Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 549.08:553.22 (234.851)

DOI: 10.19110/geov.2020.3.1

РУДНЫЕ МИНЕРАЛЫ В МЕТАСОМАТИТАХ ХАРБЕЙСКОГО МЕТАМОРФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Н. С. Уляшева, А. С. Шуйский

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
nsulasheva@geo.komisc.ru

Изучены рудные минералы в метасоматически измененных амфиболитах харбейского метаморфического комплекса по руч. Скалисту: дислоцированных клиноцоизит-хлорит-мусковит-альбит-амфиболовых сланцах, преимущественно клиноцоизитовых и окварцованных породах. Рудные минералы представлены сульфидами и редкими выделениями теллуридов, селенидов и самородных металлов. Выявлены несколько стадий последовательного формирования этих образований, связанных с гипогенными гидротермальными и гипергенными процессами. На раннем этапе гидротермально-метасоматических изменений пород в них сформировались высоко- и среднетемпературные рудные минералы — пирит, пентландит, Ni-пирротин и, возможно, халькопирит и молибденит, ассоциирующиеся с хлоритом-рипидолитом. Следующая стадия связана с гидротермальными процессами, в результате которых в измененных амфиболитах кристаллизовались высоко- и среднетемпературные образования золотосульфидно-кварцевой формации: пирит, халькопирит, молибденит, матильдит-галенит, галенит, сфалерит, борнит, пирротин, относительно низкопробное золото и Hg-электрум. В породах отмечаются средне- и низкотемпературные гидротермальные минералы третьей стадии, ассоциирующие с пикнохлорит-брунгсвитом и рипидолит-дафнитом: Ni- и Co- пирит, клаусталит-галенит, мелонит, меренскиит, меренскиит-мелонит, акантит и гессит. Гипергенные изменения пород привели к формированию в метасоматитах самородного серебра, ковеллина, акантита, гессита и т. д.

Ключевые слова: харбейский комплекс, рудные минералы, метасоматиты, золото.

ORE MINERALS IN METASOMATITES OF THE HARBEY METAMORPHIC COMPLEX (POLAR URALS)

N. S. Ulyasheva, A. S. Schuyskij

Institute of Geology FRC of Komi SC UB RAS, Syktyvkar

Ore minerals were studied in metasomatically altered amphibolites of the Harbey metamorphic complex along Skalisty stream: dislocated clinozoisite-chlorite-muscovite-albite-amphibole schists, mainly clinozoisite and quartz rocks. Ore minerals are represented by sulfides and rare deposits of tellurides, selenides and native metals. Several stages of the sequential formation of these formations associated with hypogenic hydrothermal and hypergenic processes were identified. At an early stage of hydrothermal-metasomatic changes of rocks, high- and medium- temperature ore minerals were formed in them-pyrite, pentlandite, Ni-pyrrhotite and possibly chalcopryite and molybdenum, associated with chlorite — ripidolite. The next stage is associated with hydrothermal processes, as a result of which high- and medium-temperature formations of the gold-sulfide-quartz formation were crystallized in the altered amphibolites: pyrite, chalcopryite, molybdenite, matyltite-galena, galena, sphalerite, bornite, pyrrhotite, relatively low-grade gold and Hg-electrum. The rocks contain medium- and low-temperature hypogenic minerals of the third stage, associated with pycnochlorite-brungsvigit and ripidolite-daphnite: Ni- and Co pyrite, clausalite-galena, melonite, merenskiite, merenskiite-melonite, hessite and acanthite. At the final stages, under the influence of low-temperature hypergenic processes, native silver, covellite, acanthite, hessite, etc. formed in metasomatites.

Keywords: Harbey complex, ore minerals, metasomatites, gold.

Харбейский метаморфический комплекс (рис. 1) расположен в восточной части западной тектонической зоны Полярного Урала в пределах одноименного блока и сложен различными гнейсами и амфиболитами раннепротерозойского возраста [1, 2, 8, 11]. В зонах разломов и надвигов, насыщенных разнообразным и разновозрастным (протерозойским, палеозойским и мезозойским) магматизмом, по этим породам развива-

ются метасоматиты — пропилиты, березиты, альбититы, к которым приурочены пункты золотосульфидной и золотомедной минерализаций редкоземельно-редкометаллической и золотосульфидно-кварцевой формаций. В результате работ по геологическому доизучению листов Q-42-VII, VIII на территории харбейского комплекса были околочены несколько прогнозируемых участков на золото [2, 3].

Для цитирования: Уляшева Н. С., Шуйский А. С. Рудные минералы в метасоматитах харбейского метаморфического комплекса (Полярный Урал) // Вестник геонаук. 2020. 3(303). С. 3—13. DOI: 10.19110/geov.2020.3.1.

For citation: Ulyasheva N. S., Schuyskij A. S. Ore minerals in metasomatites of the Harbey metamorphic complex (Polar Urals). Vestnik of Geosciences, 2020, 3(303), pp. 3—13. DOI: 10.19110/geov.2020.3.1.

Рис. 1. Схематическая карта харбейского метаморфического комплекса (по [2]): 1 — харосоимская свита (глины, песчаники, аргиллиты); 2 — орангская свита (филлитовидные сланцы, песчаники, известняки); 3 — немурьюганская свита (парасланцы, мраморы, кварциты, метаэффузивы); 4 — няровейская серия (сланцы и метабазальты верхнехарбейской и минисейшорской свит); 5–7 — харбейский метаморфический комплекс (5 — париквасышорская свита (кристаллические сланцы, амфиболиты); 6 — лаптаюганская свита (гнейсы, мраморы, амфиболиты); 7 — ханмейхойская свита (амфиболиты, гнейсы)); 8 — яляяхинский комплекс гипабиссальный (долериты, лампрофиры); 9 — собский комплекс plutonic (диориты, гранодиориты, тоналиты); 10 — юньягинский комплекс plutonic (габбро, габбро-диориты); 11 — харампейско-масловский комплекс plutonic (габбро-нориты); 12 — кэршорский комплекс plutonic (дуниты, серпентиниты, габбро); 13 — сымкеуский дунит-гарцбургитовый plutonic комплекс (лерзолиты, гарцбургиты, дуниты); 14 — сядаотяхинский комплекс гранитовый plutonic; 15 — хартманюшорский комплекс измененных ультрамафитов; 16 — васькеуский комплекс plutonic (метагаббро, метагаббро-долериты); 17 — евюганский комплекс plutonic (мigmatite-плагииграниты, гранитогнейсы); 18 — разрывные нарушения: а — разлом второстепенный; б — разлом главный, с — надвиг главный; 19 — места отбора образцов (а — клиноцоизит-хлорит-мусковит-альбит-амфиболовый сланец, б — мусковит-хлорит-клиноцоизитовая порода, в — окварцованный измененный амфиболит, г — хлорит-кварц-клиноцоизитовая порода)

