ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ФОРМИРОВАНИЯ ВЕРХНЕПРОТЕРОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ НЯРОВЕЙСКОЙ СЕРИИ

Н. С. Уляшева

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

nsulasheva@geo.komisc.ru

В результате изучения геохимических особенностей верхнепротерозойских метаморфизованных вулканогенно-осадочных пород няровейской серии Центральной тектонической зоны Полярного Урала установлено, что они сформировались в окраинно-океанической обстановке, возможно в условиях задугового моря.

В западной зоне распространения няровейской серии метабазалты представлены высокожелезистыми толеитами, а в восточной – высокомагниевыми. Геохимический состав у них схож и тождествен составу базальта E-MORB, что предполагает близкие условия генерации магматического расплава. Низкие содержания Nb, Zr и Hf в метабазальтах указывают на надсубдукционную природу данных образований. Среди метаосадочных пород няровейской серии широко распространены углеродсодержащие и безуглеродистые кварциты, которые хорошо коррелируются по содержанию редких и редкоземельных элементов. Среди углеродсодержащих кварцитов выделяются кремниевые и терригенно-кремниевые разновидности. Безуглеродистые кварциты образовались по терригенным породам. Анализ геохимического состава метаосадочных пород няровейской серии дал основание предположить, что их образование происходило за счет разрушения преимущественно богатых кремнием осадочных образований при участии кислых, средних и основных магматических пород зрелой континентальной коры раннепротерозойского возраста.

Ключевые слова: няровейская серия, океаническая кора, задуговой бассейн, редкие элементы.

GEOCHEMICAL COMPOSITION AND GEODYNAMIC SETTING OF FORMATION OF UPPER PROTEROZOIC DEPOSITS OF NYAROVEYSKAYA SERIES (POLAR URALS)

N. S. Ulyasheva

Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of RAS, Syktывkar

Our study of the geochemical composition of the Upper Proterozoic metamorphosed volcanic-sedimentary rocks of nyaroveyskaya series in Central tectonic zone of the Polar Urals established that they had been formed in marginal-oceanic setting, possibly in back-arc marine geodynamic conditions.

In the western area of distribution of nyaroveyskaya series the metabasalts are represented by high Fe tholeiites, whereas in the east — high Mg. They are geochemically similar and close to the composition of E-MORB basalt, supporting similar conditions of generation of the magmatic melt. Low Nb, Zr, and Hf contents of in the metabasalts indicate a supra-subduction nature of these formations. Metasedimentary rocks contain metapelite, metagraywacke and quartzite. Carbon and carbon-free quartzites correlate well by the content of rare earth elements. Carbon quartzites contain terrigenous-clastic and silicon varieties. Metamorphosed quartz sandstones occur only in the western area. Analysis of the geochemical composition of metaterrigenous nyaroveyskaya series suggested that their formation resulted from destruction of silicon-rich sedimentary rocks with the participation of acidic, medium and basic magmatic rocks of Early Proterozoic continental crust.

Keywords: nyaroveyskaya series, oceanic crust, back-arc basins, rare elements.

Верхнепротерозойские отложения наблюдаются от арктических территорий Урала до южных его частей. Часто они обнажаются в пределах поднятий в обрамлении древних и глубокометаморфизованных образований и представлены измененными до уровня эпидот-амфиболитовой фации вулканогенно-осадочными породами. Протолитом для них служили в основном толщи аркозовых песчаников и карбонатно-глинистых пород, а также ультрамафит-мафитов и риолит-базальтов, образование которых происходило, по-видимому, во внутриплитных авлакоген-рифтогенных обстановках [2, 8]. Иные геодинамические обстановки формирования имеют рифейды Полярного Урала, на что указывают состав и металлогеническая специализация этих пород [13]. Они характеризуются наличием в разрезах океанических ассоциаций: кремниевых образований, серпентинитов и островодужных пород, отсутствующих в одновозрастных разрезах более южных районов Урала.

Верхнепротерозойские отложения Центральной тектонической зоны Полярного Урала остаются слабоизученными.

Здесь они представлены няровейской серией и немурьюганской свитой, возраст которых принимается условно соответственно как средний и верхний рифей. Отложения няровейской серии слагают крылья Харбейского антиклинория, обрамляют раннепротерозойские образования харбейского и марункеуского комплексов с западной и восточной сторон [6, 10] и представлены различными сланцами, кварцитами и метабазальтами (рис. 1). Исследователи склоняются к тому, что эти породы сформировались в континентальной и океанической обстановках [2]. Есть мнение, что западная и восточная зоны распространения няровейской серии отличаются по характеру разреза и условиям образования пород [5].

Для выявления геодинамических обстановок формирования отложений, определения источников сноса и возраста материнских образований терригенной составляющей широко используют геохимические и петрохимические методы. Нами проведено изучение распределения в породах няровейской серии редких и редкоземельных элементов с целью восстановления геодинамических

Рис. 1. Схематическая геологическая карта северной части Полярного Урала (по [2]).

Условные обозначения: 1 — архейско-нижнепротерозойские комплексы; 2 — няровейская серия (RF_2); 3 — верхнедокембрийские комплексы; 4 — вулканогенно-осадочные комплексы (E_3-P_1) Лемвинской структурно-фациальной зоны; 5 — терригенно-карбонатные комплексы (E_3-C) Елецкой структурно-фациальной зоны; 6 — плитный комплекс (Mz); 7 — райзиско-войкарский дунит-габбуритовый комплекс ($O_{1-2}?$); 8 — кершорский габброидный комплекс (O_3-S_1); 9 — собский диорит-плагиигранитный комплекс (S_2-D_1); 10 — юньягинский вулканогенный комплекс: базальты, андезитобазальты, риолиты, туфы; 11 — геологические границы: а — надвиговая граница Лемвинской и Елецкой структурно-фациальных зон, б — границы комплексов, свит; 12 — Главный Уральский глубинный разлом (надвиг); 13 — другие разломы: а — надвиги и взбросы, б — крутопадающие разломы, 14 — место отбора образца

Fig. 1. Schematic geological map of the northern part of the Polar Urals (according to [2]).

