Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 552.163;552.24 (234.851)

DOI: 10.19110/2221-1381-2018-5-22-32

НЕМУРЮГАНСКАЯ СВИТА: ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Н. С. УляшеваИнститут геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
nsulasheva@geo.komisc.ru

Немюрюганская свита верхнего рифея Центральной тектонической зоны Полярного Урала привлекает внимание исследователей в связи с повышенными содержаниями в сланцах Au и Ag. В результате интерпретации петрографических и геохимических особенностей пород проведена их типизация, реконструкция первичного состава метаморфитов, а также выявлена предполагаемая обстановка формирования протолитов.

Установлено, что немюрюганская свита представлена филлитовидными сланцами, кварцитами, карбонатсодержащими эпидот-кварц-альбит-хлоритовыми породами и углеродистыми кварц-карбонатными породами. Филлитовидные сланцы разделяются на бескарбонатные и карбонатсодержащие разновидности. Существенная доля при формировании протолитов филлитовидных сланцев принадлежала частицам глинистой и алевроитовой фракций. Протолитом для эпидот-кварц-альбит-хлоритовых сланцев служили туфы среднего-основного состава. Кварцит и филлитовидные сланцы по геохимическому составу схожи соответственно с углеродсодержащими кремниевыми и терригенно-кремниевыми образованиями нижележащей няровейской серии, а также с надсубдукционными гранитоидами и гнейсами докембрийских зеленокаменных поясов. Последние могли быть поставщиком терригенного материала. По их геохимическим данным можно предположить, что протолиты изученных метаморфитов немюрюганской свиты сформировались в глубоководной части задугового моря.

Ключевые слова: немюрюганская свита, первичный состав, сланцы, геохимия.

THE NEMURYUGAN SUITE: PETROGRAPHIC AND GEOCHEMICAL FEATURES

N. S. Ulyasheva

Institute of Geology Komi SC UB of the RAS, Syktyvkar

The object of our study is Nemuryugan suite in Upper Riphean Central Tectonic zone of the Polar Urals. These rocks are characterized by scarce and high gold content. The formation conditions of ore mineralization are still poorly known. We studied primary composition and formation conditions of Nemuryugan suite. The rocks are phyllite, shale, quartzite, carbonate-epidote-quartz-albite-chlorite rocks, carbonaceous quartz-carbonate rocks and marble. Phyllitic shales are divided into non-carbonate and carbonate varieties. They consist of clay and a fraction of aleurites. Prototypes for epidote-quartz-albite-chlorite shales are tufts of intermediate and basic composition. Phyllitic quartzite and shales are geochemically similar to, respectively, silicon and silicon terrigenous formations of underlying Nyarovey series, as well as to subduction granitoids and gneisses of Precambrian greenstone belt. Supra-subduction granitoids are parent species. The protoliths of Nemuryugan suite formed in the deep water part of the back-arc sea.

Keywords: *Nemuryugan suite, primary composition, shales, geochemistry.*

Немюрюганская свита верхнего рифея представляет собой изредка прерывающуюся полосу длиной около 80 км от верховьев р. Лонготъеган на юге до р. Байдарата-Яха на севере в западной части Харбейского антиклинория Центральной тектонической зоны Полярного Урала (рис. 1). Она согласно залегает на породах няровейской серии, возраст которой, по последним данным [13], также является верхнерифейским, несогласно перекрывается толщами орангской свиты ордовика и состоит из переслаивающихся сланцев, мраморов, кварцитов и метаэффузивов основного, кислого и среднего состава. Мощность свиты составляет 800—1500 м [4]. Металлогения свиты, характеризующаяся проявлениями скарнового типа с надкларковыми содержаниями Cu, Pb-Zn, W, Mo, а также повышенным количеством золота в сульфидно-кварцевых ассоциациях [5], выводит ее в ранг перспективных объектов полезных ископаемых, в том числе и благородных металлов. В то же время изученность условий формирования пород, вмещающих рудную минерализацию, остается на низком уровне.

Нами исследована немюрюганская свита по р. Немуръеган, проведена реконструкция первичного состава и палеотектонических условий формирования метаморфитов, а также установлены предполагаемые источники сноса для терригенной составляющей.

Геологическая позиция

Впервые немюрюганская свита выделена А. В. Цымбалюком со стратотипом по р. Немуръеган. Наиболее полные разрезы картируются по р. Немуръеган, руч. Озерному, Крестовому, Мраморному и Бадьяеган. Нижняя граница свиты проводится по подошве первого горизонта алевролитов; верхняя граница — по основанию базальных конгломератов орангской свиты ордовика и туфоконгломератов сядатинской свиты венда [4].

Свита характеризуется пестрым и фациально изменчивым литологическим составом. Широко распространены филлитовидные, часто углеродистые серицит-кварцевые, серицит-биотит-кварцевые, хло-

Рис. 1. Схематическая геологическая карта среднего течения р. Немурьеган (по В. А. Душину [4]). Условные обозначения: 1 — орангская свита (O_{1-2}), 2 — сядатинская свита (Vsd_1), 3 — немурюганская свита (RF_3nm), 4 — минисейшорская свита (RF_2mn), 5 — верхнехарбейская свита (RF_2vh), 6 — габбро харбей-собского комплекса (RF_3-V_1), 7 — диориты харбей-собского комплекса (RF_3-V_1), 8 — граниты сядатояхинского комплекса ($V-\epsilon_1$), 9 — разрывные нарушения: а — главные, б — второстепенные, 10 — места отбора проб

Fig. 1. Schematic geological map of the middle reaches of Nemuryugan river (by V. A. Dushin [3]). Legend: 1 — orangskaya suite (O_{1-2}), 2 — sadatinskaya suite (Vsd_1), 3 — nemuryuganskaya suite (RF_3nm), 4 — miniseyshorskaya suite (RF_2mn), 5 — verneharbeyskaya suite (RF_2vh), 6 — gabbro of harbey-sobsky complex (RF_3-V_1), 7 — diorites of the harbey-sobsky complex (RF_3-V_1), 8 — granites of the sadatoyakhinsky complex ($V-\epsilon_1$), 9 — dislocations: a — main, b — minor, 10 — sampling

рит-серицит-кварцевые сланцы, карбонатные породы, кварциты, аркозовые кварцито-песчаники, метаморфизованные основные эффузивы и их туфы. В пределах водораздела рек Лонгот-Юган и Гена-Хадата разрез является терригенно-карбонатным, далее на север разрез становится преимущественно терригенным. На контакте осадочных пород с интрузиями наблюдаются изменения: сланцы гранитизированы и имеют густую вкрапленность пирита, а по мраморам образуются эпидот-гранатовые и эпидот-гранат-амфиболовые скарны с гематитом и молибденитом [15]. Уровень метаморфизма немурюганской свиты, как и нижележащей няровейской серии [3], достигал зеленосланцевой фации. Имеющиеся данные о геодинамической обстановке формирования пород свиты сводятся к работам В. А. Душина [5], где отмечается схожесть химических составов кислых метаэффузивов с составом образований островных дуг.

