

УДК 552.513:551.24(985)

ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ СРЕДНЕ-ВЕРХНЕКЕМБРИЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ о. БОЛЬШЕВИК И о. ТРОЙНОЙ (РОССИЙСКАЯ АРКТИКА) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОД МЕТАТЕРРИГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

П.А. Фокин*, В.О. Япаскурт, А.М. Никишин

Московский государственный университет им. м.В. Ломоносова, геологический факультет, 119991, Москва, Ленинские Горы, д.1

*e.mail: fokin@geol.msu.ru

Поступила в редакцию 23.01.2019г.; после исправления 3.05.2019г.; принята в печать 28.05.2019г.

В статье приведены новые данные о тектонических обстановках и условиях формирования средне-верхнекембрийских образований южной части Северо-Карского блока, полученные в результате исследования обломочных пород из метатерригенных комплексов фундамента о. Тройной (архипелаг Известий ЦИК) и северной части о. Большевик (архипелаг Северная Земля).

Метапесчаники из обоих районов исследования имеют близкий состав лититовых вакк, аналогичные наборы литокластов. Обломочные цирконы и хромшпинелиды из аксессуарных минералов песчаников обоих районов имеют аналогичные Zr/Hf и TiO_2/Al_2O_3 характеристики, соответственно. Сходство разновозрастных отложений из обоих районов может объясняться их накоплением за счет сноса обломочного материала из единой размываемой области, представлявшей собой сегмент аккреционного поднятия тиманид Тимано-Североземельского орогена, с новообразованной континентальной неопротерозойско-кембрийской корой.

В строении области сноса преобладали метатерригенные образования низких и умеренных степеней метаморфизма и присутствовали вулканиты и интрузивы, по геохимическим особенностям обломочных аксессуарных хромшпинелидов относившиеся к образованиям островных дуг и задуговых офиолитов. К началу ордовика средне-позднекембрийские отложения также были смяты, метаморфизованы и вошли в структуру Тимано-Североземельского пояса.

Особенности петрографического состава, гранулометрии и сортировки метапесчаников с севера о. Большевик более характерны для отложений, накапливавшихся при участии гравитационных турбидитных потоков, в морских, глубоководных или относительно глубоководных условиях. Отложения с о. Тройной могли накапливаться в мелководных, а также прибрежно-морских обстановках.

Ключевые слова: острова Известий ЦИК, архипелаг Северная Земля, Карское море, петрография песчаников, обломочные цирконы, хромшпинелиды, кембрий, аккреционный ороген

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016-853X2019665-77>

ВВЕДЕНИЕ

В рамках программы изучения перспектив нефтегазоносности шельфовых морей Российской Арктики нефтяной компанией ПАО «Роснефть» (г. Москва) в сотрудничестве с геологическим факультетом МГУ им. м.В. Ломоносова (г. Москва) и ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) в 2013г. проводились полевые исследования по изучению геологического строения островов архипелагов Северная Земля и Известий ЦИК. Участниками экспедиции были отобраны образцы обломочных пород для датирования детритовых цирконов из разновозрастных образований фундамента и осадочного чехла островов Карского моря.

Дополнительно для изучения состава песчаников и восстановления особенностей обстановок их накопления и реконструкции областей сноса из образцов были изготовлены прозрачные шлифы и аншлифы.

Целью нашего исследования являлось выявление основных черт строения и тектонических особенностей областей, поставивших в среднем–позднем кембрии обломочный материал для районов, принадлежащих южной части Северо-Карского блока, в которые входят о. Большевик (арх. Северная Земля) и о. Тройной (архипелаг Известий ЦИК). Интерес к формированию фундамента этой области связан с дискуссионностью строения и происхождения Северо-Карского блока. В настоящее время наиболее широкое распространение имеют следующие интерпретации [16, 28, 26, 20, 21, 7]:

– Северо-Карский блок был отдельным докембрийским континентом, который только в позднем палеозое столкнулся с Балтикой и Сибирью;

– Северо-Карский блок как отдельный континент столкнулся с Балтикой в венде–кембрии;

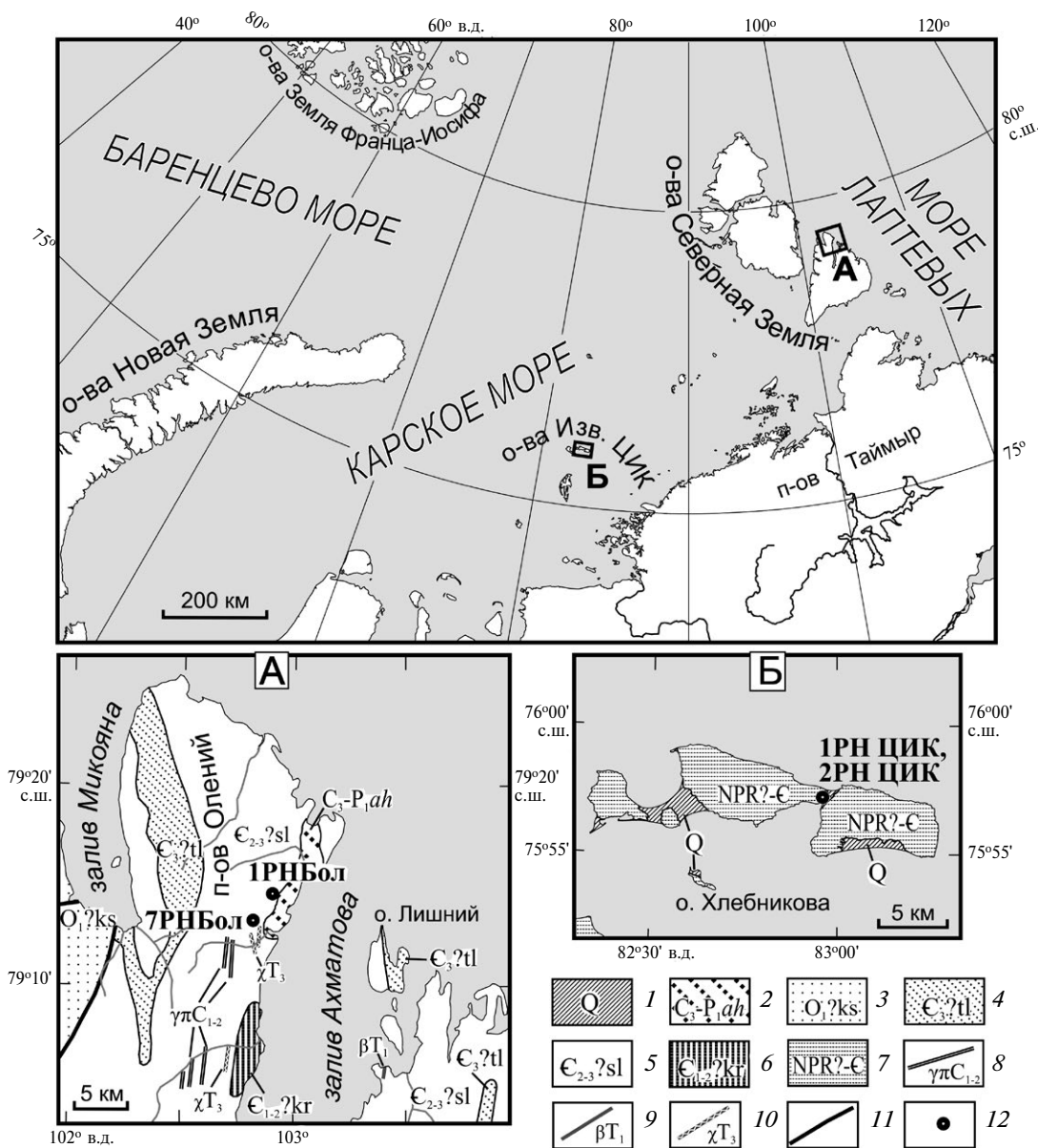


Рис. 1. Район исследований.

Точки отбора образцов: А – п-ов Олений, о-в Большевик (по [6], с изменениями и дополнениями); Б – о-в Тройной.