Legend: 1 — Archaean-Lower Proterozoic complexes; 2 — nyaroveyskaya series (RF_2); 3 — Upper Precambrian complexes; 4 — volcanogenic-sedimentary complexes (E_3-P_1) of Lemvinskaya structural-facies zone; 5 — terrigenous-carbonate complexes (E_3-C) of Eletskaia structural-facies zone; 6 — plate complex (Mz); 7 — raizisko-voykarsky dunite-gabbro complex ($O_{1-2}?$); 8 — kershorsky gabbroid complex (O_3-S_1); 9 — sobsky diorite-plagiogranite complex (S_2-D_1); 10 — yunyaginsky volcanogenic complex: basalts, andesite basalts, rhyolites, tuffs; 11 — geological boundaries: a — thrust boundary of Lemvinskaya and Eletskaia structural-facies zones, b — boundaries of complexes, suites; 12 — Main Urals deep fault (overthrust); 13 — other faults: a — thrusts and faults, b — steeply falling faults; 14 — place of sampling

обстановок ее формирования. Результаты исследования позволили уточнить условия образования верхнепротерозойских отложений фундамента Центральной тектонической зоны Полярного Урала.

Методы исследования

Фактический материал (более 100 образцов) для исследований был собран по ручьям Нярошор, Графитовый и Харчерузь (западная зона), а также по безымянным левым притокам ручья Ингилорьеган (восточная зона).

Результаты изучения петрохимического состава основных типов пород няровейской серии были опубликованы ранее [11], поэтому в настоящей работе приведен лишь петрохимический состав кварцитов, полученный с помощью метода мокрой химии (аналитик О. В. Кокшарова) и комплексного метода мокрой химии и

рентгенофлуоресцентного анализа (8 анализов, аналитик С. Т. Неверов) в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН в г. Сыктывкаре. Определение концентраций редких и рассеянных элементов в породах няровейской серии выполнено путем кислотного разложения исходных образцов и дальнейшего анализа с помощью секторного масс-спектрометра с ионизацией в индуктивно связанной плазме (FS HR ICP-MS) Element 2 в Институте геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого в г. Екатеринбурге (24 анализа).

Геохимические особенности пород

Породы няровейской серии представлены кварц-эпидот-хлорит-актинолитовыми, а также кварц-слюдистыми, слюдисто-кварцевыми образованиями с переменным содержанием альбита, хлорита и биотита и кварцитами [11]. Для первой группы пород протолитом служили базальты и туфы. Кварц-слюдистые сланцы сформировались по пелитам и алевропелитам, слюдисто-кварцевые породы — по граувакковым песчаникам. Для пород няровейской серии, особенно кварцитов и изредка метапелитов и метаалевропелитов, характерно присутствие углеродистого вещества. В западной области распространения няровейской серии metabasalts и туфы имеют подчиненное распространение по сравнению с толщами осадочных пород. В восточной зоне они практически равны по объему выходов.

Метабазальты и туфы. Метабазальты представлены низко- и умереннотитанистыми, преимущественно низкокальциевыми, умеренно- и низкоглиноземистыми толеитами. Метавулканыты западной зоны отличаются повышенной фемичностью, а восточной зоны — повышенной магнезиальностью. На диаграмме $Al - Fe_{общ} + Ti - Mg$ [16] они четко разделяются на высокожелезистые и высокомагниевого разновидности (рис. 2). На идентификационных диаграммах [1, 18] наблюдается приуроченность высокомагниевого метавулканитов восточной зоны

Рис. 2. Положение точек составов метабазальтов няровейской серии на диаграмме $Al - (Fe + Ti) - Mg$ (по [16]): 1 — западная зона; 2 — восточная зона

Fig. 2. Position of points of compositions of metabasalts of nyaroveyskaya series on $Al - (Fe + Ti) - Mg$ diagram (according to [16]), where: 1 — western zone; 2 — eastern zone

к океаническим образованиям, а высокожелезистых пород западной зоны к внутриплитным континентальным обстановкам (рис. 3, а, б).

По геохимическому составу рассматриваемые метабазальты очень близки (табл. 1). На диаграмме, где показаны содержания редкоземельных элементов, нормированные к содержанию их в хондрите, породы западной и восточной зон няровейской серии образуют схожие спектры распределения элементов с отрицательным углом наклона и небольшой отрицательной европиевой аномалией (рис. 4, а). Содержание легких редкоземельных элементов превышает хондритовые в 15–80 раз, а тяжелых — в 8–30 раз. Подобный состав характерен для океанических базальтов E-MORB [20]. От толеитов океанических островов и континентальных рифтов они отличаются пониженными содержаниями легких редкоземельных элементов.

На спайдер-диаграмме (рис. 4, б) спектры содержания редких элементов метабазальтов няровейской серии также идентичны со спектром базальта E-MORB. В трех образцах (н-4-68, н-5-19, н-4-70) океанических базальтов восточной зоны наблюдаются пониженные содержания Nb, Zr и Hf, что характерно для производных надсубдукционных обстановок, возникших при плавлении верхней периферической части умеренно обогащенной мантии, более водонасыщенной [4].

Геохимический состав метабазальтов западной и восточной зон распространения няровейской серии указывает на их формирование в надсубдукционных обстановках задугового моря. Не исключено, что кора океанического типа задугового бассейна образовалась в результате континентального рифтогенеза. На это ука-

зывают высокие содержания железа в метабазальтах западной зоны распространения няровейской серии. Высокомагнезиевая серия восточной зоны, видимо, более поздняя и не подвержена влиянию континентальной составляющей. Схожесть геохимических составов метабазальтов обеих зон свидетельствует о близости условий генерации магматических расплавов.

Туфы отличаются от метабазальтов повышенным содержанием глинозема, вероятно, за счет смешивания терригенного и глинистого материала. Геохимический состав этих пород практически идентичен, лишь изредка в туфах наблюдаются положительные аномалии по литофильным элементам.

Метаосадочные породы как в западной, так и в восточной части распространения няровейской серии представлены перемежающимися с метабазальтами сланцами и кварцитами. Протолитом для сланцев служили метапелиты, метаалевропелиты и песчаники.

