

550.93:549.514.81(234.83)

РЕЗУЛЬТАТЫ U-Pb (LA-ICP-MS) ДАТИРОВАНИЯ ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ ИЗ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ДОКЕМБРИЙСКОГО РАЗРЕЗА СЕВЕРНОГО ТИМАНА

В.Л. Андричев¹, А.А. Соболева¹, Дж.К. Хоуриган²

¹ Институт геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, Сыктывкар

² Калифорнийский университет, Санта-Крус, США

Поступила в редакцию 05.12.16

Приведены первые изотопные данные о возрасте детритовых цирконов из терригенных отложений ямбозерской свиты барминской серии, слагающих верхнюю часть докембрийского разреза Северного Тимана. Изотопные U-Pb (LA-ICP-MS) датировки 80 цирконовых зерен охватывают интервал 989–2713 млн лет. Средневзвешенный возраст трех наиболее молодых цирконов, равный 1004 ± 15 млн лет, дает основание предполагать вероятным временем осадконакопления поздний рифей (неопротерозой). Формирование кластических осадков, слагающих ямбозерскую свиту, контролировалось преимущественно привнесением терригенного материала из разрушавшихся пород кристаллических комплексов Фенноскандии и Среднерусского орогена.

Ключевые слова: детритовые цирконы, верхний докембрий, Северный Тиман, U-Pb возраст.

Andreichev V.L., Soboleva A.A., Hourigan J.K. U-Pb (LA-ICP-MS) dating of detrital zircons from clastic sediments of upper part of Precambrian basement of Northern Timan. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series. 2017. Volume 92, part 1. P. 10–20.

The article presents the first U–Pb data on the age of detrital zircons from clastic sediments of Yambozero Formation (Barmin Group) which constitutes the upper part of the Precambrian sequence of the Northern Timan. Age data for 80 zircon grains (LA-ICP-MS) cover the range of 989–2713 Ma. Weighted average age of the three youngest zircons yields the age of 1004 ± 15 Ma which provides grounds to assume that sediment deposition took place in late Riphean (Neoproterozoic). The accumulation of clastic sediments of Yambozero Formation was controlled mostly with terrigenous material from eroded rock complexes coeval with crystalline complexes of Fennoscandia and Central Russian Belt.

Key words: detrital zircons, upper Precambrian, Northern Timan, U-Pb age.

Тиман и п-ов Канин представляют собой вытянутую в северо-западном направлении от Полюдова Камня до мыса Канин Нос орографически выраженную структуру (Тиманскую гряду) протяженностью 1150 км при ширине 80–160 км, которая обрамляет с северо-востока карельский остов Восточно-Европейской платформы и является юго-западным ограничением Печорской плиты. Гряда состоит из отдельных кулисообразно расположенных горстообразных поднятий, в сводовых частях которых локально обнажены верхнедокембрийские структурно-вещественные комплексы, представленные в различной степени метаморфизованными осадочными, преимущественно терригенными образованиями, и прорывающими их магматическими породами позднерифейско-вендского возраста. Выходы верхнего докембрия известны на п-ове Канин (хр. Канин Камень, мысы Лудоватые), Северном Тимане, Среднем Тимане (Цильменский и Четласский Камни, Вымская гряда), Южном Тимане (Очпарминское и Джежимпарминское поднятия), а на остальной территории вскрыты скважинами.

Геологическое изучение Тиманской гряды продолжается с середины XIX в., но до сих пор не потеряли своей актуальности вопросы стратиграфии и корреляции верхнедокембрийских образований различных тектонических блоков, расстояние между которыми достигает 200 км. Разобшенность и многочисленность выходов осадочных пород, лишенных, как правило, органических остатков и отчетливых маркирующих горизонтов, обусловили значительные разногласия при стратиграфическом расчленении и корреляции разрезов верхнего докембрия Тиманской гряды. Корреляция разрезов и суждения о возрасте стратиграфических подразделений основывались преимущественно на литологических данных и степени вторичных изменений пород, варьирующих от позднего катагенеза до амфиболитовой фации. В результате уже в середине 60-х гг. прошлого столетия существовало около 50 различных вариантов стратиграфических схем для верхнего докембрия Тиманской гряды (Журавлев и др., 1966), а в дальнейшем их количество только возросло. Определенный порядок был установлен в 1983 г. на Межведомственном стра-

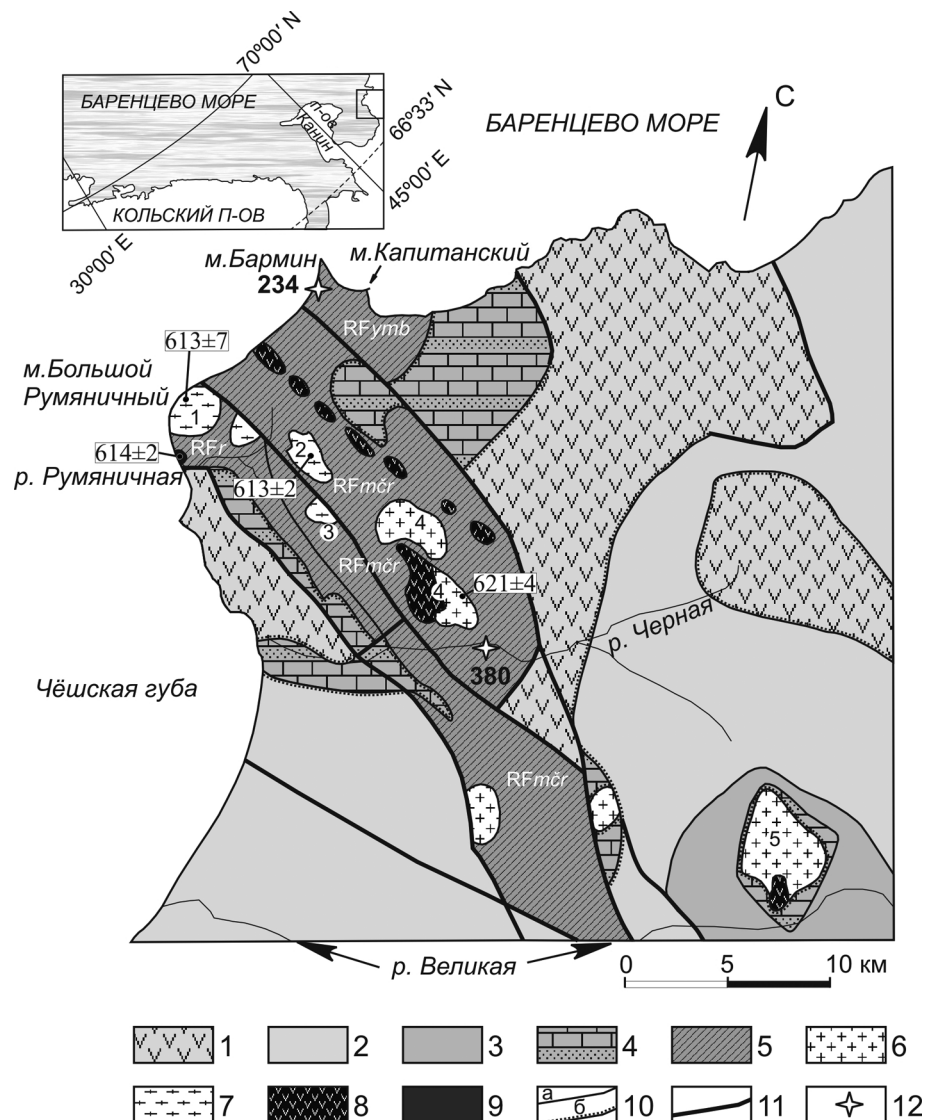
тиграфическом совещании (Верхний докембрий..., 1986), но, тем не менее, стратиграфическое расчленение верхнего докембрия Тимана и п-ова Канин остается проблематичным, поскольку не имеет простого решения.

