



ЗОЛОТОНОСНОСТЬ ЛОКАЛЬНЫХ УЧАСТКОВ МЕТАСОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ РИОЛИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧУДНОЕ (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

С. К. Кузнецов, С. А. Онищенко

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

Золоторудное месторождение Чудное, расположенное в Малдинской рудной зоне на Приполярном Урале, представляет большой интерес в отношении условий формирования. Золото в основном сосредоточено в фукситовых прожилках в риолитах, где ассоциирует с минералами палладия и редких земель. Авторами впервые проведено изучение характерных для месторождения локальных участков осветления риолитов, не содержащих фуксита, но также являющихся золотоносными. Установлено, что осветление риолитов обусловлено выносом железа. Наряду с золотом в участках осветления в небольшом количестве присутствуют сульфиды, минералы урана и редких земель. По составу самородное золото в осветленных риолитах принципиально не отличается от золота в фукситовых прожилках. В качестве элементов-примесей в нем установлены серебро, медь и палладий. Отложение золота в фукситовых прожилках и участках осветления риолитов было обусловлено, вероятнее всего, проявлением единого гидротермального процесса в позднепалеозойское время. Присутствие палладия в составе самородного золота, как и хрома в составе фуксита, указывает на важную роль глубинных источников вещества.

Ключевые слова: месторождение Чудное, золото, браннерит, коффинит, фуксит, осветление риолитов.

GOLD-BEARING CAPACITY OF LOCAL AREAS OF METASOMATICALLY ALTERED RHYOLITES (THE CHUDNOE DEPOSIT IN THE SUBPOLAR URALS)

S. K. Kuznetsov, S. A. Onishchenko

Institute of Geology, Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The Chudnoe gold-ore deposit, located in the Maldin ore zone of the Subpolar Urals, is of great interest in terms of formation conditions. Gold is mainly concentrated in fuchsitic veinlets of rhyolites, in association with palladium and rare earth minerals. For the first time, the authors conducted a study of the local areas of rhyolite bleaching, characteristic of the deposit, which do not contain fuchsite, but are also gold-bearing. It was found that rhyolite bleaching is a result of Fe evacuation. Along with gold, there are small amounts of sulfides, uranium and rare earth minerals in the bleaching areas. In composition, native gold in bleached rhyolites is not fundamentally different from this in fuchsitic veinlets. Silver, copper, and palladium are established as elements-impurities in it. The deposition of gold in fuchsitic veinlets and areas of rhyolite bleaching was, most likely, due to the manifestation of a single hydrothermal process in the Late Paleozoic. The presence of palladium in native gold, as well as chromium in fuchsite, indicates the important role of deep sources of matter.

Keywords: the Chudnoe deposit, gold, brannerite, coffinite, fuchsite, rhyolite bleaching.

Введение

Золоторудное месторождение Чудное находится на западном склоне Приполярного Урала на хребте Малдынырд в бассейне верхнего течения р. Кожим на левобережье р. Балбанью. Сведения о геологическом строении, минеральном составе руд и условиях формирования месторождения приводятся в ряде работ [1, 4–7, 9, 11 и др.]. Установлено, что золото находится в фукситовых прожилках в риолитах. В ассоциации с золотом находятся минералы палладия и редких земель при полном отсутствии сульфидов. Необычный состав рудной минерализации, ее локализация в породах кислого состава обуславливают дискуссионность многих генетических вопросов.

С целью уточнения закономерностей развития золоторудной минерализации нами проведено изучение характерных для месторождения локальных участков метасоматического изменения риолитов, имеющих области белых пятен.

Пробы риолитов отбирались парами, каждая проба осветленных (белых) риолитов сопровождалась пробой окружающих их серых риолитов, масса проб 0.2–0.5 кг. Состав пород определялся методами петрографии и химического анализа, золото определялось атомно-абсорбционным методом в лаборатории ОАО «Полярноуралгеология». Строение и состав минера-

лов исследовались в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН на электронном микроскопе Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионным спектрометром X-Max 50 Oxford Instruments (оператор С. С. Шевчук).

