

УДК 55(234:852), 551/732

О ВОЗРАСТЕ ФОРМИРОВАНИЯ ОСНОВАНИЯ ШПИЦБЕРГЕНА: U–Pb-ДАТИРОВАНИЕ ДЕТРИТНОГО ЦИРКОНА ИЗ ВЕРХНЕДОКЕМБРИЙСКИХ И НИЖНЕКАМЕННОУГОЛЬНЫХ ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОД СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЗЕМЛИ НОРДЕНШЕЛЬДА

© 2017 г. А. Н. Сироткин^{1,*}, член-корреспондент РАН Ю. Б. Марин², Н. Б. Кузнецов^{3,4},
Г. А. Коробова², Т. В. Романюк^{5,6,**}

Поступило 30.01.2017 г.

Изучен характер распределения возрастов детритного циркона из верхнерифейских и раннекаменноугольных песчаников северо-западной части Земли Норденшельда (о. Западный Шпицберген). Полученные результаты дополняют данные, известные ранее для пород докембрийских и палеозойских толщ запада Шпицбергена. Совместное рассмотрение этих данных показывает, что временной интервал средний рифей – ранний карбон включительно подразделяется (как минимум) на 5 этапов, во время которых питающие провинции, поставлявшие детрит в осадочные бассейны, реликты которых представлены в современной структуре Западного Шпицбергена, существенно различались. Самый древний из выявленных эпизодов изменения источников осадочного материала (рубеж среднего и позднего рифея) соответствует времени консолидации древнего фундамента архипелага Шпицберген.

DOI: 10.7868/S0869565217330143

Время консолидации фундамента разных частей Западной Арктики, питающие провинции, возраст и палеогеографические условия формирования палеозойских и мезозойских осадочных бассейнов, сформированных на этом фундаменте – обсуждаемые вопросы. Для их решения использован метод датирования детритных зёрен циркона (dZr) из песчаников и метапесчаников, слагающих верхнедокембрийские и палеозойские толщи северо-запада Земли Норденшельда (о. Западный Шпицберген) (рис. 1, врезка).

На о. Западный Шпицберген развиты в разной степени метаморфизованные протерозойские образования, а также толщи разных уровней

фанерозоя [3]. На северо-западе Земли Норденшельда (рис. 1) в видимом основании разреза залегает толща дислоцированных и зелёсланцевометаморфизованных карбонатных и терригенных пород верхнерифейской серии Софиебоген, выше – диамиктиты вендской свиты Кап-Линне. На протерозойских образованиях с ярко выраженным структурным несогласием залегает мощная (6–7 км) осадочная толща, включающая значительную часть разреза каменноугольной системы, перми, триаса, юры, нижнего мела и залегающий с несогласием палеоген. Мезозойская часть этой последовательности известна как разрез “ГЕОТОП” (или Festningen [10]) – типовой разрез мезозоя западной части архипелага Шпицберген.

Результаты ранее датированных dZr из песчаников нескольких уровней триаса [1], матрикса юрских конгломератов [6], песчаников нижнего мела и матрикса конгломератов палеогена [1] показывают, что чем моложе породы, тем более значимую роль в наборах dZr играют древние возрасты. Так, в триасе доминируют dZr с возрастными 430–320 млн лет, являющиеся, по-видимому, продуктами эрозии каледонских сооружений. В юре преобладают dZr с возрастными 726–634 млн лет – продукты эрозии Протоуральско-Тиманского орогена. В мелу главную роль играют dZr из гренвильских и

¹Полярная морская геологоразведочная экспедиция, Ломоносов, Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский горный университет

³Геологический институт Российской Академии наук, Москва

⁴Казанский (Приволжский) федеральный университет

⁵Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта Российской Академии наук, Москва

