}_2\text{O} + 7,51 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ ;  $F2 = 43,57 - 0,421 \cdot \text{SiO}_2 + 1,988 \cdot \text{TiO}_2 - 0,526 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 - 0,551 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,61 \cdot \text{FeO} + 2,72 \cdot \text{MnO} - 0,907 \cdot \text{CaO} - 0,177 \cdot \text{Na}_2\text{O} - 1,84 \cdot \text{K}_2\text{O} + 7,244 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ ) (Bhatia, 1983) фигуративная точка состава песчаников попадает в поле пород, образованных в условиях пассивной континентальной окраины.

Циркон — один из наиболее часто встречаемых минералов немагнитной фракции — содержит

(масс. %)  $\text{ZrO}_2$  65,75–67,26,  $\text{SiO}_2$  31,56–32,79,  $\text{HfO}_2$  0,56–2,06. В популяции цирконов (80–400 мкм, большинство — 200–250 мкм) около 70% составляют среднеокатанные зерна с округленно-цилиндрическими рисовидными формами, реже встречаются шаровидные (20%) зерна, слабоокатанные кристаллы призматического облика (5%) и их обломки (5%), в знаковых количествах — идиоморфные неокатанные дипирамидальные и короткопризматические кристаллы.

Округленные среднеокатанные коричневаторозовые зерна с  $K_{\text{удл}}$  1,5–2,5, шероховатой поверхностью содержат микровключения темноцветных минералов. Окатанные шаровидные зерна с  $K_{\text{удл}}$  1,0–1,5 представлены тремя разновидностями — коричневаторозовыми и вишневыми зернами с шагреновой поверхностью, бледно-розовыми прозрачными зернами без включений. Призматические слабоокатанные кристаллы с  $K_{\text{удл}}$  2,5–3,5 имеют две разновидности — коричневаторозовые с матовой поверхностью (размером 300–400 мкм) и микровключениями и бледно-розовые водяно-прозрачные с глянцевой поверхностью (размером 200–300 мкм). Бледно-розовые идиоморфные кристаллы самые мелкие в изученной выборке (80–100 мкм) и имеют глянцевую гладкую поверхность. Осколки и обломки различного цвета и окатанности удлиненных зерен образовались, по-видимому, при дроблении пробы.

Было проанализировано 90 зерен циркона, все значения конкордантные (таблица). Возраст цирконов распределен в широком диапазоне от позднего архея ( $2789,40 \pm 27,33$  млн лет) до раннего девона ( $381,5 \pm 3,6$  млн лет) (рис. 3). В рассматриваемой выборке два наиболее древних зерна имеют неоархейский возраст (2701,80 и 2789,40 млн лет). Остальные образуют две крупные популяции — палео-, мезопротерозойскую и верхнерифейско-кембрийскую, внутри которых, в свою очередь, можно выделить более мелкие группы.

Цирконы с древними возрастными 1000–1300 (10%), 1400–1650 (14,4%), 1725–1850 (11,1%), 2000 (3,3%) и 2700 млн лет (2,2%) составляют среднерифейскую (9 зерен), средне-раннерифейскую (13 зерен), раннерифейскую (10 зерен), раннепротерозойскую (3 зерна) и позднеархейскую (2 зерна) популяции соответственно.

Вторая группа, состоящая из 49 зерен (54,4%), охватывает достаточно широкий интервал 494,50–712,50 млн лет, объединяющий четыре пика, отражающих максимумы магматических событий ~516, ~543, ~608 и ~670 млн лет.

Единичные молодые значения возрастов — раннедевонский (381,5) и ранне-среднеордовикские (471,60 и 459,20) отражают нарушение изотопной системы в результате наложенных гидротермальных процессов и маркируют время образования прорывающих породу кварцевых жил.

