

Эдиакарско-среднекембрийский основной вулканизм о. Врангеля: возраст и геодинамические обстановки формирования*

А. В. Моисеев¹, С. Д. Соколов¹, М. И. Тучкова¹, В. Е. Вержбицкий²

¹ Геологический институт РАН,

Российская Федерация, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7

² ПАО «НК «Роснефть»»,

Российская Федерация, 115035, Москва, ул. Дубининская, 31А

Для цитирования: Моисеев, А. В., Соколов, С. Д., Тучкова, М. И., Вержбицкий, В. Е. (2019). Эдиакарско-среднекембрийский основной вулканизм о. Врангеля: возраст и геодинамические обстановки формирования. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 64 (2), 267–280. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.206>

В настоящей работе приведены результаты изучения U—Pb SIMS датирования акцессорного циркона и геохимических особенностей основных вулканитов центральной части о. Врангеля. Обнажения последних пространственно сближены с выходами на поверхность риолитов. Долгое время образования этих пород относили к раннекаменноугольному периоду, поскольку они несогласно перекрываются верхнекаменноугольными известняками. Исследователи оценивают возраст риолитов в ~590–610 млн лет, а их состав сопоставляется с составом гранитов А-типа. Для основных вулканитов отмечается большой разброс U—Pb—SIMS-возрастов зерен циркона. Предполагается, что возраст кристаллизации соответствует эдиакарско-среднекембрийскому времени (~510–608 млн лет). В вулканитах высока концентрация TiO₂ — до 3,4 масс. %. Спектры распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) характеризуются резким преобладанием легких РЗЭ (ЛРЗЭ) над средними (La/Sm)_n = 1,4...2,4 и тяжелыми (La/Yb)_n = 2.2...6,1. На мультиэлементных диаграммах прослеживаются отрицательная Nb—Ta-аномалия, а также обогащение состава крупноионными литофилами и большинством высокозарядных элементов. Геохимические особенности основных вулканитов о. Врангеля указывают на их сходство с траппами основания Норильской мульды и внутриплитную обстановку формирования. Проведенные нами геологические наблюдения и полученные значения возраста доказывают комагматичность основных вулканитов с риолитами, имеющими геохимические черты гранитов А-типа. Предполагается, что данная бимодальная ассоциация образовалась в пределах континентального рифта. С учетом данных американских исследователей, продолжение этой рифтовой структуры может быть намечено по области развития разновозрастных ортогнейсов и габброидов п-ова Сьюард на Аляске, которые совместно с комплексами о. Врангеля включены в состав микроплиты Арктическая Аляска — Чукотка.

Ключевые слова: геохимия, вулканиты, геодинамика, тектоника, Арктика, остров Врангеля.

* Авторы признательны ПАО «НК «Роснефть» за финансовую поддержку полевых исследований. Аналитическая работа выполнялась за счет средств гранта РФФ № 16-17-10251. Работа над статьей завершилась при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-05-00795. Сотрудники ГИН РАН обеспечивались базовым финансированием за счет субсидии по теме № 0135-2016-0022.

1. Введение

Остров Врангеля — один из наиболее хорошо изученных геологических объектов среди островов российского сектора Восточной Арктики. Наиболее полно его геологическое строение описано в работах (Косько и др., 2003; Соколов и др., 2017).

Геологические комплексы о. Врангеля представлены неопротерозойско-раннекембрийскими (?) метаморфическими породами (врангелевский комплекс), карбонатными и терригенными отложениями позднего силура — триаса и терригенными отложениями верхнего мела — кайнозоя (Косько и др., 2003). Среди пород осадочного чехла в небольших локальных обнажениях центральной части острова описаны вулканиты кислого и основного состава. Прямые данные о возрасте вулканитов долгое время отсутствовали, исследователи оценивали его по-разному:

- протерозойско-раннекембрийский (Каменева, 1975);
- девонско-раннекаменноугольный в составе метаморфизованной свиты Берри (Ганелин и др., 1998; Тильман и др., 1970);
- раннекаменноугольный (Косько и др., 2003).

На основе гипотезы о комагматичности вулканитов бимодального состава в работе (Косько и др., 2003) предполагается их рифтогенное происхождение в каменноугольное время. Однако дополнительные аналитические работы для уточнения этих предположений не проводились. В работе (Лучицкая и др., 2017) возраст риолитов (по зернам циркона, U—Pb-датировка) оценивается в 590–610 млн лет, их состав соответствует гранитам А-типа, но вулканиты основного состава в работе не рассматривались. Предварительные данные по вещественному составу базальтов центральной части о. Врангеля были опубликованы в работе (Moiseev et al., 2015): по ним невозможно было однозначно определить природу базальтов, но были отмечены признаки их внутриплитного и надсубдукционного происхождения.

Таким образом, возраст и природа основного вулканизма центральной части о. Врангеля остаются дискуссионными. Во время полевых работ 2006 и 2014 гг. проводилось геохронологическое и геохимическое опробование основных вулканитов, результаты которого изложены в данной статье.

2. Геологический очерк

Остров Врангеля относится к Новосибирско-Врангелевской складчатой системе (Парфенов и др., 1993; Геодинамика..., 2006; Соколов, 2010). Комплексы острова включены в состав микроплиты Арктическая Аляска — Чукотка и состоят из метаморфического фундамента и складчатого осадочного чехла. К фундаменту относятся принадлежащие врангелевскому комплексу метаморфизованные в зеленосланцевой фации вулканогенные и осадочные породы и тела гранитов. Общая мощность врангелевского комплекса оценивается в 2 км (Косько и др., 2003). В составе чехла выделяются следующие комплексы:

- 1) терригенные и карбонатные отложения верхнего силура — нижнего девона (мощностью 400–700 м);
- 2) песчаники, алевролиты, реже известняки девона (мощностью 1500–2000 м);

- 3) терригенные и карбонатные отложения нижнего карбона (мощностью до 350 м);
- 4) известняки, реже терригенные породы карбона (мощностью 300–1700 м);
- 5) терригенно-карбонатные отложения перми (мощностью 800–1200 м);
- 6) триасовые отложения, в основном турбидиты, общей мощностью более 2 км.