Общие сведения о геологическом строении месторождения

Месторождение Чудное приурочено к осевой зоне Малдинской антиклинали, ориентированной в северо-восточном направлении. Ядро антиклинали сложено рифей-вендскими вулканогенными породами эффузивной и субвулканической фаций кислого и основного состава, а крылья — нижнепалеозойскими терригенными и осадочными отложениями обеизской и саледейской свит нижнего-среднего ордовика. Все породы метаморфизованы в условиях фации зеленых сланцев и подверглись региональному рассланцеванию. В зоне контакта докембрийских и ордовикских пород отмечаются линзы хлоритоид-пирофиллитовых сланцев, которые рассматриваются рядом геологов как реликты метаморфизованных кор выветривания кембрийского возраста [6 и др.]. Наиболее крупные разрывные нарушения, как правило сопряженные с зонами интенсивного рассланцевания пород, имеют северо-восточное простирание. Широко распространены гидротермальные кварцевые жилы, многие из которых хрусталено-



сны. В 1.5–2 км от месторождения Чудное находится золоторудное проявление Нестеровское, локализованное в алевросланцах, песчаниках и гравелитах нижнего ордовика. В нескольких километрах к юго-западу известны уран-серебряное проявление Ясное и уран-медное проявление Народинское.

Площадь месторождения Чудное сложена породами верхнего рифея-венда, представленными в основном риолитами и базальтоидами. Месторождение находится в зоне крупного Малдинского разлома, отдельные составляющие которого пересекают толщу риолитов, а также прослеживаются по контакту риолитов и базальтоидов. Разрывные нарушения имеют преобладающее северо-западное падение, совпадающее со сланцеватостью пород. Вдоль разрывных нарушений риолиты преобразованы в кварц-серицитовые и серицитовые метасоматиты, на контакте с базальтоидами развиты породы альбит-кварцевого, альбит-кварц-серицитового и хлорит-серицитового состава.

Золотое оруденение приурочено к риолитам. Окраска риолитов серая, светло-, лилово- и зеленовато-серая, нередко полосчатая. Текстура пород массивная (слабосланцеватая), флюидальная, брекчиевидная. Риолиты сложены кварцем, альбитом и калиевым полевым шпатом, в переменном количестве присутствует серицит, образующий струйчатые скопления. Вкрапленники размером 1–3 мм составляют 3–5 % объема породы и представлены калиевым полевым шпатом, реже кварцем. Кварц-полевошпатовая основная масса имеет микропйкилобластовую структуру. Характерна мелкая (0.01 мм) вкрапленность гематита, придающая породам темную окраску. В непосредственной близости от контакта с базальтоидами в риолитах встречается магнетит. Акцессорные минералы представлены ильменитом, титанитом (сфеном), алланитом (ортитом), апатитом и цирконом, реже отмечаются монацит и ксенотим. Присутствуют прожилки фукситового, альбит-кварцевого, гематит-алланит-кварцевого и гематитового состава, а также кварцевые жилы мощностью до 1.5 м.

Слабоизмененные риолиты характеризуются относительно стабильными содержаниями SiO_2 (73–79 мас. %) и Al_2O_3 (10–13 мас. %) при значительных вариациях в содержании щелочей, при этом K_2O чаще всего преобладает над Na_2O . Второстепенным компонентом риолитов является железо, содержание Fe_2O_3 в среднем составляет 1.8 мас. %, FeO — около 1 мас. %.

В пределах месторождения выделено несколько золоторудных зон. Главные рудные зоны (Славная и Лидер) протягиваются в центральной части месторождения, сменяя друг друга, на расстояние 860 м. В лежачем боку этих зон расположена маломощная зона Глубокая. Вдоль контакта риолитов с породами основного состава вытянута небольшая по размерам, но содержащая богатые руды зона Людная. Рудные зоны имеют крутое (50–70°) северо-западное падение.

