

## МИНЕРАЛОГИЯ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНЫХ РУД В АПОГИПЕРБАЗИТОВЫХ АНТОФИЛЛИТОВЫХ МЕТАСОМАТИТАХ КАРАСЬЕВОГОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СЫСЕРТСКИЙ МЕТАМОРФИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС, СРЕДНИЙ УРАЛ)

© 2012 г. В. В. Мурзин, Д. А. Варламов

Сысертско-Ильменогорский метаморфический комплекс представлен архей-протерозойским гнейсово-мигматитовым ядром и рифейским сланцевым обрамлением, к которым приурочены многочисленные тела ультрабазитов и ассоциирующих с ними габброидов. В результате регионального метаморфизма высоких ступеней, а также кремнекислотного метасоматоза тела ультрабазитов практически нацело превращены в породы оливин-энстатитового, энстатит-тальк-карбонат-антофиллитового, антофиллитового и, в меньшей степени, тремолитового, актинолитового, тальк-карбонатного состава [1, 2]. Антофиллитовые породы активно изучались в связи с наличием в них промышленного оруденения антофиллит-асбеста [3], однако лишь изредка в этих породах отмечалась вкрапленность небольшого количества сульфидов – пирита и пирротина. На этом фоне присутствие в Сысертском сегменте комплекса тел массивных сульфидных руд в Карасьевогорском месторождении (рудопроявлении) среди амфиболовых метагипербазитов привлекает повышенное внимание.

Карасьевогорское месторождение расположено в 7 км юго-западнее п. В. Сысерть и локализовано в Ташкульской зоне метаморфических сланцев среднерифейских игишской и сайтовской свит, обрамляющей с запада Шумихинскую гнейсово-мигматитовую структуру. Породы Ташкульской зоны, шириной до 10–15 км, представлены биотитовыми, мусковит-биотитовыми плагиосланцами, амфиболитами, кварцитами, метагипербазитами, переходящими в гнейсы, гранито-гнейсы, амфиболиты раннепротерозойской черновской свиты. Тела метагипербазитов образуют три меридиональные линейно-вытянутые полосы мощностью от 100 до 1500 м, протягивающиеся согласно общему

простираению пород на протяжении 50 км (от широты оз. Иткуль на юге до Каменных озер на севере). Отдельные тела имеют размеры до 1 × 5 км (Сысертскоозерский массив). Они залегают согласно с вмещающими породами как по простиранию, так и по падению. Контакты повсеместно сорваны и сложены реакционно-метасоматическими образованиями амфиболового, хлоритового и тальк-карбонатного составов.

При поисково-оценочных работах на площади месторождения, проведенных в 1985–1990 гг. (А.А. Машаров, Е.В. Стороженко, 1990 г.) на месторождении выделено 4 рудные залежи линзовидной формы, наиболее мощная из которых, вскрытая скв. 339 (л. 119) в инт. 137–151 м, стала объектом настоящего исследования (табл. 1). Залежь, имея крутое западное падение, длину по простиранию 380 м и падению 100–110 м, располагается в теле ультраосновных пород. Тело гипербазитов зажато с запада и востока дайкообразными телами плагиогранитов и превращено в тальк-карбонат-амфиболовые метасоматиты. Оно сложено массивными и вкрапленными сульфидными рудами. Массивные руды имеют ориентированно-полосчатую пятнисто-полосчатую текстуру, обусловленную присутствием пятнообразных выделений пирита и прожилковидных выделений халькопирита. Массивные руды окаймляются зонами вкрапленных руд мощностью от 0.6 до 2.0 м. Содержание сульфидов во вкрапленных рудах уменьшается к периферийным частям залежи от 50–60% до 1–2%, постепенно переходя в безрудные тальк-карбонат-антофиллитовые породы. По данным [2], в неокисленных рудах содержание золота составило 1.6–4.1 г/т, серебра – 24.3–33.0 г/т, меди – 9.3–16.7 мас. %, никеля – 0.39–0.71 мас. %, кобальта – 0.19–0.29 мас. %.