В полной мере это относится к Северному Тиману, где на небольшой территории представлены доступные непосредственному наблюдению верхнедокембрийские метаосадочные образования, прорываемые различными по составу магматическими породами позднерифейского возраста и перекрытые отложениями фанерозоя (рис. 1). Естественные выходы верхнедокембрийских терригенных пород наблюдаются на побережье Чёшской губы от устья р. Румяничной до мыса Бармин, на побережье Баренцева моря между мысами Бармин и Капитанский, по рекам Черной, Малой Черной, Великой и их притокам, а также в тундре на сопках Малый и Большой Камешек. Эти образования, в составе которых преобладают сланцы и кварцитопесчаники, относятся к барминской серии, подразделяемой на три свиты (снизу вверх и с юга на север): румяничную (до 1000 м), малочернорецкую (до 2000 м) и ямбозерскую (до 2000 м), детально охарактеризованные в ряде работ (Гецен, 1968, 1975; Оловянишников, 1998, 2004 (до августа 1991 г. В.Г. Оловянишников носил фамилию Гецен)). Границы между свитами проведены по тектоническим разломам, нижняя граница румяничной

свиты не вскрыта эрозией. Общее падение пород крутое северо-восточное. Отложения серии, изначально представленные преимущественно пелитами, алевролитами и тонкозернистыми песками, подвергались метаморфическим преобразованиям разного типа. Это мусковит-хлоритовая и биотит-хлоритовая субфации зеленосланцевой фации и контактовый метаморфизм, обусловленный внедрением интрузивных пород различного состава и возраста. Наиболее интенсивно метаморфизованы отложения румяничной свиты вблизи сиенитового массива Большой Румяничный, где они превращены в мигматиты.

О возрасте барминской серии существуют различные представления. Она датировалась условно ранним рифеем (Гецен, 1975), средним рифеем (Верхний докембрий..., 1986), поздним рифеем (Оловянишников, 2004) и даже вендом (Акимова, 1996). Результаты изотопного датирования цирконов из интрузивных пород (рис. 1), прорывающих барминскую серию, позволили исключить вендский возраст, так как Pb-Pb (Pb-evaporation) возраст единичных кристаллов циркона из сиенитов массива Крайний Камешек составил 613 ± 2 млн лет, а из

Рис. 1. Схема геологического строения Северного Тимана, по (Оловянишников, 2004): 1 – верхнедевонские базальты; 2 – среднедевонские песчаники и конгломераты; 3 – нижнедевонские алевролиты, песчаники, глины; 4 – нижнесилурийские известняки с прослоями алевролитов и песчаников; 5 – метаосадочные породы барминской серии: RFR – румяничная свита: сланцы, кварциты, мигматиты; RFmcr – малочернорецкая свита: сланцы, кварцитопесчаники; RFymb – ямбозерская свита: сланцы, кварцитопесчаники; 6 – граниты, 7 – сиениты, 8 – метагаббро-долериты и долериты, 9 – оливин-керсутитовые габбро, 10 – границы между разновозрастными подразделениями и телами разного состава внутри этих подразделений (а), границы несогласного залегания стратиграфических подразделений (б); 11 – главные разломы, 12 – места отбора проб. Цифрами обозначены массивы: 1 – Большой Румяничный, 2 – Крайний Камешек, 3 – Малый Камешек, 4 – Большой Камешек, 5 – Сопки Каменные. Цифры в прямоугольниках – U-Pb и Pb-Pb цирконовые датировки в млн лет (пояснения в тексте)



гранитов массива Большой Камешек – 621 ± 4 млн лет (Андреичев, Ларионов, 2000). Приводимые в тексте погрешности соответствуют 2σ . Сопоставимые результаты были получены при U-Pb (SIMS) датировании цирконов из оливин-керсутитовых габбро в районе устья р. Румяничной (614 ± 2 млн лет) и из сиенитов массива Большой Румяничный (613 ± 7 млн лет) (Larionov et al., 2004). Тем не менее вопрос о возрасте барминской серии остается открытым, поскольку на основании приведенных изотопных данных барминскую серию можно датировать, по крайней мере, поздним рифеем, но не исключается и более древний возраст.

В настоящее время в России и за рубежом для корректировки возраста немых терригенных отложений весьма активно применяется U-Pb датирование детритовых цирконов, что находит отражение в сотнях публикаций. В России одной из первых появилась статья по детритовым цирконам из докембрийских осадочных пород Южного Урала (Willner et al., 2003), а на Тимане первые результаты получил Н.Б. Кузнецов с коллегами (2010). Этот метод определения стратиграфического положения палеонтологически немых толщ основан на предположении о соответствии возраста детритовых цирконов, присутствующих в осадочной породе, возрасту эродированных пород питающих провинций, а цирконы с минимальным возрастом выступают в роли индикатора стратиграфической летописи для определения нижнего вероятного возрастного предела осадконакопления (Fedot et al., 2003). Порода не может быть древнее возраста самого молодого циркона, но может быть сколько угодно моложе.

Исходя из этих предположений, было проведено U-Pb датирование детритовых цирконов из тонкозернистого песчаника малочернорецкой свиты Северного Тимана (Андреичев и др., 2014). Изотопные исследования позволили сделать вывод о том, что осадки формировались, главным образом, за счет продуктов разрушения породных комплексов, участвующих в строении древних кристаллических образований, одновозрастных тем, которые слагают фундамент Восточно-Европейской платформы. Возраст самого молодого цирконового зерна в этих песчаниках составляет 1035 ± 19 млн лет и дает основание предполагать, что накопление отложений малочернорецкой свиты происходило не ранее чем в начале позднего рифея (неопротерозоя).

Для распространения этого вывода на всю барминскую серию необходимы изотопные данные по детритовым цирконам из пород румяничной и ямбозерской свит, относимых соответственно к более низким и более высоким уровням разреза серии. В настоящем сообщении приводятся результаты датирования цирконов из пород ямбозерской свиты.

Геологическая позиция и материал для анализа

Ямбозерская свита обнажена на протяжении двух километров по побережью Чёшской губы юго-западнее мыса Бармин и по побережью Баренцева моря на участке между мысами Бармин и Капитанский (рис. 1). По литологическому составу, условиям залегания, степени метаморфизма отложения ямбозерской свиты близки к породам малочернорецкой свиты, но поскольку залегают севернее выходов последней, то выделяются в ранге самостоятельного подразделения.