Согласно исследованиям предшественников (Косько и др., 2003; Тильман и др., 1970), о. Врангеля имеет складчато-надвиговое строение, оформившееся в конце раннего мела. Надвиги субпараллельны осевым поверхностям складок и падают на юг под углами 35–60°, оси складок имеют субширотное простирание (рис. 1).

Магматические породы на о. Врангеля имеют ограниченное развитие, образуя разрозненные выходы общей площадью не более 10 км². На юге острова они встречаются в составе врангелевского комплекса, а в центральной части — в обнажениях гор Первой и Гробницы, расположенных в междуречье рек Неизвестная и Красный Флаг (см. рис. 1) (Косько и др., 2003). Видимая мощность вулканических пород — 100–200 м. Геологические взаимоотношения изучаемых вулкаников с девон-раннекаменноугольными породами неясна. Известняки верхнего карбона со стратиграфическим несогласием и базальными конгломератами перекрываются вулканиками (Косько и др., 2003).

В районе горы Первой мы отобрали шесть образцов вулканических пород: среди риолитов были отмечаются коренные обнажения основных вулкаников. Непосредственный контакт магматических пород разного состава не обнаружен. Основные вулканики обладают массивной и миндалекаменной текстурой (рис. 2, а).

На северном склоне горы Гробницы мы отобрали 11 образцов основных вулкаников (см. рис. 1). В редких случаях вулканики из этой местности сохраняют подушечную отдельность (см. рис. 2, б).

3. Аналитические методы

3.1. Элементные составы пород

Породообразующие элементы анализировались в химической лаборатории Геологического института РАН рентгено-флуоресцентным методом с использованием спектрометра S4 Pioneer фирмы Bruker AXS GmbH (Германия) и программного обеспечения Spectra-Plus. Техника подготовки проб к анализу и статистические показатели точности и правильности анализа соответствуют требованиям отраслевой методики Научного совета по аналитическим методам исследований Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (НСАМ МПР РФ) № 439-РС (Определение..., 2010).

Анализ элементов-примесей был проведен в лаборатории ядерно-физических и масс-спектральных методов Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (АСИЦ ИПТМ РАН) под руководством заведующего лабораторией ядерно-физических и масс-спектральных методов анализа, кандидата геолого-минералогических наук В. К. Карандашева.

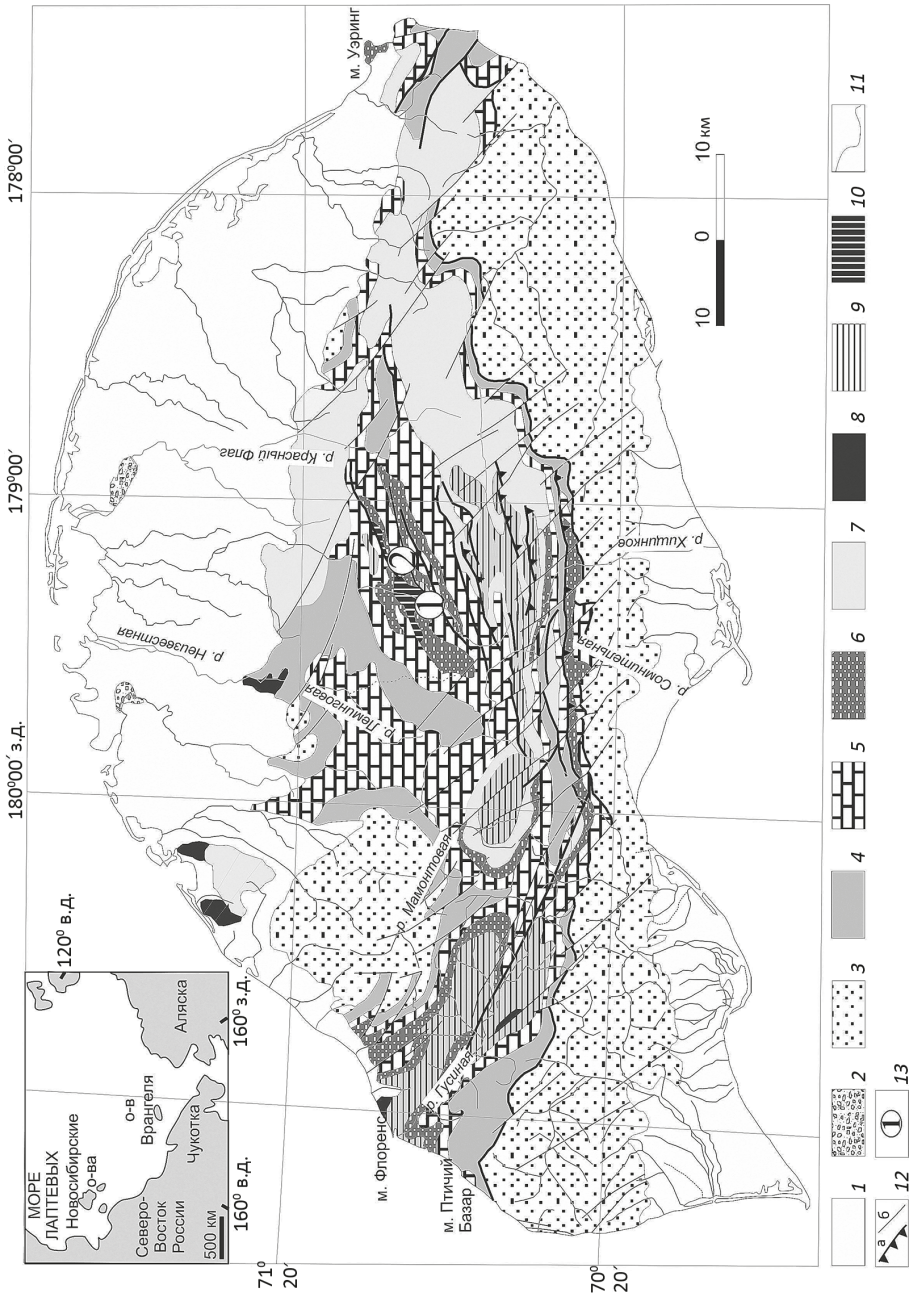


Рис. 1. Геологическое строение о. Врангеля ((Коско и др., 2003) с изменениями):