⁶Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва

*E-mail: pechenga-67@yandex.ru

**E-mail: t.romanyuk@mail.ru

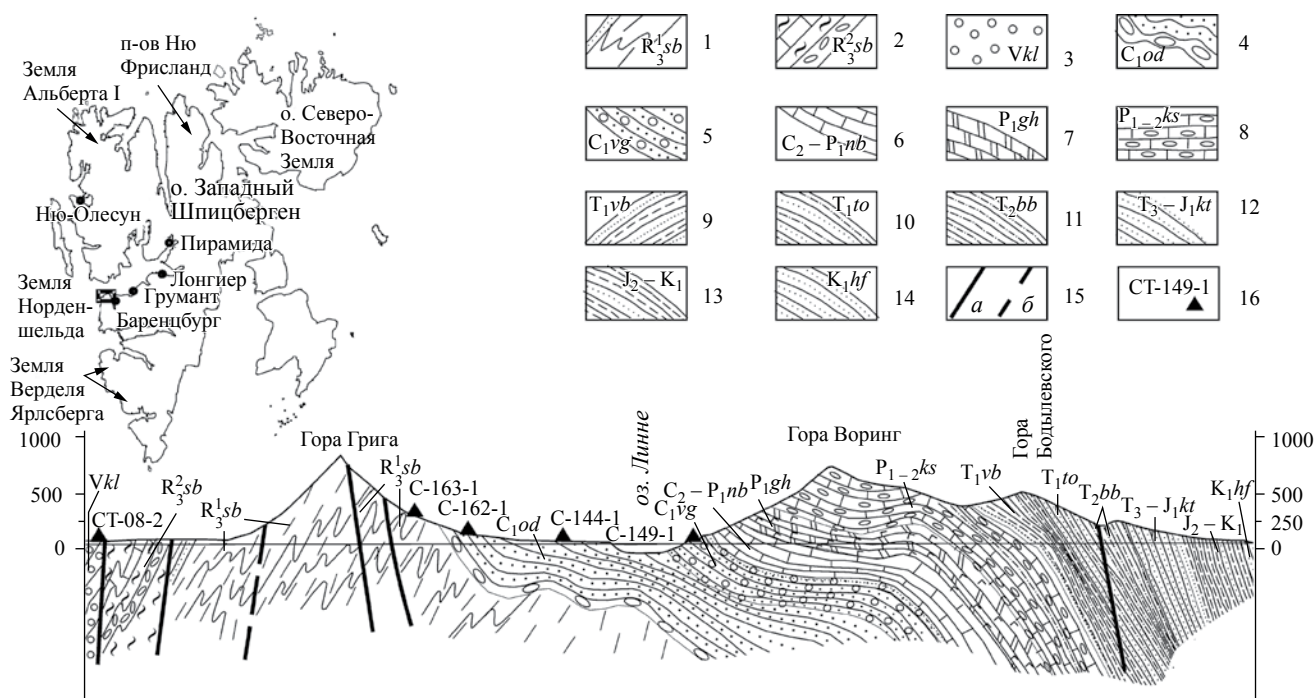


Рис. 1. Геологический разрез через северо-западную часть Земли Норденшельда. 1, 2 — серия Софиебоген (1 — нижняя кварцито-сланцевая, 2 — верхняя сланцево-карбонатная с конгломератами толщи); 3 — свита Кап-Линне, конгломераты; 4 — свита Орустдален, песчаники, конгломераты; 5 — свита Вегард, гравелиты, песчаники, конгломераты; 6 — свита Норденшельдбреен, известняки; 7 — свита Гипсхукен, гипсы, доломиты; 8 — свита Кап-Старостин, окремнённые известняки; 9 — свита Вардебухта, аргиллиты, алевролиты, песчаники; 10 — свита Твиллингдден, песчаники, алевролиты; 11 — свита Браваисбергет, алевролиты; 12 — серия Кап-Тоскана, песчаники; 13 — подсерия Янусфеллет, аргиллиты, песчаники, конгломераты; 14 — свита Гельвецияфеллет, песчаники, аргиллиты; 15 — разломы, установленные (а) и предполагаемые (б); 16 — места отбора проб.

карельских источников сноса. В нижнем палеогене доминируют карельские и позднкарельские dZr .