В разрезе ямбозерской свиты вдоль побережья Чёшской губы с юга на север наблюдается смена толщи глинистых и алевритовых сланцев переслаиванием кварцитопесчаников и метаморфизованных алевролитов, затем толщей глинистых сланцев, сменяющихся алевритовыми сланцами, и завершается разрез пачкой кварцитопесчаников на мысе Бармин (Оловянишников, 1998). Отложения метаморфизованы в условиях мусковит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации при температурах $300\text{--}500^\circ\text{C}$ (Новицкий, 1976), что значительно меньше температуры закрытия U-Pb изотопной системы в цирконах ($\sim 900^\circ\text{C}$), поэтому содержащаяся в них информация о возрасте размываемых пород питающих провинций должна сохраняться. Кроме того, при опробовании исключалось влияние магматических пород, при внедрении которых могло бы происходить омоложение цирконов, находящихся в экзоконтактных зонах вмещающих отложений ямбозерской свиты.

Отбор цирконов производился из образца 234 кварцитопесчаников, выходящих на поверхность в отливно-приливной зоне южной части мыса Бармин ($67,6361^\circ$ с.ш., $47,9996^\circ$ в.д.) и представляющих собой верхнюю часть видимого разреза ямбозерской свиты и в целом барминской серии.

Кварцитопесчаники серого цвета, тонкозернистые, массивные, со слабо выраженной сланцеватой текстурой за счет тонких прослоев, обогащенных мелкочешуйчатыми хлоритом, серицитом и углеродистым веществом. Породы имеют лепидогранобластовую структуру и сложены (в объемных %): кварцем (около 85), альбитом (1–2) и небольшим количеством слабосюртитизированного более основного плагиоклаза, калиевым полевым шпатом (1–2), обломками хлоритизированного биотита (1–2) и единичными чешуями мусковита. Литокласты, составляющие около 10%, представлены серицит-хлоритовыми, хлоритовыми и серицитовыми сланцами. Акцессорные минералы – ильменит, апатит, циркон, гранат, титанит, турмалин, монацит, ксенотим и лейкоксеновый агрегат. В.Г. Оловянишников (1998) отмечал, что в тяжелой фракции кварцитопесчаников ямбозерской свиты встречаются также рутил и андалузит. Реликтов псаммитовой структуры не сохранилось, цемент, вероятно,

первично глинистый, полностью перекристаллизован и превращен в мелкие чешуйки стильпно-мелана, хлорита и серицита.

Пробу 234 дробили вручную в стальной ступе до размера обломков <0,25 мм. Отмучивание измельченного материала производили в проточной водопроводной воде, после чего с применением бромформа выделяли тяжелую фракцию, из которой отделяли неэлектромагнитную фракцию, а из нее под бинокляром отбирали все попадающие в поле зрения цирконы. Все процедуры проводили в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар).

Выделенные из пробы цирконовые зерна имеют размер 50–200 мкм, в среднем около 100 мкм (рис. 2). Преобладают окатанные и полуокатанные зерна светло-розовые, розовые, розовато-желтые, с коэффициентом удлинения 1,5–2,5 и их обломки.

Определение U-Pb возраста цирконовых зерен выполнено в изотопном центре Marine Analytical Laboratories Калифорнийского университета (г. Санта-Крус, США) на одноколлекторном масс-спектрометре с ионизацией в индуктивно связанной плазме Element XR с высоким разрешением магнитного сектора и на установке лазерной абляции Photon Machines Analyte.H с эксимерным лазером с дли-

ной волны 193 нм и камерой Helex-2. Диаметр аналитического пятна 30 мкм. Испаренное вещество после добавления гелия и аргона проходит по тефлоновой трубке диаметром 4 мм и через тефлоновый сглаживающий коллектор «Squid». Энергия вспышки лазера ATLEX – 4,5 мДж. Плотность энергии контролировалась калибруемым аттенуатором. Пробоподготовка цирконов для масс-спектрометрического анализа, аналитические измерения и расчеты выполнялись согласно стандартным процедурам (Михайленко и др., 2016; Sharman et al., 2013).

Результаты и обсуждение

Всего было проанализировано 98 зерен (таблица). Практически все цирконы оказались древнее 1 млрд лет, поэтому для оценки возраста пород в источнике сноса использовались возрастные значения по отношению $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. Из рассмотрения исключены анализы с дискордантностью более 10%. Оставшихся результатов по 80 зернам достаточно для выявления возрастов пород на размывавшихся палеоводосборах, откуда поставлялся кластический материал, включая и цирконы, в область осадконакопления (Vermeesch, 2004).

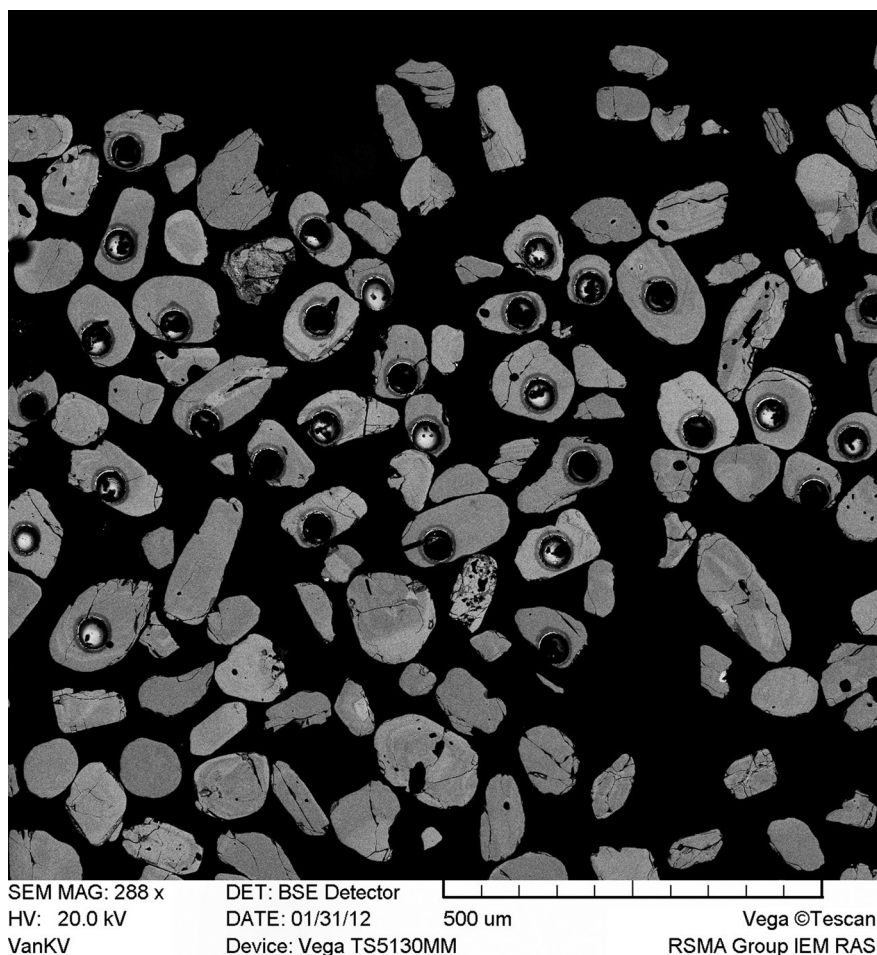


Рис. 2. Изображение зерен циркона из кварцитопесчаников ямбозерской свиты в обратно-отраженных электронах с аналитическими кратерами