Fig. 1. Schematic map of the Harbey metamorphic complex (according to [3]). Legend: 1 — Kharosoim formation (clay, sandstone, mudstones); 2 — Orang formation (phyllite schists, sandstones, limestones); 3 — non-Muryugan formation (paraslists, marbles, quartzites, meta-effusives); 4 — Nyarveyskaya series (shales and metabasalts of the Upperharbey and Minisheysor formation); 5–7 — the Harbey metamorphic complex (5 — the Parikvasshor formation (crystalline schists, amphibolites); 6 — the Laptayugan formation (gneisses, marbles, amphibolites); 7 — the Hanmeikhoy formation (amphibolites, gneisses)); 8 — the Yalyayakhinsky hypabyssal complex (dolerites, lamprophyres); 9 — Sobsky plutonic complex (diorites, granodiorites, tonalites); 10 — Yunyaginsky plutonic complex (gabbro, gabbrodiorite); 11 — Kharampeysko-Maslovsky complex plutonic (gabbro-norites); 12 — Kershorsky plutonic complex (dunites, serpentinites, gabbros); 13 — Syumkeu dunite-harzburgite plutonic complex (lerzolites, harzburgites, dunites); 14 — Syadatoyakhinsky plutonic granite complex; 15 — Hartmanyushor complex of altered ultramafites; 16 — Vaskeu plutonic complex (metagabbro, metagabbrodolerites); 17 — Evyugan kompleks plutonic (migmatite-plagiogranites, granitogneisses); 18 — discontinuous violations: a — minor fault; b — the main fault; c — the main overthrust; 19 — locations of sampling (a — clinozoisite-chlorite-muscovite-albite-amphibole schist, b — muscovite-chlorite-clinozoisite, c — quartzite altered amphibolite, d — chlorite-quartz-clinozoisite)

Нами изучены в различной степени измененные амфиболиты в западной части харбейского метаморфического комплекса по руч. Скалистоу в непосредственной близости от контакта с верхнепротерозойскими образованиями и вне прогнозируемых участков. Рассматриваемые породы сильно деформированы, смяты в складки и пересекаются кварцевыми, кальцитовыми, хлорит-кальцитовыми прожилками и кварцевыми жилами. В них наблюдается

вкрапленная и прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация. Составы некоторых рудных минералов из амфиболитов были установлены в предыдущей работе [12].

Целью данной работы является установление состава, условий формирования и последовательности образования рудных минералов в различных типах измененных амфиболитов харбейского метаморфического комплекса по руч. Скалистоу.

Методы исследования

Взаимоотношения пороодообразующих минералов и последовательность формирования минеральных парагенезисов наблюдались под поляризационным микроскопом в шлифах. Аншлифы, изготовленные из сульфидизированных образцов пород, а также отдельные зерна пирита (около 200 шт) изучались на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионной приставкой Instruments X-Max (аналитики А. С. Шуйский, Е. М. Тропников). Составы некоторых рудных минералов диагностированы методом рамановской спектроскопии (аналитик С. И. Исаенко). Вышеперечисленные исследования проводились в ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар).

Петрохимические особенности пород

В пределах харьбейского метаморфического комплекса по руч. Скалистому на протяжении первых километров от контакта с няровейской серией породы представлены в различной степени дислоцированными и измененными амфиболитами. Слабоизмененные амфиболиты имеют сланцеватую порфиروبластовую структуру, гранонематобластовую структуру и состоят из амфибола — барруазита (50–70 %), альбита (до 20 %), клиноцоизита (до 10 %), хлорита (до 5 %), граната (1–3 %), мусковита (до 3 %) и кварца (до 1 %). Акцессорные минералы представлены цирконом, титанитом и апатитом, рудные — магнетитом и пиритом. Альбит образует порфиробласты с гелицитовой структурой, хлорит и мусковит формируют крупные чешуйки до 2 мм и обнаруживают позднюю минерализацию по отношению к барруазиту и гранату.

Измененные амфиболиты представлены дислоцированными сланцами, окварцованными породами и эпидозитами. Они пересекаются кальцитовыми, кальцит-кальципатовыми, хлорит-кальцитовыми, кварцевыми прожилками и кварцевыми жилами.

Сланцы имеют полосчатую текстуру и гранолепидонематобластовую структуру. Основными минералами в них выступают хлорит, мусковит, альбит, актинолит, магнезиальная роговая обманка, кварц, клиноцоизит, барруазит, гранат, кальцит и калиевый полевой шпат, содержащиеся в разных пропорциях. Акцессорные минералы представлены титанитом, цирконом, баритом и монацитом. Полосчатость пород обусловлена распределением минералов в отдельные прослои. Наиболее ранними минералами являются барруазит и гранат, унаследованные от амфиболитов.

Процессы окварцевания наблюдаются в амфиболитах и сланцах. Кварц образует прожилки и линзообразные выделения, часто приуроченные к осветленным прослоям сланцев, где основными минералами являются ранний кварц, альбит, клиноцоизит и хлорит.

Преимущественно эпидотовые породы встречаются в виде будин и обособлений среди амфиболитов и сланцев и имеют массивную текстуру. По минеральному составу можно выделить мусковит-хлорит-клиноцоизитовые и хлорит-кварц-клиноцоизитовые разновидности. Они пересекаются мусковитовыми, кварцевыми, хлоритовыми, кварц-кальцит-хлоритовыми, кальцитовыми и кварц-кальцитовыми прожилками.

Изучение химического состава вышеперечислен-

ных пород показало [12], что в сланцах с повышенным содержанием мусковита увеличиваются содержания глинозема и калия по сравнению с амфиболитами, а в сланцах с высоким содержанием альбита увеличивается количество натрия. Окварцевание пород сопровождается повышением кремнезема и марганца и понижением окисного железа и натрия. Преимущественно клиноцоизитовые породы характеризуются повышенным количеством кальция, двуокиси углерода и пониженными содержаниями закисного железа, марганца, магния, натрия относительно амфиболита. Таким образом, сланцы, окварцованные породы и эпидозиты представляют собой метасоматически преобразованные амфиболиты. Судя по взаимоотношениям пород и минералов, процессы мусковитизации, альбитизации и хлоритизации (рипидолит) предшествовали окварцеванию.

В метасоматитах часто наблюдается вкрапленная и прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация. Основная часть сульфидов отлагалась совместно с кварцем, о чем свидетельствует сильная положительная корреляция кремнезема с сульфидной серой. Сера образует также положительную корреляцию с закисным железом, магнием и натрием, и поэтому вполне вероятно, что сульфиды отлагались также при хлоритизации и альбитизации пород.

Рудная минерализация

Изучены рудные минералы из метасоматитов по амфиболитам: клиноцоизит-хлорит-мусковит-альбит-амфиболовых сланцев, окварцованных и эпидотизированных пород. Преобладающая часть рудных минералов представлена сульфидами. Состав некоторых сульфидов, а также минералов золота и серебра выявлен в результате пересчета полученных данных на нормативно-минеральный состав, так как из-за их мелких размеров на результаты анализов влияет состав окружающей матрицы.

В клиноцоизит-хлорит-мусковит-альбит-амфиболовых сланцах сульфиды образуют вкрапленную минерализацию (2–3 %) и представлены в основном пиритом (90 %) и халькопиритом (10 %). В подчиненном количестве присутствует никельсодержащий пирротин (Ni до 0.63 %). Пирит встречается в виде двух разновидностей. Первая разновидность пирита имеет крупные кристаллы кубической формы размером до 0.5 мм (рис. 2, а; табл. 1, № 1 и 2), а вторая разновидность — мелкие бесформенные зерна размером до 80 мкм с примесью никеля, иногда кадмия (рис. 2, б; табл. 1, № 3 и 4).