1 — четвертичные отложения; 2 — триас; 3 — пермь; 4 — средний-верхний карбон; 5 — нижний-верхний карбон; 6 — нижний карбон; 7 — верхний девон — нижний карбон; 8 — верхний силур — нижний девон; 9 — неопротерозой (врангелевский комплекс); 10 — вулканические породы центральной части острова; 11 — стратиграфические контакты; 12 — разломы: а — надвиги, б — сдвиги; 13 — районы опробования (цифры в кружках); 1 — у горы Первой, 2 — у горы Гробницы

а**б**

Рис. 2. Основные вулканиты центральной части о. Врангеля:
 а — миндалекаменная структура в спилитах, выполненная вторичными хлоритом и эпидотом (образец 14-243-01); б — массивные вулканиты

3.2. Изотопное датирование цирконов

Цирконы выделялись по стандартным методикам плотностной и магнитной сепарации в Геологическом институте РАН. Их U—Pb—SIMS-датирование осуществлялось на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-II в Центре изотопных исследований (ЦИИ) ВСЕГЕИ. Изотопные соотношения U и Pb измерялись по традиционной методике, принятой в ЦИИ (Whilliams, 1998). Полученные данные обрабатывались с помощью программы SQUID (Ludwig, 2001), а графики с конкордией строились с использованием программы ISOPLOT/EX (Ludwig, 2003). Данные изотопных измерений приведены в таблице.

4. Результаты

4.1. Петрографический состав

Все породы основного состава претерпели низкотемпературное преобразование и представлены спилитами. Текстура последних массивная, катаклазированная, миндалекаменная. Структура пород интерсервальная, толеитовая, порфирировая. Структура основной массы микролитовая. Порфиры представлены альбитом (образованиями размером 0,5–1,5 мм; их доля 5–10%), часто полностью замещенным карбонатом и минералами группы эпидота, серицитом и соссюритовым агрегатом. В редких случаях отмечаются нечетко выраженные радиально-лучистые сростки плагиоклаза. Миндалины выполнены хлоритом, эпидотом и мелкими зернами кварца.

4.2. Результаты U—Pb—SIMS-датирования акцессорных цирконов

Из спилита (образец 14-243-01) мы проанализировали 10 зерен циркона. Низкие средние значения соотношения U/Th (0,54) в их составе указывают на магматическую природу цирконов. Отмечается большой разброс значений возраста

Таблица. Результаты U—Rb-изотопных (SHRIMP-II) анализов акцессорных зерен цирконов шпилита центральной части о. Врангеля (образец 14-243-01)

Точка	Доля $^{206}\text{Pb}_c$, %	U, г/г	Th, г/г	Th, Th/U	$^{206}\text{Pb}^*$, г/г	Возраст, млн лет						Соотношение изотопов							
						$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 1σ	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ 1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ±%	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ±%	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ±%	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ ±%	Rho	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ±%	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ±%	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ ±%	Rho	
14-243-01_4.1	3,34	379	190	0,52	13,5	±5,6	1121	±180	245	±5,1	24,98	2,3	0,04	2,3	0,077	9	0,425	9,3	2,42
14-243-01_7.1	0,31	877	925	1,09	30,6	±5	238	±57	255,7	±5	24,73	2	0,04044	2,0	0,0509	2,5	0,2841	3,2	62,4
14-243-01_3.1	0,20	2507	889	0,37	112	±6,2	282	±34	325,3	±6,2	19,34	2	0,0517	2,0	0,05193	1,5	0,3702	2,4	799
14-243-01_8.2	0,00	844	398	0,49	39,2	±6,5	342	±42	339,3	±6,6	18,5	2	0,054	2,0	0,05331	1,8	0,397	2,7	729
14-243-01_8.1	0,07	869	431	0,51	41,1	±6,6	364	±43	345,1	±6,7	18,17	2	0,055	2,0	0,0538	1,9	0,408	2,7	719
14-243-01_1.1	0,26	346	140	0,42	25	±10	516	±74	520	±11	11,9	2,1	0,084	2,1	0,0576	3,4	0,668	4	526
14-243-01_2.1	0,35	213	151	0,73	16,7	±11	607	±120	560	±12	11	2,1	0,0909	2,1	0,0601	5,5	0,753	5,9	360
14-243-01_6.1	0,15	207	195	0,97	17,2	±12	570	±64	596	±12	10,33	2,1	0,0968	2,1	0,0591	2,9	0,789	3,6	584
14-243-01_9.1	0,08	474	79	0,17	46,8	±13	683	±35	701	±14	8,71	2	0,1148	2	0,0622	1,6	0,986	2,6	770
14-243-01_5.1	0,33	334	53	0,17	33,7	±15	579	±110	716	±15	8,55	2,2	0,1169	2,2	0,0593	4,9	0,956	5,4	404

Пр и м е ч а н и я: 1. Ошибка в калибровке стандарта 0,5%. 2. $^{206}\text{Pb}_c$ и $^{206}\text{Pb}^*$ — обыкновенный и радиогенный свинец; изотопные соотношения и содержания нерадиогенного Rb скорректированы по измеренному содержанию ^{204}Pb . 3. Rho — коэффициент корреляции.