Результаты U-Pb датирования детритовых цирконов из ямбозерской свиты: проба 234

№ зерна	Изотопные отношения						Rho	Возраст, млн лет				D,%
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ (%)	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ (%)	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ (%)		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	
1	0,0814	0,61	2,138	0,98	0,1834	0,84	0,74	1086	8	1231	12	13
2	0,0787	0,76	2,371	1,31	0,2217	1,15	0,81	1291	14	1165	15	-10
3	0,1025	0,54	5,140	1,07	0,3515	0,90	0,84	1942	15	1670	10	-14
4	0,0794	1,13	2,073	2,03	0,1992	1,78	0,82	1171	19	1182	22	1
5	0,0782	0,61	2,314	0,91	0,2124	0,87	0,72	1242	10	1152	12	-7
6	0,0776	0,44	2,112	0,83	0,1985	0,81	0,81	1167	9	1137	9	-3
7	0,1173	0,43	5,787	0,76	0,3594	0,71	0,76	1980	12	1916	8	-3
8	0,0865	0,47	2,928	0,75	0,2492	0,78	0,74	1434	10	1349	9	-6
9	0,1040	1,88	4,010	3,12	0,2711	0,88	0,74	1546	12	1697	34	10
10	0,1036	0,53	4,364	0,74	0,3068	0,77	0,72	1725	12	1690	10	-2
11	0,0990	0,50	3,800	0,92	0,2749	0,73	0,62	1566	10	1606	10	2
12	0,0923	0,76	1,920	2,60	0,1464	2,29	0,90	881	16	1474	14	67
13	0,0925	0,49	3,345	0,88	0,2601	0,79	0,78	1490	10	1478	9	-1
14	0,0901	0,52	3,020	0,92	0,2400	0,79	0,74	1388	10	1428	10	3
15	0,0767	0,48	1,985	0,96	0,1870	0,83	0,82	1105	8	1114	10	1
16	0,0992	0,60	4,100	2,56	0,2990	2,51	0,98	1686	24	1609	12	-5
17	0,0825	0,44	2,318	0,84	0,2015	0,82	0,76	1184	9	1258	8	6
18	0,0822	0,50	2,157	0,81	0,1904	0,73	0,71	1124	8	1250	10	11
19	0,1188	0,55	4,446	0,84	0,2702	1,02	0,78	1542	14	1938	10	26
20	0,0981	0,51	3,801	0,90	0,2799	0,82	0,77	1591	12	1588	10	0
21	0,0876	0,74	3,070	0,93	0,2516	0,83	0,62	1447	11	1374	14	-5
22	0,0822	0,50	2,566	0,78	0,2223	0,72	0,71	1294	8	1250	9	-3
23	0,1968	1,40	7,900	1,84	0,2856	0,82	0,45	1620	12	2800	22	73
24	0,0843	0,49	2,715	0,94	0,2351	0,76	0,77	1362	10	1299	10	-5
25	0,1416	0,60	8,510	0,59	0,4351	0,85	0,68	2329	16	2247	10	-3
26	0,0864	0,58	2,828	1,03	0,2400	1,00	0,79	1387	12	1347	12	-3
27	0,0719	0,58	1,820	1,95	0,1859	0,86	0,72	1100	12	983	12	-11
28	0,0902	0,54	3,147	0,95	0,2535	0,77	0,75	1456	10	1430	10	-2
29	0,0777	0,55	2,160	1,06	0,1970	0,81	0,77	1159	8	1140	10	-2
30	0,0732	0,62	1,895	0,79	0,1853	0,70	0,60	1096	7	1020	13	-7
31	0,0887	0,51	3,074	1,02	0,2494	0,92	0,80	1436	12	1398	10	-3
32	0,0968	0,57	3,836	1,04	0,2844	0,84	0,76	1614	12	1563	10	-3
33	0,1756	0,54	12,23	0,86	0,4969	0,76	0,74	2600	16	2612	10	0
34	0,0734	0,62	2,028	0,96	0,1984	0,78	0,73	1167	8	1026	12	-12
35	0,0912	0,55	3,491	0,82	0,2697	0,82	0,69	1540	11	1451	10	-6

Продолжение табл.

№ зерна	Изотопные отношения						Rho	Возраст, млн лет				D, %
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1σ (%)	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1σ (%)	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1σ (%)		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1σ	
36	0,0898	0,50	2,844	0,88	0,2234	0,90	0,77	1300	10	1422	10	9
37	0,0799	0,52	2,148	0,81	0,1888	0,90	0,77	1115	10	1195	10	7
38	0,0794	0,48	2,344	0,92	0,2087	0,84	0,78	1222	9	1183	10	-3
39	0,0838	0,52	2,623	0,93	0,2191	0,87	0,75	1277	10	1288	10	1
40	0,0830	0,55	2,365	0,76	0,2022	0,79	0,78	1187	8	1270	11	7
41	0,1202	0,50	6,021	0,77	0,3587	0,78	0,79	1976	14	1979	9	0
42	0,0965	0,67	3,343	1,14	0,2476	0,95	0,77	1426	12	1558	12	9
43	0,1076	0,56	4,524	1,02	0,3010	0,98	0,80	1696	14	1759	10	4
44	0,0922	0,70	3,455	0,88	0,2674	0,77	0,61	1527	10	1472	14	-4
45	0,0781	0,64	1,130	1,81	0,1035	1,59	0,91	635	10	1150	12	81
46	0,0725	0,97	1,405	1,17	0,1378	1,02	0,54	832	8	1000	20	20
47	0,0783	0,52	2,231	0,81	0,2033	0,79	0,74	1193	8	1155	10	-3
48	0,1776	0,62	12,53	1,08	0,5200	1,06	0,81	2700	24	2631	10	-3
49	0,0899	0,51	3,327	0,84	0,2660	0,73	0,71	1520	10	1424	10	-6
50	0,0721	0,49	1,794	0,92	0,1747	0,86	0,72	1038	8	989	10	-5
51	0,0829	0,48	2,687	0,74	0,2287	0,72	0,73	1328	8	1267	10	-5
52	0,0799	0,61	2,290	1,00	0,2020	0,96	0,68	1186	10	1195	12	1
53	0,0959	0,57	3,938	0,90	0,2888	0,81	0,73	1636	12	1546	10	-6
54	0,0784	0,45	2,350	0,83	0,2111	0,76	0,76	1235	8	1158	12	-6
55	0,0935	0,69	3,528	0,96	0,2732	0,90	0,54	1557	12	1498	13	-4
56	0,0791	0,56	2,101	0,88	0,1934	0,88	0,71	1140	9	1175	11	3
57	0,1056	0,57	4,344	0,85	0,2996	0,77	0,64	1690	12	1725	10	2
58	0,0859	0,57	2,203	0,98	0,1867	0,83	0,76	1104	8	1336	11	21
59	0,0935	0,53	3,137	0,88	0,2474	0,85	0,76	1425	11	1498	10	5
60	0,0856	0,76	2,542	0,96	0,2165	0,85	0,64	1263	10	1330	15	5
61	0,0837	0,72	2,421	0,93	0,2127	0,82	0,66	1243	10	1286	14	4
62	0,0843	0,59	2,414	0,91	0,2087	0,93	0,63	1222	10	1300	12	6
63	0,0922	0,60	3,145	0,84	0,2480	0,75	0,66	1428	10	1472	12	3
64	0,0799	0,55	2,056	0,95	0,1857	0,81	0,75	1098	8	1195	10	9
65	0,0825	0,48	2,296	0,83	0,1978	0,81	0,77	1164	9	1258	10	8
66	0,0983	0,61	3,795	0,83	0,2739	0,82	0,69	1560	12	1592	12	2
67	0,0861	0,56	2,812	0,82	0,2332	0,77	0,67	1352	10	1340	11	-1
68	0,0964	0,57	2,965	0,78	0,2174	0,85	0,73	1268	10	1556	10	23
69	0,0920	0,50	3,041	0,89	0,2335	0,81	0,78	1353	10	1468	10	8
70	0,1866	0,51	12,08	0,87	0,4666	0,90	0,80	2468	18	2713	8	10
71	0,1125	0,58	5,182	0,90	0,3315	0,83	0,72	1846	14	1840	10	0

Окончание табл.