В кубическом пирите наблюдаются включения титанита, эпидота, пентландита (табл. 2; № 1 и 2), никельсодержащего пирротина (табл. 3; № 1–3), халькопирита (табл. 4; № 1 и 2) и молибденита (табл. 5; № 1 и 2). Кобальтсодержащий пентландит и никельсодержащий пирротин образуют срастания размером до 70 мкм (рис. 2, с), возможно являясь продуктами распада твердого раствора.

В никельсодержащем пирите отмечаются выделения халькопирита с нечеткими границами, клаусталита-галенита (рис. 2, d; табл. 6, № 1 и 2), мелонита (NiTe_2 , табл. 7) и гессита (Ag_2Te , рис. 2, e). К полостям и трещинкам приурочены акантит (Ag_2S), самородное серебро, иногда с примесью золота, и гессит (рис. 2, f). Никельсодержащий пирит образует срастания с пикнохлорит-брунгсвитом

Рис. 2. Рудные минералы в клиноцоизит-хлорит-мусковит-альбит-амфиболовых сланцах (а–f — пояснение в тексте)

Fig. 2. Ore minerals in clinozoisite-chlorite-muscovite-albite-amphibole schists (a–f — explanation in the text)

и ассоциируется, скорее всего, с кальцитом. Клаусталит-галенит, мелонит, гессит, акантит и самородное серебро имеют размеры не более 3 мкм.

Халькопирит встречается в виде мелких включений (до 100 мкм) в кубических пиритах в ассоциации с молибденитом. Этот минерал наблюдается в основной массе породы в виде неправильных угловатых зерен размером до 150 мкм, иногда в сростании с никелистым пиритом, а также в виде выделений в нем (рис. 2, е).

В окварцованных сланцах наблюдается вкрапленная и прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация (до 8–10 %). Сульфиды представлены в основном зернами пирита кубической формы размером до 1 см (табл. 1; № 5, 6) и редкими выделениями халькопирита, молибденита и хромферрита ($\text{Fe}_{1.5}\text{Cr}_{0.2}$). В виде включений в пирите находятся гранат, хлорит, альбит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит, молибденит, барит, золото, акантит, акантит-гессит, гессит, науманнит-акантит-гессит, самородное серебро, петцит (? Ag_3AuTe_2), ютенбогардтит (? Ag_3AuS_2), а также твердые растворы, имеющие промежуточный состав между халькопиритом и пирротином, халькопиритом и сфалеритом.

Таблица 1. Химический состав пирита, мас. %

Table 1. The chemical composition of pyrite, wt. %

№ п/п	S	Fe	Ni	Co	Сумма Sum	Формула Formula
1	54.14	45.93	—	—	100.07	$\text{Fe}_{0.97}\text{S}_2$
2	53.79	45.56	—	—	99.35	$\text{Fe}_{0.97}\text{S}_2$
3	53.58	44.61	1.18	—	99.38	$(\text{Fe}_{0.97}\text{Ni}_{0.02})_{0.97}\text{S}_2$
4	52.68	43.71	1.29	—	98.97	$(\text{Fe}_{0.95}\text{Ni}_{0.03})_{0.98}\text{S}_2$
5	53.08	45.84	—	—	98.92	$\text{Fe}_{0.99}\text{S}_2$
6	51.88	45.26	—	—	97.13	$\text{Fe}_{0.99}\text{S}_2$
7	53.74	46.01	—	—	99.75	$\text{Fe}_{0.98}\text{S}_2$
8	53.33	38.21	—	8.48	100.02	$(\text{Fe}_{0.82}\text{Co}_{0.17})_{0.99}\text{S}_2$
9	53.47	40.89	—	5.59	99.95	$(\text{Fe}_{0.87}\text{Co}_{0.11})_{0.98}\text{S}_2$
10	54.20	44.20	0.37	1.83	100.60	$(\text{Fe}_{0.93}\text{Co}_{0.04}\text{Ni}_{0.01})_{0.98}\text{S}_2$

Примечание. 1–4 — из клиноцоизит-хлорит-мусковит-альбит-амфиболовых сланцев, 5, 6 — из окварцованных пород, 7 — из мусковит-хлорит-клиноцоизитовых пород, 8–10 — из хлорит-кварц-клиноцоизитовых пород.

Note. 1–4 — from clinozoisite-chlorite-muscovite-albite-amphibole schists, 5, 6 — from quartz rocks, 7 — their muscovite-chlorite-clinozoisite rocks, 8–10 — from chlorite-quartz-clinozoisite rocks.

Таблица 2. Химический состав пентландита и борнита, мас. %

Table 2. The chemical composition of pentlandite and bornite, wt. %

№ п/п	Fe	Cu	S	Ni	Co	Сумма Sum	Формула Formula
1	27.55	—	33.72	30.34	8.1	99.71	$(\text{Fe}_{3.74}\text{Ni}_{3.9}\text{Co}_{1.04})_{8.68}\text{S}_8$
2	30.35	—	34.06	35.27	—	99.68	$(\text{Fe}_{4.07}\text{Ni}_{4.49})_{8.56}\text{S}_8$
3	12.80	56.76	25.68	—	—	95.24	$\text{Cu}_{4.42}\text{Fe}_{1.14}\text{S}_4$
4	14.96	57.11	28.60	—	—	100.67	$\text{Cu}_{3.9}\text{Fe}_{1.19}\text{S}_4$
5	13.57	58.81	27.87	—	—	100.25	$\text{Cu}_{4.22}\text{Fe}_{1.11}\text{S}_4$
6	13.20	60.00	26.61	—	—	99.81	$\text{Cu}_{4.50}\text{Fe}_{1.13}\text{S}_4$

Примечание. 1–2 — пентландит из клиноцоизит-хлорит-мусковит-альбит-амфиболовых сланцев; 3–6 — борнит из окварцованных (3, 4) и мусковит-хлорит-клиноцоизитовых пород (5, 6).

Note. 1–2 — pentlandite from clinozoisite-chlorite-muscovite-albite-amphibole schists; 3–6 — bornite from quartz (3, 4) and muscovite-chlorite — clinozoisite rocks (5, 6).

Таблица 3. Химический состав пирротина, мас. %

Table 3. The chemical composition of pyrrhotite, wt. %

№ п/п	S	Fe	Ni	Сумма Sum	Формула Formula
1	39.40	60.87	0.52	100.79	$(\text{Fe}_{0.88}\text{Ni}_{0.01})_{0.89}\text{S}$
2	39.01	59.67	0.55	99.23	$(\text{Fe}_{0.89}\text{Ni}_{0.01})_{0.90}\text{S}$
3	39.56	60.08	0.54	100.18	$(\text{Fe}_{0.87}\text{Ni}_{0.01})_{0.88}\text{S}$
4	39.15	60.12	—	99.27	$\text{Fe}_{0.88}\text{S}$
5	39.40	60.87	—	100.27	$\text{Fe}_{0.88}\text{S}$
6	37.94	58.26	—	96.20	$\text{Fe}_{0.88}\text{S}$

Примечание. 1–3 — из клиноцоизит-хлорит-мусковит-альбит-амфиболовых сланцев, 4–6 — из окварцованных пород.