Золотоносными являются фукситовые прожилки, мощность которых колеблется от долей миллиметра до 1–1.5 см, контакты с вмещающими риолитами резкие. Вдоль прожилков риолиты часто осветлены в зоне шириной 3–10 мм, что связано с отсутствием пигментирующего гематита. Фуксит представлен тонкоочувствительными агрегатами ярко-зеленого, изумрудно-зеленого и темно-зеленого цвета. Вместе с фукситом в прожилках присут-

ствуют самородное золото, алланит, кварц, альбит, отмечаются кальцит, титанит, апатит, монацит, цинкохромит, кайнозит, ксенотим, черновит, минералы палладия. Гематит для фукситовых прожилков не характерен.

Самородное золото в рудных зонах Славная и Лидер представлено главным образом сростаниями золота I средней пробыности и высокопробного золота II. Доминирует золото I, содержащее 84–88 мас. % Au, 8.5–12 мас. % Ag, 1.3–5.0 мас. % Cu, 0.7–1.1 мас. % Pd и до 1.7 мас. % Hg. При содержании Cu до 2 мас. % золото I гомогенно, при более высоком содержании меди в матрице минерала обычно наблюдаются многочисленные пластинки медистого золота, наличие которых обусловлено распадом твердого раствора. Матрица золота I содержит 10–12 мас. % Ag, 1.5–2 мас. % Cu, 0.6–1.7 мас. % Hg и 0.3–0.8 мас. % Pd. Пластинки содержат Cu (10–12 мас. %), примесь Pd (0.7–1.2 мас. %) и немного Ag (около 1 мас. %). Пластинки и матрица имеют практически одинаковое содержание Au (84–87 мас. %). Состав пластинок примерно соответствует формуле Au_2Cu . Золото II характеризуется высокой пробой (940–980), постоянно присутствует Pd (1.5–1.9 мас. %), содержание Cu — 0.3–0.9 мас. %, Ag — до 0.7 мас. %. В золоте II отмечены мелкие включения медистого золота с содержанием Cu до 17.6 мас. %.

Самородное золото рудной зоны Людная отличается однородным строением и низкой пробой (680–710). Основной примесью является Ag (27.6–30.5 мас. %), других элементов очень мало: Pd — до 0.4, Cu — до 0.3, Hg — до 0.4 мас. %.

Минералы палладия в виде выделений размером 3–15 мкм обычно находятся в сростании с золотом, представлены минералами группы мертиита-изомертиита, стибнопалладином, атенеитом, самородным палладием.

Результаты исследований и их обсуждение

Участки локального метасоматического изменения риолитов — пятна осветления — выявлены в двух основных рудных зонах месторождения (Славная и Лидер). Область их распространения примерно соответствует ареалу фукситовых прожилков. Однако, несмотря на пространственную близость пятен осветления и фукситовых прожилков, непосредственные контакты между ними отмечаются крайне редко.

Пятна осветления хорошо выделяются на фоне серых (темно-серых, лилово-серых) флюидальных или массивных риолитов, но не заметны в полосах светлых риолитов. Форма пятен осветления линзовидная, прерывисто-полосчатая, размеры, как правило, 3–10 см, иногда до 1 м по удлинению. Выражающиеся в окраске границы с окружающими серыми риолитами обычно довольно резкие. Распространение и форма пятен осветления в явном виде не контролируются трещинами и прожилками. Риолиты в пятнах осветления не отличаются от окружающих риолитов ни по структуре, ни по текстуре, при этом риолиты с пятнами осветления обычно слабо рассланцованы. Об эпигенетическом характере осветления риолитов свидетельствуют только пересечения границами пятен текстурного рисунка пород, например флюидальности (рис. 1).

По данным микроскопических наблюдений, риолиты в участках осветления отличаются от окружа-