Индикаторные содержания редких элементов La, Sc, Th, Co, Hf и Ce (табл. 2) в осадочных образованиях традиционно используются для установления источников сноса и особенностей состава материнских пород [7]. Анализ соотношений элементов La/Sc, Th/Co, La/Th и Hf в метаморфизованных осадочных образованиях няровейской серии показал, что основным источником обломочного материала для них служили породы кислого состава зрелой континентальной коры (рис. 5). В то же время высокие значения соотношений элементов Cr/Zr (1.3–2.09) и Cr/V (0.44–0.6) указывают на наличие в размываемом материале также основных и средних пород. На диаграмме F1–F2 (рис. 6), учитывающей содержания порообразующих оксидов, видно, что материнскими

Рис. 3. Положение точек составов метабазальтов няровейской серии на диаграммах: а — DF_1 — DF_2 (по [1]); $DF_1 = 0.135SiO_2 - 0.354TiO_2 + 0.280Al_2O_3 - 0.096FeO + 0.086MgO + 0.245CaO + 0.047Na_2O - 0.033K_2O + 0.356P_2O_5 + 0.00171Rb + 0.00106Sr - 0.01017Y - 0.00204Zr - 0.00393Nb + 0.00009Ba - 0.01124La - 0.00055Ce - 0.00151Nd + 0.02336Sm - 0.15155Eu + 0.54093Yb - 12.85643$. $DF_2 = -0.125SiO_2 - 0.526TiO_2 + 0.212Al_2O_3 + 0.166FeO - 0.192MgO - 0.399CaO - 0.580Na_2O - 0.161K_2O - 0.886P_2O_5 + 0.00666Rb + 0.00106Sr - 0.01489Y - 0.00122Zr - 0.00041Nb - 0.00006Ba + 0.01188La - 0.02365Ce + 0.04773Nd + 0.14529Sm + 0.05647Eu - 0.81878Yb + 10.30753$; б — $MgO - FeO^t - Al_2O_3$ (по: [18]). Поля базальтов: WPB — внутриплитных, IAB — островодужных, MORB — океанических (а); OO — океанических островов, К — континентальных, OOC — океанических островов в зоне спрединга, ОД — островодужных, COX — срединно-океанических хребтов (б). Условные обозначения — на рис. 2

Fig. 3. Position of points of compositions of metabasalts of nyaroveyskaya series on the diagrams: а — DF_1 — DF_2 (according to [1]); $DF_1 = 0.135SiO_2 - 0.354TiO_2 + 0.280Al_2O_3 - 0.096FeO + 0.086MgO + 0.245CaO + 0.047Na_2O - 0.033K_2O + 0.356P_2O_5 + 0.00171Rb + 0.00106Sr - 0.01017Y - 0.00204Zr - 0.00393Nb + 0.00009Ba - 0.01124La - 0.00055Ce - 0.00151Nd + 0.02336Sm - 0.15155Eu + 0.54093Yb - 12.85643$. $DF_2 = -0.125SiO_2 - 0.526TiO_2 + 0.212Al_2O_3 + 0.166FeO - 0.192MgO - 0.399CaO - 0.580Na_2O - 0.161K_2O - 0.886P_2O_5 + 0.00666Rb + 0.00106Sr - 0.01489Y - 0.00122Zr - 0.00041Nb - 0.00006Ba + 0.01188La - 0.02365Ce + 0.04773Nd + 0.14529Sm + 0.05647Eu - 0.81878Yb + 10.30753$. б — $MgO - FeO^t - Al_2O_3$ (by: [18]). Basalt fields: WPB — intraplate, IAB — island arc, MORB — oceanic (а); OO — oceanic islands, К — continental, OOC — oceanic islands in the spreading zone, ОД — island arc, COX — mid-ocean ridges (б). Legend in Fig. 2

Таблица 1. Содержания химических элементов в метабазальтах няровейской серии, ppm
Table 1. Content of chemical elements in metabasalts of nyaroveyskaya series, ppm

Элементы Elements	Восточная зона \ Eastern zone					Западная зона \ Western zone		
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Н-4-68	Н-5-19	Н-5-18	Н-4-62	Н-4-70	Н-5-3	Н-4-44	Н-5-16
Li	16.6	26.0	18.8	13.8	6.131	18.2	26.9	14.4
Be	0.299	0.636	0.493	0.544	0.217	1.196	0.370	0.379
Sc	30.5	49.1	40.5	42.0	18.0	44.1	39.0	31.1
Ti	2429	6877	6331	9686	2895	3461	5259	4862
V	274	533	415	438	223	359	379	319
Cr	298	355	323	317	162	52	246	248
Mn	1138	1764	1469	1506	857	1600	1662	1128
Co	37.4	64.1	48.5	43.9	34.5	45.8	55.6	37.2
Ni	92.8	144	122	128	69.0	40.8	128	93.3
Cu	51.1	51.7	72.4	114	13.5	104	72.7	55.6
Zn	35.5	51.0	51.1	66.8	29.5	55.6	57.5	39.2
Ga	9.61	16.5	14.8	18.3	7.16	14.3	14.1	11.4
Ge	12.1	24.4	17.6	16.4	9.7	16.6	17.4	13.6
Br	0.140	0.221	0.153	0.097	0.105	0.072	0.0763	0.117
Se	0.303	0.886	0.735	1.02	0.256	0.473	0.776	0.565
Rb	1.68	4.60	2.94	2.55	4.37	24.1	5.51	2.26
Sr	155	228	222	283	92.7	195	173	171
Y	10.9	24.2	23.9	36.7	10.2	22.4	34.0	18.4
Zr	33.2	31.2	39.7	54.9	57.2	40.4	113.1	30.5
Nb	1.40	4.56	7.91	17.77	1.63	5.00	7.12	6.07
Mo	1.11	1.77	1.21	0.77	0.42	0.61	0.52	0.93
Cd	0.123	0.124	0.220	0.412	0.101	0.138	0.240	0.169
Cs	0.0398	0.0889	0.0587	0.0475	0.0952	0.2002	0.1672	0.0451
Ba	15.8	32.8	25.9	29.1	50.0	114	82.1	19.9
La	4.01	4.64	7.37	12.8	5.46	9.07	16.16	5.54
Ce	9.99	11.8	18.1	30.5	12.6	20.9	35.0	13.9
Pr	1.39	1.78	2.53	4.28	1.66	2.71	4.28	1.97
Nd	6.38	8.47	11.9	19.2	6.99	11.8	18.0	9.12
Sm	1.80	2.56	3.29	5.41	1.70	2.69	4.33	2.51
Eu	0.496	0.914	0.974	1.51	0.430	0.816	1.12	0.748
Gd	1.88	3.16	3.63	5.86	1.84	3.05	4.77	2.79
Tb	0.314	0.553	0.622	0.965	0.313	0.540	0.819	0.479
Dy	1.95	3.75	3.96	6.17	2.05	3.54	5.32	3.04
Ho	0.433	0.825	0.854	1.29	0.448	0.758	1.15	0.653
Er	1.28	2.37	2.46	3.73	1.30	2.22	3.36	1.89
Tm	0.196	0.371	0.367	0.534	0.202	0.357	0.524	0.282
Yb	1.26	2.29	2.25	3.19	1.31	2.34	3.43	1.72
Lu	0.201	0.355	0.337	0.495	0.205	0.366	0.532	0.254
Hf	0.925	0.739	1.05	1.48	1.72	1.44	3.48	0.806
W	7.25	9.88	5.80	0.250	0.12	0.424	0.475	4.45
Re	0.00294	0.00689	0.00609	0.00844	0.00354	0.00572	0.00919	0.00468
Hg	0.0793	0.121	0.0697	0.00914	0.0101	0.0152	0.0208	0.0536
Pb	1.52	2.17	2.62	4.17	2.73	5.32	4.64	2.01
Th	1.84	0.42	1.67	2.74	3.30	2.70	5.80	1.28