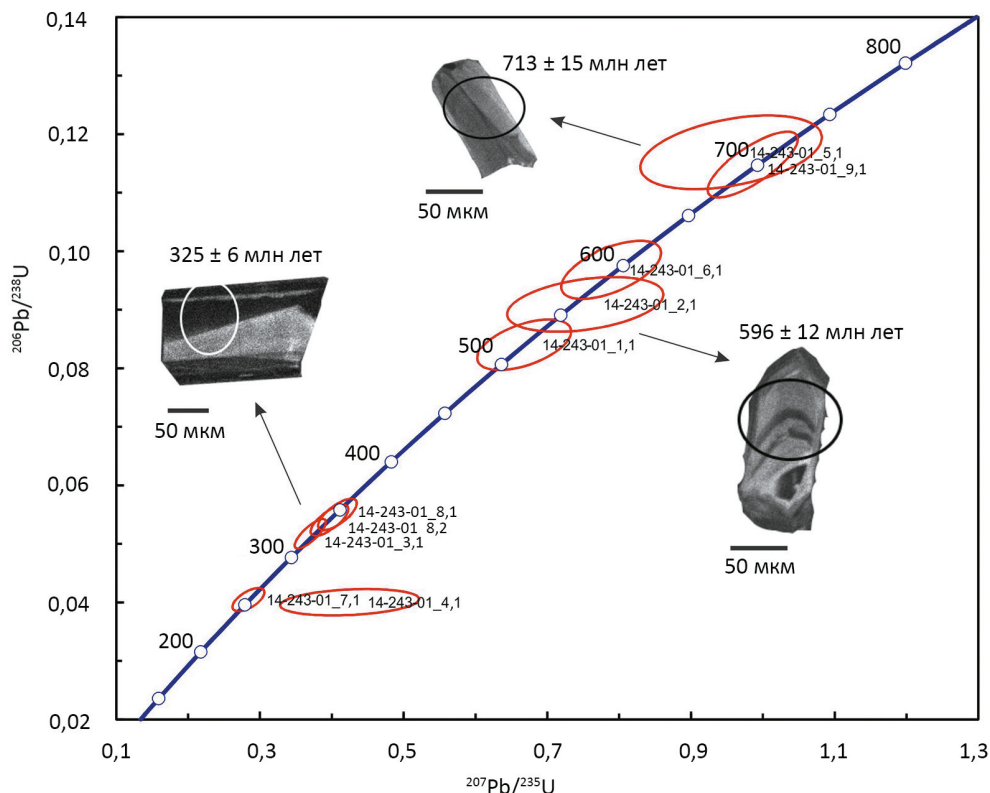


Рис. 3. Диаграмма с конкордией для U—Pb-изотопных данных и микрофотографии в режиме катодолюминесценции акцессорных цирконов спилита (образец 14-243-01):

эллипсы соответствуют среднеквадратическим отклонениям (СКО) для погрешностей определений изотопных соотношений для каждого зерна, равным $\pm 2\sigma$

этих зерен — от 248 млн до 728 млн лет. Все значения конкордантные. Половина изученных цирконов имеет фанерозойский возраст. Два зерна имеют возраст ~245–260 млн лет ($n = 2/10$), три замера по двум зернам показали их возраст ~320–350 млн лет. Эдиакарско-среднекембрийские значения (510–608 млн лет) широко распространены вдоль линии конкордии. Два замера показали близкие значения возраста — около 706 млн лет (см. рис. 3).

4.3. Петро-геохимические особенности пород

Всего мы проанализировали 17 валовых составов основных вулканитов. По содержанию кремнезема (от 42,7 до 56,8 масс. %) породы попадают в поля базальтов, реже — в поля андезибазальтов. Концентрация MgO составляет 1,0–9,7 масс. %. На диаграмме AFM фигуративные точки отражают фракционирование по ферровскому типу с существенным увеличением концентрации железа (рис. 4). По мере снижения магнезиальности в составах пород растет концентрация титана ($TiO_2 = 1,1 \dots 3,4$ масс. %) и немного падает концентрация глинозема (от 12,2 до 19,2 масс. %). Спектры распределения содержания редкоземельных элементов (РЗЭ), нормированные на хондрит, сходны между собой и спектром усреднен-

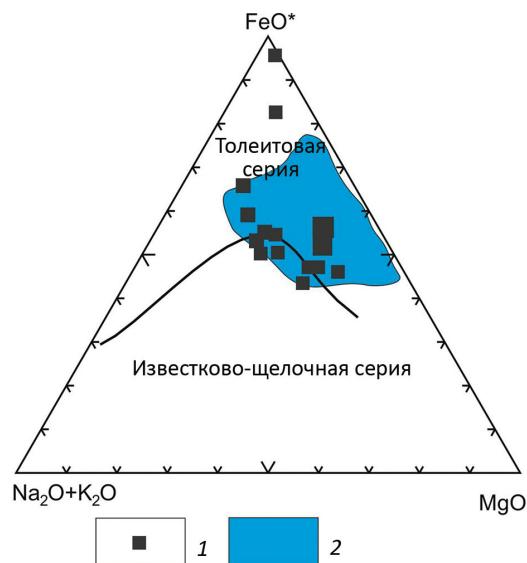


Рис. 4. AFM-диаграмма (по работе (Irvine and Barager, 1971)) магматических пород центральной части о. Врангеля:

1 — спилиты о. Врангеля; 2 — вулканиты рифтогенной стадии Норильской мульды (для сравнения)

ных составов вулканитов Норильской мульды (рис. 5, а). Отмечается резкое обогащение состава вулканитов о. Врангеля легкими редкоземельными элементами (ЛРЗЭ) относительно средних (СРЗЭ) и тяжелых (ТРЗЭ): $(La/Yb)_n = 2,2 \dots 6,1$; $(La/Sm)_n = 1,4 \dots 2,4$. Суммарное содержание РЗЭ ($La + Sm + Yb$) — от 9,7 до 34,2 г/т. Отмечаются незначительные отрицательные Eu-аномалии.

На мультиэлементных диаграммах РЗЭ для вулканитов отчетливо прослеживается отрицательная Nb–Ta-аномалия (Nb — от 2,5 до 11,7 г/т; Ta — от 0,1 до 0,7 г/т), а также обогащение составов всеми крупноионными литофилами (КИЛЭ) — Rb (4,5–24 г/т), Ba (18,8–184 г/т) и Th (0,9–6 г/т) (см. рис. 5, б). Подобные характеристики свойственны надсубдукционным магматическим комплексам. Однако из-за высоких концентраций Zr (143–225 г/т), Hf (2,0–5,7 г/т), Ti и всех лантаноидов спектры этих вулканитов сходны со спектрами внутриконтинентальных траппов (рис. 6, а и б). Судя по дискриминантным диаграммам зависимости $(Zr/Y)–Zr$ и $(Ti/100)–V$, спилиты центральной зоны тяготеют к полям внутриплитных базальтов. На диаграмме зависимости Ti–V основные эффузивы образуют тренд, характерный для рифтогенных базальтов (внутриконтинентальных задуговых бассейнов) и базальтов N-MORB (рис. 6, в).