**Таблица 1.** Интервал пересечения рудного тела по скв. 339 и положение на нем изученных проб

| Интервал, м | Описание интервала   | № проб   |
|-------------|--|----------|
| 125.5–136.9 | тальк-карбонат-тремолит-антофиллитовая порода звездчатой текстуры    | 550      |
| 136.9–145.0 | существенно халькозиновые руды (зона вторичного обогащения)          | 551      |
| 145.0–148.3 | тальк-карбонат-антофиллитовая порода с вкрапленностью сульфидов меди | 552, 553 |
| 148.3–150.9 | сплошная сульфидная руда (1.6–4.1 г/т Au)                            | 554      |
| 150.9–179.0 | тальк-карбонат-антофиллитовая порода с вкрапленностью сульфидов меди | 555      |

Примечание. Окисленные халькозиновые руды в инт. 136.9–145 м в данной статье не описываются.

**Таблица 2.** Видовой минеральный состав руд и метасоматитов изученного подсечения рудного тела скв. 339

| Порода (№ обр.)                           | Амфибол                               | Карбонат                       | Хлорит                                     | Основные минералы руд   | Акцессорные минералы   |
|---|---------------------------------------|--------------------------------|--|---|--|
| Надрудный метасоматит (550)<br>Руда (551) | тремолит,<br>антофиллит<br>антофиллит | доломит<br>сидерит             | Cr-клинохлор<br>Cr-клинохлор,<br>Cr-пеннин | пирротин, халькопирит, пентландит<br>пирит 1, кубанит,<br>халькопирит, ильменит | хромшпинелид<br>пирит 2, пирротин, аргентопентландит, сфалерит, зигенит, Со-пентландит, <b>Cl-апатит</b> , уранинит, гессит, самородный висмут, самородное золото, молибденит, теллуровисмутит, висмутин, цумоит, пильзенит, науманнит |
| Межрудный метасоматит (553)               | антофиллит                            | доломит                        | Cr-клинохлор                               | пирротин, халькопирит, пентландит, полидимит                                    | хромшпинелид, Ni-пирит, Су-виоларит, уранинит  |
| Подрудный метасоматит (555)               | антофиллит                            | доломит,<br>магнезит-бреннерит | Cr-пеннин,<br>Cr-клинохлор                 | халькопирит, пентландит, пирротин   | хромшпинелид, Ni-Co-пирит, форстерит   |

В результате раннего исследования минералогии Карасьевгорского месторождения [4] были выделены две ассоциации сульфидных минералов – пентландит-халькопирит-пирротиновая гипербазитового профиля в околорудных метасоматитах и золотоносная пирит-халькопирит-кубанитовая базальтоидного профиля в рудах. Настоящее исследование метасоматитов и руд существенно расширило их видовой минеральный состав (табл. 2).

**Неоруденелый серпентинит**, небольшие реликты которого присутствуют среди антофиллитовых пород в верхней части разреза, содержит рассеянную вкрапленность сульфидов в количестве, не превышающем 1–2 об. % и с размерами выделений – до 0.2 мм, единичные до 0.5–0.7 мм. Сульфиды представлены сростаниями частиц пирротина, пентландита и небольшого количества халькопирита (халькопирит-пентландит-пирротиновый парагенезис). Данный парагенезис типичен для процесса антигоритовой серпентинизации ультраосновных пород любого возраста. По данным микроанализа, пентландит содержит 1.6–1.8% Co, а пирротин 0.2–0.3% Ni. **Пентландит частично замещается виоларитом**, что также типично для условий снижающейся температуры.

**Околорудные метасоматиты** (обр. 550, 553 и 555, представляющие, соответственно, надрудную, межрудную и подрудную части) сложены преимущественно амфиболом, в меньшей степени – карбонатом (доломит-анкерит, магнезит), хлоритом, тальком и редкими вкрапленными сульфидами (не более 1 об. %). Полигонально-зернистая карбонатная масса в метасоматите цементирует агрегаты амфибола, а хлорит выполняет межзерновое пространство в доломитовой массе. Иногда лейсты хлорита обрастают зерна сульфидов или образуют вроски в сульфидах или в доломите. В протолочках метасоматита в минеральных сростаниях фик-

сируется устойчивая ассоциация сульфидов, доломита и хлорита.