Примечание. Места отбора проб: 1, 5 — левый приток руч. Ингилорьеган, в 1 км выше устья притока (2.5 км южнее оз. Ингилор); 2, 3 — в 1 км на северо-восток от оз. Ингилор; 4 — левый приток руч. Ингилорьеган, в 500 м выше от устья притока (5 км южнее оз. Ингилор); 6 — руч. Харчеруз, в 1.5 км выше от устья; 7 — руч. Графитовый, в 2 км выше устья; 8 — руч. Ингилорьеган, в 500 м выше от устья.

Note. Sampling points: 1, 5 — left tributary of Ingiloryegan stream, 1 km above the mouth of the tributary (2.5 km to the south of Ingilork lake), 2, 3 — 1 km to the north-east from the lake Ingilork, 4 — left tributary of Ingiloryegan stream, 500 m above the mouth of the tributary (5 km south of Lake Ingilork), 6 — Harcheruz stream, 1.5 km higher from the mouth, 7 — Graphitovy stream, 2 km above the mouth, 8 — Ingiloryegan stream, 500 m above the mouth.

породами метапелитов, метаалевропелитов и граувакковых метапесчаников являлись преимущественно изверженные магматиты среднего состава и богатые кварцем осадочные образования, а для кварцитов — изверженные породы кислого состава, а также кварцсодержащие отложения.

Как видно из табл. 3, содержания элементов Sc, Y, Th и Cr в верхней континентальной коре архея и палео-

протерозоя сильно отличаются [15]. Повышенные количества Sc, Y, Th и пониженные Cr в метатерригенных образованиях няровейской серии относительно содержания этих элементов в архейской континентальной коре указывают на раннепротерозойский возраст размываемого субстрата.

Изучение распределения содержаний редкоземельных элементов в различных типах метаосадочных пород

Рис. 4. Спектры распределения содержаний элементов в метабазальтах няровейской серии, нормированные на хондрит (а) и примитивную мантию (б) (по [19]). Сплошные линии — метабазальты восточной зоны, пунктирные линии — метабазальты западной зоны

Fig. 4. Normalized (according to [19]) on chondrites (a) and primitive mantle (b), the distribution spectra of the contents of elements in the metabasalts of nyaroveyskaya series. Solid lines are metabasalts of the eastern zone, dashed lines are metabasalts of the western zone

Рис. 5. Положение точек составов метасадочных пород на диаграммах La/Th – Hf и Th/Co – La/Sc (по [7]). Точки составов: 1 — метапелитов, 2 — металеуропелитов, 3 — граувакковых метапесчаников, 4 — кварцитов

Fig. 5. Position of points of compositions of meta-sedimentary rocks in La/Th – Hf and Th/Co – La/Sc diagrams (according to [7]). Points of compositions: 1 — metapelites, 2 — metaleuropelites, 3 — graywacke metasandstones, 4 — quartzites

Таблица 2. Содержания химических элементов в метатерригенных породах няровейской серии, ppm
Table 2. Content of chemical elements in metaterrigenous rocks of nyaroveyskaya series, ppm

Элементы Elements	Метапелиты \ Metapelites		Метаалевропелиты Metaaleurolites		Граувакковые метапесчаники Graywacke metasandstones			
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Н-5-15	Н-4-63	Н-4-47	Н-4-27	Н-4-49	Н-4-46	Н-4-28	Н-5-6
Li	102.6	16.9	27.3	87.2	23.0	26.6	25.3	74.3
Be	1.15	0.764	2.06	1.752	1.088	1.68	1.31	2.98
Sc	16.1	28.6	20.6	17.6	20.7	16.8	12.5	15.3
Ti	5110	3875	838	5719	1806	1346	5163	3368
V	152	387	203	260	264	320	197	148
Cr	90.9	39.0	82.7	99.0	70.4	82.3	92.2	71.6
Mn	801	1938	1528	476	1508	1054	692	735
Co	16.9	21.6	21.6	6.641	18.4	13.6	9.27	11.9
Ni	38.9	16.6	50.1	15.1	30.4	30.6	14.8	23.7
Cu	10.5	18.8	5.00	21.2	13.6	9.62	11.9	26.4
Zn	65.9	69.0	59.0	92.0	59.4	49.7	47.4	38.2
Ga	17.1	15.4	19.1	19.2	15.8	14.4	13.0	19.6
Ge	13.3	15.2	12.6	16.1	14.5	12.9	13.6	12.1
Br	0.0636	0.117	0.118	0.0661	0.128	0.132	0.0927	0.0873
Se	0.654	0.539	0.633	1.417	0.634	1.66	0.633	0.599
Rb	28.7	22.9	122	54.8	51.3	73.5	45.4	115
Sr	121	315	113	221	238	139	85.1	118
Y	31.4	20.9	40.0	40.9	35.5	35.7	26.1	38.1
Zr	64.2	146	133	375	139	169	44.6	52.1
Nb	45.2	4.09	2.41	20.4	3.37	5.47	32.66	33.5
Mo	16.4	0.55	0.50	3.43	1.18	4.37	1.16	11.4
Cd	0.132	0.248	0.145	0.494	0.204	0.203	0.0929	0.118
Cs	0.588	0.64	6.51	2.720	2.56	4.01	2.02	1.21
Ba	125	92.3	418	305	200	308	197	536
La	38.1	16.0	48.8	26.2	38.5	37.5	27.7	32.7
Ce	75.3	34.7	99.5	55.4	79.1	75.7	57.8	65.9
Pr	8.66	4.42	11.37	6.52	9.21	8.92	6.82	7.71
Nd	34.1	18.3	42.7	27.4	35.4	33.1	27.3	28.2
Sm	7.37	4.40	8.86	6.20	7.71	7.32	5.42	5.40
Eu	1.34	1.10	1.91	1.37	1.71	1.58	1.14	1.48
Gd	6.31	4.29	7.61	6.45	6.84	6.60	4.81	5.74
Tb	0.985	0.637	1.19	1.09	1.04	1.08	0.814	1.00
Dy	6.28	3.94	7.15	6.78	6.23	6.42	5.11	6.37
Ho	1.29	0.794	1.43	1.47	1.25	1.32	1.14	1.49
Er	3.57	2.19	3.77	4.07	3.34	3.62	3.27	4.27
Tm	0.517	0.320	0.531	0.631	0.502	0.535	0.487	0.638
Yb	3.14	2.00	3.11	3.94	2.97	3.25	3.27	4.08
Lu	0.458	0.295	0.472	0.588	0.435	0.498	0.498	0.661
Hf	1.42	3.15	3.18	12.29	3.35	4.36	1.45	1.25
W	96.62	0.208	0.73	0.827	0.713	0.92	0.72	185.87
Hg	0.7525	0.0084	0.0114	0.0142	0.0128	0.0496	0.0324	1.41
Pb	7.00	3.68	11.1	7.21	11.6	10.5	4.38	13.9
Th	18.4	5.59	16.26	16.7	12.2	16.0	9.76	9.54