Для изучения верхнерифейско-каменноугольных образований, подстилающих разрез “ГЕОТОП”, нами были отобраны пробы из верхнего рифея (С-163-1 — мусковитовый кварцит серии Софиебоген), венда (Ст-08-2 — матрикс диамиктитов свиты Кап-Линне), нижнего карбона (С-144-1, С-162-1 — песчаник и гравелит свиты Орустдален, С-149-1 — гравелит из свиты Вегард). Сепарация и отбор dZr (Л.П. Фёдорова), изготовление препаратов и изотопное LA-ICP-MS-датирование dZr выполнено в ЦИИ ВСЕГЕИ (И.Н. Капитонов). Дискордантность анализов вычислена по формуле

$$100\% \cdot \left[\frac{\text{возраст}^{(206\text{Pb}/238\text{U})}}{\text{возраст}^{(206\text{Pb}/238\text{U})}} - 1 \right]$$

Далее для интерпретации использовали только датировки с $|D| \leq 10\%$. Для dZr моложе 1 млрд лет возраст вычисляли по $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, а для более древних dZr — по $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. Результаты датирования dZr приведены на рис. 2Б, В, Ж, З, И и в табл. 1. Для верхнерифейской (С-163-1), вендской

(Ст-08-2) проб и пробы, отобранной из базального уровня разреза нижнего карбона (С-144-1), возрастные спектры dZr сходны. В них доминируют средне- и раннерифейские зёрна с частотными пиками в интервале 1–1,4 млрд лет. Кроме того, в этих пробах есть единичные раннепротерозойские и архейские зёрна. В породах из более высоких уровней нижнего карбона (С-162-1, С-149-1) роль средне-, раннерифейских dZr меньше.

Рис. 2. Результаты изотопного датирования (гистограммы и кривые плотности вероятности) детритного циркона из докембрийских и каменноугольных толщ, подстилающих разрез “ГЕОТОП” и их сопоставление с возрастными детритного циркона других районов западной части Шпицбергена. Справа показана временная шкала и чёрными стрелками привязка к ней проб. Штриховые интервалы на шкале показывают оценку возраста проб. Серые толстые стрелки маркируют примерные рубежи пяти этапов изменения питающих провинций, а серые полосы на шкале времени — оценку временного интервала, во время которого это изменение могло произойти. Чёрные полосы на шкале времени — орогении: Ур — уральская, Ка — каледонская, П-Т — протонорвежско-тиманская, С-Н — свеко-норвежская (гренвилевская).