1 – четвертичные отложения; 2 – среднекаменноугольно-нижнепермская ахматовская свита; 3 – нижний ордовик(?), касаткинская толща; 4 – верхний кембрий(?), тельмановская толща; 5 – средний-верхний кембрий(?), сложнинская толща; 6 – нижний-средний кембрий(?), краснореченская толща; 7 – неопротерозойско(?)–кембрийские нерасчлененные образования; дайки (8-10): 8 – ранне-среднекаменноугольных гранит-порфиров; 9 – раннетриасовых долеритов; 10 – поздне-триасовых лампрофиров; 11 – разрывные нарушения; 12 – точки отбора образцов

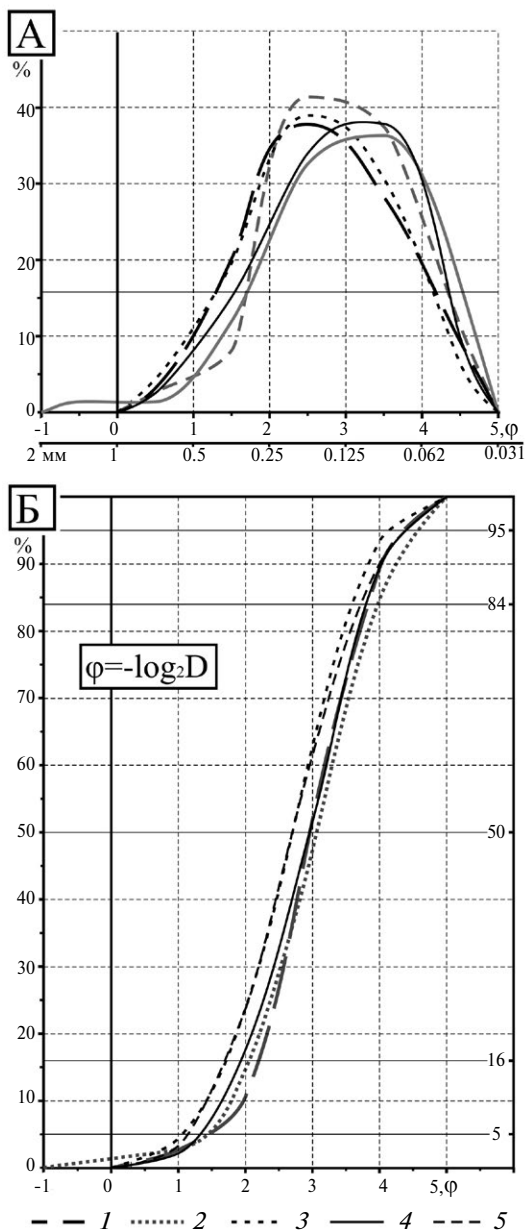


Рис. 2. Гранулометрический состав образцов средне-верхнекембрийских песчаников о. Большевик и о. Тройной на: (А) – сглаженных кривых, (Б) – кумулятивных кривых. 1 – ЦИК-2-2б; 2 – ЦИК-2-2в; 3 – Бол-1-82а; 4 – Бол-1-82в; 5 – Бол-7-96б

о. Большевик (рис. 1). На востоке п-ова Олений были обследованы и опробованы породы, развитые в поле распространения сложнинской толщи, верхнего рифея – венда или предположительно среднего-верхнего кембрия [2, 5]. Толща принадлежит комплексу образований складчато-метаморфического фундамента островов арх. Северная Земля. Отложения, описанные в двух точках (1РН Бол и 7РН Бол), представлены метатерригенными породами темно-серой, почти черной окраски, часто с зеленоватым оттенком. Пелиты преобразованы в серицит-хлоритовые, карбонат-серицит-хлоритовые сланцы; метапесчаники представляют собой макроскопически однородные, массивные, очень плотные породы, в полевых условиях иногда принимавшиеся за дайки базальтоидов. Слои в обнажениях имеют субвертикальное залегание, разбиты разрывными нарушениями, кливажированы. Степень метаморфизма соответствует эпидот-зеленосланцевой фации. В точке 1РН Бол отбор образцов производился преимущественно из нижних и средних частей мощных (3–5 м) слоев массивных метапесчаников, с неотчетливо проявленной градационной слоистостью.

На о. Тройной архипелага Известий ЦИК в двух близко расположенных точках в береговых обрывах близ полярной станции (1РН ЦИК и 2РН ЦИК) были опробованы песчаники из метатерригенной пестроцветной толщи. Позднерифейско-вендский возраст этих пород предполагался по аналогии с образованиями достановского комплекса Таймыра [1], однако последние данные по исследованию детритовых цирконов [6] дают основание считать их средне- или даже позднекембрийскими. Стратиграфическая последовательность внутри толщи и ее сложная складчатая структура до настоящего времени мало изучены. Степень метаморфизма образований аналогична измененности пород, изученных на о. Большевик.

Оба района входят в состав Северотаймырско-Североземельской зоны, которая в настоящее время широко признается как область с неопротерозойско-кембрийским фундаментом, вошедшая в состав Таймырского орогена в позднем палеозое [3, 7, 13, 20, 27].

– Северо-Карский блок являлся частью образованного в венде–кембрии огромного аккреционного орогена, который протягивался от современного Тимана до островов Северной Земли и северной части п-ова Таймыр, и, вероятно, далее – на восток.

В нашей статье мы представляем результаты наших исследований, анализ полученных данных и интерпретацию тектонических событий, произошедших в среднем–верхнем кембрии в изучаемом регионе, которые дополняют и уточняют историю формирования Арктики.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Остров Большевик входит в состав архипелага Северная Земля и является вторым по величине. Полуостров Олений образует северную оконечность

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для представительных образцов песчаников с заметной ролью среднезернистой фракции был произведен подсчет петрографического состава зе-

Табл. 1. Гранулометрические характеристики средне-верхнекембрийских песчаников о. Большевик (номера образцов 1 3) и о. Тройной (номера образцов 4 5).

№	Образцы	Сортировка	Средний размер зерен	Преобладающий размер зерен
1	Бол-1-81а	0.94	2.7	2.67
2	Бол-1-81в	0.93	2.95	2.89
3	Бол-7-96б	0.99	2.7	2.72
4	ЦИК-2-2б	0.84	2.96	2.99
5	ЦИК-2-2в	0.95	3.07	3.04
Сортировка			$\sigma\varphi=(\varphi84-\varphi16)/4+(\varphi95-\varphi5)/6.6$	
Средний размер зерен			Md= $\varphi50$	
Преобладающий размер зерен			$M=(\varphi16+\varphi50+\varphi84)/3$	

рен песчаников в прозрачных шлифах по методу Гацци–Дикинсона [10], по сетке с регулярным шагом от 0.4–0.6 мм в зависимости от размера самой крупной фракции в шлифе. Подсчет состава для 300–400 зерен производился по группам пород и минералов:

- кварц;
- полевые шпаты;
- слюды;
- акцессорные минералы;
- обломки пород:
 - осадочных – песчаники, алевролиты, пелиты, кремнистые породы,
 - метаморфических – кварциты, сланцы, гнейсы,
 - вулканических – вулканиты средне-основного состава и кислые,
 - plutonic.

Для установления строения областей сноса полученные численные характеристики составов переводились в процентные соотношения и выносились на классификационную [24] и диагностическую [10, 11] трехкомпонентные диаграммы.

Отсутствие в породах характерных текстурных признаков, которые могли бы помочь в восстановлении обстановок осадконакопления, привело к необходимости использовать методы гранулометрического анализа отложений.

Сортировка определялась на основе измерения в шлифах максимальных размеров 150 обломочных зерен подряд, попадающих на линию или параллельные линии. Графически сортировка для обработанных образцов изображена в виде сглаженных и кумулятивных кривых. Размер обломков выражен в единицах φ , равных отрицательному двойному логарифму максимального диаметра зерна. Численные характеристики сортировки подсчитаны по формуле Фолка–Уарда [14] и определение истинной степени сортировки произведено с поправкой на измерения в шлифах.

Окатанность обломков оценивалась в шлифах одновременно для тех же 150 зерен, по 5-балль-

ной шкале по визуальным диаграммам [24] и ее распределение в образцах отображено на гистограммах.

