

матит, пиролюзит, органическое и рентгеноаморфное вещество. Сохраняется исходная структура дерева с годовыми кольцами. Кальцит и апатит замещают исходное органическое вещество древесины, имеют дисперсный размер кристаллов. Кальцит выполняет также мелкие трещинки шириной до 0,2 мм. Пирит более поздний минерал, развивается по трещинкам, образует каймы вокруг выделений

кальцита и апатита. Кристаллы пирита размером 1–3 мкм, при срастании образуют более крупные выделения, которые могут выполнять значительные по площади фрагменты. По технологическим и декоративным характеристикам окаменелое дерево Ульяновской области является качественным ювелирно-поделочным материалом флорогенной группы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабошкин Е.Ю. Палеогеография Восточно-Европейской платформы и ее южного обрамления в раннем мелу // Серия аналитических обзоров «Очерки по региональной геологии России». Вып. 1. М.: Изд. Геокарт. ГЕОС, 2005. С. 201–232.
2. Буканов В.В. Цветные камни и коллекционные минералы. Энциклопедия. СПб., 2014. 464 с.
3. Геология СССР. Поволжье и Прикамье. Т. XI. Ч. 1. Геологическое описание / Под ред. Сидоренко А.В. М.: Недра, 1967. 872 с.
4. Петроченков Д.А. Камнесамоцветное сырьё Ульяновской области // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 5. С. 319–323.
5. Петроченков Д.А. Ружицкий В.В. Минералогические особенности ювелирного пирита из меловых отложений Ульяновской области // Разведка и охрана недр. 2018. № 4. С. 7–12.

REFERENCES

1. Baraboshkin E.Yu. Palaeogeography of the East European Platform and its southern framework in the Early Cretaceous. *A series of analytical reviews «Essays on regional geology of Russia»*. 2005, vol. 1, M., Geokart, GEOS Publ., pp. 201–232 (In Russian).
2. Bukanov V.V. *Colored stones and collection minerals. Encyclopedia*. Saint Petersburg, 2014, 464 p. (In Russian).
3. Geology of the USSR. *The Volga region and the Kama region. Geological Description*. vol. XI, no. 1, 1967, Edited by Sidorenko A.V. M., Nedra Publ., 872 p. (In Russian).
4. Petrochenkov D.A. Colored-stone raw materials from Ulyanovsk region. *Mining informational and analytical bulletin (Scientific and technical journal)*, 2006, vol. 5, M., MSMU Publ., pp. 319–323. (In Russian).
5. Petrochenkov D.A., Ruzhitsky V.V. Mineralogical peculiarities of jewelry pyrite from the Cretaceous deposits of the Ulyanovsk region. *Prospect and protection of mineral resources*, 2018, vol. 4, pp. 7–12. (In Russian).

УДК 550.42

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НИЖНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ ПЕСЧАНИКОВ КРЯЖА ЕНГАНЭ-ПЭ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Н.Ю. НИКУЛОВА

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН
54, Первомайская ул., г. Сыктывкар 167892, Россия
e-mail: nikulova@geo.komisc.ru

Приведены результаты изучения вещественного состава песчаников верхнекембрийско-нижнеордовикской манитаньрдской серии в южной части кряжа Енганэ-Пэ (Полярный Урал). Изучение литологических и геохимических характеристик полевошпат-кварцевых песчаников позволило установить, что они образовались в мелководном бассейне на пассивной континентальной окраине в условиях холодного климата. Эпизод вулканической активности, связанный с эпиконтинентальным рифтогенезом, приведший к возникновению субсогласного тела ультракаиевых базальтоидов, на удалении от него маркируется горизонтом песчаников, содержащих «конкреционные» образования. В составе песчаников присутствует слабо изменённый вулканомиктовый материал, они не содержат рециклированных обломков и переотложенного материала коры выветривания. Петрохимические особенности манитаньрдских песчаников не позволяют ожидать обнаружения в них осадочной золоторудной минерализации.

Ключевые слова: песчаник; вещественный состав; обломки; условия осадконакопления.

MATERIAL COMPOSITION AND FORMATION CONDITIONS OF LOWER PALEOZOIC SANDSTONES OF ENGANE-PE RIDGE (POLAR URALS)

N.YU. NIKULOVA

*Institute of Geology of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
54, Pervomayskaya st., Syktyvkar 167892, Russia
e-mail: nikulova@geo.komisc.ru*

The paper presents the results of the study of the material composition of Upper Cambrian-Lower Ordovician Manitanyrd sandstones series in the southern part of Engane-Pe Ridge (Polar Urals). The study of the lithological and geochemical characteristics of feldspar-quartz sandstones has confirmed their formation in a shallow-water basin at the passive continental margin in a cold climate. An episode of volcanic activity, associated with the epicontinental riftogenesis, resulted in the appearance of a sub-comformable body of ultra-potassium basaltoids, and at a distance from it, there is a sandstone horizon containing "concretion" formations. In the composition of the sandstones there is a slightly altered volcanomictic material but they lack of recycled fragments and redeposited material of the weathering crust. The petrochemical features of Manitanyrd sandstones do not allow expecting sedimentary gold mineralization in them.

Keywords: sandstone; material composition; fragments; sedimentation conditions.

В пределах кряжа Енганэ-Пэ на западном склоне Полярного Урала (рис. 1, А) литохимическими поисками по вторичным ореолам рассеяния в ходе работ ЗАО «Голдминералс» выявлены аномалии золота в минерализованных зонах дробления и рассланцевания в терригенно-вулканогенных отложениях фундамента — бедамельской (R_3-V_2bd) и енганэпейской (V_2-E_1en) свит, а также золотоносных корях выветривания. Предполагается присутствие проявлений золоторудной минерализации в нижнепалеозойских терригенных толщах, в зоне структурно-стратиграфического несогласия фундамент/чехол¹. Определение генетической и фациальной принадлежности, установление источников обломочного материала, палеотектонических и палеогеографических условий осадконакопления нижнепалеозойских терригенных толщ с помощью литолого-геохимических методов необходимо для воссоздания истории развития региона и особенно актуально для металлогенического прогнозирования.

Целью данной работы является выявление характеристик вещественного состава песчаников базальных горизонтов манитаньрдской серии, зависящих и, соответственно, указывающих на генетическую принадлежность песчаников, реконструкция на основе литологических, петрохимических и минералогических особенностей, обстановок их формирования.

Геологическое строение кряжа Енганэ-Пэ

Осевой частью хребта Енганэ-Пэ является антиклинальная структура северо-восточной ориентировки, протяженностью около 60 км и шириной около 20 км, сложенная породами рифей-вендского

и нижнепалеозойского структурных этажей, разделённых угловым, стратиграфическим и азимутальным несогласиями (рис. 1, Б). Ядро антиклинали сложено отложениями бедамельской (R_3-V_2bd) серии и енганэпейской (V_2-E_1en) свиты. Отложения верхнего структурного этажа распространены на крыльях складки и представлены осадочными породами нижнепалеозойского возраста. Интрузивные горные породы представлены позднерифейскими экстрозивно-субвулканическими образованиями нижней толщи бедамельской серии и поздневендскими кислыми экстрозивно-субвулканическими образованиями лядейского комплекса и кзыгейского плагиогранит-диоритового комплекса. Манитаньрдская серия (E_3-O_1mn) расчленяется на две части: нижнюю — красноцветную, соответствующую тельпосской свите Северного Урала и обеизской свите Приполярного Урала, и верхнюю — зеленоцветную, соответствующую хыдейской (сaledской) свите.

