

УДК 550.4:552.5(234.851)
DOI: 10.52349/0869-7892_2023_93_63-75

Н. Ю. Никулова (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН)

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРРИГЕННОЙ ТОЛЩИ В ОСНОВАНИИ ПАЛЕОЗОЙСКОГО РАЗРЕЗА НА ХРЕБТЕ МАНИТАНЫРД (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Интерпретация результатов химических анализов и особенностей распределения редких и редкоземельных элементов в отложениях раннеордовикской песчано-алевритовой толщи в основании палеозойского разреза на хр. Манитанырд (Полярный Урал) позволила установить, что накопление терригенной толщи проходило в эпиконтинентальной обстановке в условиях умеренно теплого климата за счет размыва и переотложения преимущественно слабыветрелых пород позднерифейско-вендского фундамента. Сделано предположение, что основным источником обломочного материала были магматические породы кислого состава, связанные с кембрийским предрифтовым поднятием и рифтогенезом.

Ключевые слова: песчаники, алевролиты, химический состав, обломочный материал, источники сноса, условия осадконакопления, манитанырдская серия, Полярный Урал.

N. Yu. Nikulova (IG FRC Komi SC UB RAS)

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE TERRIGENOUS SEQUENCE AT THE BASE OF THE PALEOZOIC SECTION ON THE MANITANYRD RIDGE, THE POLAR URALS

Interpreting results of chemical analyzes and features of the distribution of rare and rare earth elements in the sediments of the Early Ordovician sandy-silty sequence at the base of the Paleozoic section of the Manitanyrd Ridge, the Polar Urals, made it possible to establish that the accumulation of the terrigenous sequence took place in epicontinental setting in moderately warm climate due to erosion and redeposition of mostly weakly weathered rocks of the Late Riphean-Vendian basement. It has been assumed that felsic igneous rocks related to the Cambrian pre-rift uplift and rifting were the main source of clastic material.

Keywords: sandstone, siltstone, chemical composition, clastic material, provenance areas, sedimentation setting, Manitanyrd Group, Polar Urals.

Для цитирования: Никулова Н. Ю. Геохимические характеристики терригенной толщи в основании палеозойского разреза на хребте Манитанырд (Полярный Урал) // Региональная геология и металлогения. – 2023. – № 93. – С. 63–75. DOI: 10.52349/0869-7892_2023_93_63-75

Введение. Алевролитопесчаниковая толща, залегающая на породах фундамента в центральной части хребта Манитанырд, закартирована в качестве нерасчлененной манитанырдской серии (C_3-O_2mn) [3]. Несогласный контакт отложений манитанырдской серии и поздневендско-позднекембрийских вулканогенно-терригенных образований энганэпейской (V_2-C_1el) свиты вскрывается в коренном выходе в правом борту руч. Голубой, правого притока р. Ния-Ю (рис. 1). В этом разрезе на породах фундамента залегают не типичные для базальных горизонтов нижнего палеозоя конгломераты, а ритмично построенная алевролитопесчаниковая толща мощностью около 100 м. Ранее нами было проведено петрографическое описание, выделены и охарактеризованы с использованием геохимических методов [17] основные

литологические типы слагающих разрез горных пород – песчаники, алевролиты и алевросланцы [7]. На основе U/Pb датирования детритовых цирконов установлена принадлежность отложений к верхнему элементу разреза манитанырдской серии – малопайпудынской свите среднего ордовика – стратиграфическому аналогу саледакской свиты Приполярного Урала [6]. В слагающих разрез породах обнаружены экзотические минералы – муассанит, силицит железа и самородный кремний, а также необычные морфологические разновидности пирита и апатита [8; 11].

В результате проведенных ЗАО «Голдминералс» поисковых работ на золото (Л. И. Ефанова и др. Прогнозно-поисковые работы на золото в пределах хр. Манитанырд и Энганэ-Пэ (Республика Коми). – Сыктывкар, 2010.) установлено,

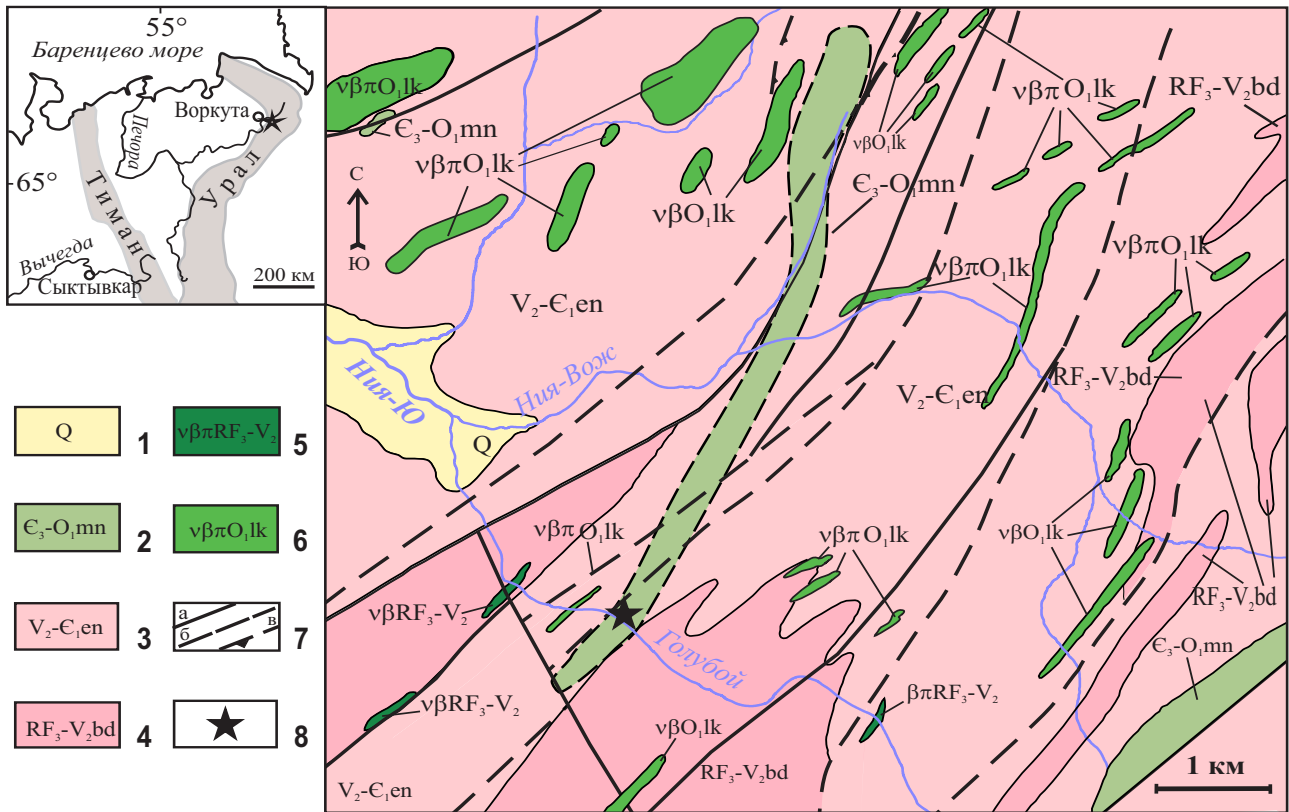


Рис. 1. Геологическая схема южной части кряжа Манитанырд (по: Ефанова и др., 2010 г.)

1 – четвертичные отложения; 2 – манитанырдская серия: конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, сланцы; 3 – бедамельская серия: эффузивы основного, среднего и кислого состава и их туфы; 4 – enganepayskaya свита: туфогравелиты, туфопесчаники, туфоалевролиты; 5 – экструзивно-субвулканические образования одновозрастные бедамельской серии: габбро, габбродолериты, долериты; 6 – гипабиссальные образования леквожского комплекса: габбро, долериты, пикродолериты; 7 – разрывные нарушения: а – достоверные, б – предполагаемые, в – надвиги предполагаемые; 8 – изученный разрез.

что на кряже Манитанырд почти все известные рудопроявления в породах enganepayskaya свиты пространственно приурочены к зоне их контакта с алевролитопесчаниковой толщей манитанырдской серии.

Необычные для этого стратиграфического уровня состав и строение нижнепалеозойских отложений, отсутствие палеонтологических и структурно-тектонических признаков, указывающих на генетическую и фациальную принадлежность, особенности осадконакопления и постдиагенетических преобразований, связываемой с золотоносностью толщи, делают необходимым ее всестороннее геохимическое изучение, включающее интерпретацию аналитических данных с использованием различных петрохимических модулей и индикаторных соотношений породообразующих оксидов, редких и редкоземельных элементов.

Геологическое положение и строение разреза. Изученный разрез, в котором нижнепалеозойские отложения с угловым и азимутальным несогласием залегают на вулканогенно-осадочных и вулканогенных, субвулканических и интрузивных породах в составе комплексов протоуралид-тиманид расположен в центральной части кряжа Манитанырд. Фундамент представлен основными вул-

канитами, кластолавами и лавобрекчиями верхнерифейско-вендской бедамельской (RF₃-V₂bd) серии. Образования бедамельской серии согласно перекрыты отложениями поздневендско-раннекембрийской enganepayskaya свиты – переслаивающимися туфоалевросланцами, туфопесчаниками и туфогравелитами (рис. 1). Породы фундамента прорываются экструзивно-субвулканическими образованиями нижней толщи бедамельской серии и раннеордовикского леквожского гипабиссального комплекса [2].