№ зерна	Изотопные отношения						Rho	Возраст, млн лет				D,%
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ (%)	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ (%)	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ (%)		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	
72	0,0893	0,67	2,828	1,22	0,2302	0,91	0,70	1336	11	1411	13	6
73	0,0823	0,50	2,559	0,88	0,2215	0,86	0,76	1290	10	1253	10	-3
74	0,0814	0,55	2,354	0,83	0,1844	0,79	0,72	1091	8	1231	11	13
75	0,0930	0,86	2,190	1,07	0,1509	1,09	0,56	906	10	1488	16	64
76	0,0926	0,59	3,566	0,80	0,2378	0,80	0,70	1375	10	1480	12	8
77	0,0952	0,52	3,475	0,86	0,2250	0,84	0,73	1308	10	1532	10	17
78	0,0991	0,55	3,633	0,84	0,2286	0,83	0,77	1327	10	1608	10	21
79	0,1133	0,53	5,422	0,88	0,3047	0,74	0,76	1715	11	1853	10	8
80	0,0806	0,58	2,269	0,88	0,1840	0,82	0,69	1089	8	1212	12	11
81	0,0776	0,46	2,045	1,05	0,1750	1,00	0,83	1040	10	1137	7	9
82	0,0868	0,81	2,614	1,34	0,2089	1,20	0,73	1223	13	1356	16	11
83	0,0970	0,52	3,925	0,84	0,2827	0,78	0,76	1605	11	1567	10	-2
84	0,0932	0,52	3,500	1,21	0,2792	1,02	0,90	1587	14	1492	10	-6
85	0,0926	0,70	3,486	0,98	0,2759	0,76	0,63	1571	10	1480	14	-6
86	0,1162	0,52	5,928	0,84	0,3686	0,76	0,72	2023	13	1899	10	-6
87	0,1149	0,48	5,167	0,90	0,3274	0,84	0,77	1826	14	1878	8	3
88	0,0758	1,06	1,901	1,29	0,1859	0,86	0,56	1099	8	1090	14	-1
89	0,0904	0,47	3,230	0,73	0,2553	0,74	0,70	1466	10	1434	9	-2
90	0,0734	0,88	1,774	1,07	0,1722	0,90	0,52	1024	8	1025	18	0
91	0,0826	0,56	2,378	0,80	0,2073	0,68	0,63	1214	8	1260	11	4
92	0,0816	0,48	2,411	0,87	0,2125	0,82	0,75	1242	10	1236	10	1
93	0,0986	0,76	3,755	0,97	0,2789	0,86	0,58	1586	12	1598	14	1
94	0,1107	0,63	4,890	1,01	0,3166	0,98	0,73	1773	15	1811	12	2
95	0,0766	0,54	1,955	0,97	0,1792	0,84	0,74	1063	8	1111	10	5
96	0,0809	0,48	2,193	1,00	0,1918	0,96	0,82	1131	10	1219	9	8
97	0,0830	0,58	2,634	0,87	0,2259	0,80	0,72	1313	10	1270	12	-3
98	0,0857	0,58	2,686	1,12	0,2259	0,91	0,77	1313	10	1332	12	1

Примечание: Rho – коэффициент корреляции между ошибками определения изотопных отношений $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ и $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, D – дискордантность: $D = 100 \left[\frac{\text{возраст } (^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})}{\text{возраст } (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})} - 1 \right]$; серым фоном выделены датировки с $D > |10|\%$,

Результаты изучения цирконов (рис. 3, 4) показывают, что $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возрасты охватывают интервал 989–2713 млн лет, в пределах которого выделяются возрастные максимумы 1013, 1154, 1258, 1475, 1594 и 1909 млн лет. Распределение датировок свидетельствует о том, что при формировании песчаников ямбозерской свиты доминирующая роль принадлежала продуктам размыва нижне- и среднерифейских кристаллических комплексов или толщ, сложенных продуктами их разрушения,

на долю которых приходится 78% датировок. Раннепротерозойский возраст имеют 15% изученных цирконов, архейский возраст зафиксирован в трех зернах.

Нижний предел «седиментационного» возраста ямбозерской свиты определяется по минимальным возрастам цирконов. Средневзвешенный возраст трех самых молодых зерен из изученных цирконов (таблица, № 30, 50 и 90), равный 1004 ± 15 млн лет (рис. 5), дает основание считать,

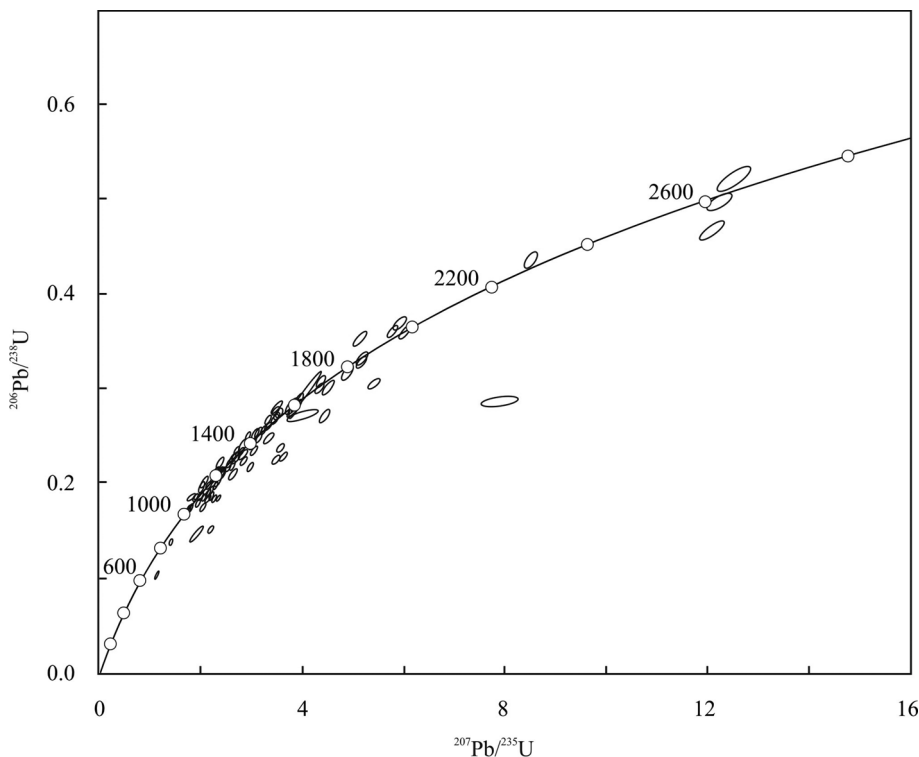


Рис. 3. Диаграмма Аренса-Везерилла с конкордией. Нанесены все анализы детритовых цирконов из обр. 234. Центры эллипсов погрешностей (2σ) – координаты аналитических точек

что накопление осадков, слагающих ямбозерскую свиту, имело место не ранее начала позднего рифея.