Нижняя часть разреза манитаньрдской серии сложена песчаниками, содержащими линзы и невыдержанные прослои гравелитов и мелкогалечных конгломератов, мощностью несколько метров. Песчаники, основными породообразующими минералами которых являются кварц и полевые шпаты, содержащиеся в различных соотношениях, представлены всеми гранулометрическими разновидностями — от алевритовых до крупнозернистых и гравийных. Алевриты занимающие подчиненное положение имеют преимущественно кварцевый, редко полевошпат-кварцевый состав. Сланцы кварц-серицитовые, кварц-серицит-хлоритовые, кварц-хлоритовые, серицит-хлоритовые встречаются редко и образуют слои мощностью от нескольких миллиметров до 0,5 м.

¹ Здесь и далее при описании геологического строения приведены материалы отчета: «Прогнозно-поисковые работы на золото в пределах хр. Манитаньрд и Енганэ-Пэ (Республика Коми)». Л.И. Ефанова и др., Сыктывкар, 2009 г.

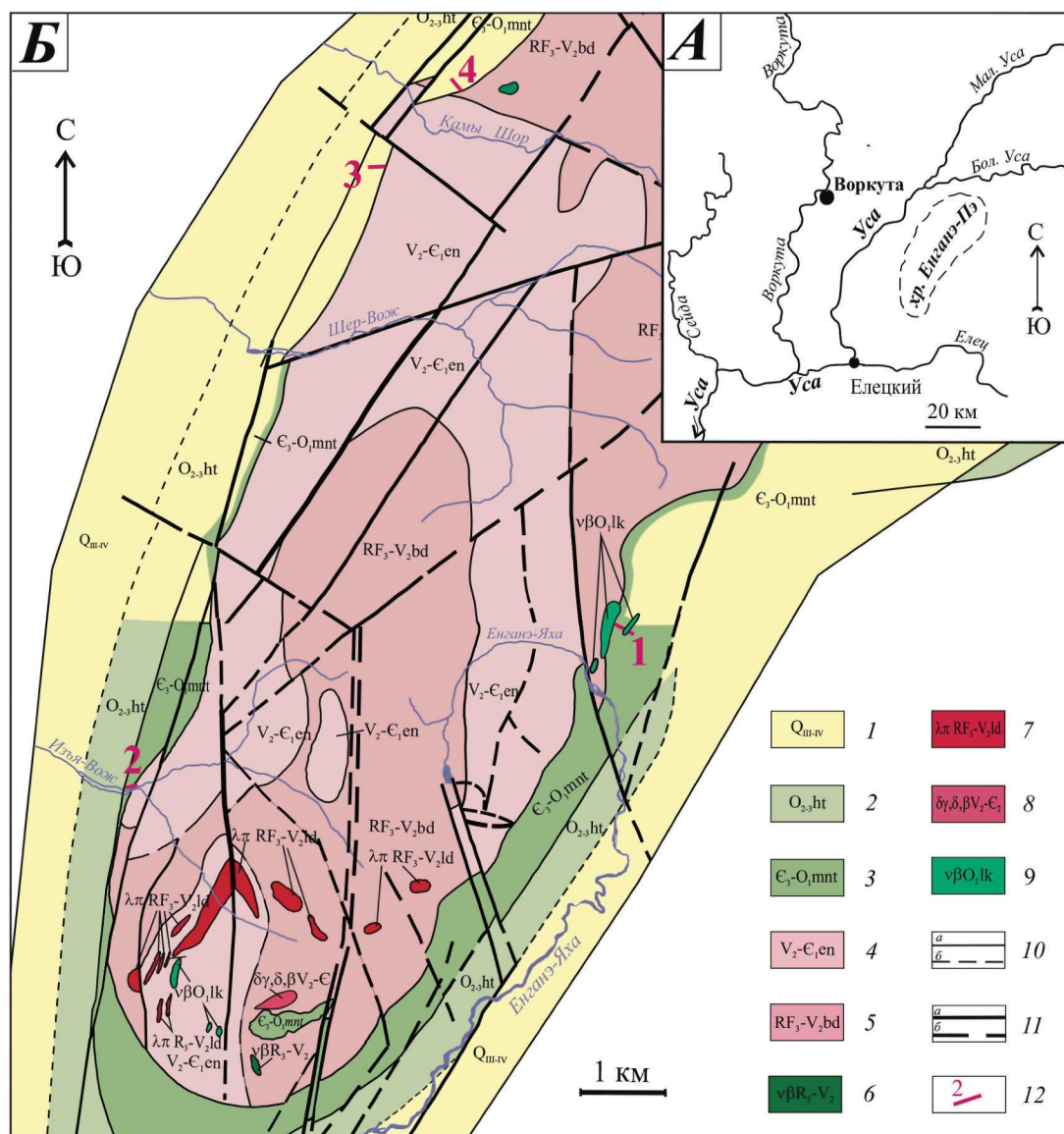


Рис. 1. Схема расположения кряжа Енганэ-Пэ (А) и схематическая геологическая карта (Б) южной части хр. Енганэ [по Ефанова, 2009 г.]: 1 — верхнечетвертичные—современные отложения: глыбы, щебень, дресва, галечники, пески, супеси, суглинки; 2 — хантейская свита: известняки с прослоями сланцев и алевролитов, доломитов и доломитизированных известняков; 3 — манитаньрдская серия нерасчленённая: конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, песчаники, гравелиты; 4 — бедамельская свита: аргиллиты, алевролиты, песчаники, гравелиты; 5 — бедамельская серия: эффузивы основного, среднего, кислого составов и их туфы, линзы известняков; 6 — экструзивно-суб- вулканические образования нижней толщи бедамельской серии: габбро, габбро-долериты; 7 — экструзивно- субвулканические образования кислого состава лядгейского комплекса вулканического; 8 — кзыгейский комплекс габбро-диоритовый: диориты, гранодиориты, плагиограниты; 9 — леквожский комплекс: оливиновые габбро и долериты, пикродолериты; 10 — геологические границы: а — достоверные, б — предполагаемые; 11 — разрывные нарушения: а — достоверные, б — предполагаемые; 12 — изученные разрывы

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являются песчаники из нижней части позднекембрийско-раннеордовикской манитаньрдской серии, описанные и опробованные в ходе полевых работ 2005 и 2017 гг. в четырёх разрезах, вскрывающих зону контакта фундамент/чехол в южной части хребта Енганэ-Пэ (рис. 1, Б). Для исследования отобраны образцы мелкозернистых песчаников, петрографический сос-

тав которых изучен в прозрачных шлифах. Содержание породообразующих оксидов определено традиционным весовым химическим методом в лаборатории Института геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). При интерпретации результатов химических анализов использовались различные индикаторные соотношения и коэффициенты, позволяющие установить генетическую принадлежность, источники и способы поступления обломочного материала, палеоклиматические и палео-

геодинамические условия образования отложений. Минералогические пробы в полевых условиях дробились в ступе и промывались до серого шлиха, после чего разделялись на фракции с использованием бромформа, магнитной и электромагнитной сепарации.