Таблица

Результаты U-Pb (LA-ICP-MS) датирования детритных цирконов из песчаников хр. Сабля

№ Точки	Изотопные соотношения				Rho	Возраст, млн лет						D, %
	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1σ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,64952	0,01480	0,08187	0,00083	0,44	<b>507,30</b>	4,93	508,20	9,11	511,90	52,63	0,2
2	4,58337	0,05503	0,31131	0,00273	0,73	1747,20	13,40	1746,20	10,01	<b>1745,20</b>	24,69	0,1
3	3,79703	0,04941	0,28006	0,00251	0,69	1591,60	12,64	1592,10	10,46	<b>1592,80</b>	26,97	0,0
4	4,52740	0,05629	0,30604	0,00272	0,71	1721,20	13,42	1736,00	10,34	<b>1754,00</b>	25,38	-0,9
5	1,02363	0,04771	0,11686	0,00192	0,35	<b>712,50</b>	11,11	715,70	23,94	726,10	99,03	-0,4
6	0,68150	0,02049	0,08441	0,00099	0,39	<b>522,40</b>	5,88	527,70	12,37	550,80	67,31	-1,0
7	2,12126	0,02678	0,19630	0,00169	0,68	1155,40	9,12	1155,70	8,71	<b>1156,50</b>	28,01	0,0
8	0,74710	0,01663	0,09178	0,00093	0,46	<b>566,00</b>	5,46	566,50	9,66	568,70	50,64	-0,1
9	3,81488	0,07217	0,28044	0,00305	0,57	1593,60	15,36	1595,90	15,22	<b>1599,00</b>	37,16	-0,1
10	0,66447	0,01320	0,08273	0,00079	0,48	<b>512,40</b>	4,71	517,30	8,05	538,70	46,48	-0,9
11	0,72906	0,01827	0,08929	0,00095	0,42	<b>551,30</b>	5,61	556,00	10,73	575,30	56,45	-0,8
12	6,65664	0,09649	0,37654	0,00374	0,69	2060,10	17,49	2066,90	12,80	<b>2073,70</b>	27,63	-0,3
13	0,68362	0,03648	0,08521	0,00148	0,33	<b>527,10</b>	8,82	529,00	22,00	536,30	116,89	-0,4
14	0,77210	0,02179	0,08370	0,00098	0,41	<b>518,20</b>	5,83	581,00	12,49	834,80	60,76	-10,8
15	0,62953	0,04794	0,07589	0,00175	0,30	471,60	10,49	495,80	29,87	609,50	161,09	-4,9
16	0,73013	0,01189	0,09079	0,00081	0,55	<b>560,20</b>	4,81	556,60	6,98	541,50	39,03	0,6
17	1,93399	0,05186	0,18414	0,00226	0,46	1089,60	12,29	1092,90	17,95	<b>1099,70</b>	55,22	-0,3
18	0,72978	0,01650	0,08641	0,00088	0,45	<b>534,30</b>	5,23	556,40	9,69	648,30	50,75	-4,0
19	0,73670	0,01811	0,08872	0,00094	0,43	<b>548,00</b>	5,55	560,50	10,59	611,70	55,11	-2,2
20	0,85198	0,04005	0,09989	0,00164	0,35	<b>613,70</b>	9,59	625,70	21,96	669,50	100,92	-1,9
21	2,22688	0,02494	0,20265	0,00169	0,74	1189,60	9,05	1189,50	7,85	<b>1189,70</b>	25,30	0,0
22	3,88869	0,05887	0,28400	0,00273	0,63	1611,50	13,71	1611,30	12,23	<b>1611,30</b>	30,51	0,0
23	3,30343	0,04481	0,25659	0,00232	0,67	1472,40	11,89	1481,90	10,57	<b>1495,60</b>	28,27	-0,6
24	0,69453	0,01255	0,08724	0,00081	0,51	<b>539,20</b>	4,79	535,50	7,52	519,90	42,44	0,7
25	4,52521	0,08320	0,30592	0,00335	0,60	1720,60	16,53	1735,60	15,29	<b>1753,90</b>	35,42	-0,9
26	0,70544	0,01230	0,08570	0,00079	0,53	<b>530,00</b>	4,67	542,00	7,33	593,30	40,09	-2,2
27	0,67191	0,01559	0,08344	0,00085	0,44	<b>516,60</b>	5,08	521,90	9,47	545,20	52,83	-1,0
28	0,68550	0,02104	0,08424	0,00100	0,39	<b>521,40</b>	5,96	530,10	12,67	567,90	68,42	-1,6
29	2,24321	0,03759	0,20369	0,00196	0,57	1195,10	10,51	1194,70	11,77	<b>1194,00</b>	35,41	0,0
30	2,41011	0,03856	0,21247	0,00202	0,59	1242,00	10,71	1245,60	11,48	<b>1252,20</b>	33,56	-0,3
31	0,71187	0,01510	0,08677	0,00086	0,47	<b>536,40</b>	5,09	545,90	8,95	585,70	48,29	-1,7
32	5,04735	0,06107	0,32811	0,00287	0,72	1829,20	13,94	1827,30	10,25	1825,30	24,63	0,1
33	0,71976	0,06721	0,08595	0,00241	0,30	<b>531,50</b>	14,29	550,50	39,68	630,20	194,37	-3,5
34	2,32574	0,03603	0,20754	0,00193	0,60	1215,70	10,33	1220,20	11,00	<b>1228,30</b>	32,88	-0,4