Характер распределения возрастов детритовых цирконов из ямбозерской свиты сопоставим со спектром распределения возрастов детритовых цирконов из малочерноречек свиты (рис. 4). Это подтверждается тестом Колмогорова-Смирнова (KS-тест или критерий согласия Колмогорова-Смирнова), проведенным в программе MS-Excel с помощью макроса, разработанного G. Gehrels and J. Guynn (Университет Аризоны, Тусон, США) и размещенного для свободного использования на сайте: <http://sites.google.com/a/laserchron.org/laserchron/home>. Величина KS-коэффициента составляет 0,147 и показывает высокую степень сходства характера распределения возрастов, поскольку превышает пороговое значение 0,05, отвечающее стандартному уровню значимости KS-теста, равному 95%. То есть, несмотря на то что анализировались цирконы из песчаников, участвующих в строении фрагментов разрезов малочерноречек и ямбозерской свит, относимых к разным уровням сводного разреза барминской серии, отсутствие существенных отличий в возрастных характеристиках цирконов из этих песчаников свидетельствует о том, что 4-километровая толща осадков малочерноречек и ямбозерской свит формировалась за счет накопления продуктов эрозии одних и тех же источников сноса.

Возраст зерна циркона в общем случае интерпретируется как время кристаллизации породы, в которой он образовался. При отложении терригенных осадков материал поступает из питающей провинции (области эрозии), в пределах которой

на эрозионном срезе в это время экспонировались комплексы источников цирконов – один или несколько разновозрастных магматических и/или метаморфических комплексов или более древние по отношению к формирующимся осадкам осадочные породы, содержащие продукты эрозии кристаллических комплексов.

Для песчаников Северного Тимана в позднем рифее в качестве основных источников сноса служили породные комплексы ниже- и среднерифейского возраста. Это предположение, так же как и сформированные ранее предположения для верхнерифейских песчаников поднятия Джежим-парма на Южном Тимане (Кузнецов и др., 2010), верхневендской тамбукской и нижнекембрийских песчаников брусовской свиты юго-восточного Беломорья (Кузнецов и др., 2014б, 2015), достаточно отчетливо подтверждается сходством интервалов цирконовых возрастов из всех этих песчаников со времени проявления аккреционных и коллизионных процессов, сопровождавшихся образованием магматических пород, участвующих в строении фундамента Восточно-Европейской платформы, многочисленные сведения об изотопных возрастах которых приведены в работах (Арзамасцев и др., 2009; Балувев и др., 2016; Баянова и др., 2002; Глубинное строение..., 2010; Пушкарев и др., 1978; Светов, Свириденко, 1995; Терехов, Балувев, 2011 и ссылки в них). Датировки охватывают промежуток времени от момента становления древнего остова Восточно-Европейской платформы (Протобалтики) в результате сочленения в конце раннего протерозоя (1,8–1,7 млрд лет) архейско-раннепротерозойских

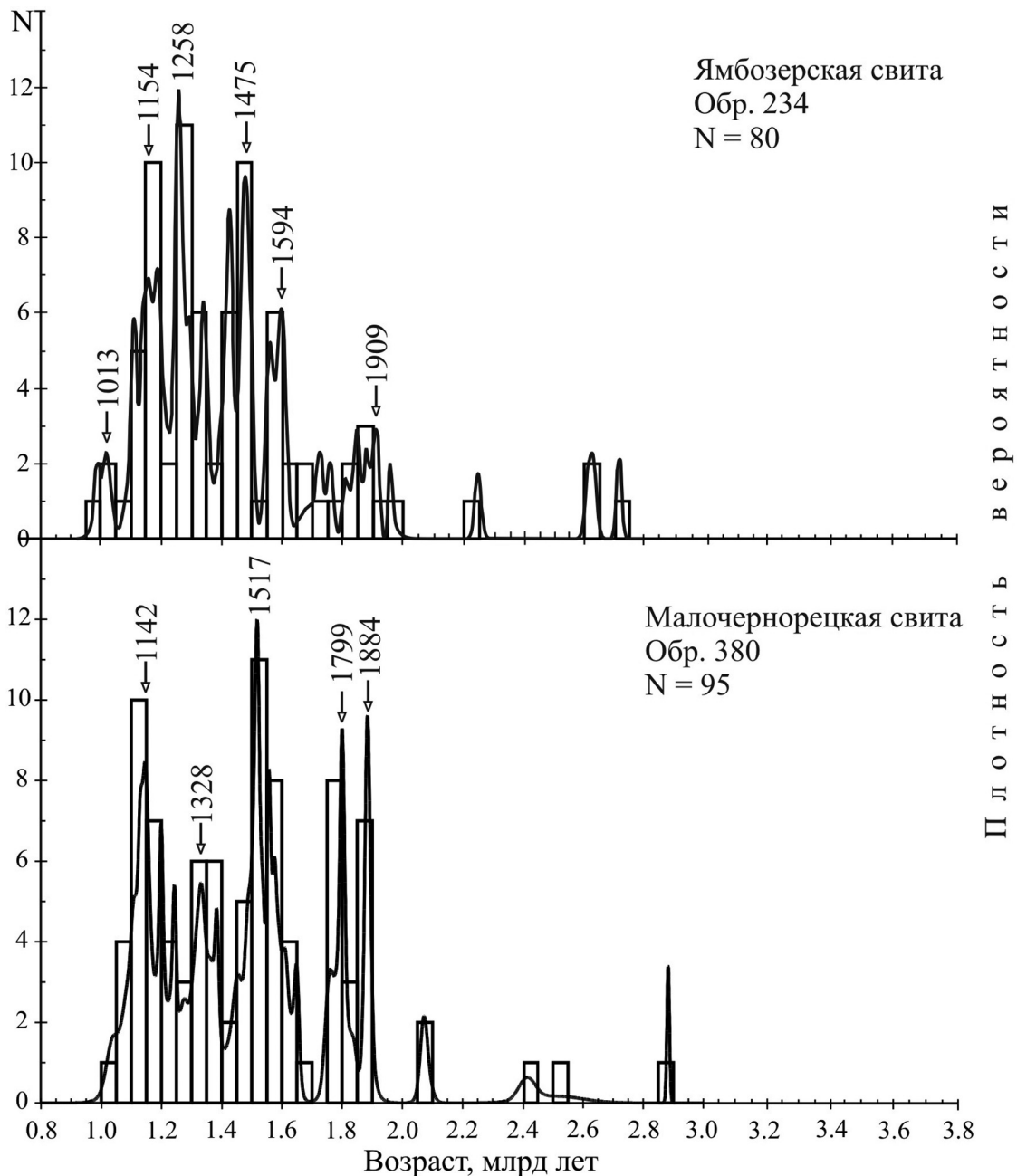
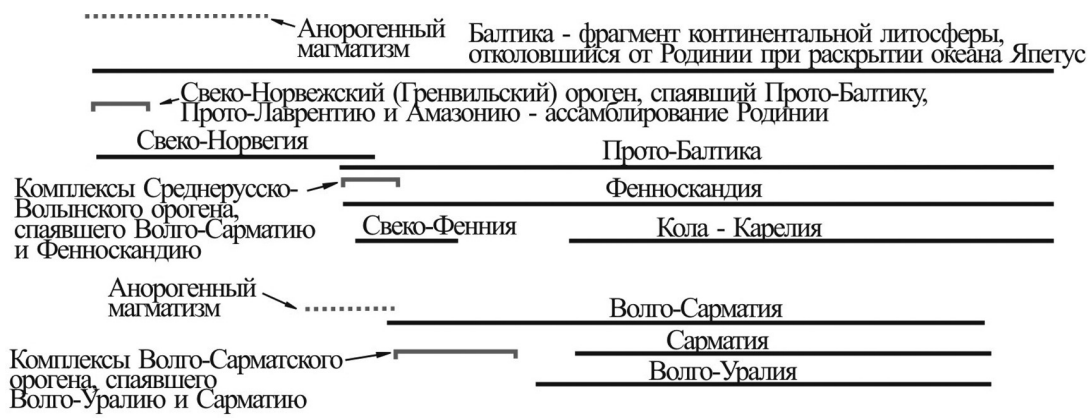
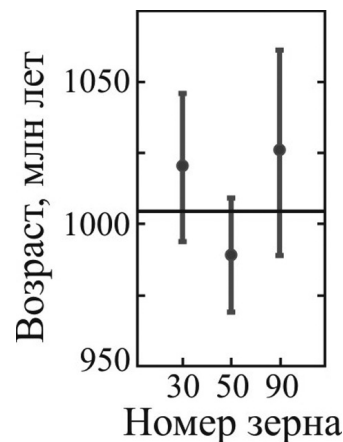