Амфибол представлен двумя минеральными видами – светло-зеленым тремолитом,  $(Mg/Mg + Fe) = 0.92–0.94$  по 8 анализам, и бесцветным или белым лучистым антофиллитом  $(Mg/Mg + Fe) = 0.80–0.86$  по 31 анализу. Тремолит развит в надрудном метасоматите, где его мелкие кристаллики образуют тесные сростания с более крупными игольчатыми кристаллами антофиллита. Антофиллит встречен по всему разрезу, в том числе и в густовкрапленной руде.

Доломит неоднороден по химическому составу и содержит от 0.8 до 4 мас. % FeO. При этом часто фиксируется зональное распределение железа в отдельных индивидах – центральная часть их содержит больше этого элемента (2.9–3.9 мас. % FeO) по отношению к краевой (1.7–2.1 мас. % FeO). В доломитовой массе изредка встречаются мелкие гнезда и линзы магнезит-брейнерита. По соотношению магния и железа присутствуют две дискретные фазы – фаза с 5–7 мас. % FeO слагает основное тело гнезд, в то время как в краях гнезд, контактирующих с доломитом, развита более железистая фаза (10–11 мас. % FeO).

Хлорит всех изученных образцов метасоматитов и руд представлен (по классификации Heu, 1954 г.) хромсодержащими клинохлором ( $X_{Fe} = 0.07–0.1$ ) и пеннином ( $X_{Fe} = 0.04–0.05$ ). Пеннин наиболее характерен для подрудного метасоматита. Содержание хрома в хлорите варьирует от 0.7 до 3.5 мас. %  $Cr_2O_3$ . Наиболее низкое содержание его свойственно хлориту из сульфидной руды.

Рудные минералы метасоматита – редкие кристаллики хромшпинелида размером до 0.15 мм, а также сульфиды железа и никеля. Хромшпинелид достаточно однородный по составу, возможно, новообразованный, и лишь в отдельных зернах фиксируются тонкие прожилковидные зонки развития

Таблица 3. Химический состав сульфидов меди, железа и никеля околорудного метасоматита

| №№ обр/зер.         | Fe    | Cu    | Co   | Ni    | S     | Сумма  | Минерал     |
|---------------------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-------------|
| Ранний парагенезис  |       |       |      |       |       |        |             |
| 553/1               | 30.19 | 34.88 | 0.10 | 0.25  | 35.40 | 100.82 | халькопирит |
| 555/21              | 30.64 | 34.34 | 0.23 | 0.13  | 35.56 | 100.90 | то же       |
| 550/3*              | 30.66 | 34.63 | 0.04 | 0.12  | 35.25 | 100.74 | —"          |
| 550/6*              | 30.34 | 35.04 | 0.05 | 0.0   | 35.34 | 100.77 | —"          |
| 555/16              | 60.36 | 0.00  | 0.37 | 0.57  | 39.18 | 100.48 | пирротин    |
| 555/20              | 60.48 | 0.29  | 0.33 | 0.47  | 40.05 | 101.62 | то же       |
| 550/1*              | 60.40 | 0.0   | 0.09 | 0.27  | 39.82 | 100.61 | —"          |
| 550/4*              | 60.90 | 0.0   | 0.08 | 0.28  | 39.85 | 101.11 | —"          |
| 550/7*              | 60.28 | 0.0   | 0.10 | 0.40  | 40.18 | 100.96 | —"          |
| 555/15              | 30.36 | 0.15  | 0.87 | 36.89 | 32.95 | 101.22 | пентландит  |
| 555/19              | 29.29 | 0.00  | 1.26 | 36.11 | 33.34 | 100.00 | то же       |
| 550/5*              | 30.06 | 0.00  | 1.78 | 35.63 | 33.41 | 100.88 | —"          |
| 550/2*              | 30.15 | 0.00  | 1.56 | 35.27 | 33.38 | 100.36 | —"          |
| 550/8*              | 29.54 | 0.00  | 1.74 | 35.58 | 33.29 | 100.15 | —"          |
| 553/23              | 5.65  | 0.79  | 2.26 | 49.56 | 42.08 | 100.34 | полидимит   |
| Поздний парагенезис |       |       |      |       |       |        |             |
| 553/6               | 20.32 | 11.87 | 2.71 | 23.25 | 42.29 | 100.44 | Си-виоларит |
| 553/7               | 16.44 | 9.68  | 2.71 | 29.43 | 42.48 | 100.74 | то же       |
| 553/20              | 15.89 | 9.35  | 2.59 | 30.00 | 42.47 | 100.30 | —"          |
| 553/21              | 16.58 | 6.05  | 2.49 | 32.33 | 41.42 | 98.87  | —"          |
| 553/3               | 46.83 | 0.00  | 0.36 | 0.30  | 51.97 | 99.46  | пирит       |
| 553/4               | 44.05 | 0.62  | 0.41 | 2.15  | 51.38 | 98.61  | Ni- пирит   |
| 553/5               | 45.22 | 0.93  | 0.20 | 1.07  | 51.61 | 99.03  | то же       |
| 555/22              | 44.03 | 0.00  | 3.63 | 0.66  | 51.83 | 100.15 | Со-пирит    |
| 555/17              | 43.11 | 0.00  | 2.35 | 1.71  | 53.58 | 100.75 | Ni-Со-пирит |
| 553/2               | 0.84  | 67.79 | 0.02 | 0.24  | 31.17 | 100.06 | ковеллин    |