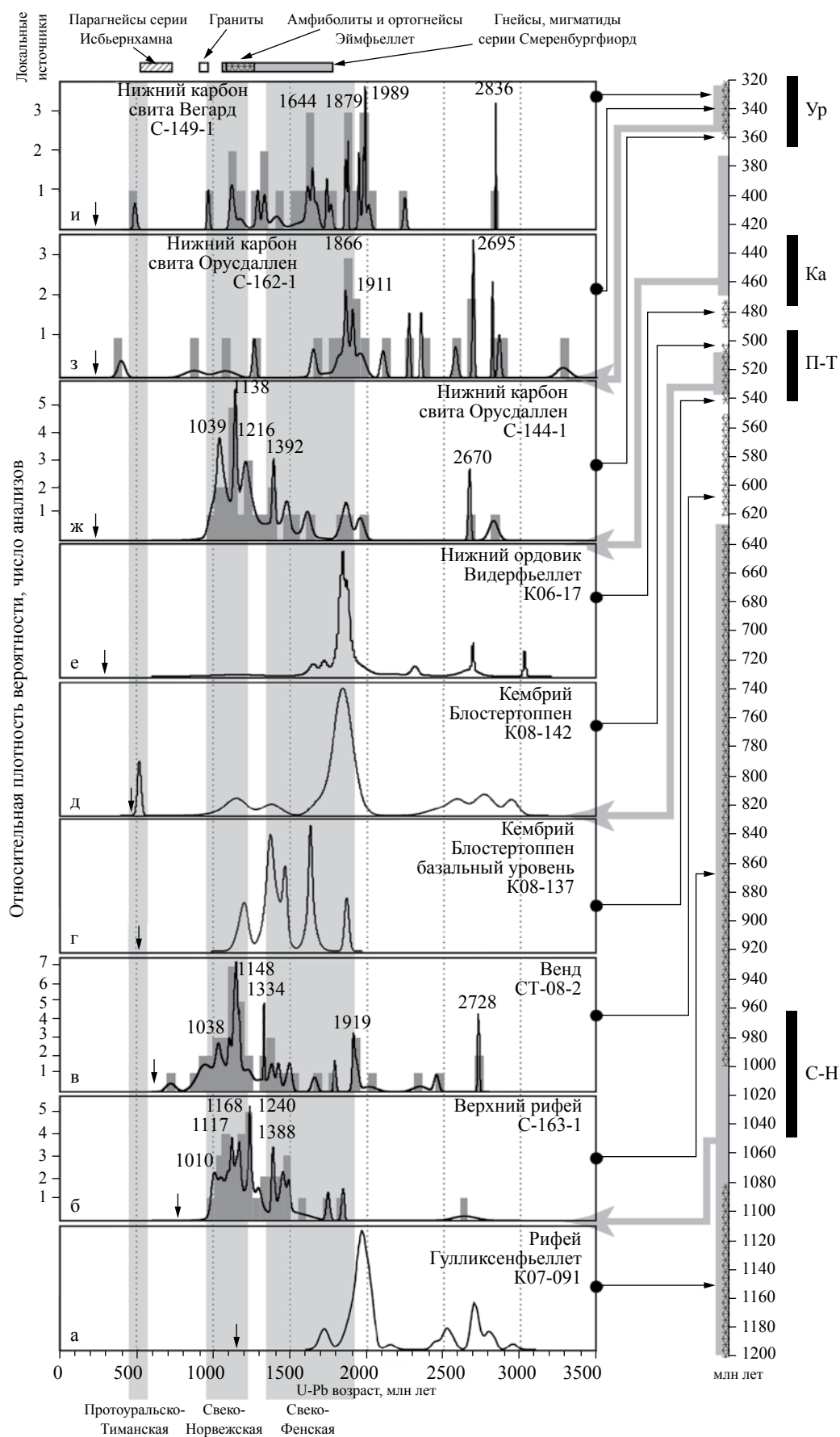


Таблица 1. Результаты изотопного датирования детритного циркона из 5 проб, отобранных в верхнерифейско-нижнекаменноугольной стратиграфической последовательности, подстилающего разрез “ГЕОТОП”

Номер, описание пробы	Координаты места отбора пробы	N	n, диапазон возрастов	PZ	RF ₃	RF ₂	RF ₁	PR ₁	AR ₂	AR ₁
C-163-1, мусковитовый кварцит верхнерифейской серии Софибеген	77°58,0' с.ш. 13°51,1' в.д.	51	34 999 ± 15 – 2637 ± 72		1 999 ± 15	22 67% 1007 ± 20 – 1346 ± 23	8 24% 1386 ± 8 – 1585 ± 68	2 1742 ± 11 и 1842 ± 10	1 2637 ± 72	
Ст-08-2, матрикс диамиктитов вендской свиты Кап-Линне	78°03,3' с.ш. 13°35,4' в.д.	52	44 726 ± 30 – 2735 ± 4		6 14% 726 ± 30 – 961 ± 43	23 53% 1009 ± 46 – 1353 ± 51	5 11% 1383 ± 13 – 1503 ± 13	8 18% 1659 ± 17 – 2453 ± 14	2 2727 ± 3 и 2735 ± 4	
C-144-1, песчаник из нижнекаменноугольной свиты Орусдален	78°04,7' с.ш. 13°42,4' в.д.	53	26 991 ± 12 – 2822 ± 28		1 991 ± 12	15 55% 1033 ± 13 – 1333 ± 200	5 19% 1391 ± 8 ÷ 1610 ± 22	3 1845 ± 28 ÷ 1956 ± 24	2 2670 ± 8 и 2822 ± 28	
C-162-1, гравелит из нижнекаменноугольной свиты Орусдален	77°58,6' с.ш. 13°52,5' в.д.	51	22 400 ± 24 – 3281 ± 42	1 400 ± 24 (девон)	1 847 ± 60	2 1077 ± 63 и 1270 ± 11		12 55% 1651 ± 16 – 2353 ± 6	5 23% 2579 ± 13 – 2861 ± 10	1 3281 ± 42
C-149-1, гравелит из нижнекаменноугольной свиты Вегард	78°05,1' с.ш. 13°45,2' в.д.	53	25 505 ± 57 – 2837 ± 5	1 505 ± 57 (кембрий)	1 967 ± 15	6 24% 1113 ± 22 ÷ 1334 ± 20	6 24% 1412 ± 52 – 1643 ± 14	10 40% 1670 ± 31 – 2245 ± 18	1 2837 ± 5	

Примечание. N – общее количество датированных зёрен в пробе; n – количество зёрен с дискордантностью $|D| \leq 10\%$; PZ – палеозой; RF₁, RF₂, RF₃ – нижний, средний, верхний рифей соответственно; PR₁ – нижний протерозой; AR₁, AR₂ – нижний, верхний архей.

