МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕРХНЕПРОТЕРОЗОЙСКИХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СЛАНЦЕВ НЯРОВЕЙСКОЙ СЕРИИ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

О. В. Гракова, Н. С. Уляшева

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

ovgrakova@geo.komisc.ru, nsulasheva@geo.komisc.ru

Проведено исследование верхнепротерозойских углеродсодержащих пород няровейской серии (Полярный Урал) с целью уточнения их металлогенической специализации и установления генезиса рудных образований. Установлено, что углеродистое вещество представлено графитом, возможная температура его образования — $(500 \pm 50)^\circ\text{C}$. Выявлены редкоземельная уран-ториевая, сульфидная, сульфатная и медная минерализации. Формирование рудных минералов связано с метаморфическими, постметаморфическими и поздними окислительными процессами.

Ключевые слова: минерализация, углеродсодержащие сланцы, няровейская серия.

METALLOGENY OF CARBONIFEROUS SHALES OF THE NYAROVEY SERIES (POLAR URALS)

O. V. Grakova, N. S. Ulyasheva

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

We have studied carbonaceous rocks of Nyarovey series (Polar Urals) to clarify their metallogenic specialization and establishment of the genesis of ore formations. Carbon material in shales presents graphite, the average values of the temperature of its formation, amounted to about 500°C . REE Uranium-Thorium, sulfide, sulfate and copper mineralization has been identified. Formation of ore minerals is associated with metamorphic, and late postmetamorphic oxidation processes.

Keywords: metallogeny, carboniferous shales, nyarovey series.

Породы, содержащие углерод, благодаря своей уникальной металлоносности на протяжении нескольких десятилетий привлекают к себе пристальное внимание. Углеродсодержащие сланцы характеризуются повышенными концентрациями многих металлов, редких и редкоземельных элементов, в связи с этим их изучение представляет большой практический интерес.

На территории Центрально-Уральской зоны Полярного Урала среди пород няровейской серии (RF₂) широко распространены углеродсодержащие сланцы. Нами они изучены вдоль руч. Няршор и Графитового, а также по безымянным притокам р. Ингилоръеган (рис. 1).

Углеродсодержащие сланцы залегают в виде пластов мощностью до 2 м среди метатерригенных пород, испытавших метаморфизм зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций, и имеют хлорит-мусковит-кварцевый, мусковит-кварцевый и эпидот-альбит-хлорит-кварц-серицитовый состав [4, 5]. Установлено содержание $C_{\text{орг}}$, которое составляет 0.2–4.11 %. По данным В. А. Душина и его соавторов [3], углеродсодержащие сланцы характеризуются надкларковыми значениями серебра, цинка, свинца, ванадия, фосфора, платиноидов и др. Целью данной работы является уточнение металлогенической специализации углеродсодержащих сланцев и установление генезиса рудных образований.

Методы исследования

Во время экспедиционных работ было проведено штучное (точечное) опробование углеродсодержащих сланцев по разрезам коренных выходов. Если мощность толщи углеродсодержащих сланцев была до 5 м, отбиралась одна проба массой 2 кг. Если мощность толщи была больше, то интервал отбора составлял 5 м, масса про-

бы 2 кг. Проба отбиралась для петрографического описания и геохимических анализов. Обнаруженная в шлифах рудная минерализация в дальнейшем изучалась в аншлифах. Углеродное вещество исследовалось с помощью рамановской спектроскопии комбинационного рассеяния света (КР) (аналитик С. И. Исаенко). Подготовка проб проведена путем кислотного разложения. Определение концентраций редких и рассеянных элементов выполнено на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой Agilent 7700 ICP-MS-методом. Аксессуары и рудные минералы изучались на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионной приставкой Instruments X-Max (аналитик С. С. Шевчук). Все аналитические работы проводились в ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН.