В зоне контакта с палеозойскими отложениями азимут падения пород enganepayskaya свиты 125°, угол 40°, песчаников манитанырдской серии – 120° и 70° соответственно. На удалении от контакта на расстоянии 10 м угол падения слоев выполаживается до 40–45°. В основании разреза манитанырдской серии залегает слой зеленовато-серых слюдястых сланцев (0,3 м), перекрытых разнозернистыми розовато-серыми песчаниками (1,3 м). На песчаниках залегает монотонная толща ритмично переслаивающихся мелкозернистых песчаников и алевролитов с прослоями сланцев мощностью около 80 м.

Материалы и методы. Изучены образцы тонкозернистых песчаников, метаалевролитов

и алевросланцев манитаньрдской серии из обнажения в правом борту руч. Голубой, правого притока р. Ния-Ю в центральной части кряжа Манитаньрд (рис. 1). Петрографический состав пород изучался в прозрачных шлифах. Содержания породообразующих оксидов определялись традиционным весовым химическим методом. Определение содержаний редких и редкоземельных элементов проводилось на масс-спектрометре с индуктивной связанной плазмой Agilent 7700х. Для перевода пробы в раствор использовался метод многокислотного разложения (смесь кислот в соотношении $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{HCl} = 1:5:2$) в условиях микроволнового нагрева. Разложение велось в микроволновой системе пробоподготовки Sineo MDS-10. Все аналитические работы проводились в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар).

Геохимическая характеристика метапесчаников. Содержания породообразующих оксидов, литохимические модули и индикаторные соотношения, использованные для характеристики слагающих разрез пород и реконструкции условий осадконакопления, приведены в табл. 1 и 2.

Изученные породы содержат незначительное количество щелочей и на диаграмме $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ [9] фигуративные точки метапесчаников расположены в поле аркозов, в которых калий существенно преобладает над натрием, что предполагает присутствие в области питания кислых магматических пород (рис. 2, а). К линии разграничения аркозов и граувакк тяготеют точки, соответствующие алевросланцам. На диаграмме $\log(\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{K}_2\text{O})-\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ [24] положение фигуративных точек также определяется их гранулометрическими особенностями – минимальные значения показателя $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$, характерные для вакков, соответствуют наиболее тонкозернистым отложениям (рис. 2, а). На диаграмме $\text{SiO}_2-(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})-(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{TiO}_2)$ [5] точки метапесчаников расположены в поле кварцевых песчаников или вблизи него, а точки алевролитов и алевросланцев распределены в поле вулканомиктовых песчаников (рис. 2, в).

На демонстрирующих степень зрелости обломочных пород и отражающих участие в их составе магматических образований диаграммах А–F и А–M [5], большинство фигуративных точек метапесчаников оказались вне выделенных полей,

Таблица 1

Содержание породообразующих оксидов (мас. %)

№ п/п	Номер обр.	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	ппп	Σ
1	1	58,56	1,39	17,99	2,17	3,93	0,040	3,50	0,67	0,57	5,58	0,200	4,86	99,46
2	2	86,74	0,26	4,54	0,59	1,69	0,020	0,95	1,33	0,59	0,92	0,180	2,06	99,87
3	5	92,94	0,16	1,83	0,21	0,76	0,020	0,47	1,00	0,14	0,45	0,140	1,49	99,61
4	6	93,30	0,11	1,50	0,02	0,49	0,010	0,58	1,17	0,27	0,32	0,036	1,61	99,42
5	10-2	58,74	1,08	17,22	2,57	5,38	0,080	3,16	0,89	0,93	5,22	0,210	4,00	99,48
6	12	84,48	0,43	6,50	0,44	0,99	0,005	0,67	0,58	1,72	1,41	0,053	1,79	99,07
7	15	62,28	1,01	15,91	1,87	4,67	0,080	2,36	1,00	1,49	4,54	0,190	4,20	99,60
8	16-3	72,46	0,83	11,53	1,38	2,79	0,045	1,65	0,82	2,67	2,71	0,150	2,94	99,98
9	18	49,14	1,29	21,78	2,88	5,82	0,990	3,80	0,40	0,44	7,95	0,190	5,16	99,84
10	19	78,06	0,29	4,78	2,49	1,47	0,090	0,75	4,67	0,54	1,85	0,096	4,07	99,16
11	21-2	78,54	0,77	8,78	1,47	1,89	0,028	1,24	0,58	0,88	3,00	0,160	2,31	99,65
12	25	67,06	0,83	12,69	1,96	3,98	0,080	2,12	1,11	0,93	4,31	0,170	3,92	99,16
13	28-1	80,80	0,51	5,46	0,72	1,41	0,120	0,89	2,67	0,93	1,41	0,080	4,29	99,29
14	29	61,60	0,97	16,75	2,06	4,42	0,068	2,90	0,58	0,87	5,52	0,150	4,10	99,99
15	32	88,53	0,17	4,63	0,73	0,59	0,010	0,40	0,20	0,65	1,97	0,120	1,62	99,62
16	34-2	58,61	0,90	17,42	2,35	4,84	0,076	3,24	0,40	0,65	6,11	0,160	4,28	99,04
17	35	81,18	0,75	7,70	1,88	1,49	0,052	1,14	0,47	1,42	1,98	0,078	1,69	99,83
18	37	78,56	0,62	9,15	1,12	2,43	0,050	1,23	0,30	1,59	2,76	0,110	2,47	100,39
19	39-1	65,28	0,99	15,27	1,84	3,45	0,063	2,31	0,47	2,15	5,07	0,180	2,77	99,84
20	40-2	67,26	0,85	14,60	1,59	3,41	0,045	2,09	0,50	1,34	4,88	0,150	3,14	99,86
21	41-1	80,70	0,50	8,22	0,82	1,02	0,010	0,75	0,40	1,41	2,89	0,066	2,31	99,10
22	41-3	51,25	0,97	21,34	3,07	5,70	0,073	3,72	0,40	0,44	7,52	0,190	5,00	99,67
23	44-1	89,08	0,33	4,32	0,85	1,08	0,026	0,69	0,20	0,40	1,92	0,079	1,11	100,09
24	46-2	68,06	0,92	13,33	2,32	3,22	0,070	2,18	0,30	0,77	4,87	0,130	3,7	99,87

Индикаторные соотношения

№ п/п	Но-мер обр.	Log (Na ₂ O/ K ₂ O)	Log (SiO ₂ /Al ₂ O ₃)	Log (Fe ₂ O ₃ /K ₂ O)	A	F	M	F1	F2	F3	F4	K ₂ O/Na ₂ O	SiO ₂ /Al ₂ O ₃
1	1	-0,99	0,51	-0,41	0,31	11,030	6,82	-1,05	-1,64	1,08	3,09	9,79	3,26
2	2	-0,19	1,28	-0,19	0,05	3,510	2,84	-1,52	1,33	-4,05	-1,06	1,56	19,11
3	5	-0,51	1,71	-0,33	0,02	1,620	1,59	-2,55	2,18	-3,30	1,67	3,21	50,79
4	6	-0,07	1,79	-1,20	0,02	1,210	1,76	-3,13	2,02	-1,70	4,81	1,19	62,20
5	10-2	-0,75	0,53	-0,31	0,29	12,270	7,04	-0,35	-4,20	-0,67	0,64	5,61	3,41
6	12	-0,09	1,11	-0,51	0,08	2,535	3,71	-1,97	1,17	2,37	-0,23	0,82	13,00
7	15	-0,48	0,59	-0,39	0,26	9,990	7,03	-0,23	-3,41	0,00	0,11	3,05	3,91
8	16-3	-0,01	0,80	-0,29	0,16	6,695	6,20	-0,23	-0,14	0,70	-0,36	1,01	6,28
9	18	-1,26	0,35	-0,44	0,44	14,780	8,79	-3,48	-4,62	1,37	1,41	18,07	2,26
10	19	-0,53	1,21	-0,13	0,06	5,090	7,06	-2,00	-1,10	-1,67	-3,51	3,43	16,33
11	21-2	-0,53	0,95	-0,31	0,11	5,398	4,46	-1,95	-0,31	2,93	1,99	3,41	8,95
12	25	-0,67	0,72	-0,34	0,19	8,970	6,35	-1,02	-2,96	0,89	0,65	4,63	5,28
13	28-1	-0,18	1,17	-0,29	0,07	3,650	5,01	-2,16	1,54	0,48	1,10	1,52	14,80
14	29	-0,80	0,57	-0,43	0,27	10,418	6,97	-1,01	-4,51	1,15	1,34	6,34	3,68
15	32	-0,48	1,28	-0,43	0,05	1,900	2,82	-2,48	0,18	6,98	0,36	3,03	19,12
16	34-2	-0,97	0,53	-0,41	0,30	11,406	7,16	-0,90	-5,07	1,22	1,34	9,40	3,36
17	35	-0,14	1,02	-0,02	0,09	5,312	3,87	-2,55	0,79	0,36	0,54	1,39	10,54
18	37	-0,24	0,93	-0,39	0,12	5,450	4,65	-1,57	-1,23	1,98	0,02	1,74	8,59
19	39-1	-0,37	0,63	-0,44	0,23	8,653	7,69	-0,27	-3,17	3,05	1,21	2,36	4,28
20	40-2	-0,56	0,66	-0,49	0,22	7,985	6,72	-0,94	-3,72	2,53	1,09	3,64	4,61
21	41-1	-0,31	0,99	-0,55	0,10	3,100	4,70	-2,16	-0,59	5,93	1,24	2,05	9,82
22	41-3	-1,23	0,38	-0,39	0,42	13,533	8,36	-0,52	-7,60	1,06	0,97	17,09	2,40
23	44-1	-0,68	1,31	-0,35	0,05	2,976	2,52	-3,09	-0,29	5,34	2,30	4,80	20,62
24	46-2	-0,80	0,71	-0,32	0,20	8,710	5,94	-1,95	-3,04	2,37	1,70	6,32	5,11