В 2001 г. Л. Я. Островским в карбонатной части разреза, в верховье р. Немурьеган, установлен марганценосный горизонт (Mn 19 %). Сланцы имеют повы-

шенные содержания Ag, Au, близкие к кларковым Ti, Zn, Be, U [4].

Верхнепротерозойский возраст свиты был принят после находки в известняках А. В. Хабаковым водоросли *Collenia maslovi* Vologd. Позднее этот возраст подтвердился обнаружением других типов водорослей IV комплекса рифея: *Osagia nimus* Z. Zhur., *Ambigolamellatus horridus* Z. Zhur., *Vesicularites concretus* Z. Zhur. Душиным В. А. и др. Rb-Sr-методом был получен возраст долерита, комагматического с вулканитами немурюганской свиты, равный 616 млн лет [5], что соответствует венду.

Объект и методы исследования

Объектом исследования являются породы, наблюдаемые и отобранные по р. Немурьеган. Минеральный состав, текстурные и структурные особенности пород изучались под микроскопом в шлифах. Для проведения химических анализов были использованы образцы, не подвергшиеся вторичным изменениям. Породообразующие оксиды определялись методом мокрой химии в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН в ЦКП «Геонаука». Определение концентраций редких и рассеянных элементов 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 А. Н. Заварицкого в Екатеринбурге (аналитик Ю. Л. Ронкин). Интерпретация петрогеохимических данных для восстановления первичного состава и палеотектонических условий формирования пород, а также установления состава питающей провинции для терригенной составляющей проводилась с помощью известных методик [2, 9, 16].

Петрографическая характеристика пород

Немурюганская свита была изучена в отдельных разрозненных обнажениях по левобережью р. Немурьеган. Простираение ее имеет северо-западное направление, согласное с ориентировкой структурных элементов нижележащих образований минисейшорской свиты няровейской серии. Свита представлена филлитовидными сланцами, карбонат-содержащими эпидот-кварц-альбит-хлоритовыми породами или зелеными сланцами, кварцитами, углеродсодержащими кварц-карбонатными породами и мраморами.

Филлитовидные сланцы встречаются в виде толщ мощностью от 1 до 10 м и более, макроскопически представляют собой светло-серые и серые сланцеватые с шелковистым блеском образования с полосчатой пloyчатой текстурой. По минеральному составу они разделяются на несколько групп: хлорит-кварц-серицитовые, хлорит-серицит-кварцевые, карбонат-содержащие хлорит-мусковит-кварцевые и карбонат-содержащие альбит-хлорит-мусковит-кварцевые разновидности.

Хлорит-кварц-серицитовые сланцы имеют полосчатую пloyчатую текстуру, гранолепидобластовую структуру (рис. 2, а) и состоят в основном из серицита (45–50 %), кварца (до 40–45 %), хлорита (до

Рис. 2. Фотографии шлифов пород немурюганской свиты: а — бескарбонатные хлорит-кварц-серицитовые филлитовидные сланцы, б — бескарбонатные хлорит-серицит-кварцевые филлитовидные сланцы, с — карбонатсодержащие хлорит-мусковит-кварцевые филлитовидные сланцы, d — кварциты, е — карбонатсодержащие мусковит-эпидот-кварц-альбит-хлоритовые породы, f — углеродсодержащие кварц-карбонатные породы, а, b, c, e, f — в проходящем свете, d — в скрещенных николях

Fig. 2. Images of thin sections of nemuryugan suite: a — non-carbonate chlorite-quartz-sericite phyllitic schists, b — noncarbonate chlorite-sericite-quartz phyllite schists, c — carbonate-containing chlorite-muscovite-quartz phyllite schists, d — quartzites, e — carbonate-bearing muscovite-epidote-quartz-albite-chlorite, f — carbon-containing quartz-carbonate rocks, a, b, c, e, f — in transmitted light, d — in crossed nicol prisms

5 %) и альбита (до 2—3 %). В качестве аксессуаров наблюдаются турмалин (до 3 %), апатит и циркон (< 1 %). Рудный минерал представлен ильменитом (до 3—4 %). Полосчатость породы обусловлена чередованием прослоев и линзообразных выделений шириной от 0.2 до 4 мм кварцевого и хлорит-кварцевого состава с полосами, сложенными в основном серицитом. Кварц представлен мелкими зернами с извилистыми ограничениями размером до 0.2 мм. Изредка встречаются обособления или прожилки крупнозернистого вторичного кварца. Хлорит образует чешуй-

ки зеленой окраски размером до 0.5 мм. Ильменит и турмалин в большей степени ассоциируют с хлоритом и серицитом. Ильменит образует удлиненные неправильной формы пластинки до 0.5 мм и ориентирован параллельно сланцеватости. Турмалин равномерно распределен по породе и образует призматические, хорошо ограниченные зерна зеленоватой и буроватой окраски размером до 0.4 мм.

Хлорит-серицит-кварцевые сланцы также имеют полосчатую или плейчатую текстуру, лепидогранобластную структуру (рис. 2, b). От предыдущих сланцев они

отличаются повышенным содержанием кварца и хлорита, а также появлением титанита (до 1 %).

Карбонатсодержащие хлорит-мусковит-кварцевые сланцы представлены полосчатыми, сплошными серыми образованиями с лепидогранобластовой структурой (рис. 2, с) и имеют следующий минеральный состав: кварц (40—60 %), мусковит (15—40 %), хлорит (3—30 %), кальцит (5—20 %), альбит (1—25 %), циркон (меньше 1 %), турмалин, апатит (1 %), рутил (1 %).

Эти породы, в отличие от вышеописанных сланцев, характеризуются присутствием карбоната, рутила и отсутствием гематита. Карбонат представлен в основном кальцитом и образует две генерации. В основной массе он приурочен к кварцевым прослоям, образует неправильные и ромбической формы зерна размером до 0.4 мм и нередко скопления зерен. Иногда крупные зерна кальцита и кварца (до 0.8 мм) поздней генерацией выполняют прожилки в породе. Рутил представлен в виде игольчатых, мелких призматических зерен, ассоциирующихся с мусковитом и кальцитом.