Состав обломочных зерен химически стойких аксессуаров – цирконов и хромшпинелидов – был

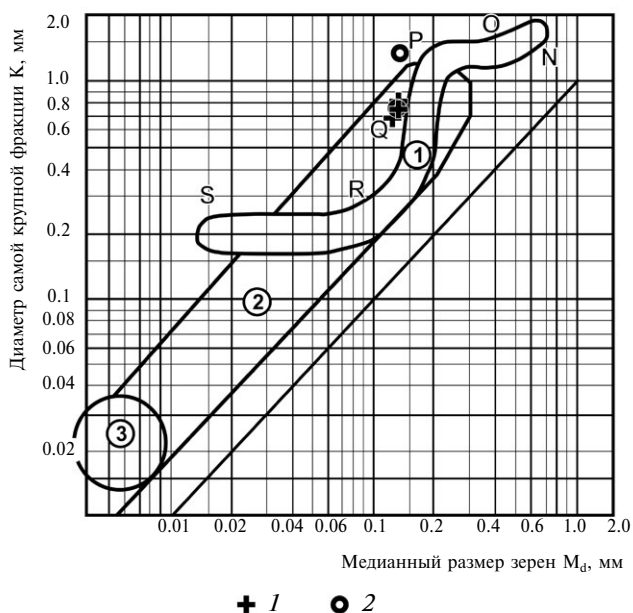


Рис. 3. Точки гранулометрических составов средне-верхнекембрийских песчаников (по данным [22]).

Даны (цифры в кружках): 1–2 – отложения: 1 – потоков, 2 – турбидитные; 3 – осадки из взвеси в спокойных водах.

Интервалы между точками: N/O – осадки перекачивания; O/P – осадки перекачивания с незначительным количеством осадков взвеси; P/Q – осадки взвеси с некоторым количеством осадков перекачивания; Q/R – отложения течений со средними скоростями; R/S – однородные осадки взвеси.

1–2 – средне-верхнекембрийские песчаники островов: 1 – о. Большевик, 2 – о. Тройной

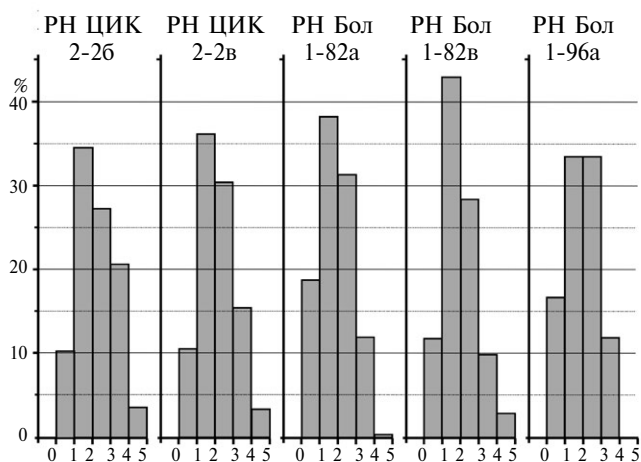


Рис. 4. Гистограммы окатанности зерен в средне-позднекембрийских песчаниках о. Большевик и о. Тройной. Окатанность зерен, по [25]: 0 – очень угловатые, 1 – угловатые, 2 – полуугловатые, 3 – полуокатанные, 4 – окатанные, 5 – хорошо окатанные.

исследован микронзондовым (рентгеноспектральным) методом с целью установления пород-источников этих минералов.

СОСТАВ ОТЛОЖЕНИЙ

Из образцов песчаников, отобранных на островах, было изготовлено:

- о. Тройной: 20 шлифов;
- о. Большевик: 12 шлифов (точка 1РН Бол) и 11 шлифов (точка 7РН Бол).

Гранулометрический состав песчаников может быть описан как преимущественно средне-мелкозернистый, с примесью алевроит-тонкопесчаного и грубо-крупнозернистого материала. К мелкозернистой фракции относится примерно 50–60% зерен, к среднезернистой – 15–20%. На сглаженных кривых (рис. 2, А) гранулометрические составы пород выглядят как близкие к симметричным, с невыраженным и неустойчивым сдвигом. Вычисленная [14] степень сортировки для песчаников меняется от 0.84 (обр. РН ЦИК2-26) до 0.99 (7РН Бол-966) (табл. 1), что, с поправкой на измерение в шлифах, соответствует средней сортировке.

На генетической диаграмме Пассега–Байрамджи [22, 8] точки гранулометрических составов песчаников о.Большевик и одна точка о.Тройной попадают в область турбидитовых осадков с переносом материала по дну и отчасти – во взвеси (рис. 3).

Окатанность песчаных зерен неравномерная, с заметным преобладанием полуокатанных и полуугловатых обломков (рис. 4). Немногочисленные хорошо окатанные обломки кварца (до 3.8% в обр.

РН ЦИК2-26) вероятно, являются продуктами пеоотложения зерен из более древних обломочных пород. Количество окатанных зерен также немного выше в образцах о. Тройной (до 16.1–21.6%), что повышает среднюю окатанность до 2.7 по сравнению с песчаниками о. Большевик (2.3–2.5). При этом песчаники о. Тройной имеют наименьшие (около 10%) содержания угловатых зерен.

По составу обломков и количественному соотношению песчаники о. Большевик и о. Тройной аналогичны, они относятся к группе лититовых вакк и содержат одинаковые типы обломков лититовой компоненты (рис. 5, рис. 6). Образцы, отобранные на о. Большевик, содержат от 43.1 до 53.7% кварцевых зерен, 49.4% в среднем. Полевые шпаты, представленные в основном плагиоклазами, образуют 8.1–14.8% песчаных зерен, в среднем – 11.5%.

Из обломков пород наиболее многочисленны (21.3–44.4%) метаморфиты – кварциты, микрокварциты, кварцитосланцы, слюдястые и (кварц–) хлорит–серицитовые сланцы, единично – гнейсовидные породы. Среди обломков вулканических пород (2.3–10.5%) наиболее многочисленны зерна основных и средних вулкаников (2.1–7.1%), кислые эффузивы, до риолитов (см. рис. 5), встречаются редко. Плутонические породы в обломках обычно представлены гранитоидами, реже – диоритами и габбродиоритами, но тонко раскристаллизованные разновидности, с размером кристаллов менее 0.0625 мм, встречаются редко (менее 2%).

В песчаниках с о. Тройной содержание кварца меняется от 43.4 до 51.5% (46.7% в среднем). Полевые шпаты образуют 11.2% частиц. Обломки пород в среднем составляют 39% зерен, из них на метаморфические приходится 16.2–35.4%, на вулканики – 4.0–9.8%, плутонические породы – 0.5–2.4% и осадочные – 0.3–2.3%.

Обломки осадочных пород малочисленны (до 3.3%) и представлены в основном аргиллитами, реже – алевролитами. Измененность вещества обломков связана с позднее наложенным метаморфизмом.

Зерна обломочных аксессуарных минералов иногда сравнительно многочисленны (до 1% в среднем по образцам о. Большевик) и разнообразны. В них преобладают рудные (магнетит и титаномагнетит, преимущественно), циркон, турмалин, апатит, сфен, лейкоксен, – реже встречаются эпидот, хромшпинелиды. Нерегулярно и в малых количествах встречаются в обломках рутил, монацит, ксенотим, ортит, ставролит, силлиманит, роговая обманка.

Первичный глинистый цемент песчаников встречается на о. Большевик, в песчаниках о. Тройной он содержит примесь карбонатного вещества. Его вещество сильно изменено, обычно преобразовано в тонкий агрегат хлорита, серицита, кварца и альбита, с примесью эпидота. Отчасти цемент мог быть образован за счет разложения химически

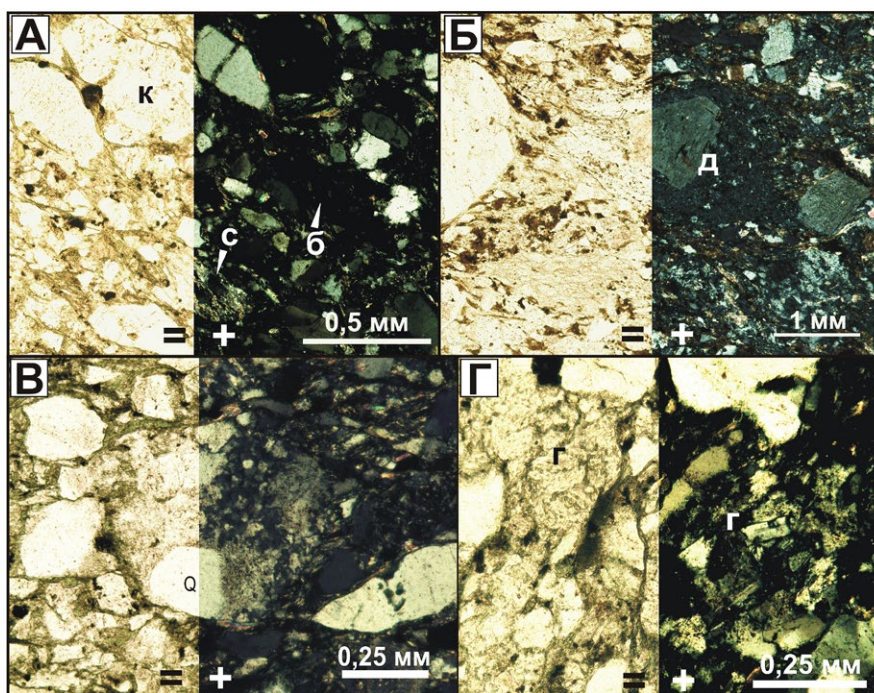


Рис. 5. Обломки пород литокластической составляющей песчаников. Шлифы (фото): = - без анализатора; + - с анализатором. (А) – шлиф РН Бол-1-5а: базальтов – б, кварцитов – к, кварц-серицитовых сланцев – с; (Б) – шлиф РН ЦИК-2-2-1: плагиоклаз-порфировых дацитов – д; (В) – шлиф РН Бол-1-5в: кварц (Q)-порфировых риолитов – р; (Г) – шлиф РН Бол-1-5-3: микрогранитов – г.