Примечания. A = Al₂O₃/SiO₂; F = TiO₂+Fe₂O₃+FeO+MnO+MgO; M = CaO+Na₂O+K₂O [5];
 F1 = 0,303-0,447SiO₂-0,972TiO₂+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+0,881MgO-0,907CaO-0,177Na₂O-1,84K₂O+7,244P₂O₅ [18];
 F3 = 30,638TiO₂/Al₂O₃-12,54Fe₂O₃общ./Al₂O₃+7,329MgO/Al₂O₃+12,031NaO/Al₂O₃+35,402K₂O/Al₂O₃-6,382;

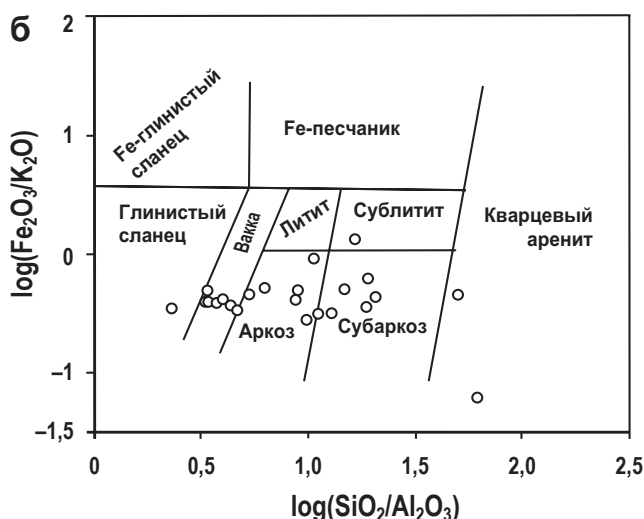
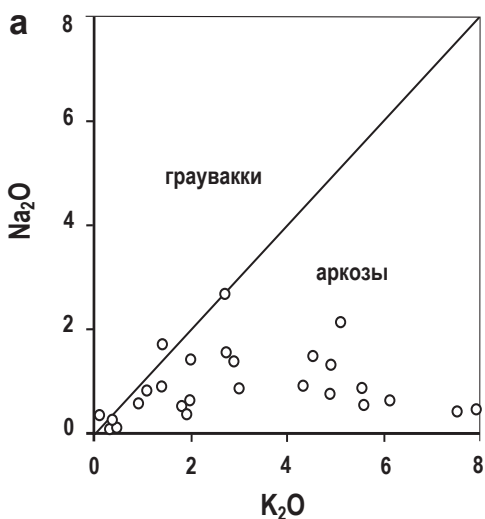


Таблица 2

и модули

	Al ₂ O ₃ /SiO ₂	CIA	CIW	ICV	K ₂ OAl ₂ O ₃	Na ₂ O+K ₂ O	ГМ	НКМ	ТМ	Fe/Mn	(Fe+Mn)/Ti	Al/(Al+Fe+Mn)
	0,31	69	89	1,1	0,31	6,15	0,44	0,34	0,077	121	4,0	0,7
	0,05	51	57	1,7	0,20	1,51	0,08	0,33	0,057	96	8,4	0,6
	0,02	42	47	2,2	0,25	0,59	0,03	0,32	0,087	42	6,1	0,6
	0,02	34	37	3,0	0,21	0,59	0,02	0,39	0,073	49	5,1	0,7
	0,29	66	85	1,2	0,30	6,15	0,45	0,36	0,063	81	6,8	0,7
	0,08	55	63	1,2	0,22	3,13	0,10	0,48	0,066	234	3,1	0,8
	0,26	63	79	1,1	0,29	6,03	0,38	0,38	0,063	68	6,2	0,7
	0,16	57	66	1,3	0,24	5,38	0,23	0,47	0,072	75	4,6	0,7
	0,44	68	94	1,1	0,37	8,39	0,67	0,39	0,059	71	6,2	0,7
	0,06	30	34	3,2	0,39	2,39	0,12	0,50	0,061	28	10	0,6
	0,11	60	78	1,2	0,34	3,88	0,16	0,44	0,088	90	3,7	0,7
	0,19	61	78	1,3	0,34	5,24	0,29	0,41	0,065	60	6,6	0,6
	0,07	41	46	2,1	0,26	2,34	0,10	0,43	0,093	14	4,0	0,7
	0,27	66	87	1,1	0,33	6,39	0,39	0,38	0,058	78	6,2	0,7
	0,05	56	76	1,1	0,43	2,62	0,07	0,57	0,037	91	6,1	0,8
	0,30	67	91	1,1	0,35	6,76	0,44	0,39	0,052	77	7,4	0,7
	0,09	59	71	1,4	0,26	3,40	0,15	0,44	0,097	44	3,5	0,7
	0,12	60	74	1,2	0,30	4,35	0,17	0,48	0,068	58	5,4	0,7
	0,23	61	78	1,2	0,33	7,22	0,33	0,47	0,065	67	4,9	0,7
	0,22	63	82	1,1	0,33	6,22	0,30	0,43	0,058	90	5,5	0,7
	0,10	57	73	1,1	0,35	4,30	0,13	0,52	0,061	137	3,1	0,8
	0,42	69	94	1,0	0,35	7,96	0,61	0,37	0,045	96	8,2	0,7
	0,05	58	81	1,4	0,44	2,32	0,07	0,54	0,076	55	5,0	0,7
	0,20	65	88	1,2	0,37	5,64	0,29	0,42	0,069	60	5,2	0,7

F4 = 56,5TiO₂/Al₂O₃-10,897Fe₂O₃_{общ}/Al₂O₃+30,875MgO/Al₂O₃-5,404Na₂O/Al₂O₃+11,112K₂O/Al₂O₃-3,89 [31];
 ГМ = (Al₂O₃+TiO₂+Fe₂O₃+FeO+MnO)/SiO₂;
 НКМ = (N₂O+K₂O)/Al₂O₃; ТМ = TiO₂/Al₂O₃ [17].

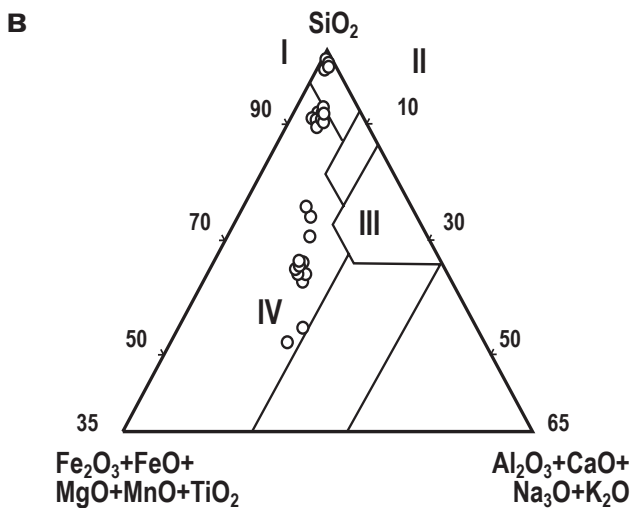
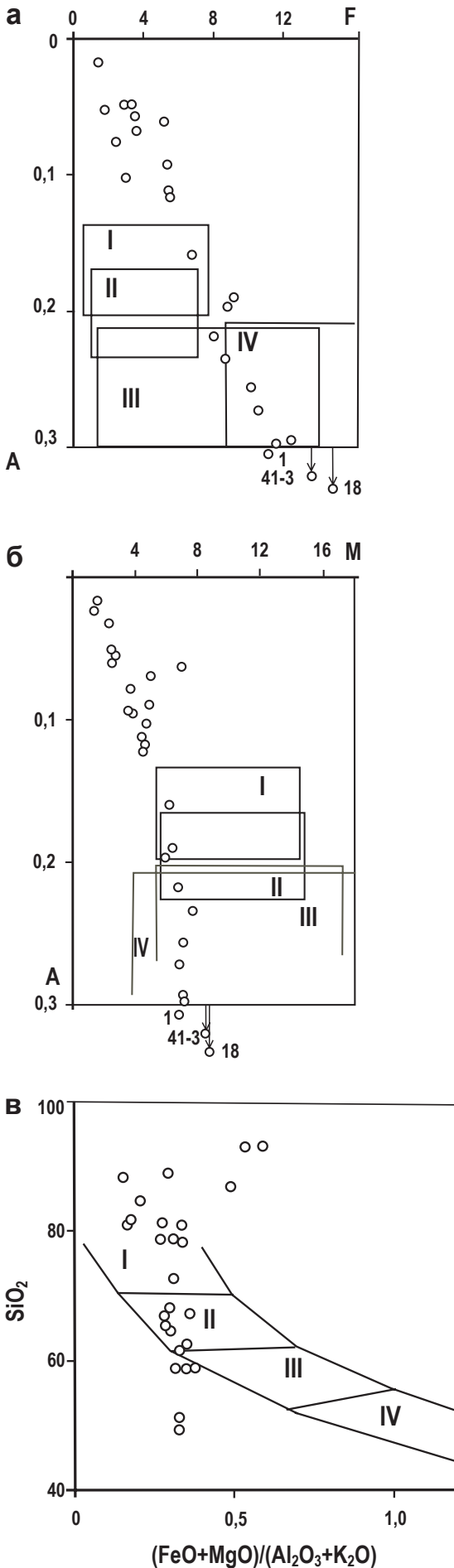