Note. 1–3 are from clinozoisite-chlorite-muscovite-albite-amphibole schists, 4–6 are from quartzite rocks.

Таблица 4. Химический состав халькопирита, мас. %

Table 4. The chemical composition of chalcopyrite, wt. %

№ п/п	Fee	Cu	S	Сумма Sum	Формула Formula
1	23.51	37.76	37.32	98.59	$\text{Cu}_{1.01}\text{Fe}_{0.72}\text{S}_2$
2	30.39	33.34	35.42	99.15	$\text{Cu}_{0.94}\text{Fe}_{1.04}\text{S}_2$
3	30.77	32.91	35.33	99.01	$\text{Cu}_{0.93}\text{FeS}_2$
4	30.84	33.28	35.30	99.43	$\text{Cu}_{0.94}\text{FeS}_2$

Примечание. 1, 2 — из клиноцоизит-хлорит-мусковит-альбит-амфиболовых сланцев, 3, 4 — из окварцованных пород.

Note. 1, 2 — from clinozoisite-chlorite-muscovite-albite-amphibole schists, 3, 4 — from quartzite rocks.

Хромферрид ($\text{Fe}_{1.5}\text{Cr}_{0.2}$) образует пластинчатые образования размером до 200 мкм и сростания с хлоритом (рис. 3, а; табл. 8). Минерал имеет примеси кремния, марганца, никеля и молибдена. В виде изометричных включений размером до 20 мкм в нем наблюдаются соединения Fe-Cr (?), в которых по сравнению с хромферридом повышаются содержания хрома и молибдена, а также появляется стронций. На границе хромферрида и Fe-Cr-соединений имеются изометричные образования размером до 2 мкм оксида молибдена. Несмотря на единичную находку этого минерала, мы не стали исключать его из рассмотрения, так как хромферрид часто встречается в золоторудных проявлениях в амфиболитах и ассоциируется с золотоносными кварцевыми прожилками [5].

Сфалерит представлен несколькими разновидностями. Марганецсодержащий сфалерит наблюдается в виде изометричных выделений размером до 2 мкм в

пирротине (рис. 3, б; табл. 9, № 1). Кадмийсодержащие разновидности этого минерала — пришибрамиты — размером до 20 мкм образуют сростания с халькопиритом, возможно являясь продуктами распада твердого раствора (рис. 3, с; табл. 9, № 2–5). Самостоятельные зерна в пирите, ассоциирующиеся с золотом, образуют сфалериты изометричной и удлиненной формы размером до 20 мкм без примесей кадмия и марганца (рис. 3, d; табл. 9, № 6–9). Содержание железа в минерале варьирует от 2.6 до 9.48 мас. %.

Галенит наблюдается в виде неправильных выделений в пирите размером до 3 мкм и представлен двумя разновидностями. Первая, скорее всего, образует твердый раствор с матильдитом (AgBiS_2) и сростания с самородным висмутом (рис. 3 е; табл. 6, № 3, 4), а вторая — отдельные выделения галенита без примесей, иногда селенсодержащего (рис. 3 f; табл. 6, № 5–7).

Борнит образует изометричные и удлиненные амбообразные включения в пирите размером до 30 мкм (рис. 3 g; табл. 2, № 3, 4). Ранее он нами ошибочно был определен как железистый спинокопит [12]. Изучение этого минерала методом рамановской спектроскопии показало, что в его спектре присутствуют линии (281 , 339 cm^{-1}), характерные для борнита, а также полосы (469 cm^{-1}), соответствующие ковеллину (рис. 4).

Пирротин представлен в виде изометричных выделений в пирите до 30 мкм (рис. 3 d; табл. 3, № 4–6). Также он образует твердые растворы с халькопиритом в разных пропорциях.

Халькопирит встречается в виде твердых растворов с пирротинном и сфалеритом, сростаний со сфалеритом и отдельных выделений размером до 150 мкм (табл. 4; № 3, 4).

Молибденит образует чешуйки до 40 мкм в пирите и в межзерновом пространстве (табл. 5, № 3–6).

Золото с пробностью 680–740 наблюдается в виде изометричных выделений размером до 6 мкм и является относительно низкопробным [7] (рис. 3, h; табл. 10).

Акантит, гессит, акантит-гессит, акантит-науманит-гессит и самородное серебро с примесью золота образуют изометричные зерна размером до 1 мкм и локализируются в трещинах и зонах контактов двух минералов: пирита и борнита, пирита и халькопирита, пирротина и пирита (рис. 3, i–k).

Петцит (?) в ассоциации с акантитом (?), ютенбогартитом (?) и гесситом (?) образуют зернистые агрегаты размером меньше 5 мкм также в зоне контактов сульфидов (рис. 3, l).

Таблица 5. Химический состав молибденита и ассоциирующих с ним сульфидов, мас. %

Table 5. The chemical composition of molybdenite and its associated sulfides, wt. %

	Fe	S	Ni	Mo	Сумма Sum	Расчет нормативно-минерального состава Calculation of normative-mineral compositions
1	57.85	37.67	0.67	2.93	99.12	$0.91(\text{Fe}_{0.94}\text{Ni}_{0.01})_{0.95}\text{S}+0.09\text{MoS}_2$
2	8.84	43.4	—	47.44	99.68	$0.76\text{Mo}_{0.95}\text{S}_2+0.24\text{FeS}_2$
3	22.48	45.15	—	26.27	94.33	$0.58\text{FeS}_2+0.42\text{Mo}_{0.95}\text{S}_2$
4	12.95	42.03	—	38.45	95.67	$0.64\text{Mo}_{0.95}\text{S}_2+0.36\text{FeS}_2$
5	—	40.18	—	58.78	98.96	$\text{Mo}_{0.98}\text{S}_2$
6	9.75	43.52	—	46.79	100.06	$0.72 \text{MoS}_2+0.28\text{Fe}_{0.9}\text{S}_2$

Примечание. 1, 2 — из клиноцоизит-хлорит-мусковит-альбит-амфиболовых пород, 3–6 — из окварцованных пород.

Note. 1, 2 — from clinozoisite-chlorite-muscovite-albite-amphibole rocks, 3–6 — from quartzite rocks.