5. Обсуждение результатов

Нахождением тел вулканитов основного состава среди риолитов подтверждается комагматичность этих пород, что было предположено в работе (Косьюко и др., 2003). Также в пользу данного предположения указывают сходные геодина-

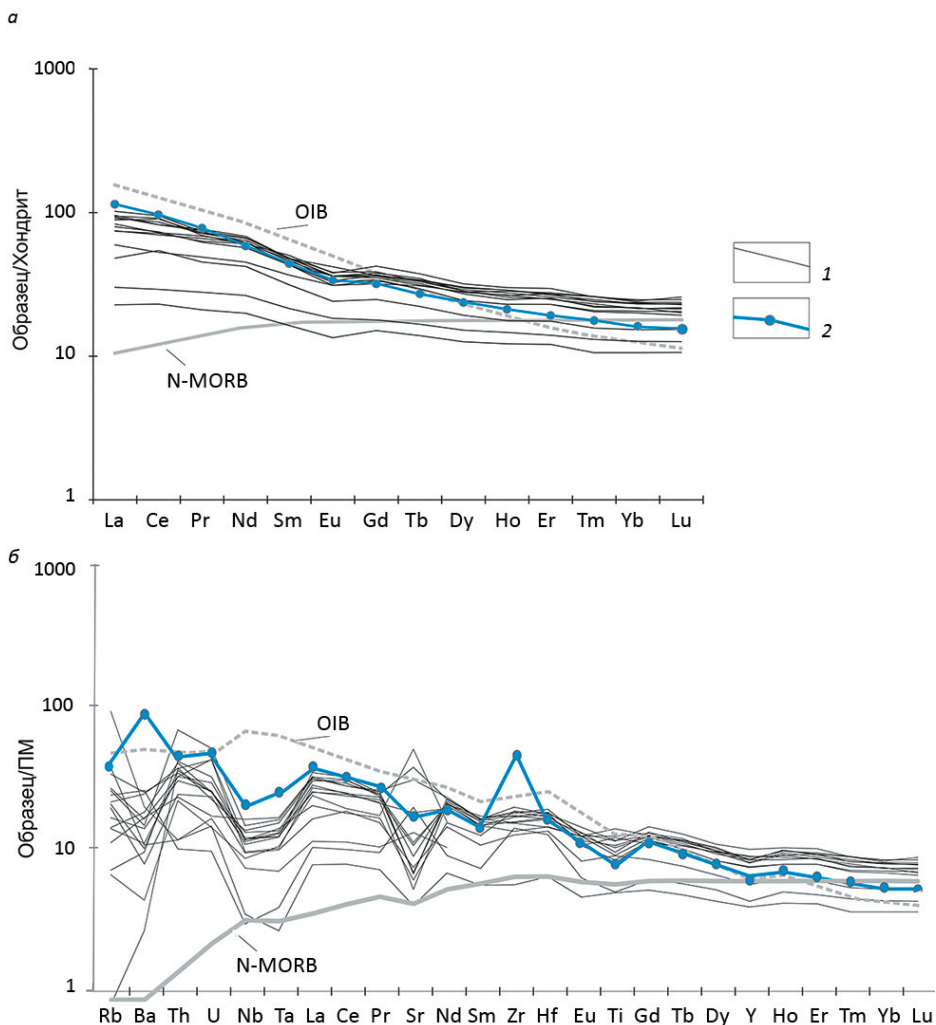


Рис. 5. Нормированные в соответствии с работой (Sun and McDonough, 1989) спектры распределения РЗЭ (а) и элементов-примесей (б):

а — нормированные по хондриту, б — нормированные к примитивной мантии (ПМ) для спилитов центральной части о. Врангеля; 1 — спилиты о. Врангеля; 2 — вулканы рифтогенной стадии Норильской мульды (Криволицкая, 2014); N-MORB — нормальные базальты срединно-океанических хребтов, OIB — базальты океанических островов

мические обстановки образования вулкаников различного состава, что описано далее.

В ходе исследований не удалось получить надежной абсолютной датировки вулкаников центральной зоны. Определенные по цирконам U—Pb-изотопные значения возраста имеют большой разброс. Пермотриасовые датировки (~245–260 млн лет) не имеют геологического смысла, поскольку они с несогласием перекрыты породами карбона. Раннекаменноугольные значения (~340 млн лет) наиболее близки к оценкам возраста данных пород по (Косько и др., 2003). Значения

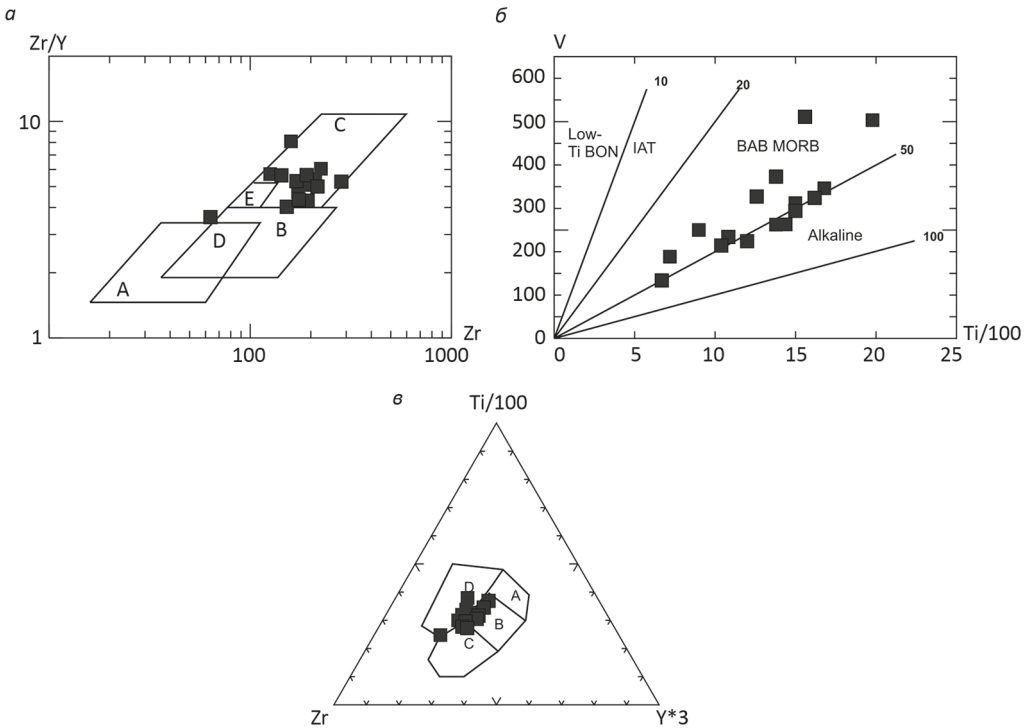


Рис. 6. Дискриминантные диаграммы для спилитов центральной части о. Врангеля:

a — диаграмма зависимости $(Zr/Y) - Zr$ (Pearce et al., 1984); поля на диаграмме: А — островодужные базальты, В — базальты срединно-океанических хребтов (MORB), С — внутриплитные базальты, D — островодужные базальты и MORB, E — внутриплитные базальты и MORB; *б* — диаграмма зависимости $(Ti/1000) - V$ (Shervais, 1982); поля на диаграмме: IAT — островодужные толеиты, Low Ti BON — низко титанистые бониниты, MORB — базальты срединно-океанических хребтов, BAB MORB — базальты задуговых бассейнов, Alkaline — базальты океанических островов и щелочные базальты; *в* — диаграмма зависимости $(Ti/1000) - Zr - (Y/3)$ (Pearce and Cann, 1973); поля на диаграмме: А — толеиты островных дуг, В — базальты срединно-океанических хребтов, островодужные толеиты и известково-щелочные базальты, С — известково-щелочные базальты, D — внутриплитные базальты, $Y*3$ — утроенная концентрация иттрия

возраста от верхов эдиакария до раннего кембрия разбросаны вдоль конкордии и, по-видимому, соответствуют нескольким тектономагматическим этапам. Возраст наиболее древних цирконов (~690–720 млн лет) сопоставим с возрастом кристаллизации гранитоидов врангелевского возраста (Лучицкая и др., 2017), и, скорее всего, эти цирконы являются захваченными. По нашему мнению, возрасту кристаллизации соответствует датировка ~510–608 млн лет. Данный возраст максимально близок к датировкам ~590–610 млн лет, полученным для риолитов района горы Первой (Лучицкая и др., 2017). Помимо этого на допозднекембрийский возраст основных вулканитов указывают данные U—Pb-датирования обломочных цирконов базальных конгломератов карбона, перекрывающих кислые и основные вулканиты в районе горы Первой. Без учета малочисленных мезопротерозойских датировок статистически значимы оценки возраста от 535 млн, 590 млн и 660 млн лет при полном отсутствии более молодых зерен циркона (Соколов и др., 2017).

Основные вулканические породы о. Врангеля представлены спилитами толеитовой серии. Геохимически породы сходны с траппами основания Норильской

мульды (из Ивакинской, Сыверминской и Гудчихинской свит) (см. рис. 4). Концентрация петрогенных элементов в Норильских траппах (TiO_2 — от 1,6–2,9 до 3,4 масс. %; Al_2O_3 — от 9,4 до 15,6 масс. %; MgO — от 3,0 до 15,0 масс. %) близка к таковой в основных вулканитах о. Врангеля. Также отметим сходство в содержании элементов-примесей (см. рис. 5). Следует отметить сходство изучаемых вулканитов о. Врангеля с базальтами и андезибазальтами задуговых бассейнов. На это указывают признаки вулканических пород, формирующихся в условиях морского дна: подушечная (?) отдельность и спилитизация, а также высокие содержания КИЛЭ и низкие содержания Nb и Ta, свойственные для надсубдукционных расплавов. Мы отдаем предпочтение гипотезе о внутриплитной обстановке формирования вулканитов. Доводами к этому служат высокие содержания всех элементо-примесей (в том числе RЗЭ, Ti, Zr и Hf) в вулканитах, а также общее сходство с вулканитами Норильской мульды. Низкие содержания Nb и Ta, скорее всего, связаны с контаминацией надсубдукционных магм или верхней континентальной коры. На коровую контаминацию указывают высокие значения соотношения La/Sm. Ассоциация изученных спилитов с риолитами, имеющих геохимические черты гранитов А-типа (Лучицкая и др., 2017), указывает на существование бимодальной рифтогенной ассоциации в эдиакарско-среднекембрийское время.

Наиболее подходящий аналог вулканитов бимодального состава о. Врангеля — близкие по возрасту комплексы п-ова Сьюард, которые также включены в состав микроплиты Арктическая Аляска — Чукотка. На полуострове описаны ортогнейсы и габброиды возрастом соответственно 565 млн и 540 млн лет. В работе (Amato et al., 2009) предполагается, что эти породы формировались в рифтогенной обстановке. Подобное сходство эдиакарско-среднекембрийских магматических пород п-ова Сьюард и о. Врангеля может указывать на то, что они образовались в пределах единой рифтовой зоны.

7. Заключение

Основные эффузивы центральной части о. Врангеля объединяются в бимодальную ассоциацию с риолитами. Период формирования основных вулканитов датирован по единичным зернам циркона и соответствует эдиакарско-среднекембрийскому времени. Полученные значения возраста сходны с конкордантными датировками аксессуарных цирконов из риолитов (Лучицкая и др., 2017). Вулканиты образовались в пределах континентального рифта. Сходные тектоническое положение, время и обстановки формирования магматических пород о. Врангеля и п-ова Сьюард указывают на существование единой рифтовой зоны в эдиакарско-среднекембрийское время.

Литература

- Ганелин, В. Г., Матвеев, А. В., Кропачева, Г. С., 1989. Верхнепалеозойские отложения острова Врангеля. ВСЕГЕИ, Ленинград.
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн., 2006 / Ханчук, А. И. (под ред.), Дальнаука, Владивосток.
- Каменева, Г. И., 1975. Структура центральной части о. Врангеля, в: Геология и полезные ископаемые Новосибирских островов и острова Врангеля. НИИГА, Ленинград, 49–58.