Продолжение табл.

№ Точки	Изотопные соотношения				Rho	Возраст, млн лет						D, %
	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1σ	
35	3,77291	0,04504	0,27808	0,00239	0,72	1581,70	12,06	1587,00	9,58	<b>1594,30</b>	25,12	-0,3
36	0,75073	0,01655	0,09204	0,00092	0,45	<b>567,60</b>	5,46	568,60	9,60	573,20	50,10	-0,2
37	0,77199	0,01709	0,09238	0,00093	0,45	<b>569,60</b>	5,51	580,90	9,79	625,70	49,88	-1,9
38	0,98993	0,02254	0,10602	0,00111	0,46	<b>649,60</b>	6,49	698,70	11,50	860,20	49,37	-7,0
39	0,73856	0,01854	0,08957	0,00096	0,43	<b>553,00</b>	5,66	561,60	10,83	596,70	56,33	-1,5
40	3,52744	0,04895	0,26634	0,00243	0,66	1522,20	12,35	1533,40	10,98	<b>1549,10</b>	28,58	-0,7
41	0,70734	0,02308	0,08890	0,00110	0,38	<b>549,00</b>	6,51	543,20	13,73	518,70	73,32	1,1
42	0,81944	0,01601	0,09883	0,00095	0,49	<b>607,50</b>	5,57	607,70	8,94	608,70	44,60	0,0
43	4,47031	0,06055	0,30712	0,00280	0,67	1726,50	13,81	1725,50	11,24	<b>1724,50</b>	27,34	0,1
44	2,29837	0,04053	0,21089	0,00208	0,56	1233,60	11,05	1211,80	12,48	<b>1173,50</b>	37,12	1,8
45	13,41593	0,15687	0,52489	0,00465	0,76	2719,90	19,66	2709,40	11,05	<b>2701,80</b>	21,68	0,4
46	0,66857	0,02567	0,08397	0,00113	0,35	<b>519,80</b>	6,74	519,80	15,62	520,30	85,39	0,0
47	4,93085	0,07480	0,32337	0,00315	0,64	1806,20	15,34	1807,60	12,81	<b>1809,40</b>	29,72	-0,1
48	5,15866	0,08168	0,33032	0,00331	0,63	1839,90	16,05	1845,80	13,47	<b>1852,70</b>	30,67	-0,3
49	0,78308	0,03282	0,09535	0,00138	0,35	<b>587,10</b>	8,15	587,20	18,69	588,00	91,47	0,0
50	0,80701	0,02010	0,09808	0,00105	0,43	<b>603,10</b>	6,17	600,80	11,30	592,80	55,36	0,4
51	4,54145	0,07142	0,30724	0,00302	0,63	1727,10	14,91	1738,60	13,09	<b>1752,70</b>	30,85	-0,7