Примечание. \* – Анализы выполнены на волновом рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-5a (Институт геологии и геохимии УрО РАН), в остальных случаях электронно-зондовый микроанализ выполнялся в ИЭМ РАН на цифровом электронном сканирующем микроскопе CamScan MV2300, оснащенный энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором Link INCA Energy 450. Курсивом даны определения со значениями концентрации элемента ниже  $2\sigma$  (среднеквадратичной ошибки анализа).

по нему магнетита. Для него характерны повышенные концентрации цинка (до 3.3 мас. % ZnO), а также MnO, TiO<sub>2</sub> и V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (до 1 мас. %). Среди железоникелевых сульфидов выделяются две парагенетические ассоциации (табл. 3). Сульфиды раннего парагенезиса – халькопирит, пирротин, пентландит и полидимит образуют сростания друг с другом в виде мелких каплевидных или более крупных угловатых выделений. Поздний парагенезис слагает псевдоморфозы медьсодержащего виоларита и Ni(Со)-содержащего пирита по пентландиту, а также ковеллина по халькопириту. Минералы раннего парагенезиса развиты преимущественно в подрудном метасоматите, а позднего – в межрудном.

**Сульфидные руды** (обр. 551, 552 и 554) имеют преимущественно вкрапленную текстуру. Масса, цементирующая сульфиды, сложена антофиллитом, хлоритом и карбонатом. В отличие от метасоматитов, в руде карбонат представлен сидеритом. Сидерит – медово-желтый полупрозрачный поздний минерал. Кристаллики его часто выполняют микрополости в руде. Этот карбонат неоднороден по составу – в различных зонах роста его кристаллов может содержаться до 2.7 мас. % СаО и до 3.2 мас. % MgO.

Основные сульфидные минералы руды – пирит (преобладающий), халькопирит и кубанит. Пирит 1 – ранний сульфид, активно замещающийся хлоритом, сидеритом, марказитом и более поздними сульфидами (халькопиритом, кубанитом). Агрегаты зерен пирита цементируются минералами парагенезиса, в состав которого входят халькопирит, кубанит, **Со-Ni-Fe сульфид (полностью замещен зигенитом)**, ильменит, а также целый ряд аксессуарных минералов – пирит 2, пирротин, кобальтсодержащий пентландит, аргентопентландит, сфалерит, самородные золото и висмут, молибденит, уранинит, Сl-апатит, сульфиды, теллуриды и селениды Bi и Ag.