Результаты и обсуждение

Углеродистое вещество. По данным рамановской спектроскопии, графитовые частицы в исследуемых образцах характеризуются присутствием основной полосы G графита $1569\text{--}1586\text{ см}^{-1}$ (рис. 2). На половине высоты полосы G (FWHM) колеблется в пределах $21\text{--}43\text{ см}^{-1}$. Полоса D1 имеет значение $1324\text{--}1337\text{ см}^{-1}$. Размер кристаллитов La составляет $4\text{--}9\text{ нм}$, следовательно, углеродное вещество представлено нанокристаллическим графитом по классификации Ферран и Робертсона [9]. На основе величины $R2 = D1/(G + D1 + D2)$, используя геотермометр максимальных температурных условий графитизации, достигнутых при региональном метаморфизме, можно оценить температуру с точностью до $\pm 50^\circ\text{C}$ в диапазоне $330\text{--}650^\circ\text{C}$ [7]. С помощью величины $R2 = D1/(G + D1 + D2)$, которая характеризует отношение интегральных интенсивностей соответствующих рамановских

Рис. 1. Схематическая геологическая карта нижнего течения р. Немурьеган (Полярный Урал) (по [3]). Условные обозначения: 1–2 — марункеуский комплекс: 1 — марункеуская свита, 2 — ханмейхойская свита; 3–4 — няровейская свита: 3 — верхнехарбейская свита, 4 — минисейшорская свита; 5 — слюдяногорский комплекс габбро-гипербазитовый эклогитизированный плутонический; 6 — евюганский комплекс мигматит-плагитогранитовый плутонический; 7 — минисейский комплекс измененных гипербазитов плутонический; 8 — харбей-собский комплекс габбро-гранодиоритовый; 9 — сядатаяхинский комплекс гранитовый плутонический; 10 — сымкеуский комплекс дунит-гарцбургитовый плутонический; 11 — войкаро-кемпирсайский комплекс тектонитов; 12 — марунский комплекс щелочно-базитовый; 13 — разрывные нарушения: а — сдвиги, б — неустановленной кинематики, в — взбросонадвиги второстепенные, г — взбросонадвиги главные; 14 — места отбора проб с номерами проб

Fig. 1. Schematic geological map of the lower reaches of Nemuryegan River (Polar Urals) (according to [3]). Legend: 1-2 marunkeusky complex: 1 — marunkeuskaya suite, 2 — hanmeyhoyskaya suite; 3-4 — nyaroveyskaya suite: 3 — verhnexharbeyetskaya suite, 4 — miniseyshorskaya suite; 5 — slyudyangorsky complex gabbro-ultramafic, plutonic, eclogitized; 6 — evyugansky complex migmatite plagiogranite plutonic; 7 — miniseysky altered ultramafic plutonic complex; 8 — kharbey-sobsky complex gabbro-granodiorite; 9 — syadatoyahinsky granite plutonic complex; 10 — symkeusky complex harzburgite-dunite plutonic; 11 — voikaro-kempirsaysky complex of tectonites; 12 — marunsky complex alkaline basite; 13 — faults: а — shifts, б — unknown kinematics, в — reversed strike-thrusts minor, г — reversed strike-thrusts main; 14 — sampling locations with numbers of samples

Рис. 2. Типичный рамановский спектр графита в сланцах няровейской серии
Fig. 2. Typical Raman spectrum of graphite in shales of nyaroveyskaya series

полос (площадей пиков) в спектрах в области первого порядка (1100–1800 см⁻¹), также можно оценить и степень организации углеродного вещества [2]. В углеродистых сланцах няровейской серии рассчитанная величина R2 составляет 0.29–0.30, что показывает низкую степень упорядоченности углеродного вещества [7]. По рамановскому термометру рассчитана возможная температура образова-

ния углеродного вещества в углеродистых сланцах няровейской серии ($T^{\circ}\text{C} = -445 \times R2 + 641$ [7]), она составляет $(500 \pm 50)^{\circ}\text{C}$, что соответствует условиям метаморфизма верхней ступени зеленосланцевой фации.

Благородные металлы. Установлено, что в углеродсодержащих породах няровейской серии присутствуют Os (3–14 мг/т), Ir (8–157 мг/т), Pd (95–655 мг/т). В хлорит-

мусковит-кварцевых сланцах содержание Rh достигает 371 мг/т (н-4-53), а золота — 2601 мг/т (н-7-22) (табл. 1). Полученные значения были нормированы относительно их кларков в верхней мантии (рис. 3). Количество Os близко к кларковым, количество Ir, Pd и Rh превышают кларковые содержания в 3–400 раз, но не достигают промышленного значения. Содержание золота в углеродсодержащих сланцах няровейской серии может достигать промышленно значимой концентрации, что выводит их в ранг перспективных на золото пород. Причем золото-содержащие породы контактируют с гранитами, что подтверждает концепцию влияния магматитов кислого состава на накопления золота в черносланцевых формациях.