Литологическая характеристика песчаников

Отложения манитаньрдской серии не образуют протяженных коренных выходов, встречаются в отдельных скальных уступах среди элювиально-делювиальных развалов на склонах. Песчаники преимущественно массивные, редко — неясно-горизонтально слоистые за счёт неравномерного распределения темноцветных минералов. На западном склоне кряжа Енганэ-Пэ в коренном выходе и окружающих его развалах в разрезе с координатами 66°33'68" с.ш., 64°66'36" в.д. (рис. 1, Б, разрез 3)

в песчанике обнаружены необычные для манитаньрдских пород текстуры — полусферические углубления, диаметром от 1 до 3 см (рис. 2, а), идеально круглые объёмные образования «сросшиеся» с породой (рис. 2, б) или «вложенные» в неё (рис. 2, в). Последние выглядят слоистыми и внешне напоминают одиночные кораллы. На срезе такие образования представляют собой части полусфер, сложенные таким или немного более выветрелым, неслоистым песчаником, что и вмещающая порода (рис. 2, г, д).

Изученные песчаники манитаньрдской серии характеризуются бластопаппитовой структурой и массивной текстурой (рис. 2, е). Редко наблюдается сланцеватая текстура, заметная благодаря ориентировке чешуек слюдястых минералов. Цемент глинисто-железистый плёночного типа и поровый, сложенный микрозернистым агрегатом кварца, хлорита и серицита. Обломки представлены



Рис. 2. Текстуры и структурные особенности песчаников манитаньрдской серии: а — поверхность с большим числом полусферических углублений различного диаметра; б — округлое, «сросшееся» с вмещающим песчаником образование; в–г — «вложенная» в песчаник полусфера: в — вид сверху; г — разрез; д — песчаник, слагающий «вложенную» полусферу; е — песчаник манитаньрдской серии, обр. 44, разрез 3; фото г, д — в проходящем свете

Таблица 1

Химический состав песчаников, мас. %

Номер п/п	Номер разреза	Номер образца	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ппп	Сумма
1	1	9-1	82,96	0,89	6,80	1,97	0,92	0,010	0,56	0,10	0,24	3,77	0,03	1,14	99,39
2		9-2	93,34	0,32	2,76	0,23	0,66	0,009	0,29	0,10	1,12	1,36	0,03	0,49	100,71
3		10	88,77	0,38	4,11	0,06	1,72	0,009	0,49	0,10	0,18	2,25	0,03	0,74	98,84
4		11	79,21	0,85	8,86	2,08	1,28	0,010	0,86	0,20	0,26	4,29	0,06	1,65	99,61
5		12	93,48	0,20	2,68	0,86	0,43	0,009	0,36	0,40	0,14	1,47	0,03	0,30	100,36
6		18	85,75	0,18	6,58	1,88	0,82	0,033	0,42	0,74	0,34	1,45	0,04	1,64	99,87
7		19	84,59	0,33	7,21	1,06	1,96	0,022	0,72	0,40	1,14	1,16	0,05	1,42	100,06
8		22	86,70	0,21	5,08	1,57	0,73	0,029	0,48	1,23	1,41	0,81	0,03	1,41	99,69
9		23	86,69	0,19	5,90	1,38	1,20	0,039	0,88	0,86	1,51	0,61	0,03	1,38	100,67
10		24	84,88	0,31	7,16	1,50	1,37	0,016	0,62	0,4	1,66	1,2	0,04	1,08	100,24
11		27	91,88	0,25	3,44	1,05	0,99	0,010	0,49	0,10	0,20	0,65	0,03	0,73	99,82
12	2	203	81,54	0,65	7,98	1,60	0,85	0,037	1,03	0,56	1,05	2,62	0,07	1,98	99,97
13		216	73,94	2,18	10,77	3,19	0,82	0,014	0,88	0,56	0,17	5,19	0,14	2,13	99,98
14		220	84,80	1,55	5,89	2,16	0,47	0,005	0,40	0,45	0,10	2,77	0,04	1,39	100,02
10		210	70,26	0,88	12,04	4,29	1,13	0,076	1,65	1,01	0,42	5,14	0,12	3,10	100,12
11	3	43 а	77,46	0,59	7,90	1,42	1,71	0,061	1,14	1,63	0,32	4,43	0,08	3,02	99,77
12		45	87,67	0,24	5,45	1,21	0,73	0,006	0,29	0,23	0,23	2,94	0,03	0,73	99,76
13		47	85,78	0,06	5,01	0,19	1,85	0,065	0,84	1,40	0,62	0,99	0,07	3,74	100,61
14	4	10-3-4	79,36	1,92	5,76	0,37	2,59	0,064	1,06	2,72	0,93	1,02	0,20	3,79	99,79
15		10-2-3	89,74	0,46	3,90	0,96	1,00	0,015	0,55	0,20	0,10	1,51	0,09	1,19	99,84
16		10-1-3	74,61	0,31	4,61	2,67	1,42	0,250	1,68	5,64	0,52	0,97	0,80	6,14	99,66

кварцем, полевым шпатом, силицитом, глинистым сланцем, кварцевой породой с микропиклитоидной структурой. В аксессуарных количествах в шлифах встречены циркон, титанит, эпидот и лейкоксен. Минералогический анализ тяжёлых фракций протоколных проб показал присутствие в составе тяжёлой фракции гематита, турмалина, циркона, эпидота, титанита, апатита, граната, амфибола, хромита, пирита, халькопирита, рутила, анатаза, лейкоксена.

По химическому составу песчаники манитаньдской серии схожи (табл. 1). Они содержат от 70,26 до 91,88 мас. % SiO₂, причём минимальные содержания этого оксида и максимальные содержания щелочей отмечены в песчаниках из разреза на руч. Изъявож, вблизи контакта с телом ультракалевых базальтоидов.

Для типизации песчаников, установления источников обломочного материала и реконструкции их условий образования использованы петрохимические модули и индикаторные соотношения, рассчитанные на основе породообразующих оксидов (табл. 2).