Таблица 6. Химический состав галенита и ассоциирующих с ним минералов, мас. %

Table 6. The chemical composition of galena and associated minerals, wt. %

	S	Fe	Cu	Se	Ag	Te	Pb	Bi	Co	Сумма Sum	Расчет нормативно-минерального состава Calculation of normative-mineral compositions
1	25.43	15.2	4.68	3.79	—	—	43.87	—	—	92.97	0.42FeS ₂ +0.37Pb(S _{0.84} Se _{0.16})+0.21Cu FeS ₂
2	18.13	10.41	0.43	5.65	—	—	62.88	—	—	97.5	0.53Pb(S _{0.76} Se _{0.24})+0.44Fe _{1.16} S ₂ +0.03Cu FeS ₂
3	35.07	25.62	—	—	1.54	0.67	34.35	2.17	—	99.42	0.78FeS ₂ +0.21(Pb _{0.92} Bi _{0.06} Ag _{0.02})S+0.01Ag ₂ Te
4	12.37	7.11	—	—	2.28	0.54	48.95	29.55	—	100.8	0.55(Pb _{0.96} Ag _{0.05} Bi _{0.05}) _{1.06} S+0.29Fe _{0.9} S+0.14Bi+0.01Ag ₂ Te
5	15.2	6.14	—	—	—	—	78.24	—	—	99.58	0.76Pb _{1.07} S+0.24Fe _{0.9} S
6	35.21	27.63	—	—	—	—	25.57	—	—	88.42	0.86FeS ₂ +0.14Pb _{1.08} S
7	18.42	6.03	—	1.04	—	—	75.36	—	—	100.85	0.70Pb _{0.97} (S _{0.96} Se _{0.04})+0.30FeS ₂
8	30.04	19.52	—	1.53	—	—	46.79	—	1.57	99.45	0.72(Fe _{0.93} Co _{0.07})S ₂ +0.28Pb _{1.09} (S _{0.91} Se _{0.09})

Примечание. 1–2 — из клинозоизит-хлорит-мусковит-альбит-амфиболовых пород (1 — пирит + клаусталит-галенит + халькопирит, 2 — клаусталит-галенит + пирит + халькопирит); 3–7 — из окварцованных пород (3 — пирит + матильтид-галенит + гессит, 4 — матильтид-галенит + пирротин + самородный висмут + гессит, 5 — галенит + пирротин, 6 — пирит + галенит, 7 — клаусталит-галенит + пирит), 8 — из хлорит-кварц-клинозоизитовых пород (кобальтсодержащий пирит + клаусталит-галенит).

Note. 1–2 — from clinozoesite-chlorite-muscovite-albite-amphibole rocks (1 — pyrite + clautolite-galena + chalcopryrite, 2 — clautolite-galena + pyrite + chalcopryrite); 3–7 — of quartz rocks (3 — pyrite + matyltide-galenite + hessite, 4 — matilthide-galenite + pyrrhotite + native bismuth + hessite, 5 — galenite + pyrrhotite, 6 — pyrite + galenite, 7 — clautolite-galenite + pyrite), 8 — from chlorite-quartz-clinozoesite rocks (cobalt-containing pyrite + clautalite-galena).

Таблица 7. Химический состав мелонита, меренскиита и их ассоциаций, мас. %

Table 7. The chemical composition of melonite, merenskyite and their associations, wt. %

	S	Fe	Te	Ni	Pd	Сумма Sum	Расчет нормативно-минерального состава Calculation of normative-mineral compositions
1	34.09	25.74	33.91	8.86	—	102.6	0.79Fe _{0.86} S ₂ +0.21Ni _{1.13} Te ₂
2	25.95	21.14	35.19	1.60	12.88	96.76	0.75(Fe _{0.93} Ni _{0.07})S ₂ +0.25Pd _{0.88} Te ₂
3	31.64	23.90	30.09	4.76	5.55	95.94	0.80(Fe _{0.86} Ni _{0.03}) _{0.89} S ₂ +0.20(Ni _{0.55} Pd _{0.45})Te ₂

Примечание. 1 — из клинозоизит-хлорит-мусковит-альбит-амфиболовых пород (пирит + мелонит), 2, 3 — из хлорит-кварц-клинозоизитовых пород (2 — пирит + меренскиит, 3 — пирит + меренскиит-мелонит).

Note. 1 — from clinozoesite-chlorite-muscovite-albite-amphibole rocks (pyrite + melonite), 2, 3 — from chlorite-quartz-clinozoesite rocks (2 — pyrite + merenskyite, 3 — pyrite + merenskyite-melonite).

Таблица 8. Химический состав хромферрида и его ассоциаций, мас. %

Table 8. The chemical composition of chromferride and its associations, wt. %

	O	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Sr	Mo	Сумма Sum	Формула Formula
1	—	0.69	10.22	0.98	85.11	0.82	—	0.82	98.64	Fe _{1.55} Cr _{0.2} Si _{0.03} Mn _{0.02} Ni _{0.01} Mo _{0.01}
2	—	0.14	44.5	—	42.96	—	0.38	1.88	89.86	Cr _{1.12} FeMo _{0.03} Si _{0.01} Sr _{0.01}
3	—	0.19	41.44	0.99	43.6	—	0.56	3.84	90.62	Cr _{1.12} FeMo _{0.03} Mn _{0.02} Si _{0.01} Sr _{0.01}
4	16.44	1.65	13.47	—	9.23	—	6.35	55.41	102.55	0.74Mo _{0.89} O ₂ +0.26Cr _{1.57} FeSr _{0.44} Si _{0.36}

Примечание. 1 — хромферрид (?); 2, 3 — Fe-Cr-минеральная фаза (?); 4 — оксид молибдена + Fe-Cr-минеральная фаза (?).

Note. 1 — chromferride (?); 2, 3 — Fe-Cr mineral phase(?); 4 — molybdenum oxide + Fe-Cr mineral phase (?).

В мусковит-хлорит-клинозоизитовых образованиях, развивающихся по амфиболитам и пересекающихся кварцевыми прожилками, наблюдается видимая вкрапленная минерализация пирита (до 3%). Пирит образует неправильной формы зерна или агрегаты зерен размером до 2 мм (рис. 5, а; табл. 1, № 7). Кроме пирита в породе встречаются редкие выделения ртутистого электрума, ютенбогаардит (?), самородного золота, молибденита и халькопирита, относящиеся к зернам эпидота. В виде включений в пирите присутствуют эпидот, халькопирит, борнит, акантит, акантит-гессит, науманнит-акантит, гессит и самородное серебро.

Ртутистый электрум имеет удлиненные зерна размером до 6 мкм (рис. 5, б; табл. 10, № 2). Ютенбогаардит (?) в ассоциации с высокопробным самородным золотом образует изометричные выделе-

ния размером до 5 мкм (рис. 5, с). Халькопирит и борнит встречаются в виде изометричных и удлиненных индивидов размером до 15 мкм (рис. 5, а; табл. 2, № 5, 6). Гессит, акантит-гессит и акантит образуют выделения размером до 2 мкм и встречаются в виде включений в пирите и на контактах зерен (рис. 5, d). Акантит, науманнит-акантит, гессит-акантит-науманнит и самородное серебро имеют размеры до 5 мкм, выполняют трещины и ассоциируются с гетитом (5, d–f).