Микрозондовые исследования углеродсодержащих пород позволили выделить редкоземельную уран-ториевую, сульфидную, сульфатную и медную минерализации.

Хлорит-мусковит-кварцевые и мусковит-кварцевые сланцы характеризуются редкоземельной уран-ториевой, сульфидной и сульфатной минерализацией; эпидот-альбит-хлорит-кварц-серицитовые сланцы — сульфидной и медной минерализацией.

Редкоземельные уран-ториевые минералы представлены монацитом, ксенотимом и коффинитом.

Монацит наблюдается в виде образований неправильной изометричной формы и удлинённых зерен размером 5–100 мкм, расположенных согласно сланцеватости породы (рис. 4, а, б, е). Содержание в породе — до 1 %. Он часто ассоциирует с ксенотимом (рис. 4, г). Этот минерал представлен двумя разновидностями: U-Th-монацитами с низким содержанием редкоземельных эле-

Рис. 3. Содержания благородных металлов в углеродсодержащих сланцах няровейской серии, нормированных относительно их кларков в верхней мантии [6]

Fig. 3. Content of precious metals in carbonaceous shales of nyaroveyskaya series, normalized to their clarks in upper mantle [6]

ментов (табл. 2, № 1–3, 5, 6) и REE-монацитами с низким содержанием урана и тория (табл. 2, № 4, 7–9). U-Th-монацит тесно ассоциирует с углеродистым веществом (рис. 4, д, ж, з) и содержит высокие количества циркония (до 11.83 %). В породе нередко присутствуют ксенотим-ториево-монацитовые фазы (рис. 4, д). Химический состав и формулы монацита приведены в табл. 2. Когда монациты ассоциируют с кварцем, SiO_2 имеет повышенное содержание. В этих случаях содержание SiO_2 не учитывали и суммы компонентов были приведены к 100 %.

В качестве примесей этот минерал содержит Fe, Al, K, Si, Pb и S.

Ксенотим представлен изометричными зернами и образованиями неправильной формы размером 10–30 мкм, содержание до 1 %. В породе встречаются также две разновидности этого минерала. Одна из них имеет изометричную форму зерен с четко очерченными краями и без примесей (рис. 4, в). Другая разновидность ксенотима представлена выделениями неправильной формы с неясно очерченными краями, часто ассоциирующими с монацитами и содержащими в качестве примесей уран и торий (рис. 4, г, д). Химический состав и формулы ксенотима приведены в табл. 3.

Коффинит встречается реже по сравнению с монацитом и ксенотимом и представлен призматическими кристаллами с неровными гранями (рис. 4, и). Содержание коффинита в породе — ед. зн. Химический состав коффинита (мас. %): UO_3 — 75.87, SiO_2 — 20.11, PbO — 3.2, OsO_2 — 0.82.

Формирование U-Th-редкоземельных минералов няровейской серии представляется следующим образом. Известно, что уран и редкоземельные элементы накапливаются в углеродистых осадках в процессе их образования [6]. В дальнейшем при метаморфических и постметаморфических процессах происходит перераспределение вещества, привнос флюидами Th и формирование в породах монацита, ксенотима и коффинита. Тесная пространственная связь тория и урана с углеродистым веществом указывает на то, что, возможно, торий также накапливался в осадках вместе с ураном, либо же углеродистое вещество является важным агентом при транспортировке этих элементов.

Сульфидные минералы в углеродсодержащих сланцах няровейской серии представлены пиритом, пентландитом и ковеллином.

Пирит представлен угловатыми зернами треугольной и кубической формы размером до 100 мкм (рис. 5, а). Содержание в породе — до 1 %. Он встречается среди основной массы и в полостях породы, а также в породообразующих минералах. Нередко наблюдаются выделения

Таблица 1. Содержание благородных металлов в углеродсодержащих сланцах няровейской серии, г/т
Table 1. Content of noble metals in carbonaceous shales of nyaroveyskaya series, g/t

№ пробы Sample No.	н-4-31	н-4-27	н-4-26	н-4-53	н-4-55	н-4-60	н-7-22
Os	0.007	0.003	0.006	0.014	—	0.005	0.005
Ir	0.013	0.020	0.157	0.008	0.008	0.009	0.014
Pd	0.092	0.655	0.116	0.535	0.240	0.094	0.291
Au	—	—	—	—	—	—	2.601
Rh	—	—	—	0.371	—	—	—

Примечание. Места отбора проб: н-4-26, н-4-27, н-4-31 — руч. Няршор; н-4-53, н-4-55 — руч. Графитовый; н-7-22, н-4-60 — руч. Ингилорьеган.