Рис. 2. Положение фигуративных точек составов пород мантиардской серии на классификационных диаграммах: а - K₂O-N₂O [9]; б - log(Fe₂O₃_{общ}/K₂O)-log(SiO₂/Al₂O₃) [24]; в - SiO₂-(Al₂O₃+CaO+Na₂O+K₂O)-(Fe₂O₃+FeO+MgO+MnO+TiO₂) [5]
 I-IV - песчаники: I - кварцевые; II - олигомиктовые; III - полимиктовые; IV - вулканомиктовые



а точки алевролитов и алевросланцев попали в поля средних и основных магматических пород (рис. 3, а, б). На диаграмме $(\text{FeO} + \text{MgO})/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O})\text{-SiO}_2$ [25] точки песчаников расположены в поле кислых вулканитов или вблизи него, алевролитов – в поле средних вулканитов, а точки алевросланцев оказались вблизи поля основных магматических пород (рис. 3, в).

Породы манитанырдской серии по значениям ГМ – гидролизатного модуля [17] представлены всеми возможными классами: силитами – песчаниками с ГМ до 0,3, сиаллитами – близкими по составу к грауваккам алевролитами – с ГМ в интервале 0,36–0,55 и алевросланцами-гидролизатами с ГМ выше 0,55. В отдельную группу выделяются четыре образца, попадающие в группу псевдосиаллитов и один образец псевдогидролизатов с $\text{MgO} > 3$ мас. % (рис. 4, а, табл. 2). Значение НКМ для всех разновидностей слагающих разрез пород превышает 0,3 (рис. 4, б), что указывает на присутствие в них неизмененного калиевого полевого шпата [17].

Значения индекса химического выветривания CIA [28] изменяется от 30 в песчаниках до 69 в алевросланцах, что соответствует слабо- и средневыветрелым породам и холодному климату в области размыва (табл. 2). Индекс изменения состава ICV [21], меняющийся в диапазоне от 1,0 до 2,2 (в двух образцах, отличающихся низкими содержанием Al_2O_3 , этот индекс превышает 3), отражает содержание в метапесчаниках обломочного материала различной степени седиментационной зрелости (табл. 2). Фигуративные точки алевросланцев и алевроитов на диаграмме ICV–CIA [26] тяготеют к центральной части базальтового тренда, точки песчаников расположены примерно на равном удалении от линий, соответствующих гранитам и базальтам (рис. 5).

Индекс выветривания CIW [24] изменяется от 34 до 94. Низкие (34–62) значения этого индекса свойственны песчаникам, а для алевросланцев этот показатель близок или выше 90. Значения отражающего степень переработки материала в области размыва калиевого модуля $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ [21], для большинства образцов превышает значение 0,3, соответствующее породам, содержащим невыветрелый обломочный материал (табл. 2), в шести образцах песчаников располагается в интервале 0,2–0,3.

На диаграммах, применяемых для реконструкции палеогеодинамических условий, фигуративные точки пород манитанырдской серии расположены в различных областях (рис. 6). На диаграмме $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}\text{-SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ [27] все точки расположены

Рис. 3. Положение точек составов пород манитанырдской серии на диаграммах:

а – A–F; б – A–M [5], где A = $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$; F = $\text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO}$; M = $\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$;

I – липаритодациты; II – граниты; III – гранодиориты; IV – андезитобазальты;

в – $(\text{FeO} + \text{MgO})/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O})\text{-SiO}_2$, где: I – риолиты, граниты; II – дациты, гранодиориты; III – андезиты, диориты; IV – базальты, габбро [25]

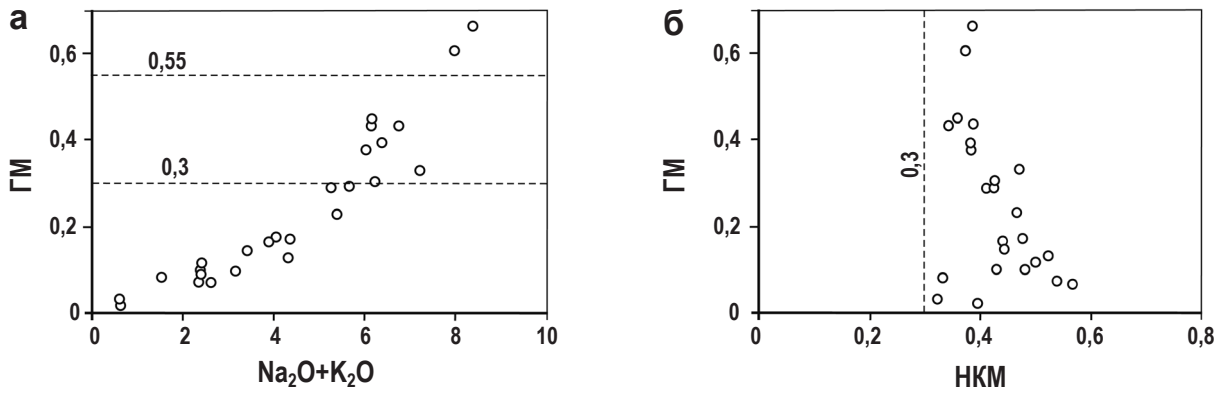


Рис. 4. Положение фигуративных точек составов пород манитанырдской серии на модульных диаграммах: а – $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\text{-GM}$; б – НКМ-GM [17]

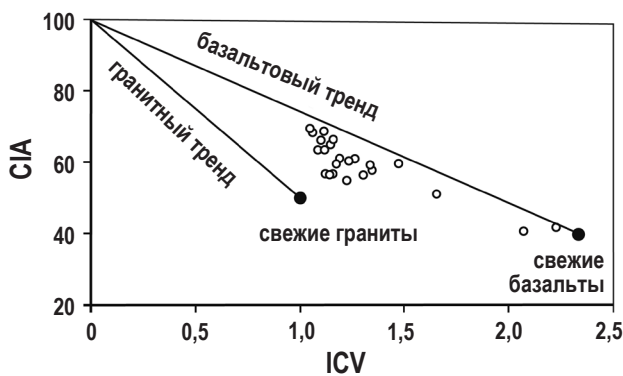


Рис. 5. Положение фигуративных точек пород манитанырдской серии на диаграмме ICV-CIA [26]

в области пород, образованных в условиях пассивной континентальной окраины (рис. 6, а). На диаграмме $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ [30] большинство точек расположено в области пород, образованных в условиях пассивной континентальной окраины, и четыре точки, соответствующие алевролитам, попали в область пород, образованных в условиях активной континентальной окраины (рис. 6, б). На диаграмме F1-F2 [18], для построения которой учитывается наибольшее количество породообразующих оксидов, в области пород, образованных в условиях пассивной континентальной окраины, оказались только фигуративные точки песчаников, а точки алевролитов и алевросланцев попали в область пород, образованных в условиях активной континентальной окраины (рис. 6, в).

Значения отношения Fe/Mn – фацеального индикатора для осадочных отложений [10] – для большинства изученных образцов соответствуют мелководным морским отложениям (табл. 2). Титановый модуль $(\text{Fe} + \text{Mn})/\text{Ti}$ [12] в интервале 3,1–10,0 и алюминиевый модуль $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe} + \text{Mn})$ [20] в интервале 0,6–0,8 характеризуют породы как не содержащие примесь эксгальвативного материала (табл. 2).

Методом ISP-MS было установлено содержание РЗЭ, малых и редких элементов для пяти образцов

из разных частей разреза (табл. 3). Суммарное содержание РЗЭ в изученных образцах пород манитанырдской серии изменяется от 91 до 214 г/т.

Графики распределения РЗЭ в породах манитанырдской серии сходны и имеют небольшой наклон в области LREE и слабо проявленный европиевый минимум (рис. 7). По форме кривых и содержанию РЗЭ изученные образцы близки к PAAS. Значения Eu/Eu^* для пород манитанырдской серии (0,59–0,79) близки к значениям средних осадочных пород фанерозоя [1]. Отношение Ce/Ce^* – индикатор обстановки осадкообразования – 0,88–1,05 соответствует значениям, характерным для окраинно-континентальных обстановок [29].