В хлорит-кварц-клинозоизитовых породах сульфидная минерализация, представленная видимым пиритом, составляет около 2 %. Пирит имеет две разновидности. Первая из них кубической формы и размером 0.01–1.5 мм. Вторая изредка образует срастания с рипидолит-дафнитом (согласно классификации хлоритов [14]) и встречается в виде мелких гипидиоморфных

Рис. 3. Рудные минералы в окварцованных породах (а–л — пояснение в тексте)

Fig. 3. Ore minerals in quartzized rocks (a–l — explanation in the text)

Таблица 9. Химический состав сфалерита, мас. %

Table 9. The chemical composition of sphalerite, wt. %

	Fe	Cu	S	Mn	Cd	Zn	Сумма Sum	Формула Formula
1	14.4	1.95	33.74	0.27	2.48	45.09	101.8	$(\text{Zn}_{0.66}\text{Cd}_{0.01}\text{Fe}_{0.24}\text{Mn}_{0.04}\text{Cu}_{0.03})_{0.94}\text{S}$
2	3.06	—	31.4	—	2.59	58.64	95.69	$(\text{Zn}_{0.92}\text{Fe}_{0.06}\text{Cd}_{0.02})\text{S}$
3	2.6	—	32.7	—	2.65	59.23	97.18	$(\text{Zn}_{0.89}\text{Fe}_{0.05}\text{Cd}_{0.02})_{0.96}\text{S}$
4	9.48	0.75	33.75	—	1.36	55.49	100.83	$(\text{Zn}_{0.81}\text{Fe}_{0.16}\text{Cd}_{0.01}\text{Cu}_{0.01})_{0.99}\text{S}$
5	5.16	—	33.15	—	0.94	60.15	99.4	$(\text{Zn}_{0.89}\text{Fe}_{0.09}\text{Cd}_{0.01})_{0.99}\text{S}$
6	6.9	—	33.97	—	—	60.01	100.88	$(\text{Zn}_{0.87}\text{Fe}_{0.12})_{0.99}\text{S}$
7	9.3	—	35.02	—	—	56.36	100.68	$(\text{Zn}_{0.79}\text{Fe}_{0.15})_{0.94}\text{S}$
8	3.83	—	33.17	—	—	63.03	100.03	$(\text{Zn}_{0.94}\text{Fe}_{0.07})_{1.01}\text{S}$
9	9.43	—	33.09	—	—	62.6	105.12	$(\text{Zn}_{0.93}\text{Fe}_{0.16})_{1.09}\text{S}$

Рис. 4. КР-спектры борнита и ковеллина

Fig. 4. Raman spectra of bornite and covellite

и ксеноморфных зерен размером до 80 мкм с примесью кобальта до 8.48 % (рис. 6, а; табл. 1, № 8, 9) и с включениями халькопирита, клаустолит-галенита (табл. 6, № 8), меренскиит-мелонита (рис. 6, b; табл. 7, № 2, 3), меренскиита ((Pd,Pt)(Te,Bi)₂) и гессита. Клаусталит-галенит, меренскиит-мелонит и гессит имеют изометричную и вытянутую формы размером не более 3 мкм. Халькопирит образует неправильной формы выделения в пирите с размытыми, нечеткими границами. В породе также встречаются зерна пирита неправильной и изометричной формы размером до 70 мкм с примесью никеля, а также никеля и кобальта (рис. 6, с; табл. 1, № 10). Включение здесь представлено также галенитом.

Рис. 5. Рудные минералы в кварцеванных мусковит-хлорит-клиноцоизитовых образованиях (а–f — пояснение в тексте)

Fig. 5. Ore minerals in quartz-muscovite-chlorite-clinocoisite formations (a–f — explanation in the text)

Рис. 6. Рудные минералы в хлорит-кварц-клиноцоизитовых породах

Fig. 6. Ore minerals in chlorite-quartz-clinocoisite rocks

Таблица 10. Химический состав электрума и золота, мас. %

Table 10. The chemical composition of electrum and gold, wt. %

	Au	Ag	Hg	Сумма Sum	Формула Formula
1	76.92	24.88	—	101.8	$Au_{0.68}Ag_{0.32}$
2	53.34	43.73	2.9	99.97	$Ag_{0.59}Au_{0.39}Hg_{0.02}$
3	83.65	15.88	—	99.53	$Au_{0.74}Ag_{0.26}$
4	83.52	16.57	—	100.09	$Au_{0.73}Ag_{0.27}$
5	83.32	15.89	—	99.21	$Au_{0.74}Ag_{0.26}$
6	83.91	15.91	—	99.82	$Au_{0.74}Ag_{0.26}$

Условия формирования рудных минералов

В изучаемых породах обнаруживаются ассоциации рудных минералов, принадлежащие к разным генерациям.

В клиноцоизит-хлорит-мусковит-альбит-амфиболовых сланцах наблюдаются как минимум 3 генерации рудных минералов. Первая представлена кубическим

пиритом, никельсодержащим пирротинном и пентландитом, а также, возможно, халькопиритом и молибденитом, которые содержатся в виде включений в пирите. Температура распада твердого раствора пирротина и пентландита меньше 425°C [13], а рипидолит, ассоциирующий с пиритом, формируется, согласно разным геотермометрам, при температурах $245\text{--}335^{\circ}\text{C}$ [12], поэтому рассматриваемые рудные минералы можно отнести к высоко- и среднетемпературным образованиям, кристаллизовавшимся на ранних этапах изменения пород.

Вторая генерация представлена никельсодержащим пиритом и выделениями в нем халькопирита, мелонита, гессита и клаусталит-галенита. Они сформировались, скорее всего, при средних и низких температурах, так как пикнохлорит-брунсвит, образующий сростания с никельсодержащим пиритом, является низкотемпературным минералом ($135\text{--}235^{\circ}\text{C}$ [12]).

К третьей генерации минералов относятся низкотемпературные гессит, акантит и самородное серебро, которые кристаллизуются при температурах меньше 200°C [6, 10, 16]. Приуроченность их к контактовым зонам и трещинам указывает на их позднюю кристаллизацию в гипогенных или гипергенных условиях.

В окварцованных породах намечаются две генерации рудных минералов. Одна из них характеризуется кристаллизацией пирита, галенита, сфалерита, пирротина, борнита, хромферрида, золота и твердых растворов: матильгид-галенита, халькопирит-сфалерита — и, судя по всему, сопряжена непосредственно с процессами окварцевания. Твердые растворы, встречающиеся в пиритах, образуются при средних и высоких температурах: матильгид-галенит — $>220^{\circ}\text{C}$ [17], $>350^{\circ}\text{C}$ [9], халькопирит-сфалерит — $>400^{\circ}\text{C}$ [13]. Содержание молекулярного вещества FeS в сфалерите, находящемся в равновесии с пирротинном, также можно использовать в качестве геотермометра [4]. В равновесном состоянии с пирротинном присутствуют, скорее всего, бескадмиевые сфалериты. В этих сфалеритах железистость (X_{FeS}) составляет от 7 до 16 %, что соответствует температурам формирования $220\text{--}440^{\circ}\text{C}$. Таким образом, кристаллизация рассматриваемых рудных минералов данной генерации происходила при высоких и средних температурах.

Акантит, гессит, петцит (?) и ютенбогаардит (?), приуроченные к контактовым зонам, могли образоваться при низкотемпературных гидротермальных процессах.

Акантит, гессит, акантит-гессит, акантит-науманнит-гессит и самородное серебро, ассоциирующиеся с гидроксидами железа, сформировались, скорее всего, при гипергенных изменениях. Ковеллин, замещающий борнит, также является гипергенным минералом.