Note. Sampling locations: н-4-26, н-4-27, н-4-31 — Nyarshor brook, н-4-53, н-4-55 — Graphitovy brook, н-7-22, н-4-60 — Ingiloregan brook.

Рис. 4. Взаимоотношения монацита (Mnz), уран-ториевого монацита (UThMnz), ксенотима (Xtm) и коффинита (Cof) в углеродсодержащих сланцах няровейской серии: а — монацит в виде удлиненного образования, б — монацит в виде образований неправильной формы в мусковите (Ms), в — слабоокатанное зерно ксенотима, г — срастание монацита и ксенотима в виде неправильной формы, д — взаимоотношения ксенотима, уран-ториевого монацита и углеродистого вещества (CM), е — горизонтально-вытянутое образование монацита неправильной формы, ж — включение уран-ториевого монацита в углеродистом веществе, з — изометричное образование уран-ториевого монацита в ассоциации с углеродистым веществом, и — призматический кристалл коффинита

Fig. 4. The relationship of monazite (Mnz), uranium-thorium monazite (UThMnz), xenotime (Xtm) and coffinite (Cof) in carbonaceous shales of nyaroveyskaya series: а — monazite in the form of an elongated formation, б — monazite in the form of irregular shape in muscovite (Ms), в — poorly rounded grains of xenotime, г — accretion of monazite and xenotime in the form of irregular shape, д — relationship of xenotime, uranium-thorium monazite and carbonaceous matter (CM), е — horizontally elongated irregular monazite, ж — inclusion of uranium -torium monazite with carbonaceous material, з — isometric formation of uranium-thorium monazite with carbonaceous matter, и — prismatic crystal of coffinite

Таблица 2. Химический состав и кристаллохимические коэффициенты монацитов и уран-ториевых монацитов из углеродсодержащих сланцев няровейской серии
Table 2. Chemical composition and crystal-chemical coefficients of monazites and uranium-thorium monazites from carbonaceous shales of nyaroveyskaya series

№ анализа Analysis No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Химические соединения Chemical compounds	SiO ₂	1.86	0.82	—	—	—	7	—	—	—
	P ₂ O ₅	28.36	29.99	31.23	14.32	30.27	26.62	19.19	27.24	24.61
	Y ₂ O ₃	—	—	4.18	—	—	—	—	4.15	7.25
	ThO ₂	4.29	1.11	2.6	52.45	1.37	1.3	38.58	25.62	9.04
	UO ₂	—	—	0.62	11.4	—	—	7.98	23.43	25.25
	La ₂ O ₃	15.13	15.15	18.32	—	20.85	17.73	0.36	—	—
	Ce ₂ O ₃	29.9	31.54	26.08	—	27.8	23.32	2	1.07	—
	Pr ₂ O ₃	2.96	3.13	1.8	—	3.31	2.27	0.6	—	—
	Nd ₂ O ₃	11.52	13.07	9.73	—	13.12	8.95	1.74	1.76	—
	Sm ₂ O ₃	2.07	2.93	—	—	0.97	—	—	0.97	—
	Gd ₂ O ₃	0.92	1.79	—	—	—	—	—	—	—
	CaO	0.49	0.29	1.6	—	0.96	0.81	0.96	0.98	1.11
	FeO	—	—	3.47	6.35	0.61	1.43	9.6	12.33	15.87
	ZrO ₂	—	—	—	14.07	—	—	15.97	—	15.92
	PbO	—	—	—	—	—	0.62	—	—	—
	Al ₂ O ₃	—	—	—	—	0.74	2.7	2.18	2.45	0.95
	SO ₃	—	—	—	1.41	—	1	—	—	—
	K ₂ O	—	—	0.37	—	—	0.36	—	—	—
	Na ₂ O	—	—	—	—	—	—	0.84	—	—
	Сумма	97.4	99.82	100	100	100	94.11	100	100	100

Примечание (Note): номера анализов (numbers of analyses): 1–3, 5, 6 — монацит (monazite); 4, 7–9 — уран-ториевый монацит (uranium-thorium monazite). Эмпирические формулы монацита (Empirical formulae of monazite):