Изотопные возрасты древних пород различных районов Шпицбергена позволяют наметить первичные источники сноса изученных dZr . Наиболее древние комплексы известны на севере (п-ов Нью-Фрисланд, Земля Альберта I) и представлены раннепротерозойскими метаморфизованными осадочно-вулканогенными породами и ассоциирующими с ними анатектическими гранитами [5, 7]. Широко распространены на всём Западном Шпицбергене нижнерифейские комплексы, испытавшие средне-рифейский зональный метаморфизм, ультраметаморфизм, гранитизацию [1]. На севере [5] и юге [8] архипелага развиты среднерифейские метагбродиты, метагранитоиды, на Земле Веделя Ярлсберга — среднерифейские кварциты (свита Гулликсенфельлет) и метавулканиды Чемберлендален, а на Северо-Восточной Земле — метаморфизованные осадочно-вулканогенные породы (серия Кап-Ханстен) [5]. Все они могли быть поставщиком детрита, которым сложены породы, участвующие в строении верхнерифейско-нижнекаменноугольного интервала изученного разреза.

Преобладающий возраст dZr из осадочных пород верхнего рифея, венда, нижнего карбона (проба С-144-1) хорошо согласуется с ранне-среднерифейским возрастом кристаллических комплексов, широко распространённых в верхних уровнях гетерогенного фундамента Шпицбергена, поэтому логично заключить, что осадочные толщи этих возрастов формировались преимущественно за счёт размыва местных источников. Источниками более древних раннекембрийских dZr , преобладающих в двух пробах из более высоких уровней разреза нижнекаменноугольных отложений, могут быть кристаллические комплексы нижних уровней фундамента Шпицбергена, выходы которых известны в его северных частях [5]. Наличие dZr с возрастными, не типичными для кристаллических комплексов Шпицбергена, свидетельствует о том, что в осадочные бассейны во время накопления этих толщ поступал материал не только из местных, но и удалённых источников. Это, прежде всего, единичные зёрна с возрастом, отвечающим времени формирования протоуральско-тиманских комплексов (~750 ... ~510 млн лет [9]), а также архейские dZr .

Новые результаты датирования dZr дополняют данные, полученные ранее для пород докембрийских, палеозойских толщ запада Шпицбергена — среднерифейской толщи кварцитов Гулликсенфельлет южной части Земли Веделя Ярлсберга, а также песчаников верхнекембрийской свиты Блостертоппен на Земле Веделя Ярлсберга и нижнеордовикской свиты Видерфельлет на Земле Серкап [2]. К настоящему времени наборы возрастов dZr характеризуют 9 стратиграфических уровней сводного рифейско-палеозойского разреза западного Шпицбергена (рис. 2). Их сопоставление показывает,

что временной интервал средний рифей — ранний карбон включительно подразделяется (как минимум) на 5 этапов, во время которых существенно различались питающие провинции, поставлявшие детрит, слагающий песчаники изученных толщ в осадочных бассейнах, реликты которых представлены в современной структуре Западного Шпицбергена.

На *первом* этапе (средний рифей) в бассейн (кварциты Гулликсенфельлет) поступал материал только древних кратонов, а продукты разрушения фундамента Шпицбергена в него не попадали. На *втором* этапе (поздний рифей, венд и начало позднего кембрия), во время накопления верхнерифейских и вендских образований и базальных уровней верхнекембрийской свиты Блостертоппен и ордовикской Видерфельлет, бассейн заполнялся в основном местным мезопротерозойским материалом. На *третьем* этапе (конец кембрия, начало ордовика), во время накопления кембрийской свиты Блостертоппен и ордовикской свиты Видерфельлет, в бассейн поступал материал из удалённых источников (возможно, с севера архипелага). На *четвёртом* этапе (со времени между ранним ордовиком и началом раннего карбона) в осадочный бассейн поступал преимущественно местный детрит. На *пятом* этапе (с конца раннего карбона) изменение питающих провинций выразилось не только в том, что в бассейн опять стал поступать древний детрит, но и в том, что в незначительном количестве появился эрозионный материал протоуральско-тиманских и каледонских комплексов.