Примечание. Места отбора проб: 1 — руч. Ингилорьеган, в 500 м выше от устья; 2 — левый приток руч. Ингилорьеган, в 500 м выше от устья (5 км южнее оз. Ингилор); 3, 5, 6 — руч. Графитовый, в 2 км выше устья; 4, 7 — руч. Нярошор, в 4 км выше устья; 8 — устье руч. Харчерузь.

Note. Sampling points: 1 — Ingyloryegan stream, 500 m above the mouth; 2 — left tributary of Ingiloryegan, 500 m above the mouth (5 km south of Ingilor lake); 3, 5, 6 — Graphitovy stream, 2 km above the mouth; 4, 7 — Nyaroshor stream, 4 km above the mouth; 8 — mouth of Harcheruz stream.

няровейской серии, нормированных относительно содержаний их в хондрите, показало сходство спектра содержаний элементов в метапелитах западной части няровейской серии со спектром PAAS [9], что указывает на кислый и средний состав размываемого материала (рис. 7). Метапелит восточной части няровейской серии имеет пониженные содержания редкоземельных элементов и небольшой европиевый минимум. Такие графики характерны для магматитов основного состава, которые,

скорее всего, и послужили источником материала для данной терригенной породы.

Метаалевропелиты и граувакковые метапесчаники также имеют близкие к PAAS содержания редкоземельных элементов (рис. 7). В метаалевропелитах наблюдаются повышенные содержания тяжелых элементов.

Различный геохимический состав имеют кварциты, это позволило выделить среди них апокремневые образования и породы, сформировавшиеся по кварцевым

Рис. 6. Положение точек составов метаосадочных пород на диаграмме F1 – F2 (по [19]). $F1 = 30.638TiO_2/Al_2O_3 - 12.541Fe_2O_{3общ}/Al_2O_3 + 7.329MgO/Al_2O_3 + 12.031Na_2O/Al_2O_3 + 35.402K_2O/Al_2O_3 - 6.382$. $F2 = 56.5TiO_2/Al_2O_3 - 10.879Fe_2O_{3общ}/Al_2O_3 + 30.875MgO/Al_2O_3 - 5.4041Na_2O/Al_2O_3 + 11.112K_2O/Al_2O_3 - 6.382$. Условные обозначения см. на рис. 5

Fig. 6. Position of points of metasedimentary rocks in F1-F2 diagram. (By: [19]). $F1 = 30.638TiO_2/Al_2O_3 - 12.541Fe_2O_{3gen}/Al_2O_3 + 7.329MgO/Al_2O_3 + 12.031Na_2O/Al_2O_3 + 35.402K_2O/Al_2O_3 - 6.382$. $F2 = 56.5TiO_2/Al_2O_3 - 10.879Fe_2O_{3общ}/Al_2O_3 + 30.875MgO/Al_2O_3 - 5.4041Na_2O/Al_2O_3 + 11.112K_2O/Al_2O_3 - 6.382$. The legend in Fig. 5

песчаникам. Как было сказано выше, среди преимущественно кварцевых пород няровейской серии есть разновидности с видимым углеродистым веществом и безуглеродистые. Протолитом для углеродистых кварцитов няровейской серии служили кремниевые и кремнево-терригенные породы [12]. Метаморфизованные кремниевые образования имеют по сравнению с терригенно-кремневыми повышенные содержания кремнезема и низкие значения редких элементов (табл. 4). Спектр содержаний редкоземельных элементов метаморфизованной кремневой породы няровейской серии (рис. 8) имеет крутой наклон с европиевой аномалией и совпадает с приведенным для сравнения спектром распределения элементов кремневой породы Сихотэ-Алинской складчатой структуры [3]. Содержания легких и тяжелых элементов в ней заметно ниже, чем в PAAS. Измененные кремнисто-терригенные породы имеют более пологий спектр распределения элементов вследствие повышенного содержания тяжелых составляющих, обусловленных приносом терригенного материала основного состава.

Безуглеродистые разновидности кварцитов характеризуются высокими количествами Mn, Co, Ni, Sr и Pb (табл. 4) по сравнению с метаморфизованными кремневыми и терригенно-кремневыми образованиями. Они имеют высокие, превышающие PAAS, содержания легких и тяжелых редкоземельных элементов и, скорее всего, сформировались по кварцевым песчаникам (рис. 8). Вероятным источником сноса для них являлся многократно переработанный гранитный материал. Надо отметить, что кремниевые разновидности кварцитов встречаются и в западной, и в восточной зонах распространения няровейской серии, а терригенные кварциты нами были обнаружены лишь в западной области.

Для выявления геодинамических обстановок формирования терригенных пород использована диаграмма $K_2O/Na_2O - SiO_2$ [7]. Точки составов порообразующих оксидов метаосадочных пород няровейской серии [11] расположились в различных областях. Точки составов метапелитов занимают область островодужных океанических обстановок (рис. 9), а точки составов метаалевропелитов и граувакковых и кварцевых метапесчаников попали в поле активной континентальной окраины. Кварциты по терригенно-кремневым образованиям обнаруживают схожесть в основном с породами пассивной континентальной окраины. По содержаниям Sr, Co и Ga [14] тонкозернистые метаморфические образования и метапесчаники няровейской серии схожи с терригенными образованиями надсубдукционных обстановок, а кремнево-терригенные образования — с породами пассивной континентальной окраины. Сходство составов метатерригенных образований няровейской серии с составом надсубдукционных граувакк, вероятно, обусловлено одинаковым составом материнских пород — в источниках сноса преобладали магматиты и осадки, сформированные в обстановках активной континентальной окраины и островной дуги. На дискриминантной диаграмме $La/Ce - Al_2O_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ [17], предназначенной для определения области формирования кремневых пород, точки составов метаморфизованных кремневых и терригенно-кремневых образований няровейской серии располагаются вблизи поля осадков континентальных окраин (рис. 10).