Карбонатсодержащие альбит-хлорит-мусковит-кварцевые сланцы имеют полосчатую мелкоочковую текстуру и лепидогранобластовую структуру. Состоят из кварца (30—35 %), мусковита (25—30 %), хлорита (20—25 %), кальцита (5 %), альбита (3—5 %), титанита (1—2 %), апатита, циркона, турмалина (до 1 %), рутила (1 %).

Наряду с мелкозернистым кварцем в породе наблюдаются более крупные удлиненные, изометричные и овальной формы зерна альбита размером до 1 мм. Он содержит включения мусковита, кварца и, возможно, является вторичным. Рудные и акцессорные минералы в основном приурочены к слюдяным прослоям.

Петрографическое изучение филлитовидных сланцев немурюганской свиты показало, что они разделяются на две группы — бескарбонатные образования, имеющие повышенные содержания серицита и турмалина, а также ильменита, и карбонатсодержащие метаморфиты, для которых в качестве акцессориев характерны рутил, титанит.

Кварциты образуют слои мощностью до 1 м и представлены светло-серыми массивными образованиями (рис. 2, d) с характерными макроскопически наблюдаемыми розовыми и зеленоватыми полосами, что придает породе яшмовидный облик. Порода сложена в основном кварцем (80—90 %). Сланцеватую текстуру кварциту придают параллельно ориентированные чешуйки хлорита (до 4 %) и мусковита (до 10 %). Акцессорные минералы представлены рутилом и турмалином (до 1 %). Редко встречаются зерна пирита кубической формы размером до 0.1 мм. Кварц имеет неправильные изометричные удлиненные зерна размером от 0.04 до 0.4 мм. Хлорит распределен в породе равномерно в виде чешуек размером до 0.3 мм. Мусковит нередко образует тонкие прослои мощностью около 0.03 мм. К этим прослоям приурочены мелкие игольчатые выделения рутила.

Карбонатсодержащие мусковит-эпидот-кварц-альбит-хлоритовые породы (зеленые сланцы) образуют тела мощностью до 2—3 м среди филлитовидных сланцев. Они имеют темно-зеленую окраску, слабо-сланцеватую текстуру и нематолепидогранобласто-

вую структуру (рис. 2, е). В породе содержатся хлорит (20—30 %), альбит (20—30 %), кварц (10—20 %), эпидот (до 5 %), мусковит (до 5 %), кальцит (до 5 %). Акцессорные минералы представлены апатитом (1—2 %), цирконом (меньше 1 %), рутилом (1—2 %) и титанитом (1—2 %).

Полосчатость породы выражается наличием тонких прослоев, обогащенных мелким титанитом и рутилом размерами до 0.05 мм. Кварц и альбит равномерно распределены по породе, образуя неправильной формы зерна до 0.4 мм. Альбит идентифицируется по наличию простых двойников и трещинок спайности. В породе имеются изометричные и линзовидные обособления — скопления мелкого кварца. Возможно, что это признаки позднего окварцевания. Хлорит и эпидот также равномерно распределены по породе. Эпидот образует изометричные образования размером до 0.8 мм с включениями титанита. Апатит представлен овальной формы зернами размером до 0.5 мм и замещается по краям хлоритом и кварцем.

Кварц-карбонатные углеродсодержащие породы были обнаружены в делювии. Породообразующими минералами этих пород являются кальцит (70—80 %), доломит (5—10 %), кварц (20—25 %), мусковит (до 1—2 %). Углеродистое вещество составляет около 5 %. Кальцит представлен зернами размером до 0.8 мм и ассоциирует с кварцем. Доломит меньше по размерам (до 0.4 мм), трещиноват, ассоциирует с углеродистым веществом. Кварц представлен двумя генерациями. Более крупный кварц (до 0.4 мм) образует овальной формы скопления и является, скорее всего, вторичным. Мелкие зерна кварца (до 0.1 мм) заполняют породу также в виде отдельных скоплений вытянутой, линзовидной и прожилковой форм. Углеродистое вещество представлено облаковидными, ватоподобными, иногда комковатыми выделениями, нередко обособленными в полосы (рис. 2, f).

Петрографические исследования пород немурюганской свиты показали, что она представлена метаморфитами. Наличие линзовидных макроскопически распознаваемых образований кварцевого состава, а также редко встречаемых кварц-карбонатных прожилков может указывать на вторичные карбонатизацию и окварцевание. Учитывая низкий уровень метаморфизма свиты, можно предположить, что полосчатость сланцев характеризует первичные условия образования.

Первичный состав и геохимические особенности пород

Так как масштабы вторичных изменений локальны, были использованы традиционные методы реконструкции первичного состава метаморфических пород по их химическому составу (табл. 1): дискриминантная функция С. Д. Великославинского и др. (2013), диаграмма А. Н. Неелова (1980) и петрохимические модули Я. Э. Юдовича (2000). Дискриминантная функция С. Д. Великославинского рассчитана на разделение силикатных осадочных и магматических пород ($DF(x) > 3$ — осадочные образования, $-0.8 < DF(x) < 3$ — магматические образования, $-0.8 < DF(x) < 3$ — область неопределенности), диаграмма А. Н. Неелова идентифицирует составы всех типов пород, а с помо-

Таблица 1. Химические составы пород немюрюганской свиты, мас. %
Table 1. Chemical compositions of the rocks of the nemuryugan suite, wt. %