На диаграмме K₂O–Na₂O [2] в поле граувакк попали фигуративные точки псаммитов, в составе которых присутствуют обломки основных интрузивных пород с натриевым типом щелочности (рис. 3, а). Фигуративные точки на диаграмме log(Fe₂O₃_{общ}/K₂O)–log(SiO₂/Al₂O₃) [11] расположены в полях аркозов, субаркозов, сублититов и лититов (рис. 3, б). При этом существенно натриевые песчаники на диаграмме K₂O–Na₂O, попавшие в

область граувакк, оказались в поле сублититов и лититов. Главными породообразующими минералами субаркозовых и аркозовых песчаников являются кварц и кислый плагиоклаз, в сублититовых и лититовых разновидностях — кварц и средний плагиоклаз.

На диаграмме F3–F4 [15], характеризующей предполагаемые источники обломочного материала, фигуративные точки песчаников манитаньдской серии расположены преимущественно в полях изверженных пород среднего и кислого составов (рис. 4).

Четыре точки, соответствующие песчаникам с максимальными содержаниями SiO₂, попали в область богатых кварцем осадочных образований. Такое распределение точек на диаграмме объясняется щелочным характером распространенных в районе основных вулканитов, содержащих существенные количества калия и натрия. Эти показатели отразились на соответствующих коэффициентах и привели к смещению фигуративных точек в области более кислых пород. В нижних частях полей изверженных пород среднего и кислого составов (значения F4 < –10) расположены точки песчаников, состав обломочного материала которых сформирован главным образом за счёт размыва близких по времени образования вулканитов, а точки в верхних частях этих полей соответствуют песчаникам, в формировании которых в различной степени принимали участие и породы фундамента.

Большой разброс значений гидролизатного модуля (ГМ) [6] — от суперсилитов до нормосиалли-

Индикаторные соотношения и модули

Но- мер п/п	Но- мер раз- реза	Номер образ- ца	Log (SiO ₂ / Al ₂ O ₃)	Log (Fe ₂ O ₃ / K ₂ O)	F1	F2	F3	F4	K ₂ O /Na ₂ O	SiO ₂ / Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ / SiO ₂	Fe ₂ O ₃ +MgO	CIA	ICV	CIW	Fe/Mn	(Fe+Mn) /Ti	Al/ (Al+Fe +Mn)	Na ₂ O+ K ₂ O	HKM	ГМ	ТМ	ФМ
1	1	9-1	1,09	-0,28	-4,21	-2,07	14,65	-9,41	15,71	12,20	0,08	2,53	59	1,25	92	178,14	2,27	0,73	4,01	0,59	0,13	0,131	0,04
2		9-2	1,53	-0,77	-3,09	-0,05	19,22	6,69	1,21	33,82	0,03	0,52	44	1,74	58	83,66	2,68	0,72	2,48	0,90	0,04	0,116	0,01
3		10	1,33	-1,57	-3,29	-1,57	17,05	10,21	12,50	21,60	0,05	0,55	58	1,14	90	191,42	5,13	0,62	2,43	0,59	0,07	0,092	0,03
4		11	0,95	-0,31	-3,68	-2,88	11,82	-12,88	16,50	8,94	0,11	2,94	62	1,13	92	218,52	2,91	0,74	4,55	0,51	0,17	0,096	0,05
5		12	1,54	-0,23	-3,84	-0,53	12,91	0,93	10,50	34,88	0,03	1,22	51	1,60	74	89,52	4,59	0,70	1,61	0,60	0,04	0,075	0,02
6		18	1,12	0,11	-3,41	-0,67	-0,24	-18,66	4,26	13,03	0,08	2,30	65	0,91	78	49,78	10,49	0,73	1,79	0,27	0,11	0,027	0,04
7		19	1,07	-0,04	-2,39	-0,60	1,51	-8,82	1,02	11,73	0,09	1,78	65	0,94	73	109,23	8,28	0,67	2,30	0,32	0,13	0,046	0,04
8		22	1,23	0,29	-2,57	0,64	0,69	-15,45	0,57	17,07	0,06	2,05	48	1,56	53	48,85	7,76	0,71	2,22	0,44	0,09	0,041	0,03
9		23	1,17	0,35	-2,36	0,59	-0,50	-12,71	0,40	14,69	0,07	2,26	56	1,37	59	46,04	10,88	0,69	2,12	0,36	0,10	0,032	0,04
10		24	1,07	0,10	-2,29	-0,35	1,67	-14,48	0,72	11,86	0,08	2,12	60	1,07	6	126,04	7,39	0,71	2,86	0,40	0,12	0,043	0,04
11		27	1,43	0,21	-3,68	0,76	0,45	-5,02	3,25	26,71	0,04	1,54	74	1,00	87	144,22	6,55	0,62	0,85	0,25	0,06	0,073	0,03
12	2	203	1,01	-0,21	-2,79	0,12	7,75	-9,77	2,50	10,22	0,10	2,63	59	1,26	74	41,84	2,75	0,78	3,67	0,46	0,14	0,081	0,04
13		216	0,84	-0,21	-4,52	-0,23	13,95	-19,37	30,53	6,87	0,15	4,07	61	1,30	89	158,87	1,16	0,77	5,36	0,50	0,23	0,202	0,07
14		220	1,16	-0,11	-5,04	1,02	14,43	-5,29	27,70	14,40	0,07	2,56	60	1,42	86	284,39	1,04	0,74	2,87	0,49	0,12	0,263	0,04
15		210	0,77	-0,08	-3,27	-2,69	7,93	-37,64	12,24	5,84	0,17	5,94	60	1,34	83	39,71	3,96	0,73	5,56	0,46	0,26	0,073	0,10
16	3	43 а	0,99	-0,49	-2,68	-3,47	15,05	-4,65	13,84	9,81	0,10	2,56	49	1,63	69	37,97	4,54	0,70	4,75	0,60	0,15	0,075	0,06
17		45	1,21	-0,39	-3,61	-2,74	12,18	-7,16	12,78	16,09	0,06	1,50	58	1,07	87	209,47	5,93	0,75	3,17	0,58	0,09	0,044	0,03
18		47	1,23	-0,72	-2,07	0,08	3,19	1,37	1,60	17,12	0,06	1,03	52	1,52	58	29,36	4,04	0,64	1,61	0,32	0,08	0,011	0,03
19	4	10-3-4	1,14	-0,44	-2,23	4,40	12,59	17,70	1,10	13,78	0,07	1,43	43	2,25	47	42,47	1,63	0,59	1,95	0,34	0,13	0,33	0,05
20		10-2-3	1,36	-0,20	-3,40	0,71	9,19	0,85	15,10	23,01	0,04	1,51	64	1,22	88	94,14	3,50	0,66	1,61	0,41	0,07	0,12	0,03
21		10-1-3	1,21	0,44	3,50	7,85	-0,11	-16,16	1,87	16,18	0,06	4,35	27	4,03	29	10,34	10,30	0,53	1,49	0,32	0,12	0,07	0,08