1. $(\text{Th}_{0.03}\text{La}_{0.18}\text{Ce}_{0.36}\text{Pr}_{0.04}\text{Nd}_{0.14}\text{Sm}_{0.02}\text{Gd}_{0.01}\text{Ca}_{0.02}\text{O}_{0.81}(\text{Si}_{0.39}\text{P}_{0.79})_{1.18}\text{O}_4$; 2. $(\text{Th}_{0.01}\text{La}_{0.18}\text{Ce}_{0.36}\text{Pr}_{0.04}\text{Nd}_{0.15}\text{Sm}_{0.03}\text{Gd}_{0.02}\text{Ca}_{0.01}\text{O}_{0.8}(\text{Si}_{0.4}\text{P}_{0.8})_{1.2}\text{O}_4$; 3. $(\text{Y}_{0.07}\text{Th}_{0.02}\text{U}_{0.01}\text{La}_{0.2}\text{Ce}_{0.29}\text{Pr}_{0.02}\text{Nd}_{0.1}\text{Ca}_{0.05}\text{Fe}_{0.09}\text{K}_{0.01}\text{O}_{0.86}\text{P}_{1.2}\text{O}_4$; 4. $(\text{Th}_{0.5}\text{U}_{0.1}\text{Fe}_{0.22}\text{Zr}_{0.29}\text{S}_{0.04})_{1.15}\text{P}_{0.76}\text{O}_4$; 5. $(\text{Th}_{0.01}\text{La}_{0.24}\text{Ce}_{0.32}\text{Pr}_{0.04}\text{Nd}_{0.15}\text{Sm}_{0.01}\text{Ca}_{0.03}\text{Fe}_{0.02}\text{Al}_{0.03}\text{O}_{0.85}\text{P}_{1.16}\text{O}_4$; 6. $(\text{Th}_{0.01}\text{La}_{0.22}\text{Ce}_{0.29}\text{Pr}_{0.03}\text{Nd}_{0.11}\text{Ca}_{0.03}\text{Fe}_{0.04}\text{Pb}_{0.01}\text{Al}_{0.11}\text{S}_{0.03}\text{K}_{0.02}\text{O}_{0.9}(\text{Si}_{0.38}\text{P}_{0.76})_{1.14}\text{O}_4$; 7. $(\text{Th}_{0.3}\text{U}_{0.06}\text{La}_{0.01}\text{Ce}_{0.03}\text{Pr}_{0.01}\text{Nd}_{0.02}\text{Ca}_{0.04}\text{Fe}_{0.28}\text{Zr}_{0.27}\text{Al}_{0.09}\text{Na}_{0.03}\text{O}_{1.17}\text{P}_{0.87}\text{O}_4$; 8. $(\text{Y}_{0.07}\text{Th}_{0.18}\text{U}_{0.15}\text{Ce}_{0.01}\text{Nd}_{0.02}\text{Sm}_{0.01}\text{Ca}_{0.03}\text{Fe}_{0.32}\text{O}_{0.09}\text{P}_{1.08}\text{O}_4$; 9. $(\text{Y}_{0.12}\text{Th}_{0.06}\text{U}_{0.16}\text{Ca}_{0.04}\text{Fe}_{0.41}\text{Zr}_{0.24}\text{Al}_{0.03}\text{P}_{1.06}\text{O}_{0.96}\text{O}_4$

Рис. 5. Сульфидная, сульфатная и медная минерализация в углеродсодержащих сланцах няровейской серии: а–в — зерна пирита (Py); г — взаимоотношения пирита, пендаландита (Pn) в рутиле (Rt) и углеродистого вещества (CM); д — зерна ковеллина (Cv); е — барит (Ba); ж — пластинки самородной меди (Cu); з, и — комковатые зерна коркита (Cor)

Fig. 5. Sulphide, sulfate and copper mineralization in carbonaceous shales of nyaroveyskaya series: а–в — grains of pyrite (Py); г — relationship of pyrite, pendulandite (Pn) in rutile (Rt) and carbonaceous matter (CM); д — grains of covellite (Cv); е — barite (Ba); ж — plates of native copper (Cu); з, и — lumpy grains of corcrite (Cor)

Таблица 3. Химический состав и кристаллохимические коэффициенты ксенотимов из углеродсодержащих сланцев няровейской серии

Table 3. Chemical composition and crystal-chemical coefficients of xenotimes from carbonaceous shales of nyaroveyskaya series