Компоненты Components	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	НМ-20	НМ-29	НМ-18	НМ-23	НМ-17	НМ-19	НМ-21	НМ-24	НМ-22	НМ-26	НМ-25	НМ-27	НМ-28
SiO ₂	64.48	63.54	64.66	67.21	63.04	67.49	51.24	63.7	94.48	51.5	13.66	25.30	23.12
TiO ₂	0.81	0.86	0.88	0.75	0.6	0.62	0.41	0.87	0.08	1.21	0.08	0.07	0.04
Al ₂ O ₃	17.81	17.74	15.49	16.19	11.39	11.77	7.49	11.46	1.68	16.65	1.94	1.25	1
Fe ₂ O ₃	4.33	2.09	3.4	1.9	0.49	1.4	0.28	2.4	0.08	1.6	0.23	0.09	0.08
FeO	1.8	4.87	3.09	3.23	3.75	2.36	3.06	3.82	1.22	6.38	0.42	0.39	0.34
MnO	0.05	0.09	0.21	0.10	0.11	0.07	0.16	0.23	0.02	0.13	0.02	0.03	0.03
MgO	1.39	1.45	2.81	1.4	5.35	3.73	10.29	3.53	0.74	3.94	2.7	6.36	8.43
CaO	0.05	0.05	0.5	0.5	3.94	2.21	8.52	3.94	0.5	5.95	42.77	32.52	31.46
Na ₂ O	1.2	1.16	1.25	1.21	0.98	1.06	1.46	1.76	0.05	3.94	0.15	0.12	0.09
K ₂ O	3.77	3.22	3.45	4.22	2.18	3.72	0.69	1.51	0.33	0.67	0.42	0.27	0.09
P ₂ O ₅	0.09	0.08	0.12	0.069	0.17	0.18	0.26	0.15	0.014	0.16	0.43	0.22	0.15
ППП	3.62	3.40	3.46	3.06	7.31	5.16	15.32	5.93	0.63	6.3	37.06	32.93	34.98
Сумма / Total	99.73	99.30	99.41	99.87	99.69	100.01	99.49	99.73	99.44	99.110	99.88	99.6	99.74
CO ₂	0.1	0.1	0.1	0.1	4.15	2.69	12.65	2.8	0.1	3.55	34.79	31.01	32.78
DF (x)	1.85	2.06	1.71	1.39	2.1	1.64	2.8	1.62	2.5	0.26	-	-	-
ГМ	0.38	0.40	0.36	0.33	0.26	0.24	0.22	0.29	0.03	0.5	0.20	0.07	0.06
ТМ	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.08	0.05	0.07	0.04	0.06	0.04
ЖМ	0.33	0.38	0.40	0.31	0.36	0.31	0.44	0.52	0.75	0.45	0.33	0.38	0.43
ФМ	0.12	0.13	0.15	0.10	0.15	0.11	0.27	0.16	0.02	0.23	0.25	0.27	0.38
НKM	0.28	0.25	0.3	0.34	0.280.18	0.41	0.29	0.29	0.23	0.28	0.29	0.31	0.18
AM	0.28	0.28	0.24	0.24	0.18	0.17	0.15	0.18	0.02	0.32	0.14	0.05	0.04

Примечание: 1, 2 — хлорит-кварц-серичитовые филлитовидные сланцы; 3, 4 — хлорит-серичит-кварцевые филлитовидные сланцы, 5–7 — карбонатсодержащие хлорит-мусковит-кварцевые филлитовидные сланцы, 8 — карбонатсодержащие альбит-хлорит-мусковит-кварцевые сланцы, 9 — кварциты, 10 — карбонатсодержащие эпидот-кварц-альбит-хлоритовые породы, 11–13 — углеродсодержащие кварц-карбонатные породы.

Note: 1, 2 — chlorite-quartz-sericite phyllitic shales, 3, 4 — chlorite-sericite-quartz phyllitic shales, 5–7 — carbonate-containing chlorite-muscovite-quartz phyllitic schists, 8 — carbonate-containing albite-chlorite-muscovite-quartz schists, 9-quartzites, 10 — carbonate-containing epidote-quartz-albite-chlorite, 11–13 — carbon-bearing quartz-carbonate rocks.

щью петрохимических модулей (ГМ, АМ, НКМ, ФМ, ЖМ, ТМ) можно классифицировать осадочные породы и обнаружить в них примесь вулканогенного материала.

Вычисленные значения дискриминантной функции $DF(x)$ по составу всех типов филлитовидных сланцев и кварциту оказались больше 0.3, что указывает на осадочный генезис этих образований. Карбонатсодержащей эпидот-кварц-альбит-хлоритовой породе со значением функции 0.26 соответствует поле неопределенности.

Точки составов первых двух групп бескарбонатных филлитовидных сланцев на диаграмме А. Н. Неелова (рис. 3) занимают область полимиктовых и граувакковых алевропелитовых аргиллитов и алевролитов. По значению гидролизатного модуля они относятся к нормо- и гипосиалитам (ГМ 0.33–0.40). На существенную долю глинистого материала в рассматриваемых породах указывают повышенные значения алюмокремниевого модуля (АМ 0.24–0.28) и пониженные — нормированной щелочности (НКМ 0.25–0.3).

Составы карбонатсодержащих филлитовидных сланцев, согласно диаграмме А. Н. Неелова, соответствуют карбонатистым и железистым полимиктовым песчаникам. Содержание CO_2 в них колеблется от 2.69 до 12.65 %. В породах с максимальным содержанием CO_2 , CaO и MgO уменьшаются количества кремнезема, глинозема и щелочей. По значениям петрохимических модулей породы являются псевдомосилитами. Повышенное содержание MgO связано с присутствием в породе доломита и, возможно, высокомагнезиевого хлорита. Изученные в шлихах зерна цирконов, которые не подвергаются перекристаллизации при низких степенях метаморфизма, имеют размеры меньше 0.05 мм. Следовательно, несмотря на пониженные значения алюмокремниевого модуля (АМ 0.15–0.18), соответствующие песчаникам, основная доля осадочного материала при формировании протолитов этих сланцев принадлежала частицам алевролитовой размерности.

Кварцит с содержанием кремнезема 94.48 % на диаграмме А. Н. Неелова обнаруживает схожесть с псаммитолитами и ультрасилицитами. Порода имеет низкие значения ГМ — 0.03, АМ — 0.02 и ФМ — 0.02, повышенные ЖМ — 0.75 и относится к гиперсилиту. На аквагенную природу кварцита может указывать яшмовидный облик породы.

Согласно диаграмме А. Н. Неелова, карбонатсодержащая мусковит-эпидот-кварц-альбит-хлоритовая порода по составу соответствует области пересечения андезит-базальтоида и карбонатистого железистого аргиллита. Порода относится к псевдосуперсиалиту. На повышенное содержание в породе MgO влияет присутствие доломита, а также, скорее всего, вулканического материала основного состава. Учитывая сочетание высоких значений ФМ — 0.23 и ТМ — 0.07 и пониженного значения ЖМ — 0.45, можно сделать предположение, что протолитом рассматриваемого метаморфита служила вулканическая порода основного-среднего состава с примесью терригенного материала — туф.

Кварц-карбонатные углеродсодержащие породы, согласно классификации А. Н. Неелова и Я. Э. Юдо-

Рис. 3. Распределение точек составов пород немурюганской свиты на диаграмме А. Н. Неелова [9]: а — Al_2O_3/SiO_2 , ат. кол.; б — $Fe_2O_3 + FeO + MnO + MgO + CaO$, ат. кол.