- Косько, М. К., Авдюничев, В. В., Ганелин, В. Г., Опекунов, А. Ю., Опекунова, М. Г., Сесил, М. П., Смирнов, А. Н., Ушаков, В. И., Хандожко, Н. В., Харрисон, Дж. К., Шульга, Ю. Д., 2003. Остров Врангеля: геологическое строение, минералогия, геоэкология. ВНИИ геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И. С. Грамберга, Санкт-Петербург.
- Кривоуцкая, Н. А., 2014. Эволюция траппового магматизма и Pt—Cu—Ni рудообразование в Норильском районе. Товарищество научных изданий КМК, Москва.
- Луцицкая, М. В., Моисеев, А. В., Соколов, С. Д., Тучкова, М. И., Сергеев, С. А., О'Салливан, П. Б., Вержбицкий, В. Е., Малышев, Н. А., 2017. Крайинно-континентальные и внутриплитные позднепротерозойские граниты и риолиты острова Врангеля (Арктика). Геотектоника 1, 19–43.
- Определение массовой доли элементов в горных породах, рудах и продуктах их переработки рентгеноспектральным флуоресцентным методом, методика количественного химического анализа № 439-РС. 2010. ФГУП «ВИМС», Москва.
- Парфенов, Л. М., Натапов, Л. М., Соколов, С. Д., Цуканов, Н. В., 1993. Террейны и аккреционная тектоника Северо-Востока Азии. Геотектоника 1, 68–78.
- Соколов, С. Д., 2010. Очерк тектоники Северо-Востока Азии. Геотектоника 6, 60–78.
- Соколов, С. Д., Тучкова, М. И., Моисеев, А. В., Вержбицкий, В. Е., Малышев, Н. А., Гущина, М. Ю., 2017. Тектоническая зональность острова Врангеля (Арктика). Геотектоника 1, 3–18.
- Тильман, С. М., Богданов, Н. А., Бялбжеский, С. Г., Чехов, А. Д., 1970. Остров Врангеля, в: Геология СССР XXVI. Острова Советской Арктики. Недра, Москва, 377–404.
- Atato, J. M., Toro, J., Miller, E. L., Gehrels, G. E., Farmer, G. L., Gottlieb, E. S., Till, A. B., 2009. Late Proterozoic—Paleozoic evolution of the Arctic Alaska-Chukotka terrane based on U—Pb igneous and detrital zircon ages: implications for Neoproterozoic paleogeographic reconstructions. Geological Society of America Bulletin 121, 1219–1235.
- Irvien, T. N., Barager, W. R., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences 8, 523–548.
- Ludwig, K. R., 2001. SQUID 1.02, a user manual, a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, Berkeley.
- Ludwig, K. R., 2003. User's manual for Isoplot/Ex, Version 3.00, a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, Berkeley.
- Moiseev, A. V., Sokolov, S. D., Tuchkova, M. I., Verzhbitsky, V. E., Luchitskaya, M. V., 2015. Early Carboniferous (?) volcanic complex of the Wrangel Island. NGU Report 2015. 032. 7th International Conference on Arctic Margins (ICAM 2015), 90–91.
- Pearce, J. A., Cann, J. R., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. Earth and Planetary Science Letters 19, 290–300.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W., Tindle, A. G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology 25(4), 956–983.
- Shervais, J. W., 1982. Ti—V plots and the petrogenesis of modern and ophiolite lavas. Earth and Planetary Science Letters 59, 101–118.
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geological Society London Special Publications 42, 313–345.
- Whilliams, I. S., 1998. U—Th—Pb geochronology by ion microprobe. Reviews in Economic Geology 7, 1–35.

Статья поступила в редакцию 11 декабря 2018 г.
Статья рекомендована в печать 18 марта 2019 г.

Контактная информация:

Моисеев Артем Вячеславович — moartem@yandex.ru
Соколов Сергей Дмитриевич — ssokolov43@mail.ru
Тучкова Марианна Ивановна — mariannatuchkova@gmail.com
Вержбицкий Владимир Евгеньевич — v_verzhbitskiy@rosneft.ru

Ediacarenian-middle Cambrian basic volcanism of Wrangel Island: age and geodynamic setting (Russian East Arctic region)

A. V. Moiseev¹, S. D. Sokolov¹, M. I. Tuchkova¹, V. E. Verzhbitsky²

¹ Geological Institute, Russian Academy of Sciences,
7, Pyzhevskii per., Moscow, 119017, Russian Federation

² JSPC Rosneft Oil Company,
26/1, Sofiiskaya nab., Moscow, 115035, Russian Federation

For citation: Moiseev A. V., Sokolov S. D., Tuchkova M. I., Verzhbitsky V. E. (2019). Ediacarenian-middle Cambrian basic volcanism of Wrangel Island: age and geodynamic setting (Russian East Arctic region). *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 64 (2), 267–280.
<https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.206> (In Russian)

New results from the study of zircon U—Pb ages by SIMS and the geochemistry of basic volcanism of Wrangel Island's central part are considered. Volcanites are represented by rhyolites and spilitized basalts. For a long time, the age of rocks was considered early Carboniferous, since they are discordantly overlapped by late Carboniferous limestones. Recently, the age of rhyolites was estimated at ~590–610 million years; their compositions were compared with A-type granites. For basic volcanites, there is a large spread of U-Pb SIMS ages of zircon grains. The age of crystallization corresponds to the Ediacaran-middle Cambrian time (~510–608 million years). The volcanic rocks' compositions have high concentrations of TiO₂ up to 3.4 wt. %. Chondrite-normalized rare earth element pattern exhibit pronounced enrichment of light REE in respect to medium (La/Sm)_n = 1.4–2.4 and heavy (La/Yb)_n = 2.2–6.1 REE. Primitive-mantle normalized spidergrams show negative Nb-Ta anomaly, significant enrichment with LILEs and most HFSE. The geochemical characteristics of the basic volcanic rocks of Wrangel Island indicate the similarity to traps of the Noril'sk area in northern Central Siberia and intraplate environment. The geological observations and the obtained ages suggest that the basic volcanic rocks are comagmatic with rhyolites having the geochemical features of A-type granites. It is assumed that this bimodal association was formed within the continental rift zone. It is assumed that the rocks were formed in a one single rift system with the coeval orthogneisses and gabbroids of the Alaskan Seward Peninsula.