Привязка выявленных изменений питающих провинций к временной шкале позволяет заключить следующее.

1. Рубежи изменения питающих провинций можно сопоставить с начальными эпизодами орогенных событий, произошедших в палеозое в Арктическом регионе — протоуральско-тиманской (начавшейся между 540 и 510 млн лет [9]), каледонской (проявившейся на Шпицбергене — 430–410 млн лет [7]) и уральской (проявившейся на Полярном Урале на рубеже ~365 млн лет [4]).

2. Кембрийскую и раннекаменноугольную перестройки питающих провинций можно уверенно сопоставить с хорошо датированными начальными фазами протоуральско-тиманской и уральской орогений соответственно.

3. Время изменения питающих провинций, сопоставляемое по времени с каледонской орогенией, вследствие неполноты данных, “зажато” между рубежами 460 и 360 млн лет.

4. На Шпицбергене зафиксированы тектонические события, обусловившие на рубеже среднего и позднего рифея изменение источников осадочного материала; это время — время консолидации древнего фундамента архипелага.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кораго Е.А., Столбов Н.М., Соболев Н.Н., Бережная Н.Г.* О детритовых цирконах из разреза триаса — палеогена севера Земли Норденшельда. В кн.: *Природа шельфа и архипелагов Европейской Арктики. Комплексные исследования природы Шпицбергена*. М.: Геос, 2010. В. 10. С. 408–412.
2. *Костева Н.Н., Кузнецов Н.Б., Тебеньков А.М., Романюк Т.В.* Первые результаты изотопного U/Pb-датирования (LA-ICP-MS) детритных цирконов из нижнего палеозоя Шпицбергена // *ДАН*. 2014. Т. 455. № 3. С. 305–312.
3. *Красильщиков А.А.* Стратиграфия и палеотектоника докембрия — раннего палеозоя // *Тр. НИИГА*. 1973. Т. 172. 120 с.
4. *Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В.* Палеозойская эволюция Полярного Урала: Войкарский бассейн с корой океанического типа существовал не менее 65 млн лет // *Бюлл. МОИП. Отд. геол.* 2014. Т. 89. В. 5. С. 56–70.
5. *Сироткин А.Н., Евдокимов А.Н.* Эндогенные режимы и эволюция регионального метаморфизма складчатых комплексов фундамента архипелага Шпицберген (на примере п-ова Нью Фрисланд). СПб.: ВНИИОкеангеология, 2011. 270 с.
6. *Столбов Н.М., Костева Н.Н., Кораго Е.А.* Детритные цирконы пачки брентскардхауген (Земля Норденшельда, Шпицберген). В кн.: *Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона*. СПб: ВНИИОкеангеология, 2012. С. 116–120.
7. *Тебеньков А.М., Джи Д.Г., Йохансен У., Ларионов А.Н.* История тектонического развития фундамента Шпицбергена (по геохронологическим данным). *Комплексные исследования природы Шпицбергена*. Апатиты, 2004. В. 4. С. 90–100.
8. *Balashov Ju.A., Peacat J.J., Tebenkov A.M., Sirotkin A.N.* Rb-Sr Whole Rock and U-Pb Zircon Datings of the Granitic-Gabbroic rocks from the Skalfjellet Subgroup, Southwest Spitsbergen // *Polar Res.* 1996. V. 15. P. 167–181.
9. *Kuznetsov N.B., Belousova E.A., Alekseev A.S., Romanuk T.V.* New Data on Detrital Zircons from the Sandstones of Lower Cambrian Brusov Formation (White-Sea Region, East-European Craton): Unraveling the Timing of the Onset of the Arctida-Baltica Collision // *Intern. Geol. Rev.* 2014. V. 56. № 16. P. 1945–1963.
10. *Mørk A., Worsley D.* The Festningen Section // *NGF Abstr. and Proc.* 2006. № 3. P. 31–35.