Поля: 1 — магматических пород, 2 — осадочных образований. Условные обозначения: 1 — риолиты, 2 — риолит-дациты, 2а — трахириолит-дациты, 3а — трахидациты, 3 — дациты, 4 — андезит-дациты, 4а — трахиандезит-дациты, 5 — андезиты, 5а — трахиандезиты, 6 — андезит-базальтоиды, 6а — трахиандезит-базальты, 6с — толеитовые андезит-базальты, 7 — базальтоиды, 7а — трахибазальты, 7с — толеитовые базальты, 8 — базанит-базальтоиды, 8а — трахибазанит-базальты, 8б — щелочные базанит-базальты, 9а — оливиновые базанит-базальты, 9 — базанитоиды, 9б — трахибазаниты. Поля осадочных пород: I — мономиктовые псаммитолиты, силициты: Ia — слабокарбонатистые, Ib — карбонатистые, Ic — карбонатные, Id — песчаные карбонатолиты; II — олигомиктовые псаммитолиты, силициты: IIa — слабокарбонатистые, IIb — карбонатистые, IIc — карбонатные, IIId — песчаные карбонатолиты; III — кислые туффиты, субсилициты: IIIa — аркозы, IIIb — граувакковые песчанники, туффиты среднего состава, IIIc — карбонатные, IIId — песчаные карбонатолиты; IV — олигомиктовые алевролиты, кислые туффиты: IVa — полимиктовые алевролиты, IVb — граувакковые алевролиты, аргиллиты, туффиты основного состава, IVc — карбонатные алевролиты, IVd — алевролитовые карбонатолиты; V — Va — алевропелитовые аргиллиты: Vb — карбонатистые, Vc — карбонатные, Vd — мергели; VI — Va — пелитовые аргиллиты: VIb — карбонатистые, VIc — карбонатные, VId — мергели. Точки составов пород немурюганской свиты: 1 — бескарбонатные филлитовидные сланцы, 2 — карбонатсодержащие филлитовидные сланцы, 3 — кварцит, 4 — карбонатсодержащий эпидот-кварц-альбит-хлоритовый сланец, 5 — кварц-карбонатные породы.

Fig. 3. Distribution of points of rock compositions of nyaroveyskaya series on the diagram a (Al_2O_3/SiO_2 , atomic ratio) — b ($Fe_2O_3 + FeO + MnO + MgO + CaO$, atomic ratio) A. N. Neelova.

Fields of magmatic rocks (1): 1 — rhyolite, 2 — rhyolite-dacites, 2a — trachyrhyolite-dacites, 3a — trachydacites, 3 — dacitoides, 4 — andesite-dacitoides, 4a — trachyandesite-dacites, 5 — andesitoides, 5a — trachyandesites, 6 — andesite-basalts, 6a — trachyandesite-basalts, 6c — tholeiitic andesite-basalts, 7 — basalts, 7a — trachybasalts, 7c — tholeiitic basalts, 8 — basanite-basalts, 8a — trachybasanite-basalts, 8b — alkaline basanite-basalts, 9 — basanitoids, 9a — olivine basanites, 9b — trachybasanites. Fields of sedimentary rocks (2): I — monomictic psammittolites, silicites: Ia — low carbonaceous, Ib — carbonaceous, Ic — carbonate Id — arenaceous carbonates; II — oligomictic psammittolites, silicites: IIa — low carbonaceous, IIb — carbonaceous, IIc — carbonate, IIId — sandy carbonatolites; III — acid tuffites, subsilicites: IIIa — arkoses, IIIb — graywacke sandstones, tuffites with medium composition, IIIc — carbonate, IIId — sandy carbonatolites; IV — oligomictic siltstones, acid tuffites: IVa — polymictic aleurolites, IVb — graywacke aleurolites, argillites, tuffites with basic composition, IVc — calcareous aleurolites, IVd — aleurolite carbonatolites; V — Va — aleuropeliticargillites: Vb — carbonaceous, Vc — carbonate, Vd — marls; VI — VIa — pelitic argillites: VIb — carbonaceous, VIc — carbonate, VId — marls. The points of composition of the rocks of nemuryugan series: 1 — non-carbonate phyllite shales; 2 — carbonate-bearing phyllite shales; 3 — quartzite; 4 — carbonate-bearing epidote-quartz-albite-chlorite shale; 5 — quartz-carbonate rocks.

вича, совпадают с песчанистыми и ультрасилицитовыми карбонатолитами. Содержание кремнезема в этих породах варьирует от 13.66 до 23.12 %, MgO — от 2.7 до 8.43 %, CaO — от 31.46 до 42.77 %, CO₂ — от 31.01 до 34.79 %. Карбонатолиты имеют низкие значения ГМ — 0.06–0.2 и АМ — 0.04–0.14.

На модульной диаграмме ГМ — Na₂O + K₂O (рис. 4) точки составов бескарбонатных филлитовидных сланцев в отличие от метапелитов и метаалевропелитов ниже лежащей няровейской серии [12] образуют отрицательную корреляцию, так же как и точки метатифов няровейской серии. Возможно, они являются петрогенными метаосадочными образованиями. Точки составов карбонатсодержащих филлитовидных сланцев занимают область между углеродсодержащими кварц-карбонатными породами и бескарбонатными сланцами.

Рис. 4. Распределение точек составов пород немурюганской свиты на диаграмме ГМ ($\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}$) / SiO_2 — сумма щелочей. Точки составов пород см. на рис. 3. Поля пород няровейской серии [12]: I — метатифы основного состава, II — метаалевропелиты, III — метапелиты, IV — метаморфизованные граувакковые песчаники и алевролиты

Fig. 4. Distribution of the points of the composition of the rocks of nemuryugan suite on diagram HM ($\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}$) / SiO_2 — total of alkali. The points of the rock compositions are shown in Fig. 3. Fields of rocks of the nyarovey series [12]: I — metatuffs of basic composition, II — metaleuropelites, III — metapelites, IV — metamorphosed greywacke sandstones and siltstones

Важную информацию об условиях формирования породы и составах источников сноса терригенного материала несет геохимический состав пород: редкоземельные (REE) и редкие элементы.

Кварцит образует крутой спектр содержаний редкоземельных элементов с неярко выраженной европиевой аномалией (рис. 5, а), содержания La и Yb соответственно в 17 и 0.5 раз выше хондритовых. По сравнению с PAAS, терригенными и терригенно-кремнистыми образованиями ниже лежащей няровейской серии [11] кварцит имеет низкие содержания как REE, так и редких элементов Sc, Be, Ga, Cs, Co, Ni, Nb, Ta, Zr и т. д. (табл. 2). По геохимическому составу рассматриваемая порода наиболее схожа с приведенными для сравнения (рис. 5, а) кремнистой породой Сихотэ-Алиня [6] и углеродсодержащим кварцитом няровейской серии [11] — метафтанитом.