52	0,97247	0,02368	0,10910	0,00118	0,44	<b>667,50</b>	6,83	689,70	12,19	763,30	53,27	-3,2
53	0,68620	0,01407	0,08529	0,00083	0,47	<b>527,60</b>	4,92	530,50	8,47	543,30	47,10	-0,5
54	3,63616	0,11744	0,26895	0,00422	0,49	1535,50	21,44	1557,50	25,72	<b>1587,70</b>	61,10	-1,4
55	0,82675	0,02743	0,09938	0,00124	0,38	<b>610,80</b>	7,29	611,80	15,25	615,90	72,92	-0,2
56	6,37657	0,08119	0,37033	0,00329	0,70	2031,00	15,50	2029,00	11,18	<b>2027,40</b>	25,00	0,1
57	0,71346	0,04544	0,08581	0,00173	0,32	<b>530,70</b>	10,26	546,80	26,93	614,80	135,84	-2,9
58	4,63255	0,06351	0,31537	0,00287	0,66	1767,10	14,05	1755,20	11,45	<b>1741,40</b>	27,40	0,7
59	6,56486	0,07948	0,37520	0,00324	0,71	2053,80	15,19	2054,60	10,67	<b>2055,80</b>	23,95	0,0
60	0,74243	0,01340	0,08989	0,00084	0,52	<b>554,90</b>	4,95	563,80	7,81	600,60	41,55	-1,6
61	0,73301	0,03693	0,08821	0,00146	0,33	<b>545,00</b>	8,64	558,30	21,64	613,50	108,62	-2,4
62	0,70569	0,02488	0,08822	0,00112	0,36	<b>545,00</b>	6,66	542,20	14,81	530,40	78,75	0,5
63	0,65124	0,03642	0,07973	0,00140	0,31	<b>494,50</b>	8,36	509,20	22,40	576,40	120,67	-2,9
64	2,90506	0,03388	0,22962	0,00192	0,72	1332,50	10,04	1383,20	8,81	<b>1462,60</b>	25,18	-3,7
65	0,69894	0,02703	0,08485	0,00117	0,36	<b>525,00</b>	6,93	538,20	16,15	594,60	85,02	-2,5
66	2,86463	0,07297	0,23519	0,00295	0,49	1361,60	15,41	1372,70	19,17	<b>1390,30</b>	50,23	-0,8
67	0,73947	0,01241	0,09492	0,00086	0,54	<b>584,60</b>	5,06	562,10	7,24	471,90	40,10	4,0
68	0,67993	0,04635	0,08248	0,00175	0,31	<b>510,90</b>	10,43	526,70	28,01	596,50	145,33	-3,0
69	3,63027	0,05877	0,27311	0,00265	0,60	1556,60	13,41	1556,20	12,89	<b>1556,10</b>	32,54	0,0
70	0,66315	0,01629	0,08245	0,00087	0,43	<b>510,80</b>	5,16	516,50	9,94	542,70	55,65	-1,1

Окончание табл.