Для установления состава пород областей питания построены диаграммы $\text{La}/\text{Sc-Th}/\text{Co}$, $\text{Yb}_\text{N}\text{-La}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N}$, $\text{Hf-La}/\text{Th}$ и $\text{Nb/Y-Zr}/\text{TiO}_2$ (рис. 8). На диаграмме $\text{La}/\text{Sc-Th}/\text{Co}$ [22] все фигуративные точки пород манитанырдской серии локализованы в области продуктов разрушения пород кислого состава (рис. 8, а). На диаграмме $\text{Yb}_\text{N}\text{-La}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N}$ [14] точки манитанырдских пород расположены в поле постархейских гранитоидов и в зоне его перекрытия с полем архейской тоналит-трогьемит-гранитной ассоциации (рис. 8, б). Четыре точки пород манитанырдской серии на диаграмме $\text{Hf-La}/\text{Th}$ [23] располагается в области, обозначенной как кислая островная дуга, а точка обр. М-5, ввиду низкого содержания Th и Hf оказалась вне выделенных полей (рис. 8, в). На диаграмме $\text{Nb/Y-Zr}/\text{TiO}_2$ [31] четыре фигуративные точки расположены в поле риодацитов и одна (обр. М-39-1) попала в поле субщелочных базальтов (рис. 8, г). Отношения $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Yb}$ интервале 2,3–3,1 соответствуют отложениям, сформированным в семиаридно-семигумидных условиях [1], а на диаграмме $\text{La-(Nd + Sm)-(Y + Dy)}$ фигуративные точки пород манитанырдской серии расположены в поле отложений, образованных в условиях аридного климата, вблизи границы с полем гумидного климата (рис. 9).

На применяемых для реконструкции палеогеодинамических условий накопления дискриминационных диаграммах $\text{La}/\text{Sc-La}/\text{Y}$ [15]

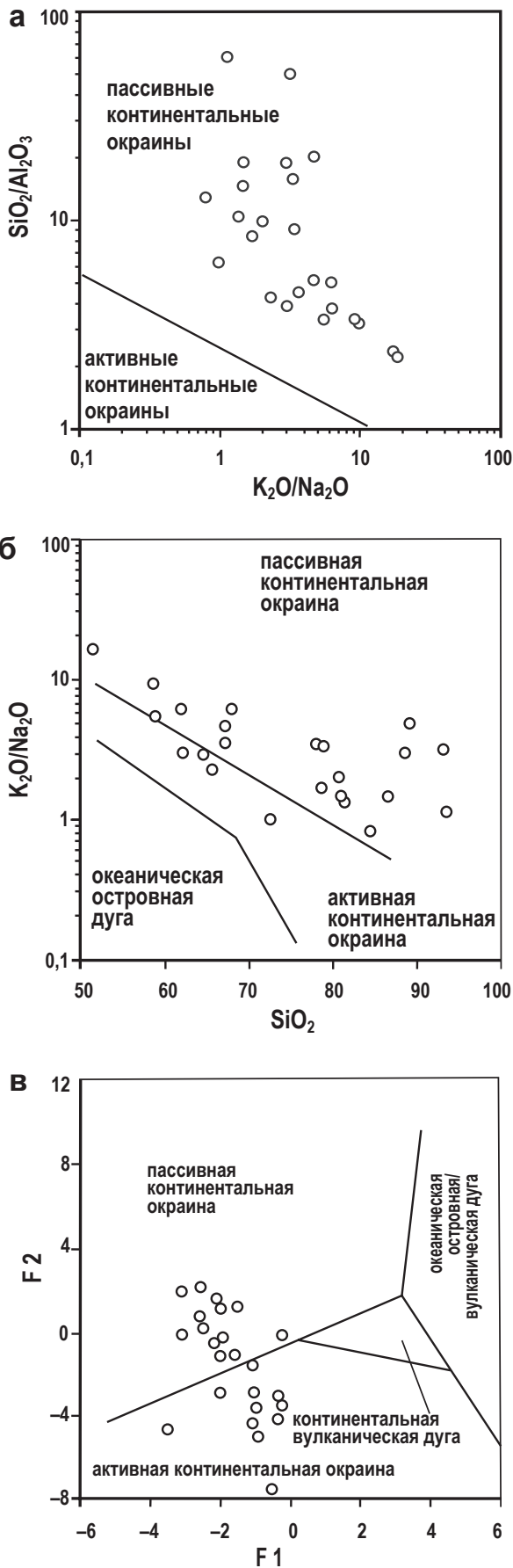


Рис. 6. Положение фигуративных точек составов пород манитаньрдской серии на диаграммах: а – K₂O/Na₂O–SiO₂/Al₂O₃ [27]; б – SiO₂–K₂O/Na₂O [30]; в – F1–F2 [19]

и La/Sc–Ti/Zr [19] по четыре точки пород манитаньрдской серии попали в поля континентальных островных дуг, одна точка (обр. М-5) – в поле активной континентальной окраины вблизи с границей поля континентальной островной дуги (рис. 10, а). Точка, соответствующая образцу алевролита М-39-1, попала в поле пород, образованных в условиях океанической островной дуги из-за повышенной титанистости содержащего ильменит алевролита.

В нормированных на PAAS [13] спектрах распределения элементов-примесей, во всех изученных образцах пород манитаньрдской серии отмечаются повышенные содержания Zr и Mo (рис. 11).

На диаграмме Ni–Cr [13] фигуративные точки манитаньрдских пород расположены в поле постаршейских образований, не содержащих продукты размыва древних метаморфических пород континентальных блоков, и две точки оказались на границе этого поля (рис. 12).

Обсуждение результатов. Анализ распределения петрогенных оксидов, редких и редкоземельных элементов, их соотношений, характера спектров распределения и положения фигуративных точек составов на различных диаграммах показал незначительные различия в составе литологических разновидностей пород в разрезе манитаньрдской серии. Песчаники имеют преимущественно кварцевый состав, а в алевролитах и алевросланцах существенную роль играют полевошпатовая и слюдяная составляющие. По значению гидролизатного (ГМ) модуля породы манитаньрдской серии относятся к аквагенным осадочным породам невысокой степени седиментационной зрелости, содержащим неыветрелые полевые шпаты (вулканомиктовую примесь). На диаграммах, отражающих участие в формировании состава алеврито-песчаниковой толщи магматических пород, точки песчаников тяготеют к области кислых вулканитов, а алевролитов и алевросланцев – к более основным породам (рис. 3). Аналогичная зависимость от литологических особенностей прослеживается и на диаграмме ICV–CIA (рис. 5). По мере уменьшения зернистости в породах увеличиваются щелочность, гидролизатность и магнезиальность, что является отражением их минерального состава – алевросланцы содержат наименьшее количество кварца и максимальное количество слюд.

На диаграмме F1–F2, применяемой для реконструкции палеогеодинамических условий, в области пород, образованных в условиях пассивной континентальной окраины оказались только фигуративные точки песчаников, а точки алевролитов и алевросланцев попали в область пород, образованных в условиях активной континентальной окраины (рис. 6, в).

На диаграммах La/Sc–Th/Co, Yb_N–La_N/Yb_N, и Hf–La/Th (рис. 8, а–в), используемых для установления состава пород областей питания, фигуративные точки пород манитаньрдской серии попали

Таблица 3

Содержания РЗЭ, малых и редких элементов в породах манитанырдской серии, г/т

Номер обр.	5	19	28-1	39-1	41-1	Номер обр.	5	19	28-1	39-1	41-1
Элемент						Элемент					
Sc	4,64	15,11	9,41	26,12	6,04	Tb	0,655	0,634	0,695	1,284	0,434
V	22,96	86,70	55,72	148,91	40,16	Dy	3,082	3,524	3,674	7,092	2,368
Cr	214,81	103,08	92,86	109,14	127,63	Ho	0,536	0,733	0,735	1,422	0,486
Co	4,50	10,56	6,64	22,29	4,12	Er	1,414	2,299	2,209	4,209	1,493
Ni	20,41	25,96	15,58	49,36	11,65	Tm	0,167	0,324	0,307	0,577	0,208
Cu	48,38	25,74	31,28	67,10	27,98	Yb	1,063	2,226	2,128	3,906	1,424
Zn	25,79	50,05	46,68	99,16	20,78	Lu	0,157	0,348	0,340	0,596	0,225
Ga	3,10	13,26	6,63	23,49	5,08	Hf	1,12	5,09	6,53	6,03	4,69
Rb	17,42	67,26	33,19	131,17	24,51	W	3,96	0,30	1,10	1,11	2,24
Sr	20,78	33,63	120,95	34,33	15,46	Pb	2,05	2,53	7,71	2,50	3,58
Y	15,35	19,36	20,01	37,56	13,33	Th	1,77	7,39	6,62	10,00	5,19
Zr	42,23	190,97	249,88	220,41	186,14	U	0,611	1,526	1,278	2,065	1,041
Nb	1,16	3,92	6,53	13,82	4,95	LREE	83	85	93	149	68
Mo	15,57	2,09	3,15	0,38	7,19	HREE	27	34	35	65	23
Cs	0,77	3,63	2,36	10,48	1,28	$\Sigma Ce / \Sigma Y$	3,1	2,5	2,7	2,3	3,0
Ba	102,80	288,95	186,28	885,74	283,76	La_N / Yb_N	1,74	0,74	0,97	0,73	0,99
La	19,050	17,042	21,326	29,478	14,498	Eu/Eu*	0,59	0,79	0,59	0,71	0,77
Ce	36,686	39,994	40,521	67,104	31,524	Ce/Ce*	0,94	1,05	0,88	0,99	1,01
Pr	4,380	4,589	5,379	8,400	3,691	Th/Co	0,39	0,70	1,00	0,45	1,26
Nd	18,182	18,549	20,319	34,858	14,314	La/Sc	4,10	1,13	2,27	1,13	2,40
Sm	4,308	3,939	4,292	7,466	2,804	La/Th	10,75	2,31	3,22	2,947	2,79
Eu	0,872	1,050	0,858	1,831	0,726	Zr/TiO ₂	0,05	0,05	0,04	0,01	0,08
Gd	4,626	4,149	4,602	8,156	2,890	Nb/Y	0,08	0,20	0,33	0,37	0,37