Филлитовидные сланцы имеют высокие содержания легких редкоземельных элементов и низкие — тяжелых (рис. 5, б). Спектр содержаний REE образуют крутую линию с европиевой аномалией, содержания La и Yb выше хондритовых соответственно в 61–133 и 1–5.6 раз. По сравнению с терригенными образованиями няровейской серии и PAAS они характеризуются дефицитом тяжелых редкоземельных и редких (Co, Ni, Sc, Ga) элементов и наиболее близки по геохимическому составу к углеродсодержащим метаморфизованным кремнистым и терригенно-кремнистым образованиям няровейской серии [11]. Это сходство дает возможность предполагать, что протолиты сланцев немурюганской серии сформировались в условиях слабого или непостоянного поступления терригенного материала (на что также может указывать полосчатость пород) и представляли собой кремнистые, кремнисто-глинистые и карбонатно-кремнисто-алевритовые породы. Но наиболее вероятно, что геохимический состав филлитовидных сланцев немурюганской свиты унаследован от материнских пород — образований преимущественно кислого, а возможно и среднего состава, которые характеризуются высоким количеством легких редкоземельных элементов и дефицитом тяжелых элементов, а также Nb, Sc, Co, Ga, Ni, Zr. Подобный состав имеют островодужные гранитоиды [14], докембрийские метариолиты и метадациты зеленокаменных поясов [7] и породы архейских тоналит-трондьемит-гранодиоритовых ассоциаций (ТТГ) [1]. Вариации в содержаниях тяжелых редкоземельных элементов могут быть связаны с периодичностью поступления терригенного материала основного состава.

Карбонатсодержащая мусковит-эпидот-кварц-альбит-хлоритовая порода — метатиф основного-среднего состава, имеет низкое содержание редкоземельных элементов (16 г/т) и образует пологий спектр распределения элементов относительно хондрита с небольшим европиевым минимумом (рис. 5, с). Количество La и Yb выше хондритовых соответственно в 10 и 2.5 раза. Такой спектр характерен для базальтов островных дуг, океанов и задуговых морей. Рассматриваемая порода, так же как и приведенный для сравнения метавулканит (табл. 2) верхних частей ниже лежащей минисейшорской свиты няровейской серии, имеет низкие содержания Nb, Ta и Zr, что является показателем надсубдукционных обстановок.

Углеродсодержащие кварц-карбонатные породы, как и метатиф, имеют низкие содержания редкоземельных элементов — 9–22 г/т и образуют пологий спектр распределения этих элементов относительно хондрита без европиевой аномалии, La и Yb выше хондритовых соответственно в 7–17 и 2 раза (рис. 5, с). По всей видимости, в питающей провинции для этих пород преобладали магматиты основного состава. Не исключено, судя по низким количествам элементов-примесей, что протолитом для кварц-карбонатных метаморфитов служили кремнисто-карбонатные отложения. В карбонатолитах наблюдается повышенное количество Sr — 634–752 г/т, что может быть свидетельством нерифового происхождения этих образований. Такие высокостроениевые карбонатные породы могут переслаиваться с турбидитами, кремнями и мергелями [17]. Согласно работе Е. Ф. Летниковой [7], высокие

Рис. 5. Содержания редкоземельных элементов в породах немурюганской свиты (а — кварцит, б — филлитовидные сланцы, с — метатUFF и углеродсодержащая кварц-карбонатная порода), нормированных по составу хондрита [18]. Для сравнения приведены спектры содержания элементов ПААС [10], кремнистой породы Сихотэ-Алиня [7], надсубдукционного гранита [14], гранитоида ТТГ Гуляйпольского блока [1], пород няровейской серии [12]

Fig. 5. The contents of rare-earth elements in the rocks of the nemuryugan suite (a — quartz rock, b — phyllite shales, c — quartz-carbonate rocks and metatuff) normalized by the composition of chondrites [18]. For comparison, the spectra of the contents of the elements PAAS [10], siliceous rocks Sikhote-Alin [6], suprasubduction granite [14], granite TTG Gulyaipolski block [1], rocks of the nyarovei series [12] are given

Таблица 2. Содержания редких и редкоземельных элементов в породах немурюганской свиты (1) и в метабазальте няровейской серии (2), г/т

Table 2. Contents of rare and rare-earth elements in the rocks of the nemuryugan suite (1) and in the metabasalt of the nyarovey series (2), ppm

Элементы Elements	1										2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	HM-20	HM-29	HM-18	HM-17	HM-19	HM-24	HM-22	HM-26	HM-25	HM-28	HM-14
Li	17,9	22,1	25,1	24,9	7,02	22	4,74	40,4	0,914	0,496	33,7
Be	0,635	0,134	0,689	0,225	0,218	0,403	0,032	0,127	0,072	0,093	0,115
Sc	3,1	0,762	4,71	1,46	1	4,41	0,169	4,41	0,845	0,446	24,8
Co	7,7	9,32	10,4	5,68	6,51	9,28	1,06	21,7	1,31	0,926	31,5
Ni	14,6	16,9	22,8	14,7	8,71	27,5	3,79	46,5	13	12,2	45,9
Cu	1	4,8	18	7,54	7,56	14,5	3,37	29,2	1,28	1,19	40,5
Ga	6,54	3,54	8,17	3,87	2,26	6,36	0,958	7,31	0,296	0,071	13,2
Sr	23,7	7,45	14,3	53,7	33,8	72,2	1,26	61,2	752	634	96,9
Y	3,32	2,54	11,2	4,33	5,87	8,71	0,858	3,6	5,19	2,83	8,8
Zr	9,66	8,88	8,83	6,17	11,7	6,19	10,9	8,91	10,8	16,1	3,58
Nb	0,377	0,0269	0,0977	0,0738	0,0891	0,128	0,274	0,0714	0,0974	0,181	0,49
Cs	1,23	0,341	1,76	0,479	0,72	0,736	0,0387	0,0683	0,0934	0,0159	0,04
La	41,6	14,7	25,1	32,1	30,4	15,4	4,19	2,48	4,09	1,77	3,85
Ce	83,7	28,7	52,7	65,7	61,3	33,6	8,07	5,56	8,77	3,38	9,16
Pr	10,1	3,61	6	7,01	7,16	4,46	1,05	0,776	1,09	0,429	1,36
Nd	37,2	14,9	22,9	25,4	26,7	18,4	4,31	3,27	4,38	1,88	6,3
Sm	6,41	2,75	4,26	4,56	4,81	3,69	0,789	0,794	0,864	0,423	1,69
Eu	1,12	0,437	0,848	0,688	0,767	0,8	0,148	0,206	0,256	0,142	0,49
Gd	3,71	1,8	3,63	2,44	3,49	2,72	0,552	0,828	0,819	0,419	1,8
Tb	0,433	0,219	0,522	0,322	0,476	0,402	0,0694	0,141	0,13	0,0651	0,297
Dy	2	1,18	3	1,81	2,37	2,37	0,315	0,873	0,825	0,409	1,82
Ho	0,28	0,169	0,574	0,311	0,43	0,468	0,0528	0,182	0,175	0,0837	0,375
Er	0,554	0,343	1,5	0,688	0,998	1,16	0,117	0,487	0,494	0,239	1,05
Tm	0,062	0,0372	0,18	0,0892	0,13	0,16	0,0146	0,0718	0,0669	0,0328	0,147
Yb	0,298	0,183	0,958	0,493	0,684	0,998	0,0776	0,436	0,405	0,203	0,881
Lu	0,0385	0,0211	0,119	0,066	0,0864	0,137	0,0099	0,0628	0,0626	0,0288	0,136
Th	17,9	11,7	14,2	9,11	11,7	6,64	1,7	1,15	1,31	0,748	0,377