Халькопирит и кубанит примерно в равных количествах находятся в равновесных сростаниях. Часто кубанит присутствует в виде тонких пластинок в халькопирите, являясь, по-видимому, продуктом распада твердого раствора. В халькопирите спорадически встречаются очень мелкие включения “звездочек” сфалерита. В рудной массе и в нерудной составляющей также рассеяны кристаллы ильменита размером до 0.5 мм, в котором в свою очередь заключены мелкие округлые, каплевидные, часто ограненные частицы нерудных минералов, халькопирита, кубанита, молибденита.

Таблица 4. Химический состав сульфидов руд, мас. %

| №№ обр/зер. | Cu    | Fe    | Co    | Ni    | S     | Ag    | Сумма  | Минерал                               |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------------------------------------|
| 551-1/22    | 0.00  | 46.45 | 0.10  | 0.07  | 51.94 | –     | 98.56  | пирит 1                               |
| 551-1/23    | 0.00  | 46.09 | 0.00  | 0.16  | 51.24 | –     | 97.49  | то же                                 |
| 551-1/24    | 0.26  | 45.43 | 0.05  | 0.12  | 51.43 | –     | 97.29  | –"–                                   |
| 551-1/25    | 0.00  | 45.66 | 0.18  | 0.01  | 51.54 | –     | 97.39  | –"–                                   |
| 551-2/9     | 0.68  | 43.26 | 0.14  | 2.02  | 52.49 | –     | 98.59  | пирит 2                               |
| 551/33      | 1.54  | 54.04 | 0.28  | 7.49  | 36.73 | 0.00  | 100.08 | пирротин                              |
| 551/10      | 22.43 | 41.23 | 0.33  | 0.09  | 35.93 | –     | 100.01 | кубанит                               |
| 551/30      | 22.57 | 41.09 | 0.10  | 0.24  | 35.55 | 0.00  | 99.55  | то же                                 |
| 551-1/8     | 22.29 | 40.53 | 0.23  | 0.06  | 34.73 | –     | 97.84  | –"–                                   |
| 551-2/1     | 23.48 | 41.75 | 0.12  | 0.00  | 35.22 | –     | 100.57 | –"–                                   |
| 551-2/8     | 22.09 | 40.25 | 0.19  | 0.00  | 34.58 | –     | 97.11  | –"–                                   |
| 551-1/7     | 33.14 | 31.41 | 0.04  | 0.00  | 34.32 | –     | 98.91  | халькопирит                           |
| 551/29      | 33.75 | 30.67 | 0.39  | 0.51  | 34.87 | 0.05  | 100.24 | то же                                 |
| 551/31      | 33.00 | 34.28 | 0.00  | 0.17  | 30.28 | 0.00  | 97.73  | –"–                                   |
| 551/32      | 2.43  | 39.67 | 0.40  | 14.72 | 32.02 | 11.14 | 100.38 | аргентопентландит                     |
| 554/2*      | 1.48  | 33.34 | 0.09  | 21.06 | 31.68 | 12.36 | 100.01 | то же                                 |
| 554/3*      | 0.89  | 36.82 | 0.09  | 17.89 | 31.72 | 13.12 | 100.53 | –"–                                   |
| 552/1*      | 0.34  | 25.36 | 14.05 | 26.03 | 33.15 | 0.00  | 100.93 | Со-пентландит                         |
| 554/1*      | 0.48  | 25.27 | 17.35 | 24.28 | 33.25 | 0.00  | 100.63 | то же                                 |
| 551-1/26    | 0.22  | 12.19 | 19.01 | 26.96 | 41.28 | –     | 99.66  | Co(Ni,Fe) <sub>2</sub> S <sub>4</sub> |
| 551-1/28    | 0.45  | 11.91 | 18.52 | 25.77 | 41.47 | –     | 98.12  | то же                                 |
| 551-1/38    | 1.27  | 11.38 | 18.17 | 26.60 | 41.09 | –     | 98.51  | –"–                                   |
| 551-2/7     | 1.27  | 13.13 | 18.80 | 25.14 | 41.07 | –     | 99.41  | –"–                                   |
| 551-2/21    | 0.92  | 12.22 | 19.03 | 25.03 | 40.94 | –     | 98.14  | –"–                                   |
| 551/45      | 0.23  | 13.54 | 20.39 | 23.52 | 42.19 | 0.12  | 99.99  | –"–                                   |