В мусковит-хлорит-клиноцоизитовых породах наблюдаются предположительно 3 генерации рудных минералов. К первой, предположительно среднетемпературной, относятся пирит, халькопирит, борнит, ртутистый электрум и, возможно, самородное золото. Низкотемпературные акантит, акантит-гессит и ютенбогаардит, приуроченные к контактам минералов, могут быть низкотемпературными гидротермальными образованиями, а науманнит-акантит, гессит-акантит-науманнит и самородное серебро, ассоциирующие с гетитом, — гипергенными.

Таблица 11. Стадии формирования рудных минералов в измененных амфиболитах харбейского комплекса по руч. Скалистому

Table 11. Stages of the formation of ore minerals in altered amphibolites of the Harbey complex along Skalisty stream

Рудные минералы Ore minerals	Стадии формирования минералов Mineral formations stages			
	Гипогенная Hypogenic			Гипергенная Hypergenic
	I ($T\ 245\text{--}425^{\circ}\text{C}$)	II ($T\ 220\text{--}440^{\circ}\text{C}$)	III ($T\ 135\text{--}281^{\circ}\text{C}$)	IV ($T < 200^{\circ}\text{C}$)
Пирит / Pyrite	-----	-----		
Ni-пирит / Ni-pyrite			-----	
Со-пирит / Co-pyrite			-----	
Ni-пирротин / Ni-pyrrhotine	-----			
Пирротин / Pyrrhotine		-----		
Пентландит / Pentlandite	-----			
Халькопирит / Chalcopyrite	-----		-----	
Молибденит / Molybdenite	-----			
Матильгид-галенит / Matiltide-Galenite		-----		
Галенит / Galena		-----		
Клаусталит-галенит / Clausthalite-galena			-----	
Борнит / Bornite		-----		
Mn-сфалерит / Mn-sphalerite		-----		
Cd-сфалерит / Cd-sphalerite		-----		
Сфалерит / Sphalerite		-----		
Мелонит / Melonite			-----	
Меренскиит-мелонит / Merinskyite-melonite			-----	
Золото / Gold		-----		
Hg-электрум / Hg-electrum		-----		
Акантит / Acanthite			-----	-----
Акантит-гессит / Acanthite-hessite			-----	
Науманнит-акантит / Naumannite-acanthite				-----
Гессит / Hessite			-----	-----
Гессит-акантит-науманнит / Hessit-acanthite-naumanite				-----
Самородное серебро / Native silver				-----
Ковеллин / Covellite				-----
Ютенбогаардит (?) / Yutenbogaardtite (?)			-----	
Петцит (?) / Petcite (?)			-----

В хлорит-кварц-клиноцоизитовых породах выявлены две генерации рудных минералов. Первая представлена кубическим пиритом, вторая — кобальт- и никельсодержащим пиритом, клаусталит-галенитом, халькопиритом, мелонит-меренскиитом и гесситом. Рипидолит-дафнит, образующий срастания с никельсодержащим пиритом, согласно разным геотермометрам [15, 18, 19], формируется при температурах 208–281 °С, а мелонит и меренскиит являются средне- и низкотемпературными образованиями, следовательно, вторая генерация рудных минералов в рассматриваемой породе является средне- и низкотемпературной.

На данном этапе исследования, на основании распределения рудных минералов в различной степени измененных амфиболитах харьбейского комплекса, а также температуры их формирования можно выделить несколько стадий последовательного рудного минералообразования (табл. 11). Наблюдаемая в клиноцоизит-хлорит-мусковит-альбит-амфиболовых сланцах высоко- и среднетемпературная ассоциация минералов (I стадия): пирита, пентландита, никельсодержащего пирротина, халькопирита и молибденита — характеризуют, скорее всего, ранний этап гидротермально-метасоматических изменений в амфиболитах.

Четко фиксируются рудные минералы, сформировавшиеся сопряженно с кварцевыми прожилками и жилами под воздействием гидротермальных растворов (II стадия). Они образовались при высоких и средних температурах и представлены пиритом, матильдит-галенитом, сфалерит-халькопиритом, галенитом, сфалеритом, молибденитом, халькопиритом, борнитом, пирротинном, хромферридом и золотом. Возможно, на этой же стадии сформировались среднетемпературные минералы — пирит, ртутистый электрум, самородное золото, молибденит, борнит и халькопирит — в окварцованных мусковит-хлорит-эпидотовых породах. Ассоциация золота и электрума с сульфидами и кварцем позволяет отнести рудные минералы этой стадии к золотосульфидно-кварцевой формации.

Никельсодержащий пирит, галенит, халькопирит, мелонит и клаусталит-галенит в сланцах, а также кобальт- и никельсодержащий пирит, клаусталит-галенит, халькопирит, гессит, меренскиит и меренскиит-мелонит в хлорит-кварц-клиноцоизитовых породах относятся, скорее всего, к одной поздней средне- и низкотемпературной стадии (III), связанной, возможно, с развитием в породах кальцита, пикнохлорит-брунгсвигита и рипидолит-дафнита. Возможно, данная стадия завершается формированием акантита, гессита, ютенбогаардтита и петцита, часто встречающихся на контактах сульфидов.

Во всех рассматриваемых породах выявлены низкотемпературные гипергенные минералы IV стадии: акантит, гессит, науманнит-акантит, акантит-гессит, самородное серебро и т. д.

Выводы

Изучены рудные минералы в различной степени метасоматически измененных амфиболитах харьбейского комплекса (руч. Скалистый): клиноцоизит-хлорит-мусковит-альбит-амфиболовых образованиях, окварцованных и эпидотизированных породах. Процессы хлоритизации (рипидолит) и альбитизации, по-видимому,

предшествовали формированию кварцевых жил и прожилков. Сульфидизация наиболее широко проявлена в окварцованных породах.

Рудные минералы отлагались в несколько стадий (минимум 4). Ранняя генерация рудных минералов наблюдается в сланцах, ассоциируется с рипидолитом и представлена высоко- и среднетемпературными пиритом, пентландитом, никельсодержащим пирротинном, халькопиритом и молибденитом, сформировавшимися на раннем этапе гидротермально-метасоматического преобразования амфиболитов.

Следующая высоко- и среднетемпературная стадия формирования рудных минералов сопряжена с гидротермальными процессами и развитием кварцевых жил и прожилков. В это время образовались пирит, матильдит-галенит, галенит, сфалерит, молибденит, халькопирит, борнит, пирротин, хромферрид, ртутистый электрум и относительно низкопробное золото.

На средне- и низкотемпературной гидротермальной стадии формирования рудных минералов в породах кристаллизовались никель- и кобальтсодержащий пирит, халькопирит, галенит, клаусталит-галенит, гессит, мелонит, меренскиит и меренскиит-мелонит, ассоциирующие с пикнохлорит-брунгсвигитом и рипидолит-дафнитом. Заключительные низкотемпературные гидротермальные процессы привели к формированию в породах акантита, гессита и ютенбогаардтита.

Гипергенные изменения пород характеризуются образованием акантита, гессита, науманнит-акантита, гессит-акантит-науманнита, самородного серебра и ковеллина.