№ ТОЧКИ	Изотопные соотношения				Rho	Возраст, млн лет						D, %
	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1σ	
71	0,64975	0,01990	0,08186	0,00097	0,39	<b>507,20</b>	5,76	508,30	12,25	513,40	69,17	-0,2
72	0,66520	0,01649	0,08172	0,00086	0,42	<b>506,40</b>	5,14	517,80	10,05	569,00	55,87	-2,2
73	4,77173	0,06116	0,32014	0,00277	0,68	1790,40	13,55	1779,90	10,76	<b>1768,00</b>	26,00	0,6
74	0,71570	0,01877	0,08817	0,00096	0,42	<b>544,70</b>	5,70	548,10	11,11	562,80	58,96	-0,6
75	0,65820	0,01688	0,08351	0,00089	0,42	<b>517,00</b>	5,32	513,50	10,34	497,90	58,89	0,7
76	0,73666	0,01551	0,09056	0,00089	0,47	<b>558,80</b>	5,29	560,50	9,07	567,60	48,02	-0,3
77	0,67574	0,02450	0,08276	0,00108	0,36	<b>512,60</b>	6,45	524,20	14,85	575,70	79,94	-2,2
78	4,06144	0,06503	0,28908	0,00279	0,60	1636,90	13,97	1646,60	13,05	<b>1659,40</b>	31,77	-0,6
79	0,75542	0,02603	0,09261	0,00120	0,38	<b>570,90</b>	7,06	571,40	15,05	573,60	76,20	-0,1
80	0,94606	0,02497	0,11066	0,00123	0,42	<b>676,60</b>	7,15	676,10	13,03	674,90	58,17	0,1
81	0,70594	0,01384	0,08799	0,00084	0,49	<b>543,60</b>	4,99	542,30	8,24	536,80	45,78	0,2
82	2,66660	0,03749	0,22656	0,00200	0,63	1316,50	10,52	1319,30	10,38	<b>1324,20</b>	29,82	-0,2
83	3,73596	0,06617	0,27567	0,00280	0,57	1569,50	14,13	1579,10	14,19	<b>1592,40</b>	35,04	-0,6
84	3,71846	0,05286	0,27701	0,00248	0,63	1576,30	12,53	1575,30	11,37	<b>1574,60</b>	29,00	0,1
85	1,20070	0,03102	0,13337	0,00151	0,44	<b>807,10</b>	8,56	800,90	14,31	784,30	55,99	0,8
86	14,65330	0,23179	0,54364	0,00578	0,67	2798,70	24,15	2793,00	15,04	<b>2789,40</b>	27,33	0,2
87	0,47592	0,00636	0,06096	0,00052	0,64	381,50	3,16	395,30	4,37	746,60	32,82	-3,5
88	0,65650	0,03047	0,08395	0,00126	0,32	<b>519,60</b>	7,50	512,50	18,68	480,60	103,18	1,4
89	2,64535	0,04158	0,22632	0,00209	0,59	1315,20	11,00	1313,30	11,58	<b>1310,80</b>	32,87	0,1
90	0,65035	0,00920	0,07383	0,00064	0,61	459,20	3,84	508,70	5,66	738,60	32,68	-9,7

Примечание. 1. Серым фоном помечены датировки, не имеющие геологического смысла.

2. Жирным шрифтом выделены значения, принятые за возраст циркона, до 1 млрд лет используются определения возраста по отношению <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U, а более 1 млрд лет — по отношению <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb.

3. D — дискордантность, вычисленная по формуле:  $D = [100 \cdot (\text{«возраст по } ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}» / \text{«возраст по } ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}») - 1]$ .

### Обсуждение результатов

В формировании состава песчаников принимали участие несколько различных источников обломочного материала. Цирконы, имеющие рифейский, протерозойский и архейский возраст, могли поступать из магматических, метаморфических и обломочных (осадочных и вулканогенно-осадочных) пород древнего кристаллического фундамента континентальных блоков Балтийского щита. Присутствие цирконов с возрастом 1099,70–2073,70 млн лет считается характерным для древнего остова Балтики (Кузнецов и др., 2011), а непрерывный продолжительный интервал отражает время, в течение которого происходило соединение составных частей Балтики, сопровождавшееся аккреционными процессами на ее активной окраине (Vogdanova et al., 2007). Главные максимумы цирконовых датировок приходятся на ~543 и ~516 млн лет и обусловлены