Примечание. $Ce/Ce^* = (Ce_N / La_N + Pr_N) / 2$, нормировано к глинам платформ [1]; $Eu/Eu = Eu_N / (Sm_N + Gd_N) / 2$, La_N / Yb_N , нормировано на хондрит [13].

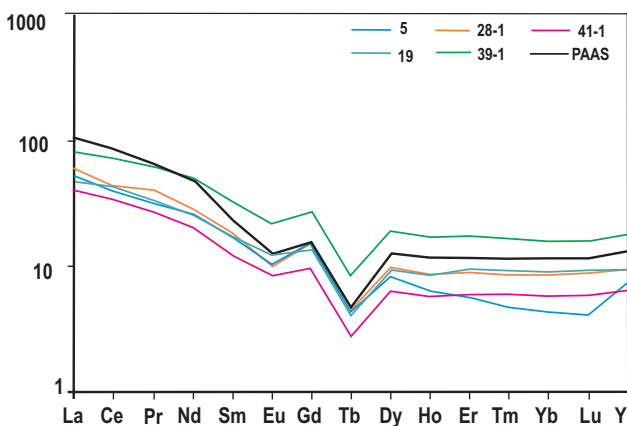


Рис. 7. Нормированные на хондрит [13] спектры распределения содержаний РЗЭ в породах манитанырдской серии

в поля, характерные для кислых магматических пород. На диаграмме Nb/Y–Zr/TiO₂ (рис. 8, з) фигуративные точки манитанырдских пород смещены в сторону более основных пород, что, вероятно, связано с присутствием титансодержащих ильменита и титанита, накопление которых обусловлено гидродинамическим фактором.

На диаграммах, позволяющих установить палеогеодинамическую обстановку и тектоническое положение области осадконакопления (рис. 10), фигуративные точки составов пород манитанырдской серии расположены в полях континентальных островных дуг. Такое положение точек обусловлено присутствием в составе пород манитанырдской серии продуктов разрушения кислых вулканитов. На обстановку континентальной окраины указывает и отношение Ce/Ce^* (табл. 3).

Однотипная форма спектров распределения РЗЭ и других элементов-примесей для метапесчаников средней части разреза свидетельствует о неизменности источников питания и условий осадконакопления во время накопления толщи.

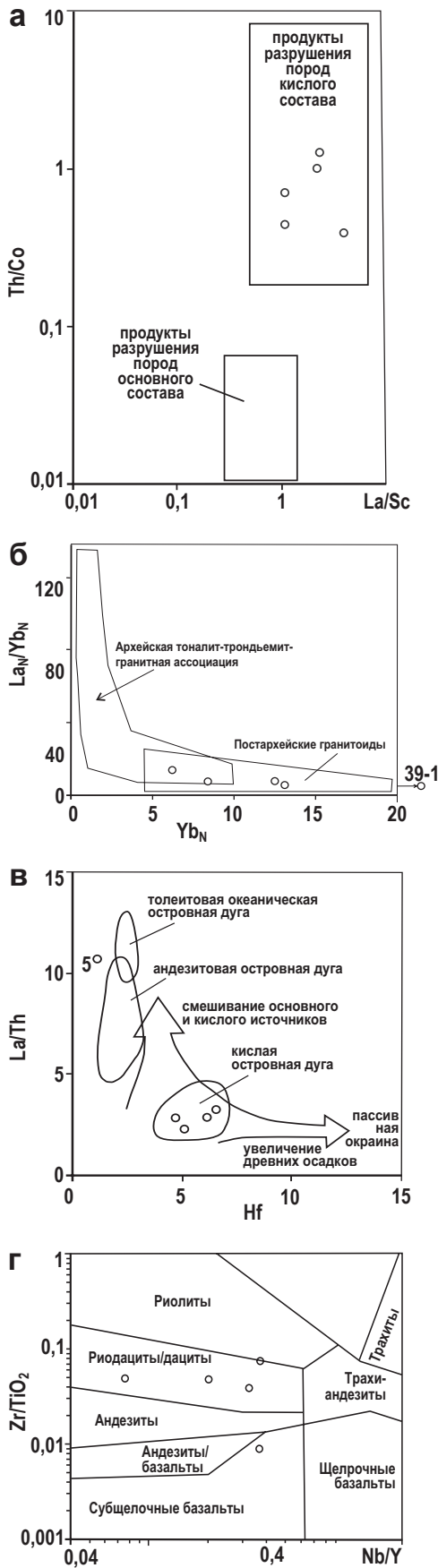


Рис. 8. Положение фигуративных точек метапесчаников манитанырдской серии на диаграммах: а – La/Sc–Th/Co [по 22]; б – Yb_N–La_N/Yb_N [14]; в – Hf–La/Th [23]; г – Nb/Y–Zr/TiO₂ [31]

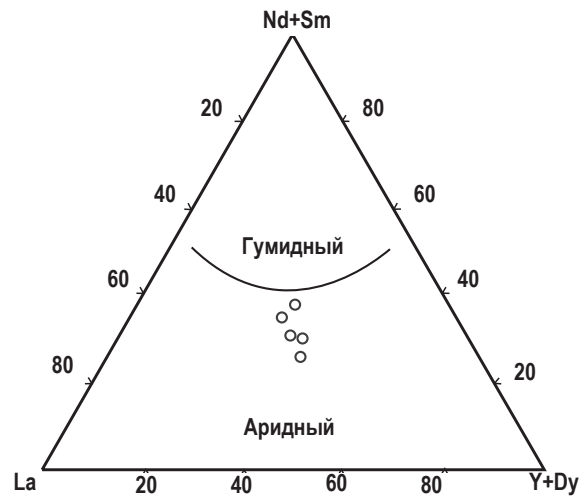


Рис. 9. Положение фигуративных точек пород манитанырдской серии на диаграмме La–(Nd + Sm)–(Y + Dy) [16]

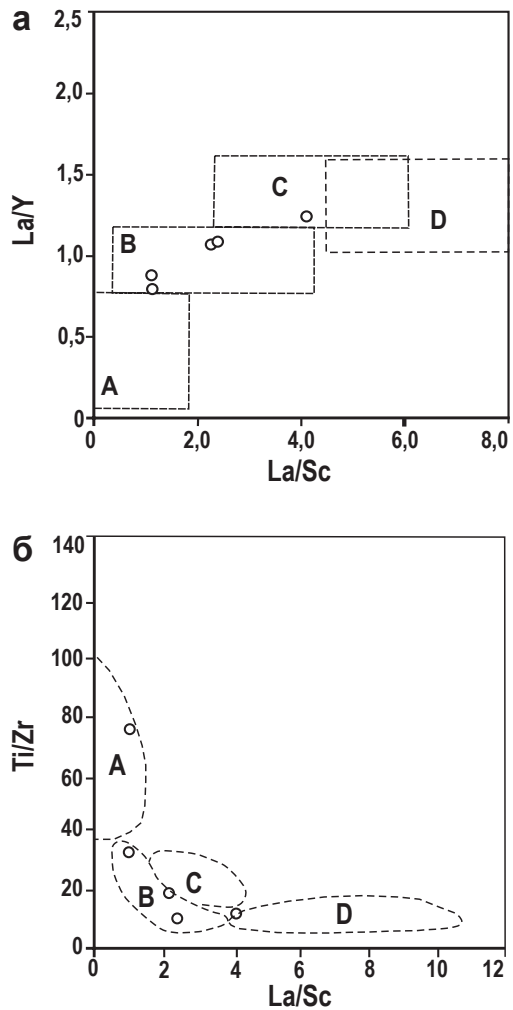


Рис. 10. Диаграммы: а – La/Sc–La/Y [15]; б – La/Sc–Ti/Zr [19] А – океанические островные дуги; В – континентальные островные дуги; С – активная континентальная окраина; D – пассивная континентальная окраина