В химическом составе зерен пирита FeS<sub>2</sub>, халькопирита CuFeS<sub>2</sub> и кубанита CuFe<sub>2</sub>S<sub>3</sub> (табл. 4) примесные компоненты в количествах, превышающих погрешность определения метода, не зафиксированы, а содержания отношений основных компонентов отвечают формулам этих минералов. Отличающийся состав имеют редкие мелкие (10–20 мкм) кристаллики пирита 2, образующего вроски в кубаните. Пирит этой генерации никельсодержащий. Ильменит FeTiO<sub>3</sub> характеризуется достаточно чистым составом. Содержание гейкелитового компонента составляет 7–9%, пиррофанитового 2–3% и гематитового – не более 2%. Выделения Co-Ni-Fe сульфида имеют пористо-трещиноватое строение, аналогичное **Су-виолариту из метасоматитов** и, по-видимому, являются полной псевдоморфозой по более раннему сульфиду. Химический состав наиболее монолитных участков **Co-Ni-Fe сульфида хорошо пересчитывается на формулу Co(Ni,Fe)<sub>2</sub>S<sub>4</sub>**, т.е. отвечает железистому зигениту (Ni,Co)<sub>2</sub>S<sub>4</sub> (см. табл. 4).

Выделения акцессорных минералов – самородный висмут, гессит, теллуриды и селениды серебра и висмута имеют размеры, как правило, не более 5–10 мкм и угловатую форму. Они часто образуют сростания друг с другом и локализируются вместе с сидеритом, нарастая на поверхность выделений халькопирита, кубанита, а также выполняют трещины и полости в пирите, виоларите. Единственное обнаруженное нами пластинчатое зерно молибдена является включением в ильмените.

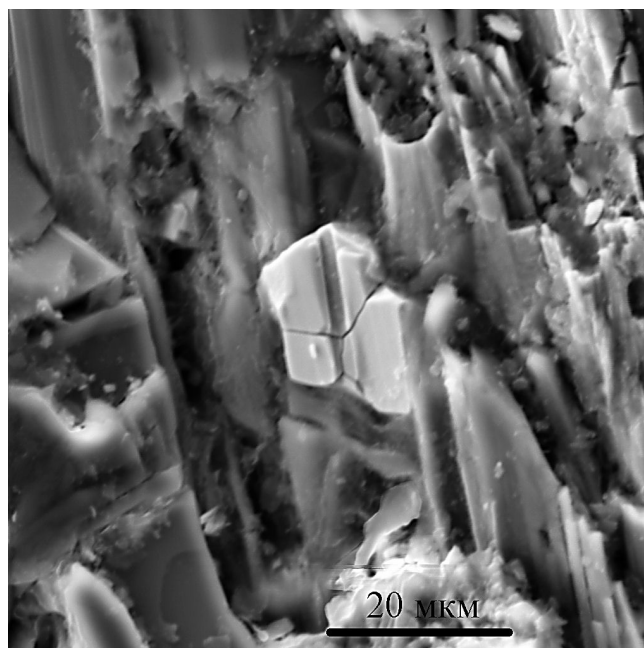
В химическом составе акцессорных минералов фиксируется значительное число примесных компонентов – **Fe, Cu, Ag, Te, Co, Ni** в количествах, превышающих 1 мас. %. Отчетливо видно, что примесный состав частиц этих минералов определяется минералом-хозяином. Данная особенность может быть связана как с твердофазной диффузией элементов минерала-хозяина в частицы, так и с возбуждением вещества этого минерала под воздействием пучка электронов на частицы мелкого размера. Пересчет микроанализов акцессорных минералов без учета примесных компонентов указывает на соотношение основных компонентов в них, близкие к стехиометрическим, и дает основание уверенно определить (в порядке уменьшения встречаемости) – гессит Ag<sub>2</sub>Te, самородный висмут, теллуrowисмутит Vi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>, висмутин BiS, пильзенит Vi<sub>4</sub>Te<sub>3</sub>, цумоит ViTe, **науманит Ag<sub>2</sub>Se**, молибденит MoS<sub>2</sub>.