масштабными магматическими событиями, возможно, связанными как с континентальной коллизией пассивной окраины Балтики и активной окраины Арктиды (Кузнецов, 2009; Орлов и др., 2011), так и с эпиконтинентальным рифтогенезом. Источниками позднерифейско-вендских цирконов являлись комплексы коллизионных и островодужных образований протоуралид-тиманид, представленных образованиями саблегорского (RF<sub>3</sub>-V<sub>1</sub>sb) вулканического (Кузнецов и др., 2005; Соболева, 2004) и сальнерско-маньхамбовского (V<sub>2</sub>-E sm) интрузивного (Кузнецов, Удоратина, 2007) комплексов. Поздневендско-раннекембрийские цирконы соответствуют времени образования гранитоидов области развития рифтовых формаций (Удоратина и др., 2006; Удоратина и др., 2014) и связаны со становлением лейкогранитовых интрузий второй фазы сальнерско-маньхамбовского комплекса (V<sub>2</sub>-E sm). Цирконы с возрастом 494,50–507,30 млн лет соот-

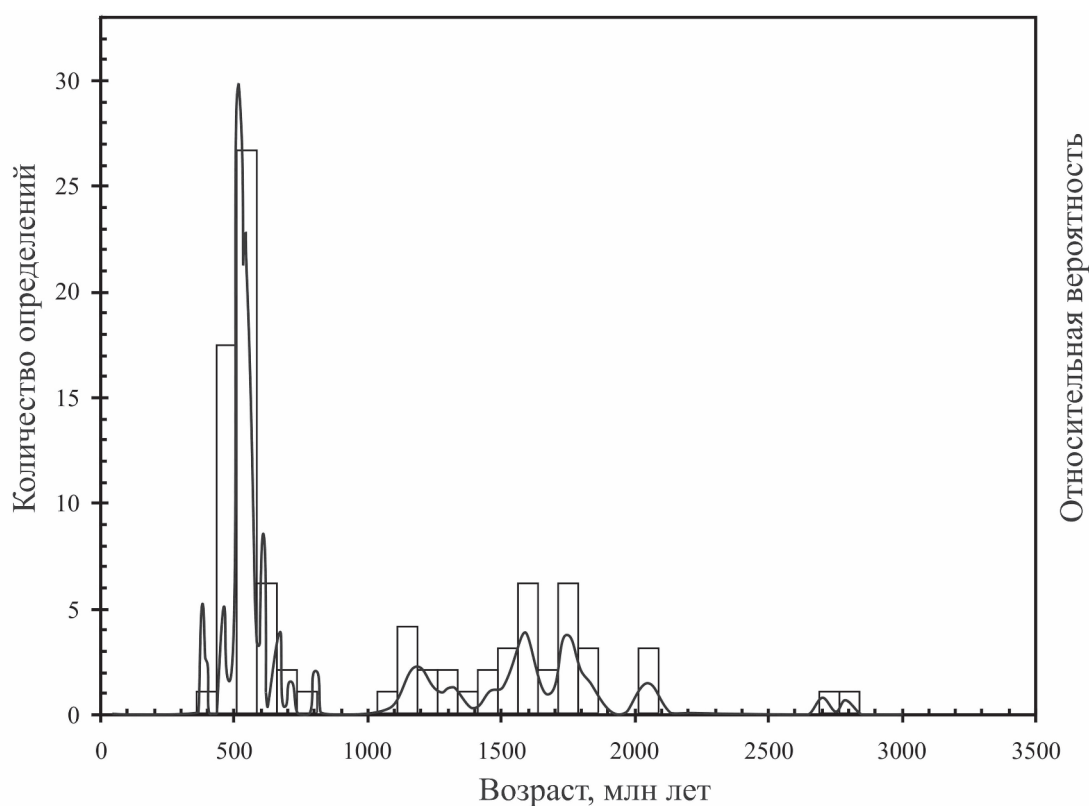


Рис. 3. Гистограмма распределения оценок возраста детритных цирконов (проба 126-5)

ветствуют последней фазе магматической активности, сопровождавшей накопление в рифтовых впадинах псаммитовой обломочной толщи (Петров и др., 2013).