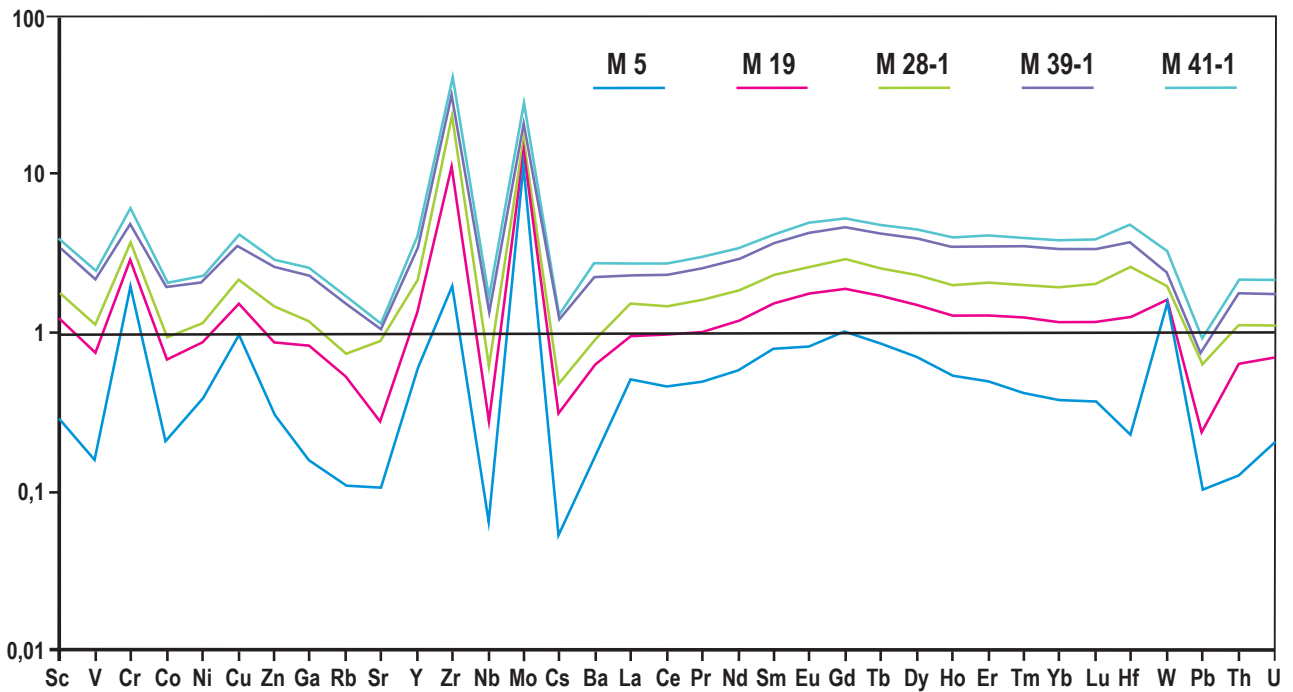


Рис. 11. Нормированное на PAAS [13] содержание элементов-примесей в породах манитанырдской серии

Вывод о формировании метапесчаников за счет разрушения местных позднерифейско-вендских образований согласуется с данными, полученными нами результатами U/Pb датирования детритных цирконов, на основании которых сделан вывод о том, что основными источниками обломочных цирконов были широко распространенные в регионе породы Большеземельской активной окраины Арктиды и коллизионных комплексов протоуралид-тиманид [6].

Заключение. Изучение геохимических особенностей пород манитанырдской серии показало, что они образованы в эпиконтинентальной обстановке в условиях умеренно влажного и теплого

климата за счет размыва и переотложения преимущественно слабыветрелых подстилающих пород позднерифейско-вендского фундамента. Наиболее вероятно, что основным источником обломочного материала были магматические породы, связанные с кембрийским предрифтовым поднятием и рифтогенезом, начавшимся на рубеже кембрия и ордовика и продолжавшемся в ордовике, на Полярном Урале представленные образованиями леквожского габбро-долеритового и пайпудынского риолитового гипабиссальных комплексов, раннепалеозойскими телами гранитоидов полярно-уральского полихронного комплекса.

Работа выполнена в рамках проекта НИР «Осадочные формации: вещество, седиментация, литогенез, геохимия, индикаторы литогенеза, реконструкция осадконакопления». Регистрационный номер в системе ЕГИСУ НИОКТР 122040600013-9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балашов Ю. А. Геохимия редкоземельных элементов. – М.: Наука, 1976. – 268 с.
2. Голдин Б. А., Калинин Е. П., Пучков В. Н. Магматические формации западного склона севера Урала и их минерагения. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1999. – 213 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Уральская серия. Лист Q-41 – Воркута. Объяснительная записка. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2007. – 541 с.
4. Ефанова Л. И. Алькесвожская толща на севере Урала. Стратиграфия, литология, металлоносность // Автореф. дисс. канд. геол.-минерал. наук. Сыктывкар: Ин-т геологии Коми НЦ УрО РАН, 2001. – 24 с.

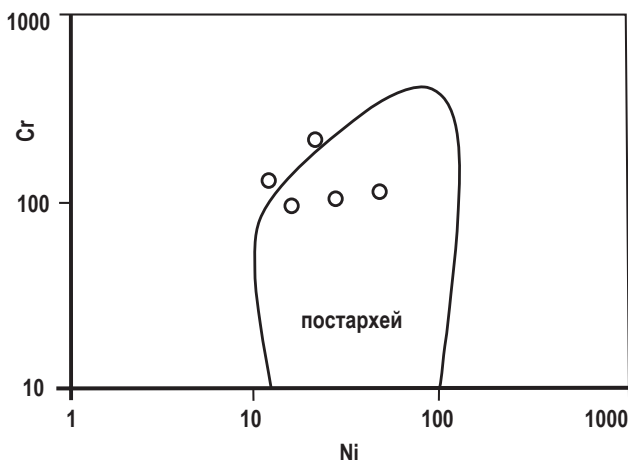


Рис. 12. Положение фигуративных точек пород манитанырдской серии на диаграмме Ni–Cr [13]

5. Коссовская А. Г., Тучкова М. И. К проблеме минералого-петрохимической классификации и генезиса песчаных пород // Литология и полезные ископаемые. – 1988. – № 2. – С. 8–24.
6. Никулова Н. Ю., Соболева А. А. Результаты U-Pb датирования детритовых цирконов из песчаников манитаньрдской серии на краже Манитаньрд (Полярный Урал) // Вестник ИГ. – 2019. – № 6. – С. 3–11.
7. Никулова Н. Ю., Швецова И. В. Литология и геохимия нижнепалеозойских отложений в зоне межформационного контакта уралид/доуралид на хр. Манитаньрд (Полярный Урал) // Бюллетень МОИП. – 2011. – № 3. – С. 47–54.
8. Никулова Н. Ю. Пирит из отложений манитаньрдской серии (С₃–О₁mn) на руч. Голубой (краж Манитаньрд, Полярный Урал) // Минералогические перспективы: материалы Международ. минерал. семинара. – Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2011. – С. 245–246.
9. Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники. – М.: Мир, 1976. – 536 с.
10. 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.
11. Самородный кремний, силицид железа и муассанит в нижнепалеозойских песчаниках хр. Манитаньрд (Полярный Урал) / Н. Ю. Никулова, В. Н. Филиппов, Ю. С. Симакова, И. В. Швецова // Вестник ИГ. – 2011. – №1. – С. 17–19.
12. Страхов Н. М. Проблемы геохимии современного океанского литогенеза. – М.: Наука, 1976. – 300 с.
13. Тейлор С. З., Мак-Леннан С. М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. Рассмотрение геохимической летописи, запечатленной в осадочных породах. – М.: Мир, 1988. – 384 с.
14. Тонкозернистые алюмосилико-кластические образования стратотипического разреза среднего рифея на Южном Урале: особенности формирования, состав и эволюция источников сноса / А. В. Маслов, М. Т. Круппин, Ю. Л. Ронкин, Э. З. Гареев, О. П. Лепихина, О. Ю. Попова // Литология и полезные ископаемые. – 2004. – № 4. – С. 414–441.
15. Фазлиахметов А. М., Зайнуллин Р. И. Вариации индикаторных геохимических параметров в вулканических песчаниках на примере нижне- и среднедевонских отложений Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала // Вестник Иркутского гос. технич. ун-та. – 2014. – № 1. – С. 56–62.
16. Шатров В. А., Войцеховский Г. В. Применение лантаноидов для реконструкций обстановок образования в фанерозое и протерозое (на примере разрезов чехла и фундамента Восточно-Европейской платформы) // Геохимия. – 2009. – № 8. – С. 805–824.
17. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии. – СПб.: Наука, 2000. – 479 с.
18. Bhatia M. R. Plate tectonic and geochemical composition of sandstones // The Journal of Geology. – 1983. – Vol. 91, no. 6. – Pp. 611–627.
19. Bhatia M. R., Crook K. A. W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1986. – Vol. 108, no. 1, 2. – Pp. 181–193.
20. Bostrom K. The origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments // Stockholm Contributions in Geology. – 1973. – Vol. 27, no. 2. – Pp. 148–243.
21. Cox R., Lowe D. R. Controls of sediment composition on a regional scale: a conceptual review // Journal of Sedimentary Research. – 1995. – Vol. 65. – Pp. 1–12.
22. Cullers R. L. Implications of elements concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // Chemical Geology. – 2002. – Vol. 191, no. 4. – Pp. 305–327.
23. Geochemistry of Lower Cretaceous sediments, Inner Zone of Southwest Japan: Constraints on provenance and tectonic environment / D. K. Asiedu, S. Suzuki, K. Nogami, T. Shibata // Geochemical Journal. – 2000. – Vol. 34. – Pp.155–173.
24. Herron M. M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log date // Journal of Sedimentary Petrology. – 1998. – No. 58. – Pp. 820–829.
25. Kusunoki T., Musashino M. Comparison of the Middle Jurassic to Earliest Cretaceous sandstones from the Japanese Islands and South Sikhote-Alin // Earth Science. – 2001. – Vol. 55, no. 5. – Pp. 293–306.
26. Lee Y. I. Provenance derived from the geochemistry of late Paleozoic-early Mesozoic mudrocks of the Pyeongann Supergroup, Korea // Sedimentary Geology. – 2002. – Vol. 149. – Pp. 219–235.
27. Maynard J. B., Valloni R., Yu H.-Sh. Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins // Geological Society. – London: Special Publications, 1982. – Vol. 10. – Pp. 551–561.
28. Nesbitt H. W., Young G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. – 1982. – Vol. 299. – Pp. 715–717.
29. Rare earth, major and trace elements in chert from the Franciscan Complex and Monterey Group, California Assessing REE sources to fine-grained marine sediment / R. W. Murray, M. R. Buchholtz ten Brink, D. C. Gerlach, G. Price Russ, D. L. Jones // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1991. – Vol. 55. – Pp. 1875–1895.
30. 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. – Vol. 94, no. 5. – Pp. 635–650.
31. Winchester J. A., Floyd P. A. Geochemical discrimination of magma series and their differentiation products using immobile elements // Chemical Geology. – 1977. – Vol. 20. – Pp. 325–343.