нестойких обломков. При метаморфизме по некоторым зернам, частично захватывая цемент, развивались микрокристаллы новообразованного железистого граната.

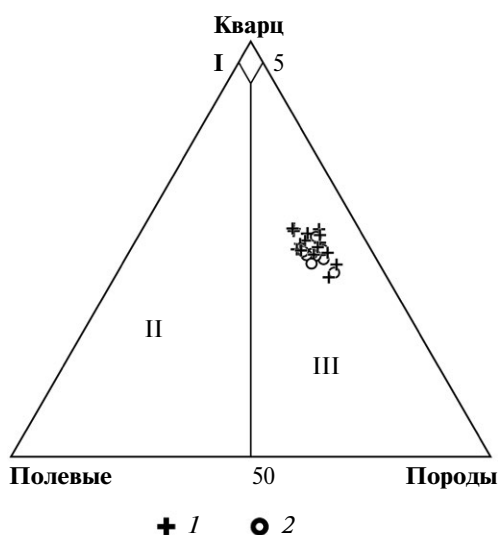


Рис. 6. Петрографический состав средне-верхнекембрийских песчаников (по данным [24]). Поля составов обломочных пород: I – кварцевые вакки; II – аркозовые вакки; III – литовые вакки. 1–2 – образцы, отобранные на островах: 1 – о. Большевик, 2 – о. Тройной

Карбонатность песчаников острова Большевик (1РН Бол и 7РН Бол) составляет десятые доли процента, единично – до 1.5 %, которая связана с коррозией плагиоклазов кальцитом, в основном. В породах о. Тройной карбонатность связана с первичным составом цемента и составляет 1.2–5.3%, иногда более, – кроме кальцита, встречаются сидерит и доломит.

В зонах концентрации давления при метаморфизме в цементе песчаников возникали элементы сланцеватости. Имеются следы направленной коррозии части песчаных зерен, в теньях давления наблюдаются участки ориентированного агрегата слоистых силикатов – продукта изменения первичного цемента.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОСТАВОВ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ПЕСЧАНИКОВ

Рентгеноспектральный анализ проводился на геологическом факультете МГУ им М.В. Ломоносова (г. Москва), в лаборатории локальных методов исследования геохимии вещества. Первоначально была предпринята попытка петро- и геохимического анализа составов вулканитов из литокластической составляющей песчаников в аншлифах. Однако составы пород в обломках оказались сильно измененными: плагиоклаз вкрапленников и лейст из основной массы основных и средних эффузивов

Табл.2. Содержание циркония и гафния в зернах обломочных цирконов в песчаниках о. Большевик и о. Тройной.

№	Точка анализа	% элементов, атом.		% элементов, масс.		№	Точка анализа	% элементов, атом.		% элементов, масс.	
		Zr	Hf	Zr	Hf			Zr	Hf	Zr	Hf
1	Бол-7-96д 04	16.28	0.28	48.15	1.62	33	Бол-7-96д 49	16.26	0.32	47.48	1.84
2	Бол-7-96д 05	16.40	0.20	48.23	1.17	34	Бол-7-96д 50	16.9	0.19	47.55	1.10
3	Бол-7-96д 06	16.17	0.24	46.98	1.35	35	Бол-7-96д 51	16.40	0.20	47.87	1.12
4	Бол-7-96д 07	16.22	0.24	46.84	1.35	36	Бол-7-96д 52	16.44	0.23	48.05	1.33
5	Бол-7-96д 09	16.35	0.21	47.50	1.19	37	Бол-7-96д 53	16.25	0.23	46.50	1.26
6	Бол-7-96д 10	16.11	0.33	47.46	1.90	38	Бол-7-96д 55	16.32	0.24	47.85	1.39
7	Бол-7-96д 11	16.33	0.28	47.63	1.61	39	Бол-7-96д 56	13.95	0.41	34.56	2.01
8	Бол-7-96д 12	16.30	0.18	47.31	1.02	40	Бол-7-96д 57	16.37	0.17	47.43	0.98
9	Бол-7-96д 13	16.31	0.15	48.08	0.88	41	Бол-7-96д 58	16.41	0.25	47.77	1.40
10	Бол-7-96д 14	16.43	0.20	48.52	1.14	42	Бол-7-96д 59	16.52	0.15	48.34	0.83
11	Бол-7-96д 15	16.40	0.23	48.81	1.35	43	Бол-7-96д 60	16.51	0.15	48.03	0.87
12	Бол-7-96д 16	16.48	0.17	48.65	0.99	44	Бол-7-96д 61	16.41	0.20	47.93	1.16
13	Бол-7-96д 17	13.97	0.27	39.66	1.52	45	Бол-7-96д 62	16.37	0.17	47.29	0.94
14	Бол-7-96д 20	16.45	0.21	48.38	1.19	46	Бол-7-96д 63	16.45	0.19	48.28	1.08
15	Бол-7-96д 21	16.50	0.16	48.70	0.91	47	ЦИК-2-2а 01	16.46	0.14	48.12	0.82
16	Бол-7-96д 22	16.00	0.21	43.91	1.13	48	ЦИК-2-2а 04	16.32	0.28	48.55	1.60
17	Бол-7-96д 23	16.41	0.16	48.18	0.94	49	ЦИК-2-2а 06	16.31	0.27	47.63	1.55
18	Бол-7-96д 24	15.99	0.18	45.22	0.99	50	ЦИК-2-2а 07	15.94	0.17	41.53	0.87
19	Бол-7-96д 25	16.16	0.25	46.51	1.39	51	ЦИК-2-2а 10	16.34	0.26	47.92	1.50
20	Бол-7-96д 26	16.20	0.24	46.79	1.35	52	ЦИК-2-2а 11	16.41	0.22	47.92	1.25
21	Бол-7-96д 27	16.26	0.27	47.34	1.55	53	ЦИК-2-2а 12	16.39	0.22	47.33	1.26
22	Бол-7-96д 31	16.38	0.21	47.69	1.18	54	ЦИК-2-2а 22	16.38	0.20	47.65	1.12
23	Бол-7-96д 34	16.41	0.16	47.14	0.89	55	ЦИК-2-2а 23	16.49	0.14	48.21	0.79
24	Бол-7-96д 35	16.47	0.19	48.77	1.10	56	ЦИК-2-2а 24	16.36	0.16	47.84	0.94
25	Бол-7-96д 39	16.42	0.18	47.68	1.02	57	ЦИК-2-2а 25	16.38	0.22	48.24	1.29
26	Бол-7-96д 40	16.45	0.18	48.40	1.02	58	ЦИК-2-2а 26	16.42	0.13	48.48	0.76
27	Бол-7-96д 41	16.51	0.17	48.30	0.96	59	ЦИК-2-2а 33	16.34	0.17	47.94	0.97
28	Бол-7-96д 44	16.33	0.20	47.11	1.13	60	ЦИК-2-2а 34	16.40	0.23	48.28	1.32
29	Бол-7-96д 45	16.47	0.15	47.71	0.86	61	ЦИК-2-2а 38	14.65	0.20	34.73	0.95
30	Бол-7-96д 46	16.34	0.24	47.69	1.39	62	ЦИК-2-2а 39	16.19	0.22	47.21	1.23
31	Бол-7-96д 47	16.23	0.21	46.85	1.19	63	ЦИК-2-2а 41	16.37	0.21	47.79	1.21
32	Бол-7-96д 48	16.27	0.28	47.52	1.58	64	ЦИК-2-2а 42	16.42	0.26	47.51	1.45

Табл.3. Содержание титана и алюминия и их оксидов в зернах обломочных хромшпинелидов в песчаниках о. Большевик и о. Тройной.