Примечание: F1=0,303 - 0,0447SiO₂ - 0,972 TiO₂ + 0,008Al₂O₃ - 0,267Fe₂O₃ + 0,208 FeO₃,082MnO + 0,14MgO + 0,195CaO + 0,719Na₂O - 0,032K₂O + 7,51P₂O₅;
 F2=43,57 - 0,421SiO₂ + 1,988TiO₂ - 0,526Al₂O₃ - 0,551Fe₂O₃ - 1,61FeO + 2,72MnO + 0,881 MgO - 0,907CaO - 0,177Na₂O - 1,84K₂O + 7,244P₂O₅;
 F3=30,638TiO₂/Al₂O₃ - 12,54Fe₂O₃общ/Al₂O₃ + 7,329MgO/Al₂O₃ + 12,031NaO/Al₂O₃ + 35,402K₂O/Al₂O₃ - 6,382;
 F4= 56,5TiO₂/Al₂O₃ - 10,897 Fe₂O₃общ /Al₂O + 30,875 MgO/Al₂O₃ - 5,404 Na₂O/Al₂O₃ + 11,112 K₂O/Al₂O₃ - 3,89, молекулярные количества.
 ГМ=Al₂O₃ + TiO₂ + Fe₂O₃ + FeO + MnO)/SiO₂; HKM=N₂O + K₂O/Al₂O₃, ТМ=TiO₂/Al₂O₃; ФМ=(Fe₂O₃ + FeO + MnO + MgO)/SiO₂; массовые проценты.
 CIA=100Al₂O₃/(Al₂O₃ + CaO + Na₂O + K₂O), ICV= (Fe₂O₃ + K₂O + Na₂O + Ca₂O + Mg₂O=TiO₂)/Al₂O₃,
 CIW=100Al₂O₃/(Al₂O₃ + CaO + Na₂O, молекулярные количества.

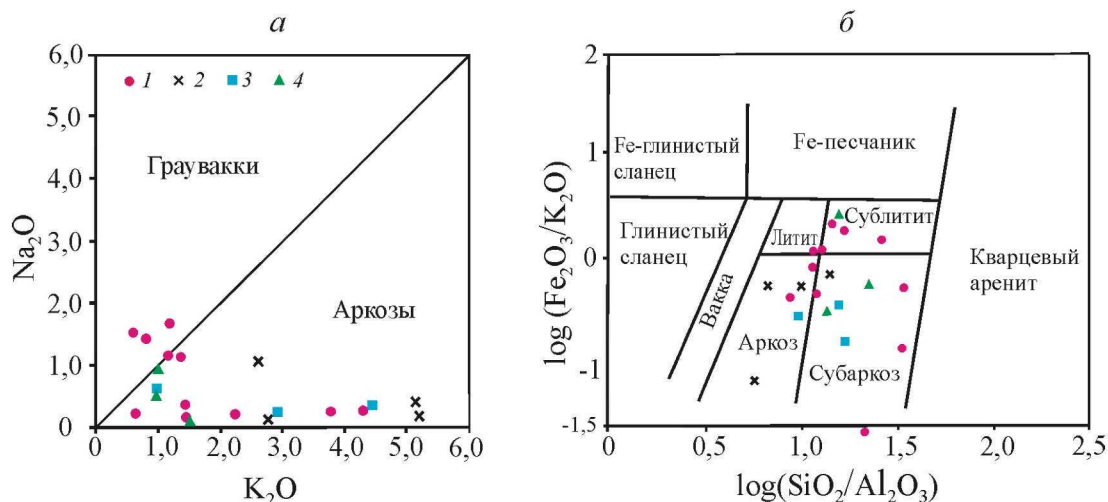


Рис. 3. Классификационные диаграммы: а — K_2O-N_2O (по [2]); б — $\log(Fe_2O_3/K_2O)-\log(SiO_2/Al_2O_3)$ (по [11]); точки 1–4 соответствуют номерам разрезов на рис. 1; 1 — р. Енганэ-Яха; 2 — руч. Изъяч-Вож; 3 — западный склон кряжа Енганэ-Пэ; 4 — руч. Камы-Шор

тов, свидетельствует о различной степени седиментационной зрелости осадка даже в пределах одного разреза, в точках, расположенных на расстоянии нескольких метров (рис. 5).

По показателю нормированной щелочности (значению НКМ), превышающему пороговое значение 0,3, почти все точки расположены в области пород, в составе которых, по мнению Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис [6], присутствует неизменённый калиевый полевой шпат. Фемический модуль (ФМ), отражающий интенсивность выветривания и сохранения вещества, для кварцитопесчаников составляет 0,03–0,04. Повышенными (0,07–0,1) значениями этого модуля отличаются три образца песчаников с минимальным содержанием SiO_2 , из разрезов на западном склоне кряжа Енганэ-Пэ (табл. 2). Для большинства изученных образцов значения титанового модуля (ТМ) выше характерных для этого стратиграфического интервала показателей, что обусловлено, очевидно, особенностями петрофонда.

По значениям CIA [14] — индекса химического выветривания, показателя климата в области размыва, песчаники делятся на практически невыветрелые, сформировавшиеся в условиях холодного климата (CIA 27–49) и слабоизменённые (CIA 51–65). Один образец песчаника (обр. 27), для которого этот показатель составляет 74, сложен материалом средней степени выветрелости (табл. 2). Этот образец отличается максимальным содержанием SiO_2 и минимальными содержаниями остальных оксидов, что позволяет предположить увеличение доли рециклированных обломков. Индекс выветривания CIW [10] также соответствует низкой степени разложения исходных пород (табл. 2). Исключение составили три образца (обр. 9-1, 10 и 11) содержащие крайне незначительные количе-

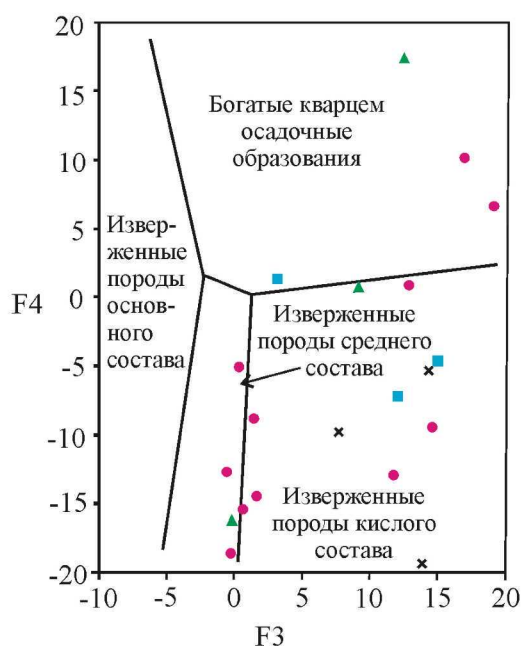


Рис. 4. Диаграмма F3–F4 (по [15])

ства Na_2O (табл. 1), что, однако, объясняется не степенью выветривания вулканокластического обломочного материала, а его калиевой спецификацией. Индекс изменения состава ICSV [9] для изученных образцов превышает или близок к пороговому значению 1,0, что характеризует породы как достаточно однородные, содержащие большое количество неглинистых силикаов (табл. 2). Различия в составе обломочного материала и степени химической переработки первичного осадка иллюстрирует диаграмма ICSV–CIA [12], на которой фигуративные точки занимают промежуточное положение между линиями, соответствующими составам размываемых основных и кислых пород (рис. 6).