Выводы

Кроме характерных для западной и восточной зон распространения няровейской серии метабазальтов, метатифов, метапелитов, метаалевропелитов, метакремневых и метатерригенно-кремневых образований, в западной зоне встречаются также метаморфизованные кварцевые песчаники, а метаосадочные толщ здесь составляют значительную часть объема серии по сравнению с высокожелезистыми метабазальтами. В восточной зоне метабазальты — высокомагниевого, но в обеих областях они схожи с океаническими образованиями E-MORB. Низкие содержания Nb, Zr и Hf в метабазальтах няровейской серии, а также геохимические особенности метатерригенных пород указывают на предположительно надсубдукционную природу этих образований. Формирование терригенных метаморфитов происходило за счет разрушения преимущественно богатых кремнием осадочных образований при участии кислых, средних и основных магматических пород зрелой континентальной коры раннепротерозойского возраста. Анализ содержаний и соотношений малых, редких и редкоземельных элементов позволяет предположить, что породы няровейской серии представляли собой образования задуговых бассейнов. Отложения, распространенные в западной части выходов няровейской серии, сформировались в результате континентального рифтогенеза в окраинно-океанической области, близкой к континентальному склону. Породы восточной зоны образовались позже и представляли собой кору океанического типа задугового бассейна.

Автор выражает благодарность за консультацию профессору д. г.-м. н. А. М. Пыстину.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00146 мол_а, а также при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН № 15-18-5-17.

Таблица 3. Содержания редких элементов и значений их отношений в континентальной коре различного возраста [15]
и в породах няровейской серии, ppm
Table 3. Content of rare elements and their ratios in the continental crust of various ages [15]
and in the rocks of nyaroveyskaya series, ppm

Возраст верхней континентальной коры, млрд лет Age of upper continental crust, Ga	Sc	Y	Th	Cr	Cr/Th	Cr/Sc
>3.5	13.1	18	7.5	286	38	22
3.5–2.5	12.5	20	7.9	161	20	13
2.5–1.8	14.5	32	10.4	59	5.7	4.1
1.8–1.6	14.1	32	10.4	55	5.3	3.9
Породы няровейской серии Nyaroveyskaya series						
Метапелиты metapelites	8.6–16	21–31.4	5.6–18.4	39–90	5–6.9	1.36–5
Метаалевропелиты metaaleurolites	17.6–21	40	16	82.7–99	5–6	4.1–6
Метаграувакки metagraywacke	12.5–21	26–38	9.5–16	70–92	5–9.5	4.7–7.6
Апотерригенные кварциты apoterrigenous quartzites	12.8–20	44–46	14.7–16.6	89.6–91	5.6–6.1	4.5–7.4

Рис. 7. Содержания редкоземельных элементов в метатерригенных образованиях няровейской серии, нормализованные относительно содержания их в хондрите (по [20]). Черные линии — породы западной зоны, серые — породы восточной зоны

Fig. 7. Content of rare earth elements in metaterrigenous formations of nyaroveyskaya series, normalized with respect to their content in chondrites (according to: [20]). Black lines — rocks of the western zone, gray lines — the eastern zone

Таблица 4. Содержания петрохимических компонентов (мас. %), редкоземельных и редких элементов (ppm) в кварцитах няровейской серии
 Table 4. The content of petrochemical components (wt.%), rare-earth and rare elements (ppm) in quartzites of nyaroveyskaya series

Элементы Elements	Углеродсодержащие кварциты Carbon-containing quartzites						Безуглеродистые кварциты Non-carbonic quartzites	
	Апокремниевые Aposilica	Апотерригенно-кремниевые Apoterrigenous-silica					Апотерригенные Apoterrigenous	
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Н-4-31	Н-7-22	Н-4-55	Н-4-53	Н-4-60	Н-4-26	Н-4-48	Н-4-54
SiO ₂	95.65	77.23	83.31	80.14	86.64	85.87	76.77	93.78
TiO ₂	0.21	0.46	0.22	0.26	0.21	0.25	0.68	0.27
Al ₂ O ₃	1.71	8.48	3.96	5.21	4.46	5.78	7.98	2.02
Fe ₂ O ₃	0.19	2.07	1.26	1.84	1.41	1.67	2.92	0.70
FeO	0.28	0.83	0.44	0.58	0.79	0.39	1.67	0.59
MnO	0.01	0.04	0.01	0.03	0.07	0.01	0.08	0.01
MgO	0.25	1.43	0.37	0.73	2.45	1.35	3.17	0.40
CaO	0.12	1.00	1.23	2.58	0.44	0.46	2.28	0.62
Na ₂ O	0.08	1.68	0.13	0.16	0.66	0.21	2.29	0.18
K ₂ O	0.06	1.85	1.26	1.38	0.88	5.02	0.22	0.42
P ₂ O ₅	0.02	1.13	4.20	5.45	0.11	0.36	0.12	0.02
Li	5.75	26	29.6	18.0	9.55	14.8	24.8	28.5
Be	0.25	1.45	1.88	1.24	0.37	1.03	0.44	1.47
Sc	1.14	10.8	8.96	7.30	5.11	5.35	12.8	19.9
V	83.0	184	493	394	120	128	202	277
Cr	42.4	78.8	93.7	69.9	34.8	36.9	89.6	91.0
Mn	15.0	430	126	221	648	87.9	1058	1441
Co	0.45	2.77	0.70	2.12	2.49	1.47	12.1	18.4
Ni	3.74	10.6	11.3	25.9	8.73	12.0	24.6	38.0
Cu	6.05	30.0	10.2	17.7	24.2	14.9	17.1	12.7
Zn	10.7	43.9	30.7	36.2	31	34.2	50.2	61.1
Ga	1.99	12.1	8.34	7.86	4.97	6.41	13.0	17.5
Ge	4.15	7.17	11.6	8.49	7.07	3.81	15.6	15.6
Br	0.05	0.06	0.15	0.15	0.11	0.06	0.15	0.148
Se	0.09	1.96	3.71	2.18	0.48	1.42	0.73	1.02
Rb	15.9	48.2	47.5	66.2	16.5	47.2	9.26	71.6
Sr	17.2	58.5	64.4	91.4	26.2	45.6	286	217
Y	7.20	26.2	31.6	30.0	17.3	16.6	45.6	43.9
Zr	116	109	235	161	92.9	42.3	140	163
Nb	2.92	16.6	10.6	3.22	5.71	2.23	3.62	4.16
Cs	0.72	1.16	2.97	3.95	0.40	3.19	0.54	3.81
Ba	72.9	257	304	237	130	241	90.5	285
La	18.3	9.81	25.1	12.9	17.9	23.3	50.8	49.1
Ce	35.2	21.9	48.6	27.8	38.2	46.4	103	100
Pr	4.03	3.00	6.19	3.53	4.79	5.67	12.1	11.64
Nd	14.9	12.6	25	14.1	18.7	22.2	48.7	44.8
Sm	2.91	3.26	5.38	3.26	3.60	4.33	9.86	9.45
Eu	0.48	0.86	1.11	0.79	0.71	0.83	2.13	2.05
Gd	2.21	3.61	5.22	3.74	3.46	3.82	9.36	8.51
Tb	0.29	0.61	0.89	0.66	0.55	0.62	1.41	1.32
Dy	1.69	4.07	5.87	4.41	3.23	3.83	8.38	7.89
Ho	0.33	0.87	1.30	0.94	0.63	0.77	1.64	1.58
Er	0.88	2.50	3.69	2.62	1.66	1.97	4.46	4.25
Tm	0.13	0.38	0.57	0.39	0.24	0.28	0.65	0.62
Yb	0.77	2.43	3.66	2.54	1.59	1.74	3.8	3.67
Lu	0.11	0.38	0.56	0.41	0.24	0.26	0.57	0.55
Hf	3.04	3.05	6.55	4.23	2.59	1.21	3.72	4.09
Pb	1.89	7.42	8.88	3.81	3.86	9.71	19.9	14.9
Th	6.30	7.99	19.65	11.2	7.98	8.66	14.7	16.6