№	Точка анализа	% элементов, атом.		% элементов, масс.		№	Точка анализа	% элементов, атом.		% элементов, масс.	
		Ti	Al	TiO ₂	Al ₂ O ₃			Ti	Al	TiO ₂	Al ₂ O ₃
1	Бол-1-81Г 06	0.02	0.47	0.05	0.65	19	Бол-7-96д 42	0.10	7.51	0.26	13.06
2	Бол-1-81Г 07	0.01	0.44	0.03	0.59	20	Бол-7-96д 43	0.10	7.41	0.27	12.97
3	Бол-1-81Г 13	0.06	12.18	0.17	22.87	21	Бол-7-96д 19	0.23	10.49	0.68	19.54
4	Бол-1-81Г 15	0.09	12.17	0.26	22.87	22	Бол-7-96д 20	0.22	10.44	0.64	19.09
5	Бол-1-81Г 16	-0.01	12.52	-0.04	24.19	23	Бол-7-96д 56	0.01	3.86	0.03	6.69
6	Бол-1-81Г 24	0.02	2.11	0.05	3.36	24	Бол-7-96д 57	0.02	3.74	0.04	6.44
7	Бол-7-96д 01	0.05	6.96	0.13	12.40	25	ЦИК-2-2а 02	0.01	8.03	0.04	14.88
8	Бол-7-96д 02	0.05	7.06	0.14	12.68	26	ЦИК-2-2а 03	0.02	7.91	0.06	14.37
9	Бол-7-96д 03	0.06	2.03	0.14	3.27	27	ЦИК-2-2а 08	0.01	2.91	0.04	5.07
10	Бол-7-96д 18	0.02	8.01	0.05	14.81	28	ЦИК-2-2а 09	0.01	2.81	0.03	4.89
11	Бол-7-96д 19	0.03	8.19	0.1	15.20	29	ЦИК-2-2а 34	0.02	3.59	0.06	6.33
12	Бол-7-96д 28	0.06	3.96	0.16	6.82	30	ЦИК-2-2а 35	0.04	6.13	0.11	11.14
13	Бол-7-96д 29	0.04	3.54	0.1	6.04	31	ЦИК-2-2а 36	0.07	6.19	0.20	11.17
14	Бол-7-96д 32	-0.02	2.78	-0.04	4.27	32	ЦИК-2-2а 37	0.02	5.74	0.06	10.06
15	Бол-7-96д 33	0.00	2.83	0.00	4.18	33	ЦИК-2-2Г 24	0.02	8.46	0.06	16.08
16	Бол-7-96д 36	0.05	10.82	0.13	19.90	34	ЦИК-2-2Г 38	0.19	8.88	0.54	16.12
17	Бол-7-96д 37	0.06	10.85	0.16	19.97	35	ЦИК-2-2Г 39	0.18	8.4	0.51	15.84
18	Бол-7-96д 38	0.00	8.40	0.00	15.39						

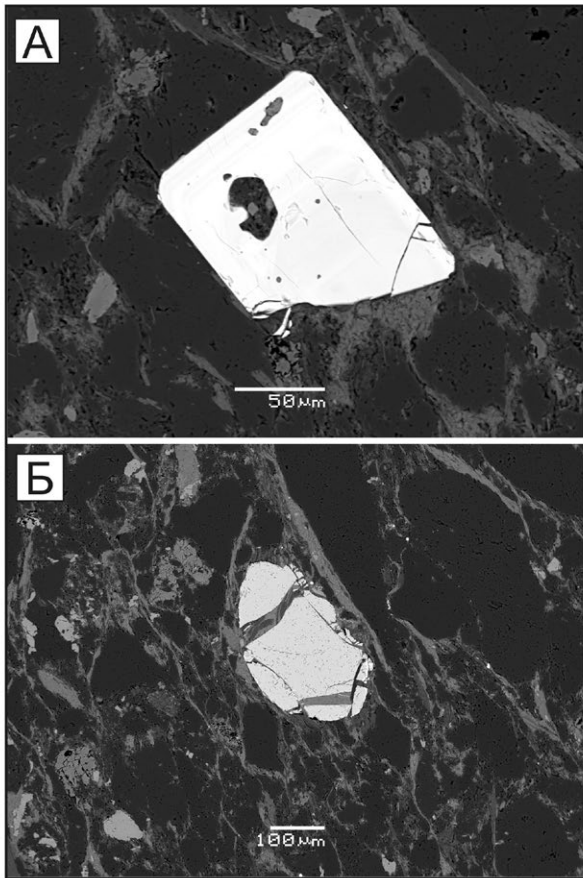


Рис. 7. Характерный вид зерен анализированных акцессорных минералов.
А – циркон (шлиф РН Бол-7-96д); Б – хромшпинель (шлиф РН Бол-7-96д).

полностью альбитизирован, темноцветные минералы замещены хлоритом. Потому было решено применить тот же метод к изучению особенностей состава химически стойких акцессорных минералов: цирконов и хромшпинелидов, — с целью установления пород-источников этих минералов.

Полученные значения атомных количеств элементов по стехиометрическим коэффициентам пересчитывались в массовые количества и соотношения элементов (циркона и гафния) (табл. 2) и окислов (титана и алюминия) (табл. 3).

Зерна циркона (рис. 7, А) обычно полуугловатые, часто сохраняют элементы первичной кристаллической огранки, преимущественно призматического габитуса; полуокатанные, окатанные (вероятно, переотложенные из более древних осадочных пород) и угловатые встречаются намного реже. Цирконы часто имеют зональное строение, и на секущих зональность границах зерен нет следов доращивания минерала при метаморфизме. Обломки метамиктных цирконов редки.

Зерна хромшпинелидов внутренне однородны по строению и составу, в основном окатанные

и хорошо окатанные; полуокатанные встречаются значительно реже. Частицы нередко расколоты, слабо расташены, по механизму хрупкого будинажа, при метабенезе и расланцевании породы (см. рис. 7, Б). Признаки изменения состава зерен при метаморфизме не выявлены.

Обломочные цирконы из обоих районов отбора на диаграмме (рис. 8) образуют единую группу с высокими отношениями $(Zr/Hf)/Hf$. Высокогафниевые разности цирконов пологой ветви графика не наличествуют, что подтверждает отсутствие в областях сноса для районов о. Большевик и о. Тройной гранитоидов с высокими степенями дифференциации расплавов.

Определенные составы хромшпинелидов для обоих районов так же не имеют заметных различий. На генетической диаграмме TiO_2/Al_2O_3 (рис. 9) [15] они образуют общую группу точек, практически полностью укладываемуюся в пределах поля задуговых офиолитов, причем больше половины точек попадают и в область пересечения названного поля с полем островодужных базальтоидов. Учитывая присутствие обломков вулканических пород в составе песчаников, можно допустить гетерогенное происхождение хромшпинелей,

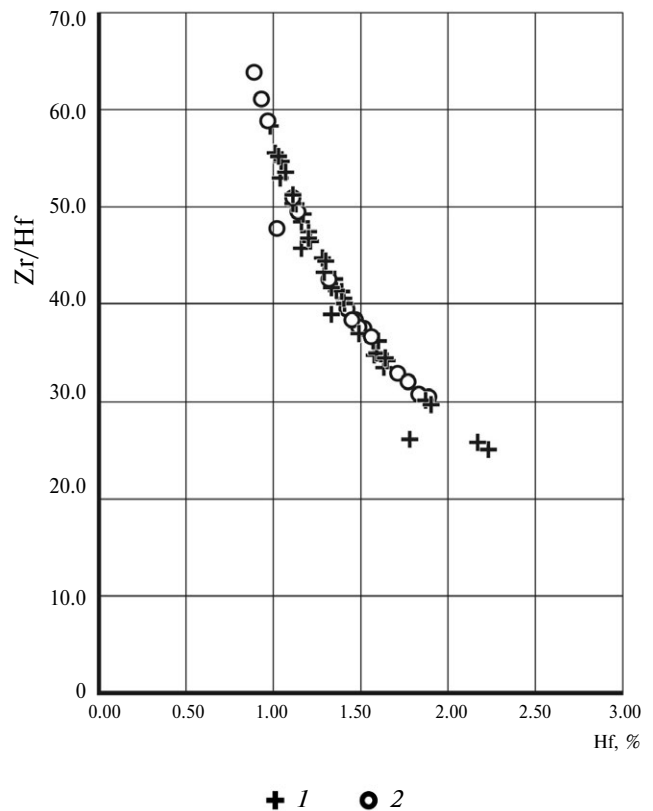


Рис. 8. Zr/Hf отношения обломочных цирконов средне-верхнекембрийских песчаников (по данным [29]).