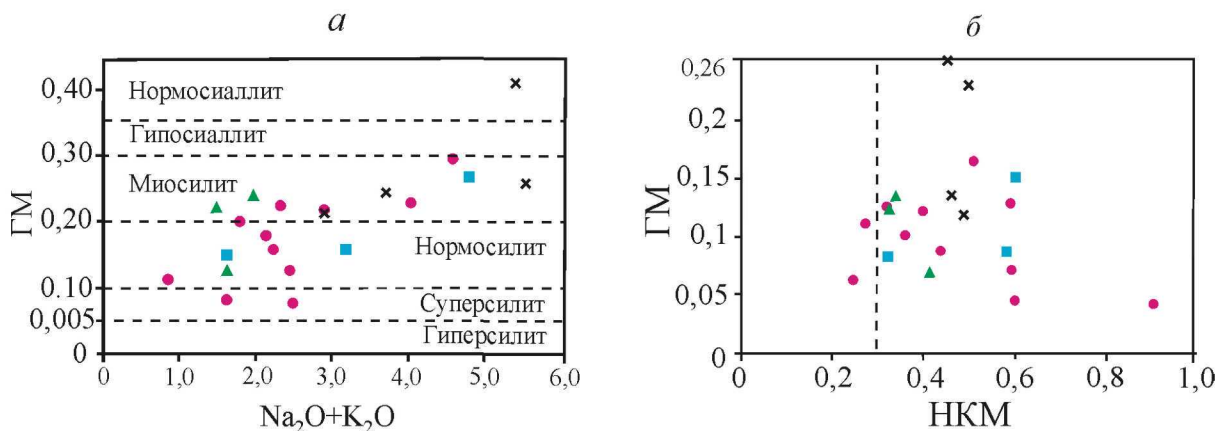


Рис. 5. Модульные диаграммы: *a* — $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ -ГМ; *б* — НКМ-ГМ, по [6]

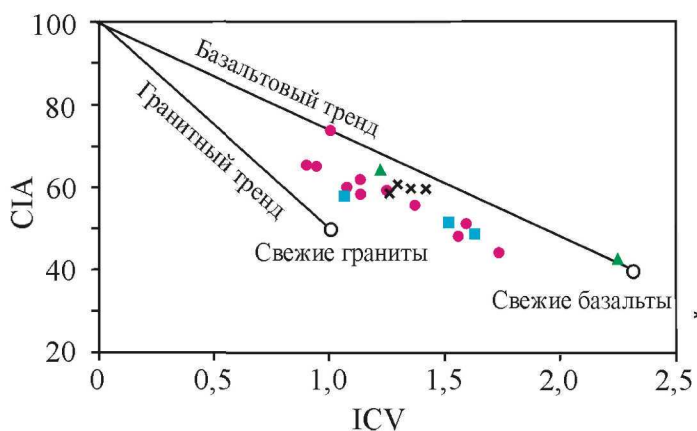


Рис. 6. Положение точек составов песчаников манитаньрдской серии на диаграмме IGV-CIA, по [12]

Отношения Fe/Mn — индикатора положения осадков на фациальном профиле бассейна [3], отражающее увеличение поглощения марганца осадочными образованиями из морской воды с глубиной, в нашем случае отражает в первую очередь железистость слабо выветрелого обломочного материала (табл. 1, 2). Значения титанового модуля $(\text{Fe}+\text{Mn})/\text{Ti}$ [5], предполагающего железо и марганец как эксгальвативные компоненты, в интервале 1,04—10,88 и алюминиевого модуля $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$ [8] в интервале 0,53—0,78 соответствуют породам, не содержащим примесь эксгальвативного материала (табл. 2).

Для наибольшей достоверности при реконструкции палеогеодинамической обстановки накопления песчаных толщ манитаньрдской серии использованы три диаграммы, построенные на соотношениях различных породообразующих оксидов [7, 13, 15]. На всех диаграммах фигуративные точки песчаников манитаньрдской серии попали в поля пассивных континентальных окраин.

Обсуждение результатов

Анализ полученных данных позволяет предположить участие в формировании состава обломочного материала позднекембрийско-раннеордовикских вулканогенных образований и метаморфических пород фундамента древнего континента. По данным А. А. Соболевой и соавторов [4], проводивших U/Pb -датирование детритных цирконов песчаников в разрезе на руч. Правый Изъя-Вож, в песчаниках манитаньрдской серии более половины от общего количества составляют позднекембрийско-раннеордовикские цирконы, возраст которых близок к возрасту самих песчаников, наличие которых связано с проявлениями магматической активности одновременно с осадконакоплением. Выявленные петрохимические особенности свидетельствуют о преобладании в обломочной части песчаников слабо измененных обломков вулканитов, среди которых могут быть как подстилающие допалеозойские, так и сингенетичные вулканиты леквожского комплекса. На это указывают, в частности, значения показателя нормиро-