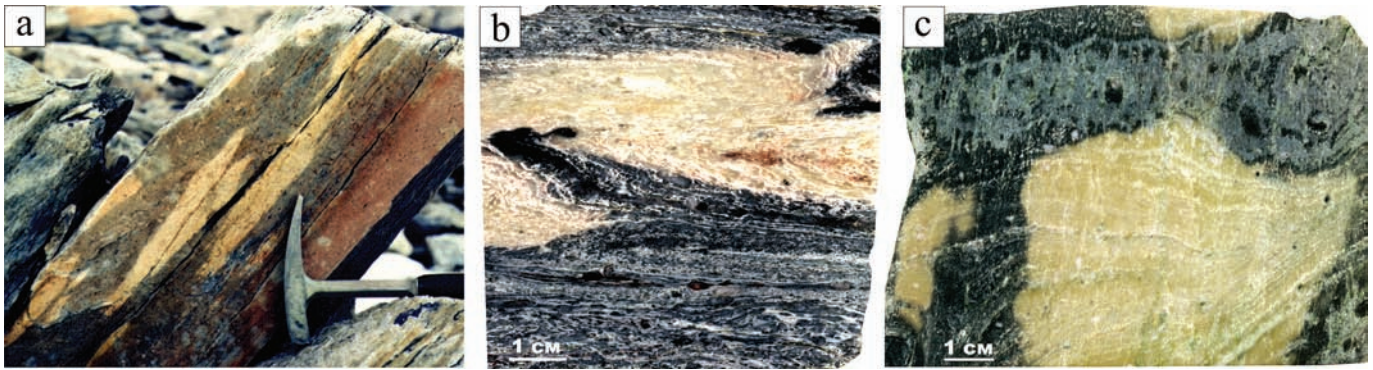


Рис. 1. Пятна осветления в риолитах ориентированы субсогласно с флюиальностью и сланцеватостью (а), наследуют флюиальность (b) и пересекают ее (c)

Fig. 1. The spots of rhyolite bleaching are oriented sub-concordantly in respect to fluidity and schistosity (a), inherit the fluidity (b) and intersect it (c)

ющих серых риолитов главным образом отсутствием тонкорассеянного гематита, при этом в пятнах осветления присутствуют такие акцессорные минералы, как титанит, алланит, рутил, циркон, монацит и апатит.

По химическому составу осветленные (белые) риолиты характеризуются прежде всего пониженным содержанием Fe_2O_3 (табл. 1), что согласуется с практически полным отсутствием в них гематита. В серых риолитах Fe_2O_3 преобладает над FeO , тогда как в осветленных различия в содержании окисного и закисного железа не столь существенны. По содержанию других компонентов осветленные и серые риолиты близки между собой. Отмечающиеся различия в содержании щелочей имеют разнонаправленный характер (рис. 2). Важной особенностью осветленных риолитов является повышенное содержание золота, достигающее 5.6 г/т.

Самородное золото в осветленных риолитах находится в матрице породы в сростании с породообразующими минералами, несколько реже отмечаются совместные выделения с сульфидами, редкоземельными и урановыми минералами, иногда с титанитом. Содержание сульфидов, редкоземельных и урановых минералов в пятнах осветления очень низкое, измеряемое граммами или десятками граммов на тонну. Золото распределено неравномерно, слабо концентрируется вдоль грани-

цы с серыми риолитами (рис. 3). Размер выделений золота 3–10 мкм, иногда до 20–30 мкм, форма выделений изометричная, удлиненная и неправильная. Для золота характерна фазовая неоднородность, а также значительные вариации в наборе ассоциирующих минералов даже в пределах одного образца (табл. 2, рис. 4–6).

Преобладающей фазой является **золото I**, содержащее 80–85 мас. % Au и 11.8–20.3 мас. % Ag с небольшой примесью Pd (до 1.3 мас. %) и Cu (до 1.8 мас. %). Золото I обычно имеет однородное строение.

Высокопробное **золото II** наблюдается в сростании с золотом I, содержит около 95 мас. % Au, примеси Ag (до 1.6 мас. %), Cu (до 0.7 мас. %) и Pd (до 3 мас. %). Золото II отмечено также в виде каймы вокруг серебряного золота, содержащего 31.8 мас. % Ag.

В сростании с золотом I, а также в виде самостоятельных выделений присутствует **медистое золото** (Au-Cu) решетчатого строения (рис. 4), матрица которого содержит 82–85 мас. % Au, 12–15 мас. % Cu, 0.4–1.3 мас. % Ag и 0.8–2.5 мас. % Pd, в пластинках распада содержание Cu достигает 21.3 мас. %. Наиболее высокие содержания меди (23.6 мас. %) зафиксированы в мелких изолированных выделениях размером 3 мкм. Состав минерала $Au_{1.00}Cu_{0.97}Pd_{0.03}$ соответствует стехиометричной фазе **AuCu**, видимо **тетраурикуприду**.