Образцы, отобранные на островах: 1 – о. Большевик; 5 – о. Тройной

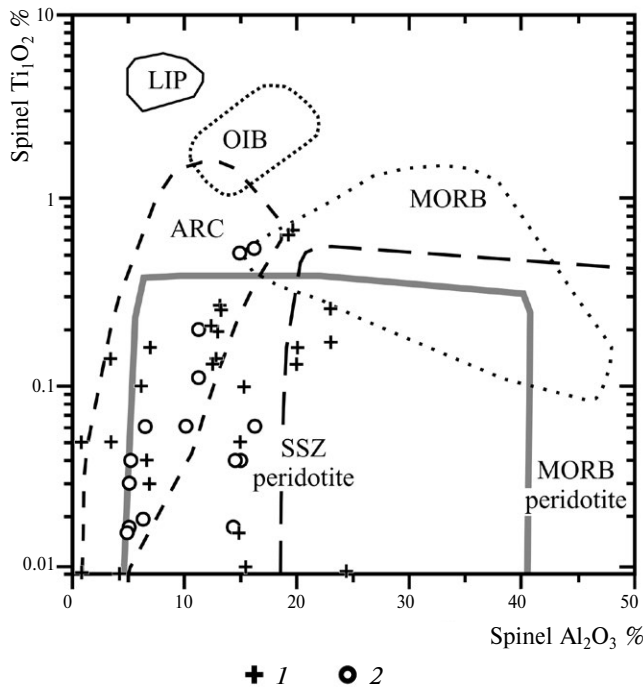
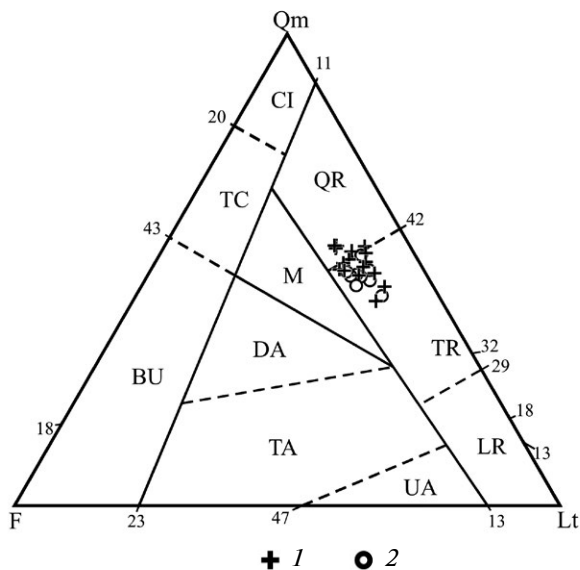


Рис. 9. Дискриминационная диаграмма отношений TiO_2 и Al_2O_3 составов обломочных хромшпинелидов средне-верхнекембрийских песчаников (по данным [15]).

Поля составов (обозначены линиями): хромшпинелидов- базальтоидов (ARC – островодужных, LIP – крупных вулканических магматических провинций, MORB – срединно-океанических хребтов, OIB – океанических островов), перidotитов (MORB peridotite – срединно-океанических хребтов, SSZ peridotite – засубдукционных зон спрединга).

1–2 – образцы, отобранные на островах: 1 – о. Большевик; 2 – о. Тройной



в основном – из островодужных магматических образований и отчасти – из гипербазитов задуговых офиолитов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Условия образования отложений

Для описанных нами отложений о. Большевик наиболее вероятно их морское происхождение, судя по темноцветной окраске пород. Минимально проявленная градационная слоистость в песчаниках, умеренная сортировка зерен в нижних и средних частях слоев и первично глинистый цемент песчаников предполагают наиболее вероятным участие в переносе зерновых гравитационных потоков на сравнительно крутых уклонах дна, что поддерживается положением точек гранулометрического состава в поле турбидитов (см. рис. 3). Данные признаки допускают возможность накопления отложений в относительно глубоководных условиях и согласуются с тем, что эти отложения относятся к образованиям континентального склона [28].

Породы о. Тройной характеризуются пестротенностью, предполагающей более высокую активность кислорода в среде осадконакопления. Вместе со средней сортировкой песчаного материала, немного лучшей окатанностью и менее ясным положением точек на генетической диаграмме Пассега [22] (см. рис.3) вероятнее образование отложений в аллювиально-дельтовых и/или мелководных прибрежно-морских обстановках, при умеренной активности процессов перераспределения и сортировки материала.

В целом низкая степень окатанности песчаных зерен говорит о сравнительно небольшой дальности переноса материала, сопоставимой для обоих районов исследования.

По составу обломков песчаники с о. Большевик и о. Тройной не имеют существенных отличий. Лититовые важки обоих районов образуют общее поле составов на классификационной диаграмме (см. рис. 6) и имеют аналогичные наборы обломков пород в лититовой компоненте. На диагностической треугольной диаграмме Дикинсона [11] точки составов песчаников образуют (рис. 10)

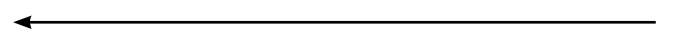


Рис. 10. Составы песчаников на дискриминационной диаграмме QmFLt (по данным [11]).

Области – источники песчаного материала: платформенные: BU – выступы фундамента, CI – внутриплитные, TC – переходные платформенные; складчатые области с породами состава: QR – кварцевого, LR – пестрого; TR – орогены переходного типа; вулканические дуги: DA – эродированные; UA – неэродированные; TA – переходные; M – смешанные области сноса.

1–2 – образцы, отобранные на островах: 1 – о. Большевик; 2 – о. Тройной

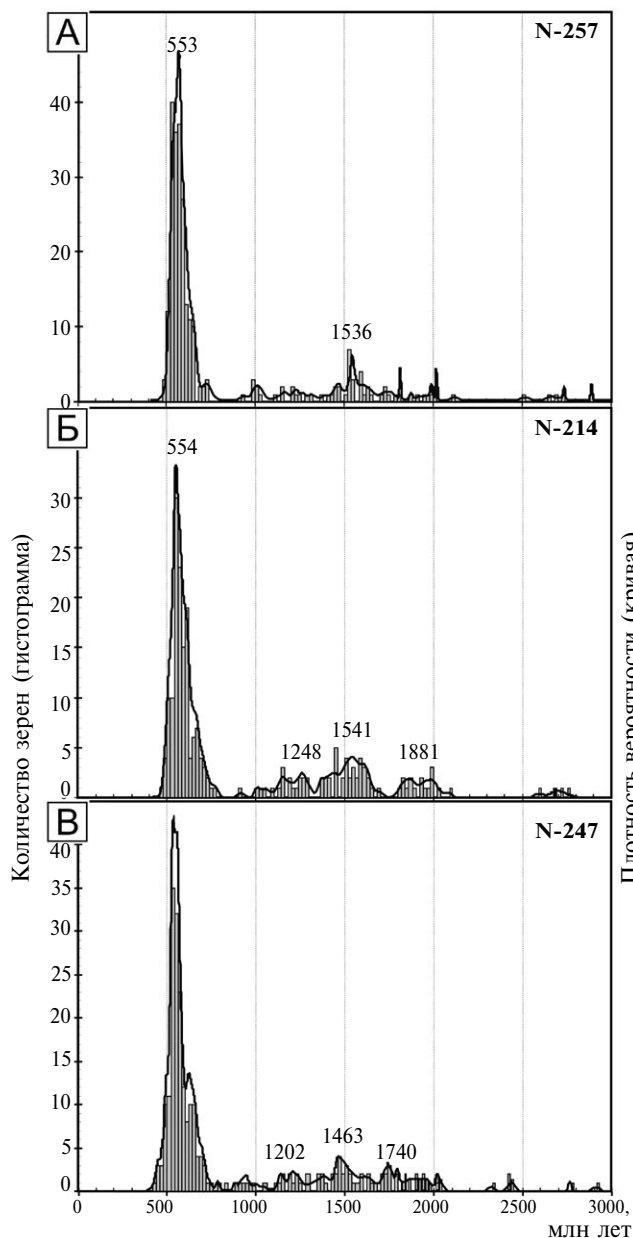


Рис. 11. Возрастные спектры обломочных цирконов песчаников (по данным [7]) из метатерригенной пестроцветной толщи о. Тройной архипелага Известий ЦИК (А), сложнинской свиты о. Большевик (Б), нижней части осадочного чехла островов архипелага Северная Земля (В).