Рис. 4. Сводные графики (гистограммы и кривые плотности вероятности) распределения $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возрастов детритовых цирконов из терригенных отложений малочернорецкой (Андреичев и др., 2014) и ямбозерской свит барминской серии. Над графиками отрезками отмечены временные диапазоны основных фаз тектогенеза и проявления магматической активности в пределах Балтики (Кузнецов и др., 2014 а, б).

литосферных мегаблоков Волго-Сарматии и Фенноскандии с образованием Среднерусско-Волынского коллизионного орогена (Бибикина и др., 1995; Богданова и др., 2006; Самсонов и др., 2005; Bogdanova et al., 2008; Claesson et al., 2001; Cocks, Torsvik, 2005) до формирования гранулит-гнейсового Sveконорвежского орогенного пояса в период 1,14–0,90 млрд лет (Gorbatshev, Bogdanova, 1993; Gower et al., 1990; Winchester, 1988), который образовался при вхождении Протобалтики в суперконтинент Родиния (Хаин, 2001; Li et al., 2008; Meert, Powell, 2001).

Таким образом, средневзвешенный U-Pb возраст трех наиболее молодых цирконовых зерен из кварцитопесчаников ямбозерской свиты, залегающей в верхней части видимого разреза барминской серии, составляет 1004 ± 15 млн лет. Это дает основание считать, что накопление отложений ямбозерской свиты происходило не ранее начала позднего рифея (неопротерозоя). Изученные породы сформировались преимущественно за счет привноса в позднерифейский осадочный бассейн, развивавшийся на Тиманской пассивной континентальной окраине (Кузнецов, 2009а, 2009б; Пучков, 1975, 2010), терригенного материала из разрушавшихся кристаллических комплексов фундамента Восточно-Европейской платформы, разновозрастных комплексов, обнаженных сейчас в пределах Фенноскандинавского (Балтийского) щита, а также комплексов,

Рис. 5. Средневзвешенный $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст для трех наиболее молодых зерен циркона из кварцитопесчаника ямбозерской свиты (обр. 234) – 1004 ± 15 млн лет, СКВО = 2,6. Величина отрезков соответствует погрешности 2σ



участвующих в строении Среднерусского орогена. Полученные результаты по цирконам из кварцитопесчаников ямбозерской свиты сходны с U-Pb данными по цирконам из пород малочерноречек свиты, слагающих среднюю часть барминской серии, и в совокупности свидетельствуют о том, что осадки формировались за счет накопления продуктов эрозии одних и тех же питающих провинций.

Авторы признательны Н.Б. Кузнецову за предметные и конструктивные замечания, которые помогли существенно улучшить статью. Работа выполнена по теме госзадания № 115012130018 ИГ Коми НЦ УрО РАН и при частичной финансовой поддержке Комплексной программы УрО РАН, проект 15-18-5-40.

ЛИТЕРАТУРА

Акимова Г.Н. Проблематика верхнепротерозойских отложений Северного Тимана // Регион. геология и металлогения. 1996. № 5. С. 132–135.

Андреичев В.Л., Ларионов А.Н. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ датирование единичных кристаллов циркона из магматических пород Северного Тимана // Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты. Тезисы докл. I Российской конференции по изотопной геохронологии. М.: ГЕОС, 2000. С. 26–28.

Андреичев В.Л., Соболева А.А., Герелс Дж. U–Pb возраст и источники сноса обломочных цирконов из верхнедокембрийских отложений Северного Тимана // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2014. Т. 22, № 2. С. 32–45.

Арзамасцев А.А., Федотов Ж.А., Арзамасцева Л.В. Дайковый магматизм северо-восточной части Балтийского щита. СПб.: Наука, 2009. 383 с.

Балуев А.С., Морозов Ю.А., Терехов Е.Н. и др. Тектоника области сочленения Восточно-Европейского кратона и Западно-Арктической платформы // Геотектоника. 2016. № 5. С. 3–35.

Баянова Т.Б., Пожиленко В.И., Смолькин В.Ф. и др. Каталог геохронологических данных по северо-восточной части Балтийского щита // Геология рудных районов Мурманской области / Ред. Ф.П. Митрофанов. Приложение № 3. Апатиты: Кольский НЦ РАН, 2002. 53 с.

Бибикина Е.В., Богданова С.В., Горбачев Р.М. и др. Изотопный возраст, природа и структура докембрийской коры в Беларуси // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1995. Т. 3, № 6. С. 68–78.

Богданова С.В., Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И. и др. Проект EUROBRIDGE: палеопротерозойская аккреция

и коллизия коры в Фенноскандии и Сарматии. Геология и геофизические образы // Строение и динамика литосферы Восточной Европы: Результаты исследований по программе EUROPROBE: Очерки по региональной геологии России / Ред. Н.И. Павленкова. М.: РОСНЕДРА, РАН, ГЕОКАРТ, 2006. С. 221–290.

Верхний докембрий европейского севера СССР (объяснит. зап. к схеме стратиграфии) / Ред. В.А. Дедеев, Б.М. Келлер. Сыктывкар: Коми филиал АН СССР, 1986. 40 с.

Гецен В.Г. О литологии и условиях осадконакопления докембрийских отложений Северного Тимана // Тектоника и древние толщи Тимана и Приполярного Урала / Ред. В.А. Разницын. Сыктывкар: Институт геологии Коми филиала АН СССР, 1968. С. 55–66.

Гецен В.Г. Строение фундамента Северного Тимана и полуострова Канин. Л.: Наука, 1975. 144 с.

Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: Интерпретация материалов по опорному профилю 1–ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС / Ред. А.Ф. Морозов. М.: ГЕОКАРТ, ГЕОС, 2010. Т. 1. 408 с. Т. 2. 400 с.

Журавлев В.С., Забродин В.Е., Раабен М.Е., Черный В.Г. К стратиграфии фундамента Тиманского кряжа // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1966. Т. 41, вып. 2. С. 49–75.