Зерна некоторых акцессорных минералов достигают размеров десятков микрон, и в таких случаях их химический состав определяется достаточно уверенно. Среди них зафиксированы самородное золото, уранинит UO<sub>2</sub>, никельсодержащий пирротин, кобальтсодержащий пентландит, аргентопентландит Ag(Fe,Ni)<sub>8</sub>S<sub>9</sub> и апатит. Частицы самородного золота располагаются преимущественно в сидерит-хлоритовой массе, цементирующей агрегаты амфибола. Для них характерна низкая проба 483–656 (3 определения) и отсутствие других примесей, кроме серебра (34.1–50.8 мас. %).

В аналогичной самородному золоту позиции локализуются кристаллики уранинита. На более позднее отложение уранинита относительно антофиллита указывает скульптура поверхности его зерен, на которой видны отпечатки призматических граней амфибола (рис. 1). В составе изученных нами трех зерен уранинита кроме урана зафиксированы (мас. %): 2.8–3.7 ThO<sub>2</sub>, 1.2–1.6 FeO, 3.6–3.8 PbO. Выделения никельсодержащего пирротина (7.5 мас. % Ni), кобальтсодержащего пентландита (14–17 мас. % Co) и аргентопентландита имеют неправильные или угловатые формы и, как правило, локализуются в сульфидах меди – халькопирите и кубаните. Возможно, с этим связано постоянное присутствие в составе этих сульфидов примеси меди (см. табл. 4). Апатит образует кристаллики размером не более 10 мкм среди цементирующей сульфиды массы нерудных минералов, а также находится в виде сростков с хлоритом, заключенных в халькопирите. Химический состав, определенный в одном из зерен апатита, указывает на его принадлежность к хлорапатиту (обр. 551/34, мас. %): 54.06 CaO, 0.09 SrO, 0.14 FeO, 0.94 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 40.54 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 2.68 Cl, 1.84 F, 0.31 SO<sub>3</sub>.

Таким образом, подтверждается различный геохимический спектр рудных элементов в сульфидных телах и во вмещающих их антофиллитовых метасоматитах. В метасоматитах этот спектр ограничен Fe, Cu, Ni и Co и в целом отвечает таковому в реликтовых частях серпентинита, в то время как в рудах он значительно более широк – Fe, Cu, Ni, Co, Ti, P, Zn, Au, Ag, Bi, U, Mo, Te, Se и отвечает элементам гипербазитового, базитового и гранитоидного профилей. Зафиксированы также признаки более позднего отложения сульфидных минералов и уранинита по отношению к антофиллиту.

*Исследования осуществлялись при поддержке РФФИ (грант № 12-05-00734-а) на базе коллекции образцов и проб, а также фондовых материалов, любезно предоставленных авторам Ю.А. Волченко. Авторы благодарны также С.И. Нестеровой, оказавшей активное содействие при подготовке статьи.*



**Рис. 1.** Кристалл уранинита среди агрегата антофиллита. Хорошо видны отпечатки призматических граней амфибола на его поверхности. Электронномикроскопический снимок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варлаков А.С. Рифтогенные офиолиты, метаморфизм гипербазитов и строение Вишневогорско-Ильменогорского комплекса. Миасс: ИГЗ, 1995. 66 с.
2. Левин В.Я., Золоев К.К., Сергеев Н.С., Самков В.С. Допалеозойские ультрабазиты и связанное с ними оруденение Сысертско-Ильменогорского комплекса // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения: мат-лы III междунар. конф. Т. 2. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2009. С. 13–16.
3. Месторождения антофиллит-асбеста СССР / под ред. И.Ф. Романовича. М.: Недра, 1976. 247 с.
4. Мурзин В.В., Волченко Ю.А., Вилисов В.А. Типоморфизм минеральных ассоциаций кобальтово-медных руд Карасьевогорского месторождения // Ежегодник-1990 / ИГГ УрО АН СССР. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. С. 111–113.