общее облако. Большой своей частью облако точек попадает в поле:

- TR – ороген переходного типа и частично – в смежную область;
- QR – ороген, сложенный существенно кварцевыми породами.

В строении области сноса присутствовали и, судя по количеству обломков, преобладали умеренно и слабо метаморфизованные, преимущественно

метаосадочные породы: хлорит-серицитовые и слюдястые сланцы и кварцитосланцы, кварциты. Роль интенсивно метаморфизованных пород чрезвычайно мала. Наличие в песчаниках обломков пестрых по составу вулканитов и мало-глубинных, тонко раскристаллизованных интрузивных пород, при учете особенностей состава хромшпинелидов (см. рис.9), отчасти связано с присутствием в строении орогена островодужных магматических образований и пород надсубдукционных офиолитов.

Спектры возрастов обломочных цирконов для обоих районов [7] (рис. 11) так же значительно близки. В их строении наибольшую амплитуду имеют пики с неопротерозойскими (вендскими) возрастными 553–554 млн лет, и самые молодые, несомненно кембрийские цирконы (495–540 млн лет), образуют около 6% всех зерен для обоих районов и определяют нижний предел возраста формирования отложений. Возраст от 495 до 778 млн лет имеют 65% обломочных цирконов (о. Большевик) и 57% (о. Тройной); в основании главного максимума слабо выражены пики 685 млн и 728 млн лет соответственно. Возраст почти всех остальных зерен сравнительно равномерно (в среднем 1–2%) распределен в интервале от позднего палеопротерозоя по начало неопротерозоя (2100–930 млн лет), с малоамплитудными статистическими максимумами (до 4%) 1248, 1541 и 1881 млн лет (о. Большевик) и 1536 млн лет (о. Тройной). Эти спектры очень близки к результатам, полученным ранее для метатерригенных пород о. Тройной [3] и близких по возрасту пород других районов о. Большевик [3, 6, 18], Северотаймырской зоны [23, 6, 13], островов Де Лонга [12] и северо-восточной части Тимано-Печорской области и смежных частей Полярного Урала [16, 17].

Учитывая набор литокластов песчаников, геохимические особенности аксессуариев и радиоизотопные датировки обломочных цирконов, логично предположить, что формирование отложений происходило за счет сноса с горного сооружения, образованного аккрецией неопротерозойских (преимущественно) и кембрийских островных дуг и террейнов иного происхождения, на предорогеновой стадии этого пояса. Небольшая роль цирконов, датированных второй половиной палеопротерозоя (1600–2100 млн лет, 9% и 11% для о. Тройной и о. Большевик, соответственно), и очень малая доля (>2%) – архейских цирконов, предполагают отсутствие (или небольшое распространение) в области сноса блоков с раннекембрийской корой. Резкое преобладание неопротерозойских датировок свидетельствует о первичности континентальной коры размывавшегося орогена.

Возраст изученных отложений может быть средне-позднекембрийским: отложения нижнего ордовика на о. Октябрьской Революции со структурным несогласием залегают на всех более древних образованиях [2, 28]. При этом степень

деформированности и метаморфизм изученных пород, их принадлежность к комплексу фундамента о. Большевик и о. Известий ЦИК свидетельствуют о более поздней, позднекембрийской окончательной консолидации коры этого района.

Сходные данные о возрасте складчатости тем же методом получены и другими исследователями для других районов островов Северной Земли и архипелага Известий ЦИК, для Северотаймырской зоны и островов Норденшельда [6, 12, 18, 23, 26, 28]. Близкие датировки цирконов пород фундамента имеются и для северо-востока Тимано-Печорской области [16, 17, 21] и Новой Земли [19, 23], что допускает возможность объединения всех этих областей в составе протяженного Тимано-Североземельского орогена, сформировавшего в конце протерозоя—кембрии северо-восточное (в современных координатах) обрамление Балтики [7, 13, 18, 25]. Вероятно, продолжение пояса тиманид прослеживается далее в фундаменте островов Де Лонга [12]. В пределах пояса тиманид могли существовать отдельные террейны с более древней континентальной корой. Однако полученные нами данные для сегмента террейна, обнажающегося по юго-восточной периферии Карского моря, свидетельствуют о первичности его неопротерозойско-кембрийского фундамента.

Пик возрастов (500–650 млн лет) обломочных цирконов является характерным признаком сноса с тиманид и в более молодых, палеозойских отложениях этого и соседних регионов [9, 18, 23, 27]. Строение спектров возрастов обломочных цирконов из терригенных пород фундамента и нижних уровней осадочного чехла Северной Земли (ордовик—силур) (см. рис. 11, В) практически идентичны, т.е. в ордовике и силуре размыты подвергались приподнятые блоки того же самого фундамента [7].

ВЫВОДЫ

По результатам проведенного исследования мы пришли к следующим выводам:

1. Изученные образцы метаосадочных пород о. Большевик и о. Тройной аналогичны по своему петрографическому составу и спектрам возрастов обломочных цирконов. По полученным результатам датирования обломочных цирконов данное сходство предполагает близкий, если не аналогичный возраст отложений, который является средним, что более вероятно, — позднекембрийским.

2. Магматические породы, представленные в обломках в песчаниках в обеих областях, частично происходят из островодужных комплексов, как и часть обломочных хромшпинелидов. Прочие хромшпинелиды перекрыты из гипербазитов задуговых офиолитовых комплексов.

3. Источником сноса для обеих областей по сходству состава песчаников являлась единая складчатая область сложного строения — ороген с преимущественным распространением существенно кварце-

вых метаосадочных комплексов позднекембрийско-среднекембрийского возрастов, с подчиненным значением островодужных магматических комплексов и задуговых офиолитов. Область сноса представляла собой сегмент Тимано-Североземельского складчатого пояса на аккреционной стадии развития. В процессе орогенеза, складчатости и метаморфизма данные осадочные комплексы также вошли в состав Тимано-Североземельского складчатого пояса.

4. Изученные особенности гранулометрии, сортировки, окатанности и окраски пород о. Большевик позволили нам выявить их накопление в умеренно глубоком бассейне при участии турбидитных потоков, тогда, как образование отложений о. Тройной происходило в мелководно- и прибрежно-морских условиях при сопоставимой, сравнительно небольшой, дальности переноса.

5. Наличие в строении позднекембрийского орогена островодужных и задуговых магматических комплексов и преобладание в осадочных толщах на поздних стадиях его становления обломочных цирконов средне-позднекембрийских возрастов [7] свидетельствует о преобладании в строении тиманид Северо-Таймыр—Североземельского сегмента Тимано-Североземельского орогена новообразованной континентальной коры.

В кембрии ороген представлял собой огромный аккреционный складчатый пояс, который протягивался в восточном простирании от северо-восточной окраины Балтики (Тимана) до Северо-Карского региона.

Благодарности. Авторы статьи признательны НК ПАО “Роснефть” (г.Москва) за обеспечение участия в экспедиции геологического факультета МГУ им. м.В. Ломоносова (г.Москва) и предоставленные материалы.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 18-05-70011, 18-05-00495.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев В.В., Вискунова К.Г., Кийко О.А., Козлов С.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 (третье поколение). Сер. Северо-Карско—Баренцевоморская. Лист Т-41-44 — мыс Желания //Объяснительная записка / СПб.: ВСЕГЕИ, 2013. 200с.+3 вкл.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 (новая серия). Лист Т-45-47 — о. Октябрьской Революции. Лист Т-48-50 — о. Большевик / СПб.: МПР РФ—ВСЕГЕИ—ВНИИОкеангеология, 2003. 6 л.
3. Еришова В.Б., Прокопьев А.В., Худoley А.К., Андерсен Т., Куллеруд К., Макарьев А.А., Маслов А.В., Колчанов Д.А. Результаты U—Pb (LA-ICP-MS)-датирования обломочных цирконов из метатерригенных пород фундамента Северо-Карского бассейна //ДАН. 2015. Т. 464. № 4. С. 444—447.