Примечание: 1, 2 — хлорит-кварц-серицитовые филлитовидные сланцы, 3 — хлорит-серицит-кварцевые филлитовидные сланцы, 4, 5 — карбонатсодержащие хлорит-мусковит-кварцевые филлитовидные сланцы, 6 — карбонатсодержащие альбит-хлорит-мусковит-кварцевые сланцы, 7 — кварциты, 8 — карбонатсодержащие эпидот-кварц-альбит-хлоритовые породы, 9, 10 — углеродсодержащие кварц-карбонатные породы.

Note: 1, 2 — chlorite-quartz-sericite phyllitic schists, 3 — chlorite-sericite-quartz phyllite-schists, 4, 5 — carbonate-containing chlorite-muscovite-quartz phyllite schists, 6 — carbonate-containing albite-chlorite-muscovite-quartz schists, 7 — quartzites, 8 — carbonate-containing epidote-quartz-albite-chlorite, 9, 10 — carbon-bearing quartz-carbonate rocks.

содержания стронция характерны для карбонатолитов задуговых бассейнов.

Петрохимические особенности пород указывают на то, что существенная доля в формировании протолитов филлитовидных сланцев принадлежала глинам и карбонатистым полимиктовым алевролитам. По геохимическому составу кварцит и филлитовидные сланцы схожи с метаморфизованными углеродсодержащими силицитами няровейской серии, островодужными гранитоидами и гнейсами зеленокаменных поясов. Породы немурюганской свиты имеют геохимические особенности, характерные для надсубдукционной обстановки.

Заключение

Породы нижней части немурюганской свиты представлены переслаивающимися филлитовидными сланцами, кварцитами, карбонатсодержащими эпидот-кварц-альбит-хлоритовыми сланцами, угле-

родсодержащими кварц-карбонатными породами и мраморами. Филлитовидные сланцы по минеральному составу подразделяются на бескарбонатные: хлорит-кварц-серицитовые, хлорит-серицит-кварцевые и карбонатсодержащие: хлорит-мусковит-кварцевые, альбит-хлорит-мусковит-кварцевые разновидности. Породы вторично окварцованы и кальцитизированы.

Филлитовидные сланцы, кварциты и углеродсодержащие кварц-карбонатные породы являются первично-осадочными образованиями. Протолитами для карбонатсодержащих эпидот-кварц-альбит-хлоритовых сланцев служили осадочно-вулканогенные образования основного-среднего состава — туфы.

Углеродсодержащие кварц-карбонатные породы, скорее всего, имеют нерифовое происхождение из-за высокого содержания стронция.

Существенную долю в образовании протолитов филлитовидных сланцев играл глинистый и алевроитовый материал. Кварциты и филлитовидные слан-

цы могут иметь соответственно аквагенное и аквагенно-терригенное происхождение. Это предположение основывается только на геохимическом сходстве этих пород с метафтанитами няровейской серии и требует дополнительных доказательств. По всей видимости, редкоэлементный состав филлитовидных сланцев характеризует терригенную составляющую и унаследован от материнских пород. Учитывая геохимические особенности изученных пород немурюганской свиты, характерные для образований надсубдукционной обстановки, можно предположить, что протолиты переслаивающихся филлитовидных сланцев, кварцитов, карбонатсодержащих эпидот-кварц-альбит-хлоритовых и углеродсодержащих кварц-карбонатных пород могли образоваться в глубоководной части задугового моря.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00146 мол_а, а также при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН № 18-5-5-19.

Литература

1. Артеменко Г. В., Самборская И. А., Швайко И. А., Калинин В. И. Особенности гранитоидного магматизма в Гуляйпольской гранит-зеленокаменной структуре (Приазовский мегаблок УЩ) // Минералогический журнал (Украина). 2010. 32. № 4. С. 63—76.
2. Великославинский С. Д., Глебовицкий В. А., Крылов Д. П. Разделение силикатных осадочных и магматических пород по содержанию петрогенных элементов с помощью дискриминантного анализа // ДАН. 2013. Т. 453. № 3. С. 310—313.
3. Гракова О. В. Термодинамические условия метаморфизма верхнепротерозойских отложений Полярного Урала // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 6 (270). С. 13—19.
4. 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.
5. Душин В. А., Сердюкова О. П., Малюгин А. А., Никулина И. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Полярно-Уральская. Лист Q-42-VII, VIII (Обской). Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. 384 с.
6. 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.
7. Лаврик С. Н., Мишкин М. А. Геохимия и происхождение метавулканитов холодниканского зеленокаменного пояса (юг Алданского щита) // Геохимия. 2010. № 6. С. 632—645.
8. Летникова Е. Ф. Геохимическая специфика карбонатных отложений различных геодинамических обстановок северо-восточного сегмента палеоазиатского океана // Литосфера. 2005. № 1. С. 70—81.
9. Неелов А. Н. Петрохимическая классификация метаморфизованных осадочных и вулканических пород. Л.: Наука, 1980. 100 с.
10. Тейлор С. Р., МакЛеннан С. М. Континентальная кора, ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 376 с.

11. Уляшева Н. С. Геохимические особенности и геодинамическая обстановка формирования верхнепротерозойских отложений няровейской серии // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 5. С. 20—30.

12. Уляшева Н. С., Гракова О. В. Первичный состав пород няровейской серии (Полярный Урал) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 2. С. 24—35.

13. Уляшева Н. С., Пыстин А. М., Пыстина Ю. И., Гракова О. В., Хубанов В. Б. U—Pb LA-SF-ICP-MS-датирование цирконов из верхнепротерозойских отложений Полярного Урала // Геодинамика и ее складчатого обрамления: Материалы всерос. науч. конф. с междунар. участием. Сыктывкар, 2017. С. 223—224.