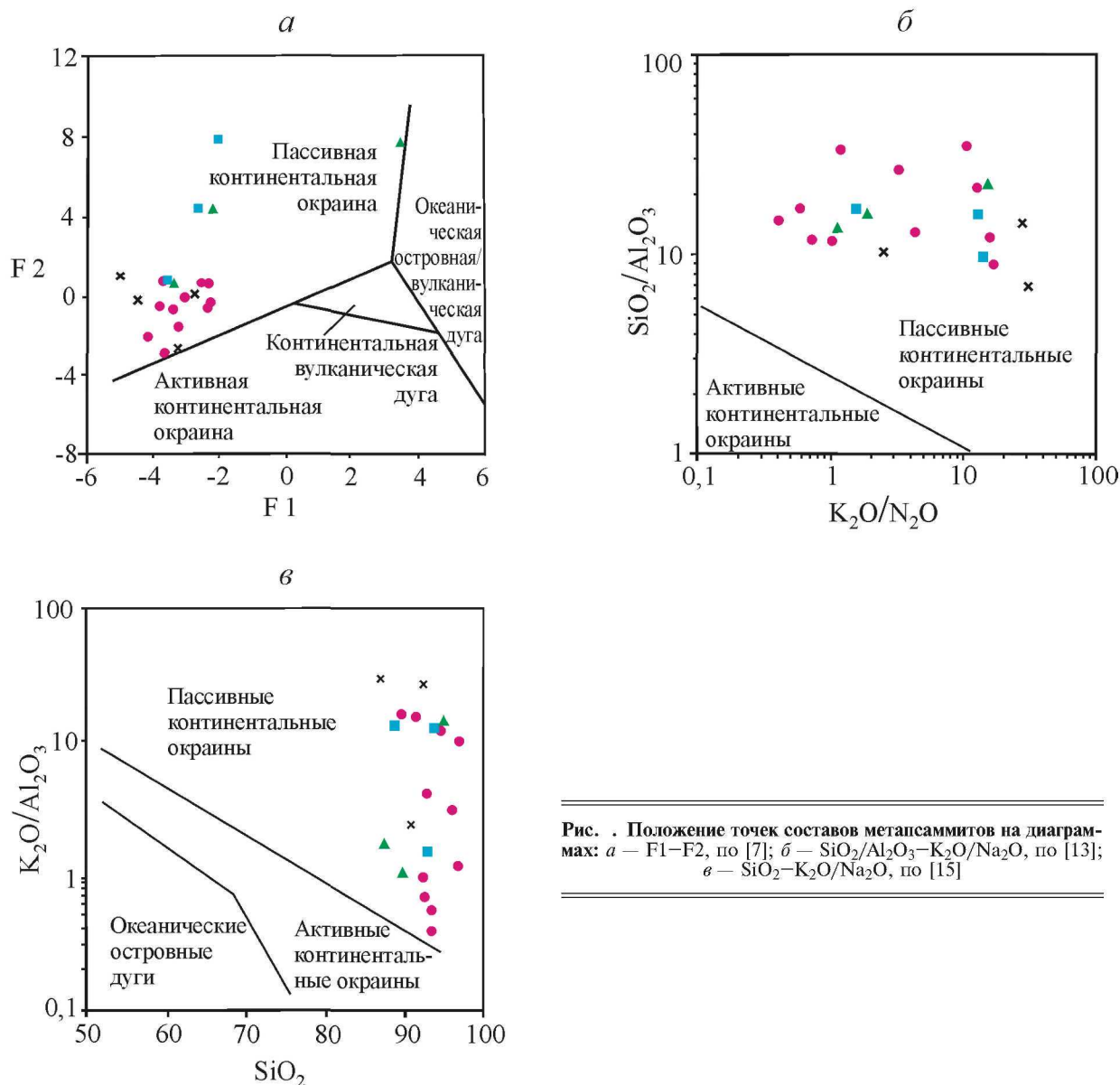


Рис. . Положение точек составов метасаммитов на диаграммах: а — F1–F2, по [7]; б — $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ – $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, по [13]; в — SiO_2 – $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, по [15]

ванной щелочности (НКМ), предполагающие присутствие в породах слабо измененного вулканокластического материала.

Обращает на себя внимание присутствие в разрезе на западном склоне кряжа Енганэ-Пэ (рис. 1, разрез 3) несвойственных нижеордовикским песчаникам разнообразных округлых текстур (рис. 2 а–г). Они приурочены к слою мощностью около 0,5 м, выше и ниже которого не встречаются, а в цементе содержащих эти образования песчаников присутствует карбонат, что является признаком углубления бассейна седиментации. В восточной части кряжа Енганэ-Пэ подобных текстур в песчаниках не обнаружено, карбонатный цемент для них не характерен, количество СаО существенно ниже и связано, по всей видимости, только с присутствием содержащих кальций силикатов — ам-

фибола, диопсида и титанита. Кроме того, в толще песчаников здесь регулярно встречаются линзы гравелитов. Можно предположить, что береговая линия во время накопления песчаников располагалась к востоку от кряжа Енганэ-Пэ, соответственно в западной части условия были более глубоководными и тиховодными. Отрицательные формы в песчанике возникли в результате выщелачивания на участках со значительной долей карбонатной составляющей в цементе.

Наиболее вероятно образование округлых текстур на этапе диагенеза — синхронно или сразу после осаждения произошло событие, заставившее нелитифицированный осадок слипнуться в круглые комочки вокруг, возможно, бактериальных, «затравок», с разностью потенциалов на поверхности микрочастиц. Этим событием могло

быть изменившееся рН среды, поступление раствора, сопровождавшее подводное излияние базальтоидов в южной части кряжа Енганэ-Пэ.

Полученные данные по вещественному составу песчанников манитаньрдской серии позволяют провести их сравнение с золотоносными песчаниками из базального горизонта обейской свиты хр. Малдыньрд [1], сходными по гранулометрическим характеристикам, текстурным особенностям и положению в разрезе. Манитаньрдские аркозовые, субаркозовые и лититовые песчаники существенно отличаются от железистых песчанников обейской свиты большей гидролизатностью и щелочностью, в том числе нормированной, по значениям которой, в соответствии с классификацией Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис [6], относятся к отложениям, содержащим неизменённые полевые шпаты. Для манитаньрдских песчанников характерны более низкие значения показателей степени сортировки и выветривания, определяющиеся холодными климатическими условиями.

Заключение

Песчаники, залегающие в основании палеозойского разреза кряжа Енганэ-Пэ, представлены аркозовыми, субаркозовыми и сублититовыми разностями с переменными содержаниями кварца, полевых шпатов и хлорита. Терригенный материал имеет низкую степень седиментационной зрелости и в значительной степени представлен обломками слабо изменённых полевых шпатов, источниками которых являлись близкие по времени об-

разования магматические породы. По мере удаления от интрузивных образований отмечается постепенное увеличение доли продуктов размытия пород фундамента. Состав источников и область питания не испытывали значительных изменений за время накопления отложений. Песчаники практически не содержат рециклированных обломков и переотложенного материала коры выветривания. Псаммитовая толща образовалась в холодном климате в условиях пассивной континентальной окраины в относительно мелководном бассейне. Накопление осадка на континентальном шельфе сопровождалось эпизодом вулканической активности, связанной с эпиконтинентальным рифтогенезом. В удаленном от тела калиевых базальтоидов разрезе этот временной интервал маркируется горизонтом песчанников, содержащих необычные округлые образования и текстуры.

Описанные особенности манитаньрдских песчанников не позволяют ожидать обнаружения в них осадочной золоторудной минерализации. Вероятность появления древних россыпей возрастает по направлению к береговой линии и зависит главным образом от локальных фациально-динамических условий, связанных с палеорельефом фундамента.

Работа выполнена в рамках Комплексной программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 18-9-5-42 «Ресурсно-индустриальная и инфраструктурная трансформация как фактор развития Воркутинской опорной зоны Российской Арктики».