Keywords: geochemistry, volcanic rocks, geodynamics, tectonics, Arctic region, Wrangel Island.

References

- Amato, J. M., Toro, J., Miller, E. L., Gehrels, G. E., Farmer, G. L., Gottlieb, E. S., Till, A. B., 2009. Late Proterozoic—Paleozoic evolution of the Arctic Alaska-Chukotka terrane based on U—Pb igneous and detrital zircon ages: implications for Neoproterozoic paleogeographic reconstructions. *Geological Society of America Bulletin* 121, 1219–1235.
- Ganelin, V. G., Matveev, A. V., Kropacheva, G. S., 1989. Verkhnepaleozoiskie otlozheniia ostrova Vrangelia. [Deposits of the Wrangel Island]. VSEGEI Publ., Leningrad. (In Russian)
- Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii [Geodynamics, magmatism and metallogeny of the Russian East]: in 2 books, 2006. Khanchuk, A. I. Dalnauka Publ., Vladivostok. (In Russian)
- Irvien, T. N., Barager, W. R., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8, 523–548.
- Katenev, G. I., 1975. Struktura tsentral'noi chasti o. Vrangelia [Structure of the Central part of Wrangel island]. In: *Geologiya i poleznye iskopaemye Novosibirskikh ostrovov i ostrova Vrangelia* [Geology and minerals of the Novosibirsk and Wrangel Islands]. Vol'nov, V. A., Ivanov, V. L. (eds). NIIGA Publ., Leningrad, 49–58. (In Russian)

- Kos'ko, M. K., Avdyunichev, V. V., Ganelin, V. G., Opekunov, A. Yu., Opekunova, M. G., Cecile, M. P., Smirnov, A. N., Ushakov, V. I., Khandozhko, N. V., Harrison, J. K., Shul'ga, Yu. D.*, 2003. Ostrov Vrangelia: geologicheskoe stroenie, minerageniia, geokologiya. [Wrangel Island: Geological Structure, Mineralogy, Geoecology]. VNIIOkeangeologia Publ., St. Petersburg. (In Russian)
- Krivolutskaya, N. A.*, 2014. Evoliutsiia trappovogo magmatizma i platino-medno-nikelevoe orudnenie v Noril'skom raione [Evolution of trap magmatism and processes producing Pt–Cu–Ni mineralization in the Noril'sk area]. KMK Scientific Press, Moscow. (In Russian)
- Luchitskaya, M. V., Moiseev, A. V., Sokolov, S. D., Tuchkova, M. I., Sergeev, S. A., O'Sullivan, P. B., Verzhbitskii, V. E., Malyshev, N. A.*, 2017. Okrainno-kontinental'nye i vnutriplitnye pozdneproterozoiskie granity i riolity ostrova Vrangelia (Arktika) [Marginal continental and within-plate Neoproterozoic granites and rhyolites of Wrangel Island, Arctic Region]. *Geotektonika [Geotectonics]* 51, 17–39. (In Russian)
- Ludwig, K. R.*, 2001. SQUID 1.02, a user manual, a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, Berkeley.
- Ludwig, K. R.*, 2003. User's manual for Isoplot/Ex, Version 3.00, a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, Berkeley.
- Moiseev, A. V., Sokolov, S. D., Tuchkova, M. I., Verzhbitsky, V. E., Luchitskaya, M. V.*, 2015. Early Carboniferous (?) volcanic complex of the Wrangel Island. NGU Report 2015. 032. 7th International Conference on Arctic Margins (ICAM 2015), 90–91.
- Opredeniye massovoy doli elementov v gornyx porodakh, rudakh i produktov ikh pererabotki rentgenospektral'nym fluoretsentnym metodom, metodika kolichestvennogo khimicheskogo analiza N 439-RS [Determination of the mass fraction of elements in rocks, ores and their products by the X-ray fluorescence method, the method of quantitative chemical analysis N 439-RS]. FGUP "VIMS" Publ., Moscow.
- Parfenov, L. M., Natapov, L. M., Sokolov, S. D., Tsukanov, N. V.*, 1993. Terreiny i akkretionnaia tektonika Severo-Vostoka Azii [Terranes and accretionary tectonics of Northeast Asia]. *Geotektonika* 1, 68–78. (In Russian)
- Pearce, J. A., Cann, J. R.*, 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letters* 19, 290–300.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W., Tindle, A. G.*, 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25(4), 956–983.
- Shervais, J. W.*, 1982. Ti–V plots and the petrogenesis of modern and ophiolite lavas. *Earth and Planetary Science Letters* 59, 101–118.
- Sokolov, S. D.*, 2010. Oчерк tektoniki Severo-Vostoka Azii [Tectonics of Northeast Asia: An overview]. *Geotektonika [Geotectonics]* 44, 493–509. (In Russian)
- Sokolov, S. D., Tuchkova, M. I., Moiseev, A. V., Verzhbitsky, V. E., Malyshev, N. A., Gushchina, M. Yu.*, 2017. Tektonicheskaya zonal'nost' ostrova Vrangelia (Arktika) [Tectonic zoning of Wrangel Island, Arctic region]. *Geotektonika [Geotectonics]* 51, 3–16. (In Russian)
- Sun, S. S., McDonough, W. F.*, 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society London Special Publications* 42, 313–345.
- Til'man, S. M., Bogdanov, N. A., Byalobzhesky, S. G., Chekhov, A. D.*, 1970. Ostrov Vrangelia [Wrangel Island]. In: *Geologiya SSSR. T. XXVI. Ostrova Sovetskoi Arktiki [Geology of the USSR. Vol. XXVI. Islands of Soviet Arctic]*. Nedra Publ., Moscow. (In Russian)
- Whilliams, I. S.*, 1998. U–Th–Pb geochronology by ion microprobe. *Reviews in Economic Geology* 7, 1–35.

Received: December 11, 2018

Accepted: March 18, 2019

Author's information:

Artem V. Moiseev — moartem@yandex.ru

Sergei D. Sokolov — ssokolov43@mail.ru

Marianna I. Tuchkova — mariannatuchkova@gmail.com

Vladimir E. Verzhbitsky — v_verzhbitskiy@rosneft.ru