14. Ферштатер Г. Б. Геохимические тренды габбро и гранитов Урала, отражающие историю геологического развития подвижного пояса // Геохимия. 2015. № 12. С. 1094—1109.

15. Цимбалюк А. В. Доордовикские и ордовикские отложения северной части Полярного Урала // Геология и полезные ископаемые Приполярного и Полярного Урала: Труды ЗапСибНИГНИ, выпуск 52. Тюмень, 1972. 261 с.

16. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.

17. Юдович Я. Э. Майдль Т. В., Иванова Т. И. Геохимия стронция в карбонатных отложениях. Л.: Наука, 1980. 152 с.

18. 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.

References

1. Artemenko G. V., Samborskaya I. A., Shvaiko I. A., Kalinin V. I. *Osobennosti granitoidnogo magmatizma v gulyaipolskaya granit-zelenokamennoi strukture (Priazovskii megablok USch)* (Features of granitoid magmatism in granite-greenstone structure (Asov megablock)). *Mineralogicheskii zhurnal (Ukraina)*, 2010. 32, No. 4, pp. 63—76.
2. Velikoslavinskii S. D., Glebovitskii V. A., Krylov D. P. *Razdelenie silikatnykh osadochnykh i magmaticheskikh porod po sodержaniyu petrogennykh elementov s pomosh'yu diskriminantno-go analiza* (Division of silicate sedimentary and magmatic rocks by content of petrogenic elements with the help of discriminant analysis). *Doklady Earth Sciences*, 2013, V.453, No. 3, pp. 310—313.
3. Grakova O. V. *Termodinamicheskie usloviya metamorfizma verhneproterozoiskikh otlozhenii Polyarnogo Urala* (Thermodynamic conditions of metamorphism of Upper Proterozoic deposits of Polar Urals). *Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS*, 2017, No. 6 (270), pp. 13—19.
4. Dushin V. A., Serdyukova O. P., Malyugin A. A. et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii masshtaba 1:200000. Izdanie vtoroe. Seriya Polyarno-Ural'skaya. Listy Q-42-I, II. Ob'yasnitel'naya zapiska* (State geological map of the Russian Federation, scale 1:200000. Second edition. Series Polar Urals. Sheet Q-42-I-II. Explanatory note). St. Petersburg: VSEGEI, 2007, 340 pp.
5. Dushin V. A., Serdyukova O. P., Malyugin A. A., Nikulina I. A. et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1 : 200 000. Izdanie vtoroe. Seriya Polyarno-Ural'skaya. List Q-42-VII, VIII (Ob'skoi). Ob'yasnitel'naya zapiska*. (State geological map of the Russian Federation, scale

1:200000. Second edition. Series Polar Urals. Sheet Q-42-VII-VIII (Obskaya). Explanatory note). St. Petersburg: VSEGEI, 2014, 384 pp.

6. Kemkin I. V., Kemkina R. A. *Geohimicheskie osobennosti kremnei tauhinskogo terreina Sihote-Alinya i fatsial'nye obstanovki ih obrazovaniyayu* (Geochemical features of chalcidony of tauhinsky terrain of Sikhote-Alin and facial environments of their formation). *Doklady Earth Sciences*, 2014, 455, No. 6, pp. 687—692.

7. Lavrik S. N., Mishkin M. A. *Geohimiya i proishozhdenie metavulkanitov holodnikanskogo zelenokamennogo poyasa (yug Aldanskogo schita)* (Geochemistry and genesis of metavolcanites of kholodnikansky greenstone belt (South Aldan shield)). *Geohimiya*, 2010, No. 6, pp. 632—645.

8. Letnikova E. F. *Geohimicheskaya spetsifika karbonatnykh otlozhenii razlichnykh geodinamicheskikh obstanovok severo-vostochnogo segmenta paleoaziatskogo okeana* (Geochemical specifics of carbonate deposits of different geodynamic environments of north-eastern segment of paleoasian ocean). *Litosfera*, 2005, No. 1, pp. 70—81.

9. Neelov A. N. *Petrohimicheskaya klassifikatsiya metamorfizovannykh osadochnykh i vulkanicheskikh porod* (Petrochemical classification of metamorphized sedimentary and volcanic rocks). Nauka, 1980, 100 pp.

10. Teilor S. R., MakLennan S. M. *Kontinentalnaya kora, ee sostav i evolyutsiya* (Continental crust, its compositions and evolution). Moscow: Mir, 1988, 376 pp.

11. Ulyasheva N. S. *Geohimicheskie osobennosti i geodinamicheskaya obstanovka formirovaniya verhneproterozoiskikh otlozhenii nyaroveiskoi serii* (Geochemical features and geodynamic settings of formation of Upper Proterozoic nyarovey rocks). *Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS*, 2017, No. 5, pp. 20—30.

12. Ulyasheva N. S., Grakova O. V. *Pervichnyi sostav porod nyaroveiskoi serii (Polyarnyi Ural)* (Primary composition of narovey rocks (Polar Urals). *Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS*, 2016, No. 2, pp. 24—35.

13. Ulyasheva N. S., Pystin A. M., Pystina Yu. I., Grakova O. V., Hubanov V. B. *U-Pb LA-SF-ICP-MS datirovanie tsirkonov iz verhneproterozoiskikh otlozhenii Polyarnogo Urala* (U-Pb LA-SF-ICP-MS dating of zircons from Upper Proterozoic deposits of Polar Urals). *Proceedings of conference. Syktyvkar*, 2017, pp. 223—224.

14. Fershtater G. B. *Geohimicheskie trendy gabbro i granitov Urala, otrazhayuschie istoriyu geologicheskogo razvitiya podvizhnogo poyasa* (Geochemical trends of gabbro and granites of the Urals, reflecting history of geological development of mobile belt). *Geohimiya*, 2015, No. 12, pp. 1094—1109.

15. Tsimbalyuk A. V. *Doordovikskie i ordovikskie otlozheniya severnoi chasti Polyarnogo Urala* (Pre-Ordovician and Ordovician deposits of Northern Polar Urals). *Geologiya i poleznye iskopayemye Pripolyarnogo i Polyarnogo Urala* (Geology and minerals of Subpolar and Polar Urals). *Proceedings of West Siberian Institute of geology and geophysics*, 52, Tyumen, 1972, 261 pp.

16. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. *Osnovy litohimii* (Basics of lithochemistry). St Petersburg: Nauka, 2000, 479 pp.

17. Yudovich Ya. E., Maidl T. V., Ivanova T. I. *Geohimiya strontsiya v karbonatnykh otlozheniyah* (Geochemistry of strontium in carbonate rocks). Leningrad: Nauka, 1980, 152 pp.

18. Sun S. S., McDonough W. F., 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.