ЛИТЕРАТУРА

1. Никулова Н.Ю., Козырева И.В. Литохимические особенности и условия формирования нижнепалеозойских песчанников севера Урала // Отечественная геология. 2016. № 4. С. 46–55.
2. Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники. Москва: Мир, 1976. 536 с.
3. Розен О.М., Журавлев Д.З., Ляпунов С.М. Геохимические исследования осадочных отложений Тимано-Печерской провинции // Разведка и охрана недр. 1994. № 1. С. 18–21.
4. Соболева А.А., Кузнецов Н.Б., Миллер Э.Л., Удоротина О.В., Герелс Дж., Романюк Т.В. Первые результаты U/Pb-датирования детритных цирконов из базальных горизонтов уральца (Полярный Урал) // Докл. РАН. 2012. Т. 445. № 5. С. 570–576.
5. Страхов Н. М. Проблемы геохимии современного океанского литогенеза. М.: Наука, 1976. 300 с.
6. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
7. Bhatia M.R. Plate tectonic and geochemical composition of sandstones // The Journal of Geology. 1983. V. 91. № 6. P. 611–627.
8. Bostrom K. The origin and fate of ferromanganese active ridge sediments // Stockholm Contrib. Geol. 1973. V. 27. No. 2. P. 148–243.
9. Cox R., Lowe D.R. Controls of sediment composition on a regional scale: a conceptual review // J. Sed. Res. 1995. V. 65. P. 1–12.
10. Harnois L. The CIW index: a new chemical index of weathering // Sed. Geol. 1988. V. 55. No. 3/4. P. 319–322.
11. Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. J. Sed. Petrol. 1988. V. 58. P. 820–829.
12. Lee Y.I. Provenance derived from the geochemistry of late Paleozoic-early Mesozoic mudrocks of the Pyeongann Supergroup, Korea // Sedimentary Geology. 2002. V. 149. P. 219–235.
13. Maynard J.B., Valloni R., Yu H.-Sh. Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins // Geol. Soc. Spec. Publs. L., 1982. V. 10. P. 551–561.
14. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. V. 299. P. 715–717.
15. Roser B.P., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // The Journal of Geology. 1986, V. 94. № 5. P. 635–650.

REFERENCES

1. Nikulova N.Yu., Kozyreva I.V. Litohimicheskie osobennosti i usloviya formirovaniya nizhnepaleozoiskih peschanikov severa Urala [Lithochemical features and conditions of formation of the Lower Paleozoic sandstones of the north of the Urals], *Otechestvennaya Geologiya* — [National Geology], 2016, no. 4, pp. 46–55. (in Russian).
2. Pettidzhon F., Potter P., Siver R. *Peski i peschaniki — Sands and sandstones*. M., Mir Publ., 1976, 536 p. (in Russian).

3. Rozen O.M., Zhuravlev D.Z., Lyapunov S.M. Geohimicheskie issledovaniya osadochnykh otlozhenii Timano-Pecherskoi provintsii [Geochemical Studies of Sedimentary Deposits in the Timan-Pechora Province]. *Razvedka i ohrana nedr* — [Prospect and protection of mineral resources], 1994, no. 1, pp. 18–21. (in Russian).
4. Soboleva A.A., Kuznetsov N.B., Miller E.L., Udoratina O.V., Gerels Dzh., Romanyuk T.V. Pervye rezul'taty U/PB-datirovaniya detritnykh tsirkonov iz bazal'nykh gorizontov uralid (Polyarnyi Ural) [First results of U/PB dating of detrital zircons from the Uralide basal horizons (Polar Urals)]. *Doklady Earth Sciences*, 2012, v. 445, no. 5, pp. 570–576. (in Russian).
5. Strahov N.M. *Problemy geohimii sovremennogo okeanskogo litogeneza — Problems of geochemistry of modern oceanic lithogenesis*, M., Nauka Publ., 1976, 300 p. (in Russian).
6. Yudovich Y.E., Ketris M.P. *Osnovy litohimii* — [Basics lithochemistry]. St. Petersburg, Science Publ., 2000, 479 p. (in Russian).
7. Bhatia M.R. Plate tectonic and geochemical composition of sandstones, *The Journal of Geology*, 1983, v. 91, no. 6, pp. 611–627.
8. Bostrom K. The origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments, *Stockholm Contrib. Geol.* 1973, v. 27, no. 2, pp. 148–243.
9. Cox R., Lowe D.R. Controls of sediment composition on a regional scale: a conceptual review of sediment composition on a regional scale: a conceptual review, *Journal of Sedimentary Research*, 1995, v. 65, pp. 1–12.
10. Harnois L. The CIW index: a new chemical index of weathering, *Sedimentary Geology*, 1988, v. 55, no 3/4, pp. 319–322.
11. Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data, *Journal of Sedimentary Petrology*, 1988, v. 58, pp. 820–829.
12. Lee Y.I. Provenance derived from the geochemistry of late Paleozoic-early Mesozoic mudrocks of the Pyeongann Supergroup, Korea, *Sedimentary Geology*, 2002, v. 149, pp. 219–235.
13. Maynard J.B., Valloni R., Yu H.-Sh. Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins, *Geological Society of London, Special Publication*, 1982, v. 10, pp. 551–561.
14. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites, *Nature*, 1982, v. 299, pp. 715–717.
15. Roser B.P., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio, *The Journal of Geology*, 1986, v. 94, no. 5, pp. 635–650.

УДК 551.25, 552.163, 552.51, 549.41

ДИНАМИЧЕСКАЯ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ КВАРЦА В ЖИЛАХ СРЕДИ ПЕСЧАНИКОВ ЗОНЫ МЕТАГЕНЕЗА (КУЛАРСКИЙ РАЙОН, ЯКУТИЯ)

О.А. СУСТАВОВ

Уральский государственный горный университет
30, Куйбышева ул., г. Екатеринбург 620144, Россия
e-mail: olsustavov@mail.ru

Рассмотрена перекристаллизация выпячивания (ПВ) в деформированных кварцевых жилах, залегающих в нижнетриасовых песчаниках зоны метабазита в северо-западной части Куларского района, Якутия. ПВ характеризуется протекающим при кристаллопластической деформации кварца образованием зубчатых границ индивидов, к которым приурочены зёрна перекристаллизации, размеры которых (0,01–0,02 мм) отвечают размерам зубцов на границах индивидов. Своим образованием столь мелкие зёрна перекристаллизации могут фиксировать пиковые коровые напряжения, возникающие при деформации континентальной коры вблизи хрупкопластического перехода. Внутри индивидов ПВ сопровождается перекристаллизацией вдоль микросдвигов и полос деформации при ведущей роли прогрессивного вращения субзёрен. ПВ в жильном кварце происходит при формировании во вмещающих песчаниках кливажа растворения под давлением, в связи с чем сочетание кливажа растворения под давлением в песчаниках зоны метабазита и ПВ в жильном кварце можно рассматривать в качестве структурного парагенеза.

К л ю ч е в ы е с л о в а: кварцевые жилы; жильный кварц; динамическая перекристаллизация; перекристаллизация выпячивания; песчаники; метабазит; растворение под давлением; Якутия.

DYNAMIC RECRYSTALLIZATION OF QUARTZ IN VEINS IN SANDSTONES OF METAGENESIS ZONE (KULAR DISTRICT, YAKUTIA)

O.A. SUSTAVOV

Ural State Mining University
30, Kuibysheva street, Yekaterinburg 620144, Russia
e-mail: olsustavov@mail.ru

Bulging recrystallization (BR) has been considered in the deformed quartz veins in the lower Triassic sandstones of the metagenesis zone in the North-Western part of the Kular district, Yakutia. BR is characterized by the formation of sutured boundaries of individuals during the crystalloplastic deformation of quartz. To these boundaries, the recrystallization grains are confined, the size of which (in this case, 0,01–0,02 mm) corresponds to the size of the teeth at the boundaries of individuals. Such fine recrystallization grains can fix with their formation the peak crustal stresses