Примечание. Места отбора проб: 1, 6 — руч. Нярошор, в 4 км выше устья; 2 — северный приток оз. Ингилор; 3, 4, 7, 8 — руч. Графитовый, в 2 км выше устья; 5 — левый приток руч. Ингилорьеган, в 500 м выше от устья притока (5 км южнее оз. Ингилор).

Note. Sampling points: 1, 6 — Nyaroshor stream, 4 km above the mouth; 2 — northern tributary of Lake Ingilor; 3, 4, 7, 8 — Graphitovy stream, 2 km above the mouth; 5 — left tributary of Ingiloregan stream, 500 m above the mouth of the tributary (5 km south of Lake Ingilor).

Рис. 8. Содержания редкоземельных элементов в кварцитах няровейской серии, нормализованные относительно содержания их в хондрите (по [20]). Черные линии — породы западной зоны, серые — породы восточной зоны

Fig. 8. Content of rare earth elements in quartzites of nyaroveyskaya series, normalized with respect to their content in chondrites (according to [20]). Black lines — rocks of the western zone, gray lines — the eastern zone

Рис. 9. Расположение точек составов метатерригенных пород няровейской серии на идентификационной диаграмме $K_2O/Na_2O - SiO_2$ (по [7]). Условные обозначения см. на рис. 5

Fig. 9. Points of compositions of metaterrigenous rocks of nyaroveyskaya series on the identification diagram $K_2O/Na_2O - SiO_2$ (by [7]). Legend in Fig. 5

Рис. 10. Точки составов метакремневых пород няровейской серии на диаграмме $La/Ce - Al_2O_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_{3общ})$ (по [17]). Условные обозначения см. на рис. 5

Fig. 10. Points of compositions of metasilica rocks of nyaroveyskaya series on $La/Ce - Al_2O_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_{3общ})$ diagram (according to [17]). Legend in Fig. 5

Литература

1. Великославинский С. Д., Крылов Д. П. Геодинамическая типизация базальтов по геохимическим данным // Геотектоника. 2014. № 6. С. 77–91.
2. Душин В. А., Сердюкова О. П., Малюгин А. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Издание второе. Серия Полярно-Уральская. Листы Q-42-I, II. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 340 с.
3. Кемкин И. В., Кемкина Р. А. Геохимические особенности кремней таухинского террейна Сихотэ-Алиня и фациальные обстановки их образования // ДАН. 2014. Т. 455. № 6. С. 687–692.
4. Коротеев В. А., Семенов И. В. Влияние конвекционно-спрединговых и мантийно-плюмовых процессов на формирование химического состава базальтов и plutonic rocks

род рифта Палеоуральского океана // Литосфера. 2008. № 5. С. 54–83.

5. Ленных В. И. Метаморфические комплексы западного склона Урала // Доордовикская история Урала. 6. Метаморфизм. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1980. С. 3–38.

6. Литосфера Тимано-Североуральского региона: геологическое строение, вещество, геодинамика, минерализация / А. М. Пыстин, Л. В. Махлаев, А. И. Антошкина и др. Сыктывкар: Геопринт, 2008. 234 с.

7. Маслов А. В. Литогеохимия терригенных пород верхнего докембрия Волго-Уральской области. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. 248 с.

8. Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа, 2010. 280 с.