Кузнецов Н.Б. Комплексы протоуралитид-тиманид и позднедокембрийско-раннепалеозойская эволюция восточного и северо-восточного обрамления Восточно-Европейской платформы: Автореф. дисс. ... доктора геол.-минерал. наук. М.: ИФЗ РАН, 2009а. 49 с.

Кузнецов Н.Б. Кембрийская коллизия Балтики и Арктиды – начальный этап «собрания» северной части позднепалеозойско-раннемезозойской Пангеи // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2009б. Т. 84, вып. 1. С. 18–38.

Кузнецов Н.Б., Натанов Л.М., Белоусова Е.А. и др. Первые результаты U/Pb-датирования и изотопно-геохимического изучения детритных цирконов из позднедокембрийских песчаников Южного Тимана (увал Джеджим-Парма) // Докл. АН. 2010. Т. 435, № 6. С. 798–805.

Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Шаццло А.В. и др. Первые U-Pb данные о возрастах детритных цирконов из песчаников верхнеэмской такатинской свиты Западного Урала (в связи с проблемой коренных источников уральских алмазоносных россыпей) // Докл. АН. 2014а. Т. 455, № 4. С. 427–432.

Кузнецов Н.Б., Алексеев А.С., Белоусова Е.А. и др. Тестирование моделей поздневендской эволюции северо-восточной периферии Восточно-Европейской платформы на основе первых результатов U/Pb-изотопного датирования (LA-ICP-MS) детритных цирконов из верхневендских песчаников Юго-Восточного Беломорья // Докл. АН. 2014б. Т. 458, № 3. С. 313–317.

Кузнецов Н.Б., Алексеев А.С., Белоусова Е.А. и др. Первые результаты изотопного U/Pb-датирования (LA-ICP-MS) детритных цирконов из нижнекембрийских песчаников брусской свиты юго-восточного Беломорья: уточнение времени коллизии Балтики и Арктиды // Докл. АН. 2015. Т. 460, № 3. С. 310–314.

Михайленко Ю.В., Соболева А.А., Хоуриган Дж.К. U-Pb возраст детритовых цирконов из верхнедокембрийских отложений полуостровов Средний и Рыбачий (северное обрамление Кольского полуострова) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2016. Т. 24, № 5. С. 3–27.

Новицкий И.П. Петрология метаморфического комплекса полуострова Канин и Северного Тимана: Автореф. дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. М.: Моск. ун-т, 1976. 24 с.

Оловянишников В.Г. Верхний докембрий Тимана и полуострова Канин. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 164 с.

Оловянишников В.Г. Геологическое развитие Северного Тимана и полуострова Канин. Сыктывкар: Геопринт, 2004. 80 с.

Пучков В.Н. Структурные связи Приполярного Урала и Русской платформы. Л.: Наука, 1975. 203 с.

Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.

Пушкарев Ю.Д., Кравченко Э.В., Шестаков Г.И. Геохронометрические реперы докембрия Кольского полуострова. Л.: Наука, 1978. 136 с.

Самсонов А.В., Бибикова Е.В., Петрова А.Ю., Герасимов В.Ю. Тектонические этапы формирования Среднерусского складчатого пояса, центральная часть кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы: геохимия, геохронология и петротектоника // Тектоника

земной коры и мантии: Тез. докл. XXXVIII Тектонического совещания. Т. 2. М.: Моск. ун-т, 2005. С. 169–171.

Светов А.П., Свириденко Л.П. Рифейский вулканоплутонизм Фенноскандинавского щита. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1995. 211 с.

Терехов Е.Н., Балуев А.С. Постскладчатый магматизм (1,85–1,7 млрд лет) восточной части Балтийского щита: корреляция структурного положения его проявлений с эволюцией вмещающих комплексов // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2011. Т. 19, № 6. С. 26–43.

Хаун В.Е. Тектоника континентов и океанов (2000). М.: Научный мир, 2001. 606 с.

Bogdanova S.V., Bingen B., Gorbatschev R. et al. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia // Precambrian Res. 2008. Vol. 160. P. 23–45.

Claesson S., Bogdanova S.V., Bibikova E.V., Gorbatschev R. Isotopic evidence of Palaeoproterozoic accretion in the basement of the East European Craton // Tectonophysics. 2001. Vol. 339. P. 1–18.

Cocks L.R.M., Torsvik T.H. Baltica from the late Precambrian to mid Palaeozoic: the gain and loss of a terranes's identity // Earth Sci. Rev. 2005. Vol. 72. P. 39–66.

Fedo C.M., Sircombe K.N., Rainbird R.H. Detrital zircon analysis of sedimentary record / Eds. J.M. Hanchar, P.W.O. Hoskin. Rev. Mineral Geochem. 2003. Vol. 53. P. 277–303.

Gorbatschev R., Bogdanova S. Frontiers in the Baltic Shield // Precambrian Res. 1993. Vol. 64. P. 3–21.

Gower C.F., Rivers T., Ryan A.B. Mid-Proterozoic Laurentia–Baltica: an overview of its geological evolution and a summary of the contributions made by this volume // Mid-Proterozoic Laurentia–Baltica / Eds. C.F. Gower, T. Rivers, A.B. Ryan. Geol. Assoc. Canada. 1990. P. 1–22.

Larionov A.N., Andreichev V.L., Gee D.G. The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U-Pb zircon ages of gabbros and syenite // The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica / Eds. D.G. Gee, V. Pease. Geol. Soc. London. Mem. 2004. № 30. P. 69–74.

Li Z.X., Bogdanova S.V., Collins A.S. et al. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis // Precambrian Res. 2008. Vol. 160. P. 179–210.

Meert J.G., Powell C.M. Editorial: Assembly and break-up of Rodinia // Precambrian Res. 2001. Vol. 110. P. 1–8.

Sharman G.R., Graham S.A., Grove M.A., Hourigan J.K. A reappraisal of the early slip history of the San Andreas Fault, Central California, USA // Geology. 2013. Vol. 41, N 7. P. 727–730.

Vermeesch P. How many grains are needed for a provenance study? // Earth Planet. Sci. Lett. 2004. Vol. 224. P. 441–445.

Willner A.P., Sindern S., Metzger R. et al. Typology and single grain U/Pb ages of detrital zircons from Proterozoic sandstones in the SW Urals (Russia): early time on the eastern margin of Baltica // Precambrian Res. 2003. Vol. 124. P. 1–20.

Winchester J.A. Later Proterozoic environments and tectonic evolution in the northern Atlantic lands // Later Proterozoic Stratigraphy of the Northern Atlantic Regions / Ed. J.A. Winchester. Blackie, Glasgow, 1988. P. 253–270.

Сведения об авторах: *Андреичев Валентин Леонидович* – докт. геол.-минерал. наук, гл. науч. сотр. группы изотопной геохимии ИГ Коми НЦ УрО РАН, *e-mail:* izo@geo.komisc.ru; *Соболева Анна Алексеевна* – канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр. лаб. петрографии ИГ Коми НЦ УрО РАН, *e-mail:* aa_soboleva@mail.ru; *Хоуриган Джеремей Кейт (Hourigan Jeremy Keith)* – associate professor, Earth and Planetary Sciences Department, University of California, Santa Cruz, California, USA, *e-mail:* hourigan@ucsc.edu