№ анализа Analysis No.	1	2	3	4
SiO ₂	—	5.29	—	1.34
P ₂ O ₅	35.69	31.87	32.36	35.18
Y ₂ O ₃	45.31	45.2	43.61	48.02
ThO ₂	—	0.39	—	1.87
UO ₂	—	1.27	—	0.74
Ce ₂ O ₃	—	0.74	—	—
Gd ₂ O ₃	3.26	1.32	—	—
Tb ₂ O ₃	0.9	—	—	—
Dy ₂ O ₃	5.93	4.75	2.65	2.51
Ho ₂ O ₃	1.2	1.26	—	1.41
Er ₂ O ₃	4.07	3.32	3.82	4.68
Tm ₂ O ₃	0.95	—	—	1.12
Yb ₂ O ₃	3.85	2.39	5.03	4.82
CaO	—	—	0.89	—
FeO	—	0.78	—	—
Al ₂ O ₃	—	0.91	—	—
K ₂ O	—	0.44	—	—
TiO ₂	—	—	12.18	—
Сумма	101.16	99.93	100.54	101.69

Примечание (Note): Эмпирические формулы ксенотима (Empirical formulae of xenotime):

- $(Y_{0.78}Gd_{0.04}Tb_{0.01}Dy_{0.06}Ho_{0.01}Er_{0.04}Tm_{0.01}Yb_{0.04})_{0.99}P_{0.99}O_4$
- $(Y_{0.79}Th_{0.01}U_{0.01}Ce_{0.01}Gd_{0.01}Dy_{0.05}Ho_{0.01}Er_{0.03}Yb_{0.02}Fe_{0.02}Al_{0.04}K_{0.02})_{1.02}(Si_{0.17}P_{0.89})_{1.06}O_4$
- $(Y_{0.72}Dy_{0.03}Er_{0.04}Yb_{0.05}Ca_{0.03})_{0.87}(Ti_{0.29}P_{0.86})_{1.15}O_4$
- $(Y_{0.83}Th_{0.01}U_{0.01}Dy_{0.03}Ho_{0.02}Er_{0.05}Tm_{0.01}Yb_{0.05})_{1.01}(Si_{0.04}P_{0.97})_{1.01}O_4$

неправильной формы в окружении гидроксида железа (рис. 5, б и в). При этом образованный в процессе выщелачивания гидроксид железа заполняет сохранившуюся структуру пирита. Химический состав пирита характеризуется следующими вариациями (атом. %): S — 52.93–64.85, Fe — 30.2–35.15, Ti — 2.14. Встречаются пириты, ассоциирующие парагенетически с пендландитом (рис. 5, г). Пендландит образует в нем вроски. Химический состав пендландита (атом. %): Ni — 26.16, Fe — 24.79, S — 49.05. Ковеллин образует комковатые зерна до 3 мкм и развивается по трещинам в породе (рис. 5, д). Содержание в породе — ед. зн. Химический состав ковеллина: Cu (47.54–55.41 атом. %), S (34.59–44.59 атом. %).

В углеродсодержащих сланцах изредка можно встретить барит, который образует небольшие зерна размером до 10 мкм (рис. 5, е). Содержание барита в сланцах — ед. зн. Химический состав барита (мас. %): BaO — 56.58–64.13, SO₃ — 31.64–43.41, PbO — 4.23. В пустотах породы развиваются пластинки самородной меди (рис. 5, ж), а также комковатые зерна редкого минерала коркита (рис. 5, з, и). Эмпирическая формула коркита: PbO — 22.27–22.35, FeO — 28.11–28.54, P₂O₅ — 7.89–8.38, SO₃ — 14.21–15.39, Pb_{0.85–0.9}Fe_{3.32–3.53}PO₄S_{1.5–1.73}O₄(OH)₆.

Образование сульфатной минерализации в сланцах няровейской серии может быть связана с окислительными процессами в приповерхностных условиях. Известно, что окислению подвержены в первую очередь минералы, содержащие железо, серу, ванадий, марганец, никель, кобальт и другие легко соединяющиеся с кислородом элементы, факторами окисления являются кислород воздуха и воды. В присутствии влаги закиси металлов, входящие в состав горных пород и минералов, легко переходят в окиси, сульфиды — в сульфаты (в сланцах няровейской серии присутствует ассоциация пирит — барит) и т. д. С окислительными процессами также связано и образование комковатых зерен ковеллина, коркита, самородной меди. Ассоциация пендландит — пирит устойчива ниже

300° [1], следовательно, формирование сульфидных минералов в сланцах няровейской серии происходило, по всей видимости, при окислительных процессах.