9. Тейлор С. Р., Мак-Леннан С. М. Континентальная кора, ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 376 с.
10. Уляшева Н. С. Метабазиты харбейского комплекса / Отв. ред. А. М. Пыстин. Сыктывкар, 2012. 98 с.
11. Уляшева Н. С., Гракова О. В. Первичный состав пород няровейской серии (Полярный Урал) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 2. С. 24–35.
12. Уляшева Н. С., Гракова О. В. Типизация углеродсодержащих сланцев няровейской серии (Полярный Урал) // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий. Уфа, 2016. С. 53–55.
13. Формирование земной коры Урала / С. Н. Иванов, В. Н. Пучков, К. С. Иванов и др. М.: Наука, 1986. 248 с.
14. Bhatia M. R., Crook A. W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins // Contrib. Mineral. Petrol. 1986. V. 921. P. 181–193.
15. Condie K. C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // Chem. Geol., 1993, v. 104, P. 1–37.
16. Jensen, L. S. A new cation plot for classifying subalkaline volcanic rocks: Ontario Geol. Survey, Misc. Paper 66, 1976. 22 p.
17. Murray R. W. // Sediment. Geol. 1994. V. 90. P. 213–232.
18. Pearce, J. A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries // Thorpe R. S. Andesites. Wiley, Chichester, 1982. P. 525–548.
19. Roser B. D., Korsch R. J. Provenance signatures of sandstone_mudstone suites determined using discriminant function analysis of major_element data // Chem. Geol. 1988. V. 67. P. 119–139.
20. Sun S. S., McDonough W. F. 1989 Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D., Norry, M. J. (Eds.), Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society of London Special Publication, 42, 1989. P. 313–345.
5. Lennyh V. I. *Metamorficheskie komplekсы zapadnogo sklona Urala. Doordovikskaya istoriya Urala*, 6. *Metamorfizm* (Metamorphic complexes of western slope of the Urals. Preordovician history of the Urals, 6. Metamorphism). Sverdlovsk: USC USSR AS, 1980, pp. 3–38.
6. *Litosfera Timano-Severouralskogo regiona: geologicheskoe stroenie, veschestvo, geodinamika, minerageniya* (Lithosphere of Timan-Northern Ural region: geological structure, substance, geodynamics, minerageny). A. M. Pystin, L. V. Mahlaev, A. I. Antoshkina et al.: Syktyvkar: Geoprint, 2008, 234 pp.
7. Maslov A. V. *Litogeohimiya terrigennykh porod verhnego dokembriya Volgo-Uralskoi oblasti* (Lithogeochemistry of terrigenous rocks of Upper Precambrian Volga-Ural region). Ekaterinburg: UB RAS, 2012, 248 pp.
8. Puchkov V. N. *Geologiya Urala i Priuralya (aktualnye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* (Geology of Urals and Suburals (actual questions of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny). Ufa, 2010, 280 pp.
9. Teilor S. R., MakLennan S. M. *Kontinentalnaya kora, ee sostav i evolyutsiya* (Continental crust, composition and evolution). Moscow: Mir, 1988, 376 pp.
10. Ulyasheva N. S. *Metabazity harbeiskogo kompleksa* (Metabasites of Kharey complex). Ed. A. M. Pystin. Syktyvkar, 2012, 98 pp.
11. Ulyasheva N. S., Grakova O. V. *Pervichnyi sostav porod nyaroveiskoi serii (Polyarnyi Ural)* (Primary composition of nyaroveyskaya series (Polar Urals). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2016, No. 2, pp. 24–35.
12. Ulyasheva N. S., Grakova O. V. *Tipizatsiya uglerodso-dershaschih slantsev nyaroveiskoi serii (Polyarnyi Ural)* (Typification of coaliferous shales of nyaroveyskaya series (Polar Urals)). Geologiya, geokologiya i resursnyi potentsial Urala i sopredelnykh territorii (Geology, geoecology and resource potential of Urals and adjacent territories), Ufa, 2016, pp. 53–55.
13. *Formirovanie zemnoi kory Urala* (Formation of Ural earth crust). S. N. Ivanov, V. N. Puchkov, K. S. Ivanov et al. Moscow: Nauka, 1986, 248 pp.
14. Bhatia M. R., Crook A. W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. Contrib. Mineral. Petrol. 1986. V. 921, pp. 181–193.
15. Condie K. C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. Chem. Geol., 1993, V. 104, pp. 1–37.
16. Jensen, L. S. A new cation plot for classifying subalkaline volcanic rocks: Ontario Geol. Survey, Misc. Paper 66, 1976, 22 p.
17. Murray R. W. Sediment. Geol. 1994. V. 90, pp. 213–232.
18. Pearce, J. A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. Thorpe R. S. Andesites. Wiley, Chichester, 1982, pp. 525–548.
19. Roser B. D., Korsch R. J. Provenance signatures of sandstone_mudstone suites determined using discriminant function analysis of major_element data. Chem. Geol. 1988, V. 67, pp. 119–139.
20. Sun S. S., McDonough W. F., 1989 Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D., Norry, M. J. (Eds.), Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society of London Special Publication, 42, 1989, pp. 313–345.

References

1. Velikoslavinskii S. D., Krylov D. P. *Geodinamicheskaya tipizatsiya bazaltov po geohimicheskim dannym (Geodynamic typisation of basalts by geochemical data)*. Geotektonika, 2014, No. 6, pp. 77–91.

2. Dushin V. A., Serdyukova O. P., Malyugin A. A. et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii masshtaba 1:200000*. Izdanie vtoroe. Seriya Polyarno-Uralskaya. Listy Q-42-I, II. Obyasnitel'naya zapiska (State geological map of the Russian Federation of scale 1:200000. Second edition. Series Polar-Urals. Sheet Q-42I, II. Explanatory note). St. Petersburg: VSEGEI, 2007, 340 pp.

3. Kemkin I. V., Kemkina R. A. *Geohimicheskie osobennosti kremnei tauhinskogo terreina Sihote-Alinya i fatsial'nye obstanovki ih obrazovaniyayu* (Geochemical features of silica of taukhinsky terrain of Sikhote-alin and facies environments of their formation). RAS, 2014, E. 455, No. 6, pp. 687–692.

4. Koroteev V. A., Semenov I. V. *Vliyanie konveksionno-spreidingovykh i mantiino-plyumovykh protsessov na formirovanie himicheskogo sostava bazaltov i plutonicheskikh porod rifta Paleouralskogo okeana* (Influence of convection-spreading and mantle-plyum processes at formation of chemical composition of basalts and plutonic rocks of rift of Paleoural ocean). Litosfera, 2008, No. 5, pp. 54–83.

13. *Formirovanie zemnoi kory Urala* (Formation of Ural earth crust). S. N. Ivanov, V. N. Puchkov, K. S. Ivanov et al. Moscow: Nauka, 1986, 248 pp.

14. Bhatia M. R., Crook A. W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. Contrib. Mineral. Petrol. 1986. V. 921, pp. 181–193.

15. Condie K. C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. Chem. Geol., 1993, V. 104, pp. 1–37.

16. Jensen, L. S. A new cation plot for classifying subalkaline volcanic rocks: Ontario Geol. Survey, Misc. Paper 66, 1976, 22 p.

17. Murray R. W. Sediment. Geol. 1994. V. 90, pp. 213–232.

18. Pearce, J. A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. Thorpe R. S. Andesites. Wiley, Chichester, 1982, pp. 525–548.

19. Roser B. D., Korsch R. J. Provenance signatures of sandstone_mudstone suites determined using discriminant function analysis of major_element data. Chem. Geol. 1988, V. 67, pp. 119–139.

20. Sun S. S., McDonough W. F., 1989 Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D., Norry, M. J. (Eds.), Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society of London Special Publication, 42, 1989, pp. 313–345.