Полученные нами результаты коррелируются с датировками цирконов кембрийско-нижнеордовикской манитанырдской свиты хр. Енганэпэ (Соболева и др., 2012), в которой также обнаружены одновозрастные осадконакоплению цирконы. По литолого-геохимическим характеристикам и структурно-тектонической позиции изученные песчаники также близки к песчано-алевритовой толще в основании манитанырдской серии в верховье р. Няю на краже Манитанырд (Никулова, Швецова, 2011). Базальные конгломераты, характерные для прибрежных фаций при нормальном трансгрессивном цикле, в этих разрезах отсутствуют.

Анализ всех имеющихся данных позволяет предложить следующую схему образования проблематичной толщи: на протяжении позднего кембрия — начала раннего ордовика на данной территории происходили разнонаправленные вертикальные движения. Продолжающийся общий положительный вертикальный тренд движений тектонических блоков палеоконтинента, не способствовавший накоплению химически выветрелого обломочного материала, сопровождался заложением Уральской палеозойской рифтовой системы вдоль окраин континента. В одном из грабенов в условиях спокойноводного залива с незначительными приливно-отливными течениями отлагались песчано-алеври-

товые осадки, в формировании которых участвовал и вулканокластический материал, поступавший в бассейн седиментации воздушным путем и/или смывавшийся со склонов.

### Выводы

Результаты проведенных исследований позволяют считать нижним пределом возраста песчаников поздний кембрий. Песчаники содержат значительное количество обломков местного происхождения и близкого сноса. В них присутствуют цирконы, время образования которых может совпадать со временем их поступления в осадок, что позволяет предположить существование одновременно с накоплением псаммитовой толщи магматического очага, ставшего одним из источников обломочного материала. Формирование состава песчаников происходило также за счет дезинтеграции и переотложения пород древнего кристаллического фундамента и венд-кембрийских магматических образований в спокойных гидродинамических условиях залива, располагавшегося во впадине эпиконтинентального рифта. Непрерывный позднерифейско-вендско-позднекембрийский ряд возрастных датировок свидетельствует об отсутствии в раннем—среднем кембрии перерыва в осадконакоплении, характерного для большинства известных разрезов зоны межформационного контакта на севере Урала. Песчаники, как и перекрывающая их псефитовая толща, не содержат продуктов размыва кембрийской коры выветривания, имеющей большое зна-



чение для локализации рассеянной золоторудной минерализации, что объясняет отсутствие в них последней.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН (проект № 15-18-5-47).