Выводы

В результате проведенных исследований было изучено углеродистое вещество, определено содержание благородных металлов и уточнена рудная специализация углеродсодержащих сланцев няровейской серии.

Углеродистое вещество представлено графитом. Возможная температура его образования составляет (500 ± 50) °С. Установлено, что во всех породах присутствуют Os, Ir, Pd, содержание золота в углеродсодержащих сланцах няровейской серии достигает промышленно значимых концентраций. Выявлена редкоземельная уран-ториевая, сульфидная, сульфатная и медная минерализации. В сланцах обнаружен редкий минерал коркит. Формирование рудных минералов связано с метаморфическими и поздними окислительными процессами в приповерхностных условиях.

Авторы выражают благодарность профессору д. г.-м. н. А. М. Пыстину за ценные рекомендации. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00146 мол_а.

Литература

1. Годовиков А. А. Минералогия. М.: Недра, 1983. 647 с.
2. Данилова Ю. В., Исаенко С. И., Шумилова Т. Г. Оценка условий флюидогенной углеродизации // Доклады РАН. 2015. Т. 463. № 4. С. 446–450.
3. Душин В. А., Сердюкова О. П., Малугин А. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. 2-е изд. Серия Полярно-Уральская. Листы Q-42-I, II. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 340 с.
4. Уляшева Н. С. Геохимические особенности метабазитов няровейской серии Харбейского выступа (Полярный Урал) // Вопросы естествознания (Иркутский государственный университет путей сообщения). 2015. № 4. С. 132–134.
5. 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.
6. Юдович Я. Э., Кемпус М. П. Минеральные индикаторы литогенеза. Сыктывкар: Геопринт, 2008. 564 с.
7. Beyssac O., Goffe B., Chopin C. and Rouzaud J. D. Raman spectra of carbonaceous material in metasediments: a new geothermometer // J. Metamorph. Geol., 2002. V. 20. № 9. P. 859–871.
8. McDonough, Sun, 1995.
9. Ferrari A. C., Robertson J. Raman spectroscopy of amorphous, nanostructured, diamond-like carbon, and nanodiamond // Phil. Trans. Roy. Soc. London. A., 2004. V. 362. P. 2477–2512.

References

1. Godovikov A. A. *Mineralogiya* (Mineralogy). Moscow, Nedra, 1983, 647 pp.
2. Danilova Yu. V., Isaenko S. I., Shumilova T. G. *Otsenka uslovii flyuidogennoi uglerodizatsii* (Evaluation of conditions of fluidogenous carbonatization). Doklady RAN, 2015, V. 463, No. 4, pp. 446–450.
3. Dushin V. A., Serdyukova O. P., Malyugin A. A. et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii masshtaba 1:200000. Izdanie vtoroe. Seriya Polyarno-Uralskaya* (State geological map of Russian Federation, scale 1:200000, second edition. Polar Urals). Sheet Q-42-I, II. Explanatory note. St. Petersburg, VSEGEI, 2007, 340 pp.
4. Ulyasheva N. S. *Geohimicheskie osobennosti metabazitov nyaroveiskoi serii Harbeiskogo vystupa (Polyarnyi Ural)* (geochemical features of metabasites of nyaroveyskaya series of Kharbey off-set (Polar Urals). *Voprosy estestvoznaniya* (Questions of natural sciences), 2015, No.4, pp. 132–134.
5. Ulyasheva N. S., Grakova O. V. *Pervichnyi sostav porod nyaroveiskoi serii (Polyarnyi Ural)* (Primary composition of rocks of nyaroveyskaya series (Polar Urals). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2016, No. 2, pp. 24–35.
6. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. *Mineralnye indikatory litogeneza* (Mineral indicators of lithogenesis). Syktyvkar, Geoprint, 2008, 564 pp.
7. Beyssac O., Goffe B., Chopin C. and Rouzaud J. D. Raman spectra of carbonaceous material in metasediments: a new geothermometer. J. Metamorph. Geol., 2002, V. 20, No. 9, pp. 859–871.
8. McDonough, Sun, 1995
9. Ferrari A. C., Robertson J. Raman spectroscopy of amorphous, nanostructured, diamond-like carbon, and nanodiamond. Phil. Trans. Roy. Soc. London. A., 2004, V. 362, pp. 2477–2512.