Авторы выражают благодарность д. г.-м. н. А. М. Пыстину, д. г.-м. н. В. И. Силаеву, к. г.-м. н. Р. И. Шайбекову, к. г.-м. н. С. И. Исаенко, Е. М. Тропникову и А. Е. Шмырову за помощь и консультации.

Литература

1. Глубинное строение Тимано-Североуральского региона / Отв. ред. А. М. Пыстин. Сыктывкар: Геопринт, 2011. 264 с.
2. 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.
3. Колганов Е. Р., Алексеенко И. О., Тельтевский В. А. Золотоносность Париквасьшорского участка // Уральская горная школа — регионам: Материалы междунауд. науч.-практ. конф. Екатеринбург, 2011. С. 13–14.
4. Куллеруд Г. Сульфидные системы как геологические термометры // Геохимические исследования. М., 1961.
5. Новгородова М. И., Горшков А. И., Трубкин Н. В., Цепин А. И., Дмитриева М. Т. Новые природные интерметаллические соединения железа и хрома — хромферид и ферхро-мид // ЗВМО. 1986. Часть 115. Вып. 3. С. 355–359.
6. Пальянова Г. А., Кох К. А., Серёткин Ю. В. Образование сульфидов золота и серебра в системе Au—Ag—S // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 4. С. 568–576.
7. Петровская Н. В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 347 с.
8. Пыстина Ю. И., Пыстин А. М. Цирконовая летопись уральского докембрия. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 168 с.

9. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания / Под ред. А. Г. Бетехтина. М.: Мир, 1962. 1132 с.
10. Савва Н. Е., Пальянова Г. А., Колова Е. Е. Минералы золота и серебра в зоне вторичного сульфидного обогащения (рудопоявление Крутое, Северо-Восток России) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2010. № 1. С. 33–45.
11. Уляшева Н. С. Метабазиты харьбейского комплекса (Полярный Урал) / Отв. ред. А. М. Пыстин. Сыктывкар: Геопринт, 2012. 98 с.
12. Уляшева Н. С. Метаморфизм, метасоматоз и рудная минерализация пород харьбейского метаморфического комплекса // Вестник ВГУ. Серия: геология. 2019. № 1. С. 47–57.
13. Филимонова А. А. Рудообразующие минералы и их сростания как геологические геотермометры // Минералогическая термометрия и барометрия. М.: Наука, 1965. С.37–48.
14. Hey M. H. A new review of chlorites: Min. Mag., 1954. V. 30, P. 277–292.
15. Hillier S., Velde B. Octahedral occupancy and chemical composition of diagenetic (low-temperature) chlorites. Clay Miner. 26, 1991. P.149–168.
16. Roy R., Majumdar A. J., Hulbe C. W. The Ag_2S and Ag_2Se transitions as geologic thermometers // Econ. Geol., 1959. V. 54. P. 1278–1280.
17. Van Hook H. J. The ternary system $\text{Ag}_2\text{S}-\text{Bi}_2\text{S}_3-\text{PbS}$ // Econ.Geol. 1960.V. 55. N 4. P. 759–788.
18. Xie X., Byerly G. R., Ferrell R. E. J. IIb trioctahedral chlorite from the Barberton greenstone belt: crystal structure and rock composition constraints with implications to geothermometry // Contrib. Mineral. Petrol. 126, 1997. P. 275–291.
19. Zang W., Fyfe W. S. Chloritization of the hydrothermally altered bedrock at the Igarapé Bahiágo Iddeposit, Carajás, Brazil // Mineral. Depos. 30, 1995. P. 30–38.
5. Novgorodova M.I., Gorshkov A.I., Trubkin N.V., Tsepin A.I., Dmitrieva M.T. *Novye prirodnye intermetallicheskie soedineniya zheleza i hroma-hromferid i ferhromid* (New natural intermetallic compounds of iron and chromium-chromferide and ferchromide). Proceedings of RMS, 1986, Part 115, Issue 3, pp. 355–359
6. Palyanova G. A., Kokh K. A., Seretkin Yu. V. *Obrazovanie sulfidov zlota i srebra v sisteme Au-Ag-S* (Formation of gold and silver sulfides in the Au–Ag–S system). Geology and Geophysics, 2011, V. 52, No. 4, pp. 568–576.
7. Petrovskaya N.V. *Samorodnoe zoloto* (Native gold). Moscow: Nauka, 1973, 347 p.
8. Pystina Yu.I., Pystin A. M. *Tsirkonovaya letopis uralskogo dokembriya* (Zircon chronicle of the Ural Precambrian). Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2002, 168 p.
9. Ramdor P. *Rudnye mineraly i ih srastaniya* (Ore minerals and their intergrowths). Ed. A. G. Betekhtin, Moscow: Mir, 1962, 1132 p.
10. Savva N. E., Palyanova G. A., Kolova E. E. *Mineraly zlota i srebra v zone vtorichnogo sulfidnogo obogascheniya (rudoproyavlenie Krutoe, Severo-Vostok Rossii)* (Minerals of gold and silver in the secondary sulfide concentration zone (Krutoe ore occurrence, North-East of Russia)). Vestnik SVNTs FEB RAS, 2010, No. 1, pp. 33–45.
11. Ulyasheva, N. S. *Metabazity harbeiskogo kompleksa (Polyarnyi Ural)* (Metabasites of the Harbey complex (Polar Urals)). N. S. Ulyasheva; Ed. A. M. Pystin. Syktyvkar: Geoprint, 2012, 98 p.
12. Ulyasheva N. S. *Metamorfizm, metasomatoz i rudnaya mineralizatsiya porod harbeiskogo metamorficheskogo kompleksa* (Metamorphism, metasomatism and ore mineralization of rocks of the Harbey metamorphic complex). Bulletin of VSU. Series: geology. 2019, No. 1, pp. 47–57.
13. Filimonova A. A. *Rudoobrazuyushchie mineraly i ih srastaniya kak geologicheskie geotermometry* (Ore-forming minerals and their intergrowths as geological geothermometers). Mineralogical thermometry and barometry. Moscow: Nauka, 1965, pp. 37–48.
14. Hey, M. H. A new review of chlorites: Min. Mag., 1954, V. 30, pp. 277–292.
15. Hillier S., Velde B. Octahedral occupancy and chemical composition of diagenetic (low temperature) chlorites. Clay Miner. 26, 1991, pp. 149–168.
16. Roy R., Majumdar A. J., Hulbe C. W. The Ag_2S and Ag_2Se transitions as geologic thermometers. Econ. Geol., 1959, V. 54, pp. 1278–1280.
17. Van Hook H.J. The ternary system $\text{Ag}_2\text{S}-\text{Bi}_2\text{S}_3-\text{PbS}$. Econ.Geol. 1960,V. 55, No. 4, pp. 759–788.
18. Xie, X., Byerly G. R., Ferrell R. E. J. IIb trioctahedral chlorite from the Barberton greenstone belt: crystal structure and rock composition constraints with implications to geothermometry. Contrib Mineral Petrol. 126, 1997, pp. 275–291.
19. Zang W., Fyfe W. S. Chloritization of the hydrothermally altered bedrock at the Igarapé Bahiágo Iddeposit, Carajás, Brazil. Mineral Depos. 30, 1995, pp. 30–38.

References

Поступила в редакцию / Received 07.01.2020