#### ЛИТЕРАТУРА

- Кузнецов Н.Б.* Комплексы протоуралид-тиманид и позднекембрийско-раннепалеозойская эволюция восточного и северо-восточного обрамления Восточно-Европейской платформы: Автореф. дисс. ... докт. геол.-минерал. наук. М., 2009. 49 с.
- Кузнецов Н.Б., Удоратина О.В.* Возраст и геодинамические условия формирования позднекембрийских гранитоидов Вангырского массива, Приполярный Урал // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2007. Т. 82, вып. 2. С. 3–12.
- Кузнецов Н.Б., Соболева А.А., Удоратина О.В., Герцева М.В.* Доордовикские гранитоиды Тимано-Уральского региона и эволюция протоуралид-тиманид. Сыктывкар: Геопринт, 2005. 100 с.
- Кузнецов Н.Б., Орлов С.Ю., Миллер Е.Л.* и др. Первые результаты U/Pb датирования детритных цирконов из раннепалеозойских и девонских песчаников Южного Приладожья // Докл. АН. 2011. Т. 438, № 6. С. 787–793.
- Никулова Н.Ю.* Обломочные породы хр. Сабля (Приполярный Урал) // Региональная геол. и металлогения. 2015. № 62. С. 49–56.
- Никулова Н.Ю., Швецова И.В.* Литология и геохимия нижнепалеозойских отложений в зоне межформационного контакта уралид/доуралид на хр. Манитанырд (Полярный Урал) // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2011. Т. 86, вып. 3. С. 47–54.
- Орлов С.Ю., Кузнецов Н.Б., Миллер Е.Л.* и др. Возрастные ограничения начала Протоуральско-Тиманской орогении по детритным цирконам // Докл. АН. 2011. Т. 440, № 1. С. 87–92.
- Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Гердес А.* и др. Новые данные о составе и возрасте орогенных гранитоидов тиманид на Северном Урале // Докл. АН. 2013. Т. 450, № 6. С. 691–695.
- Предевский А.А.* Реконструкция условий седиментогенеза и вулканизма раннего докембрия. Л.: Наука, 1980. 152 с.
- Пучков В.Н.* Структурные связи Приполярного Урала и Русской платформы. Л.: Наука, 1975. 204 с.
- Пучков В.Н.* Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
- Соболева А.А.* Вулканиды и ассоциирующие граниты Приполярного Урала. Екатеринбург: Изд. УрО РАН, 2004. 147 с.
- Соболева А.А., Кузнецов Н.Б., Миллер Э.Л.* и др. Первые результаты U/Pb датирования детритных цирконов из базальных горизонтов уралид (Полярный Урал) // Докл. АН. 2012. Т. 445, № 5. С. 570–576.
- Удоратина О.В., Капитанова В.А., Варламов Д.А.* Редкометалльные гранитоиды (Кулемшор, Приполярный Урал) // Изв. Коми научного центра УрО РАН. Вып. 1 (17). Сыктывкар, 2014. С. 57–70.
- Удоратина О.В., Соболева А.А., Кузнецов Н.А.* и др. Возраст гранитоидов Маньхамбовского и Ильяизского массивов (Северный Урал): U-Pb данные // Докл. АН. 2006. Т. 406, № 6. С. 810–815.
- Фишман М.В.* Геологическое строение и горные породы хребта Сабля (Приполярный Урал). Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1956. 83 с.
- Хубанов В.Б., Буянтубеев М.Д., Цыганков А.А.* U-Pb изотопное датирование цирконов из  $Pz_3$ -Mz магматических комплексов Забайкалья методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором: процедура определения и сопоставление с SHRIMP данными // Геол. и геофизика. 2016. Т. 57, № 1. С. 241–258.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П.* Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
- Bhatia M.R.* Plate tectonic and geochemical composition of sandstones // J. Geol. 1983. Vol. 91, N 6. P. 611–627.
- Bogdanova S.V., Bingen B., Gorbatschev R.* et al. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia // Precambrian Res. 2007. Vol. 160. P. 23–45.
- Roser B.P., Korsch R.J.* Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using  $SiO_2$  content and  $K_2O/Na_2O$  ratio // J. Geol. 1986. Vol. 94, N 5. P. 635–650.
- Sláma J., Košler J., Condon D.J.* et al. Plesovice zircon — A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis // Chem. Geol. 2008. Vol. 249. P. 1–35.
- Wiedenbeck M., Allé P., Corfu F.* et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses // Geostandards Newsletter. 1995. Vol. 19. P. 1–23.

**Сведения об авторах:** *Никулова Наталья Юрьевна* — докт. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотр. лаб. литологии и геохимии осадочных формаций ИГ КомиНЦ УрО РАН, e-mail: nikulova@geo.komisc.ru; *Удоратина Оксана Владимировна* — канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотр. лаб. петрографии ИГ КомиНЦ УрО РАН, e-mail: udoratina@geo.komisc.ru; *Хубанов Валентин Борисович* — канд. геол.-минерал. наук, сотр. ГИН СО РАН, e-mail: khubanov@mail.ru