REFERENCES

- Balashov Yu. A. Geokhimiya redkozemel'nykh elementov. Moscow, Nauka, 1976, 268 p.
- Goldin B. A., Kalinin E. P., Puchkov V. N. Magmatichekie formatsii zapadnogo sklona severa Urala i ikh minerageniya. Syktyvkar, 1999, 213 p.
- Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Mashtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Ural'skaya seriya. List Q-41 – Vorkuta. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation of the third generation. Scale 1 : 1 000 000. Ural'skaya series. Sheet Q-41 – Vorkuta. Explanatory note]. St. Petersburg, VSEGEI, 2007, 541 p.
- Efanova L. I. Al'kesvovzhskaya tolshcha na severe Urala. Stratigrafiya, litologiya, metallonosnost'. Syktyvkar, Institut geologii Komi, 2001, 24 p.
- Kossovskaya A. G., Tuchkova M. I. K probleme mineralogo-petrokhimicheskoy klassifikatsii i genezisa peschanykh porod. *Litologiya i poleznyye iskopaemye*, 1988, no. 2, pp. 8–24.
- Nikulova N. Yu., Soboleva A. A. Rezul'taty U-Pb datirovaniya detritovykh tsirkonov iz peschanikov manitanyrdskoy serii na kryazhe Manitanyrd (Polyarnyy Ural). *Vestnik instituta geologii*, 2019, no. 6, pp. 3–11.
- Nikulova N. Yu., Shchvetsova I. V. Litologiya i geokhimiya nizhnepaleozoyskikh otlozheniy v zone mezhformatsionnogo kontakta uralid/douralid na khrebte Manitanyrd (Polyarnyy Ural). *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody*, 2011, no. 3, pp. 47–54.
- Nikulova N. Yu. Pirit iz otlozheniy manitanyrdskoy serii (С₃–О₁mn) na ruch'e Goluboi (kryazh Manitanyrd, Polyarnyy Ural). *Mineralogicheskie perspektivy: materialy Mezhdunarodnogo mineralogicheskogo seminara*. Syktyvkar, 2011, pp. 245–246.
- Pettidzhon F., Potter P., Siver R. Peski i peschaniki. Moscow, Mir, 1976, 536 p.

10. Rozen O. M., Zhuravlev D. Z., Lyapunov S. M. Geokhimicheskie issledovaniya osadochnykh otlozheniy Timano-Pecherskoy provintsii. *Razvedka i okhrana nedr*, 1994, no. 1, pp. 18–21.
11. Nikulova N. Yu., Filippov V. N., Simakova Yu. S., Shvetsova I. V. Samorodnyy kremniy, silitsid zheleza i muassanit v nizhnepaleozoyskikh peschanikakh khrebet Manitanyrd (Polyarnyy Ural). *Vestnik instituta geologii*, 2011, no. 1, pp. 17–19.
12. Strakhov N. M. Problemy geokhimii sovremennoogo okeanskogo litogeneza. Moscow, Nauka, 1976, 300 p.
13. Teylor S. Z., Mak-Lennan S. M. Kontinental'naya kora: ee sostav i evolyutsiya. Rassmotrenie geokhimicheskoy letopisi, zapечатlennoy v osadochnykh porodakh. Moscow, Mir, 1988, 384 p.
14. Maslov A. V., Krupenin M. T., Ronkin Yu. L., Gareev E. Z., Lepikhina O. P., Popova O. Yu. Tonkozernistye alyumosiliko-klasticheskie obrazovaniya stratotipicheskogo razreza srednego rifeya na Yuzhnom Urале: osobennosti formirovaniya, sostav i evolyutsiya istochnikov snosa. *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 2004, no. 4, pp. 414–441.
15. Fazliakhmetov A. M., Zaynullin R. I. Variatsii indikatornykh geokhimicheskikh parametrov v vulkanitovykh peschanikakh na primere nizhne- i srednedevonskikh otlozheniy Zapadno-Magnitogorskoy zony Yuzhnogo Urала. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, no. 1, pp. 56–62.
16. Shatrov V. A., Voytsekhovskiy G. V. Primenenie lantanoidov dlya rekonstruktsiy obstanovok obrazovaniya v fanerozoie i proterozoie (na primere razrezov chekhla i fundamenta Vostochno-Evropeyskoy platformy). *Geokhimiya*, 2009, no. 8, pp. 805–824.
17. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. Osnovy litokhimii. St. Petersburg, Nauka, 2000, 479 p.
18. Bhatia M. R. Plate tectonic and geochemical composition of sandstones. *The Journal of Geology*, 1983, vol. 91, no. 6, pp. 611–627.
19. Bhatia M. R., Crook K. A. W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1986, vol. 108, no. 1, 2, pp. 181–193.
20. Bostrom K. The origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments. *Stockholm Contributions in Geology*, 1973, vol. 27, no. 2, pp. 148–243.
21. Cox R., Lowe D. R. Controls of sediment composition on a regional scale: a conceptual review. *Journal of Sedimentary Research*, 1995, vol. 65, pp. 1–12.
22. Cullers R. L. Implications of elements concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chemical Geology*, 2002, vol. 191, no. 4, pp. 305–327.
23. Asiedu D. K., Suzuki S., Nogami K., Shibata T. Geochemistry of Lower Cretaceous sediments, Inner Zone of Southwest Japan: Constraints on provenance and tectonic environment. *Geochemical Journal*, 2000, vol. 34, pp. 155–173.
24. Herron M. M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log date. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1998, no. 58, pp. 820–829.
25. Kusunoki T., Musashino M. Comparison of the Middle Jurassic to Earliest Cretaceous sandstones from the Japanese Islands and South Sikhote-Alin. *Earth Science*, 2001, vol. 55, no. 5, pp. 293–306.
26. Lee Y. I. Provenance derived from the geochemistry of late Paleozoic-early Mesozoic mudrocks of the Pyeongann Supergroup, Korea. *Sedimentary Geology*, 2002, vol. 149, pp. 219–235.
27. Maynard J. B., Valloni R., Yu H.-Sh. Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins. *Geological Society*. London, Special Publications, 1982, vol. 10, pp. 551–561.
28. Nesbitt H. W., Young G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 1982, vol. 299, pp. 715–717.
29. Murray R. W., Buchholtz ten Brink M. R., Gerlach D. C., Price Russ G., Jones D. L. Rare earth, major and trace elements in chert from the Franciscan Complex and Monterey Group, California Assessing REE sources to fine-grained marine sediment. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1991, vol. 55, pp. 1875–1895.
30. 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, vol. 94, no. 5, pp. 635–650.
31. Winchester J. A., Floyd P. A. Geochemical discrimination of magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 1977, vol. 20, pp. 325–343.

Николова Наталья Юрьевна – доктор геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, Институт геологии им. академика Н. П. Юшкина Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения РАН» (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Ул. Первомайская, 54, Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 167982. <Nikulova@geo.komisc.ru>

Nikulova Nataliya Yurevna – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Institute of Geology of Komi Science Center of the Ural Branch of the RAS (IG FRC Komi SC UB RAS). 54 Ul. Pervomayskaya, Syktyvkar, Komi Republic, Russia, 167982. <Nikulova@geo.komisc.ru>