4. Кабаньков В.Я., Rogozov Ю.Г., Макарьев А.А. Стратиграфия верхнепротерозойских отложений острова Большевик (архипелаг Северная Земля) / В кн. *Геология архипелага Северная Земля*. Л.: Севморгео, 1982. С.5–21.
5. Качурина Н.В., Макарьев А.А., Макарьева Е.М. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (3-е поколение). Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. Серия Таймыро-Североземельская. Лист Т-45 48 м. Челюскин // Объяснительная записка / СПб.: ВСЕГЕИ, 2013. 568 с.
6. Макарьев А.А., Макарьева Е.М. Новые данные о возрасте отдельных геологических образований островов и побережья восточной части Карского моря // Разведка и охрана недр. 2012. № 8. С. 71–77.
7. Никишин В.А., Малышев Н.А., Никишин А.М., Голованов Д.Ю., Проскурнин В.Ф., Соловьев А.В., Кулемин П.Ф., Моргунова Е.С., Ульянов Г.В., Фокин П.А. О выделении кембрийского Тимано-Североземельского орогена и периодизации геологической истории // ДАН. 2017. Т. 473. № 5. С.585–589.
8. Рейнек Г.Э., Сингх И.Б. Обстановки терригенно-осадконакопления. м.: Недра, 1981. 439 с.
9. Проскурнин В.Ф. Минерагенический анализ Таймыро-Североземельского региона и оценка его золотоносного потенциала. Автореф. дис. ...докт. геол.-мин. наук. СПб.: ВСЕГЕИ, 2013. 40 с.+2 вкл.
10. Dickinson W.R. Interpreting detrital modes of greywacke and arkose // J. Sediment. Petrology. 1970. Vol. 40. P. 695–707.
11. Dickinson W.R., Bead L.S., Brakenridge G.R., Erjavec J.L., Ferguson R.C., Inman K.F., Knepp R.A., Lindberg F.A., Ryberg P.T. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting // Geol. Soc. Am. Bull. 1983. Vol. 94. P. 222–235.
12. Ershova V.B., Lorenz H., Prokopiev A.V., Sobolev N.N., Khudoley A.K., Petrov E.O., Estrada S., Sergeev S., Larionov A., Thomson T.B. The De Long Islands: A missing link in unraveling the Paleozoic paleogeography of the Arctic // Gondwana Research. 2015. No.35. P.305–322.
13. Ershova V.B., Prokopiev A.V., Khudoley A.K., Proskurnin V.F., Andersen T., Kullerud K., Stepunina M.A., Kolchanov D.A. New U–Pb Isotopic Data for Detrital Zircons from Metasedimentary Sequences of Northwestern Taimyr // Doklady Earth Sci. 2017. Vol. 474. Part.2. P.613–616.
14. Folk R.L., Ward W. Brazos River bar: a study in significance of grain size parameters // J. Sediment. Petrology. 1957. No.27. P.3–26.
15. Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Meffre S. Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks // J. Petrology. 2001. Vol.42. No.4. P.655–671.
16. Kuznetsov N.B., Natapov L.M., Belousova E.A., O'Reilly S.Y., Griffin W.L. Geochronological, geochemical and isotopic study of detrital zircon suites from late Neoproterozoic clastic strata along the NE margin of the East European Craton: Implications for plate tectonic models // Gondwana Research. 2010. No.17. P.583–601.
17. Kuznetsov N.B., Soboleva A.A., Udoratina O.V., Hertseva M.V., Andreichev V.L. Pre-Ordovician tectonic evolution and volcano–plutonic associations of the Timanides and northern Pre-Uralides, north–east part of the East European Craton // Gondwana Research. 2007. No.12. P.305–323.
18. Lorentz H., Gee D.G., Simonetti A. Detrital zircon ages and provenance of the Late Neoproterozoic and Paleozoic successions on Severnaya Zemlya, Kara Shelf: a tie to Baltica // Norwegian J. of Geology. 2008. Vol.88. P.235–258.
19. Lorenz H., Gee D.G., Korago E., Kovaleva G., McClelland W.C., Gilotti J.A., Frei D. Detrital zircon geochronology of Paleozoic Novaya Zemlya – a key to understanding the basement of the Barents Shelf // Terra Nova. 2013. Vol.25. P.496–503.
20. Metelkin D.V., Vernikovskiy V.A., Matushkin N.Yu. Arctida between Rodinia and Pangea // Precambrian Research. 2015. Vol.259. P.114–129.
21. The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica / Gee D. G., Pease V. (eds). Geol. Soc., London, Memoirs. 2004. Vol.30. P.1–3.
22. Passega R., Byramjee R. Grain-size image of clastic deposits // Sedimentology. 1969. Vol.13. P. 233–252.
23. Pease V., Scott R.A. Crustal affinities in the Arctic Uralides, northern Russia: significance of detrital zircon ages from Neoproterozoic and Palaeozoic sediments in Novaya Zemlya and Taimyr // Journal of the Geological Society, London. 2009. Vol.166. P.517–527.
24. Pettijohn F. J., Potter P. E., Siever R. Sand and sandstones / N.Y., Springer, 1987. 553p.
25. Priyatkina N., Collins W.J., Khudoley A., Zastrozhnov D., Ershova V., Chambarlain K., Shatsillo A., Proskurnin V. The Proterozoic evolution of northern Siberian Craton margin: A comparison of U–Pb–Hf signatures from sedimentary units of the Taimyr orogenic belt and the Siberian platform // Int. Geol. Rev. 2017. Vol.59. No.13. P.1632–1656.
26. Prokopiev A.V., Ershova V.B., Miller E.L., Khudoley A.K. Early Carboniferous paleogeography of the northern Verkhoyansk passive margin as derived from U–Pb-dating of detrital zircons: role of erosion products of the Central Asian and Taimyr–Severnaya Zemlya fold belts // Geology and Geophysics. 2013. Vol.54. P.1195–1204.
27. Vernikovskiy V.A., Dobretsov N.L., Metelkin D.V., Matushkin N.Yu., Koulakov I.Yu. Concerning tectonics and the tectonic evolution of the Arctic // Geology and Geophysics. 2013. Vol.54. P.838–858.
28. Vernikovskiy V.A., Vernikovskaya A.E., Pease V.L., Gee D. Neoproterozoic orogeny along the margins of Siberia // The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica / D.G. Gee (ed.). Geol. Soc. London. Memoirs. 2004. Vol.30. P.233–248.
29. Wang X., Griffin W. L., Chen J. Hf contents and Zr/Hf ratios in granitic zircons // Geochem. Journal. 2010. Vol.44. P.65–72.

Tectonic Setting of the Middle-Late Cambrian Deposits of isl. Bolshevik and isl. Troynoy (Russian Arctic): a Case of Clastic Rocks from Metaterrigenous Complexes

P.A. Fokin*, V.O. Yapaskurt, A.M. Nikishin

*Lomonosov Moscow State University, Geologic Faculty,
119991, Moscow, Leninskie Gory, 1
e.mail: fokin@geol.msu.ru

Received January 23, 2019; Revised May 3, 2019; Accepted May 28, 2019

Abstract – The new data on the tectonic settings and sedimentational circumstances of the Middle-Late Cambrian deposits of the southern part of the North Kara terrane, presented in our research, the data induced from the studies of clastic rocks in the basement metaterrigenous complexes of Troynoy island (archipelago Izvestia CEC) and the northern part of Bolshevik island (archipelago Severnaya Zemlya). The sandstones of both regions are similar in the lithic wacke composition and contain the same groups of rocks fragments. Clastic zircons and Cr-spinels from sandstones of both regions have the same Zr/Hf and TiO₂/Al₂O₃ ratios, respectively.

The similarity of even-aged sediments from both regions can be explained by their accumulation due to the demolition of detrital material from a single source eroded area, which is a segment of the accretionary uplift of the Timan Severnaya Zemlya orogenic belt, with the newly formed continental Neoproterozoic-Cambrian crust. The low – and medium-grade metamorphosed terrigenous complexes dominated in the structure of the source area. Presence of volcanic and intrusive complexes in the source area is marked by clastic Cr-spinels with geochemical signatures of volcanic arc and suprasubductional ophiolites origin. By the beginning of the Ordovician, the Middle Late Cambrian sediments were also crushed, metamorphosed, and included in the structure of the Timan Severnaya Zemlya orogenic belt. Peculiarities of petrographic and grain-size composition and sorting of the sandstones from the north of Bolshevik island are more typical for the sediments of gravity turbidite flows, in deep or relatively deep water conditions. The deposits of Troynoy island could be formed at shallow and coastal-marine environments.

Keywords: archipelago of Izvestia CEC Island, Severnaya Zemlya archipelago, The Kara Sea, petrographic composition, clastic zircons, Cr-spinels, Cambrian, accretionary orogen