Таблица 1. Химический состав белых (осветленных) и серых риолитов (мас. %)

Table 1. Chemical composition of white (bleached) and gray rhyolites (wt. %)

| Проба Sample | Au, г/т | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | ппп poi | Сумма Total |
|-----------------|-------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|------------|----------------|
| 41 Б | 5.60 | 77.32 | 0.17 | 11.63 | 0.62 | 0.50 | 0.02 | 0.06 | 0.19 | 1.99 | 6.40 | 0.02 | 0.21 | 99.13 |
| 42 С | 0.15 | 75.08 | 0.17 | 11.75 | 2.40 | 0.72 | 0.02 | 0.09 | 0.18 | 1.72 | 6.60 | 0.02 | 0.41 | 99.16 |
| 43 Б | 1.04 | 76.42 | 0.17 | 12.14 | 1.00 | 0.65 | 0.02 | 0.10 | 0.16 | 1.85 | 6.60 | 0.02 | 0.27 | 99.40 |
| 44 С | 0.02 | 73.56 | 0.19 | 12.64 | 2.55 | 0.65 | 0.04 | 0.16 | 0.37 | 1.45 | 6.60 | 0.05 | 0.74 | 99.00 |
| 62 Б | 0.20 | 75.44 | 0.19 | 13.66 | 0.50 | 1.01 | 0.02 | 0.04 | 0.21 | 4.90 | 3.60 | 0.03 | 0.14 | 99.74 |
| 63 С | 0.01 | 73.06 | 0.19 | 14.29 | 1.49 | 0.79 | 0.02 | 0.06 | 0.23 | 4.80 | 3.80 | 0.04 | 0.38 | 99.15 |
| 64 Б | 0.35 | 74.94 | 0.19 | 13.91 | 0.30 | 0.58 | 0.02 | 0.01 | 0.22 | 5.70 | 3.10 | 0.02 | 0.05 | 99.04 |
| 65 С | 0.00 | 75.34 | 0.19 | 13.15 | 1.86 | 0.65 | 0.02 | 0.05 | 0.23 | 5.00 | 3.20 | 0.02 | 0.21 | 99.92 |
| 21 Б | 0.63 | 77.76 | 0.17 | 12.17 | 0.13 | 0.60 | 0.01 | 0.04 | 0.15 | 2.78 | 5.70 | 0.02 | 0.18 | 99.71 |
| 22 С | 0.01 | 75.36 | 0.18 | 12.68 | 1.78 | 0.43 | 0.01 | 0.06 | 0.14 | 2.90 | 5.30 | 0.02 | 0.27 | 99.13 |
| 71 Б | 0.09 | 73.42 | 0.19 | 14.20 | 0.21 | 0.86 | 0.01 | 0.06 | 0.17 | 4.50 | 5.70 | 0.03 | 0.15 | 99.53 |
| 72 С | 0.02 | 72.00 | 0.19 | 14.54 | 2.41 | 0.29 | 0.02 | 0.05 | 0.16 | 5.60 | 4.70 | 0.02 | 0.17 | 100.15 |
| 4-2 Б | 0.29 | 78.92 | 0.10 | 10.80 | 0.37 | 1.22 | 0.01 | 0.10 | 0.18 | 3.67 | 3.40 | 0.02 | 0.6 | 99.39 |
| 4-1 С | 0.02 | 75.67 | 0.12 | 12.11 | 1.59 | 1.08 | 0.01 | 0.12 | 0.20 | 4.41 | 3.65 | 0.02 | 0.4 | 99.38 |

Примечания. В каждой паре анализов буква в номере пробы отражает цвет риолита: Б — белый, С — серый. Содержание CO₂ в пробах не превышает 0.22 мас. %, содержание F в пробах не превышает 0.016 мас. %.

Notes. In each pair of analyses a letter in number of probe reflects color of rhyolite: Б — white, С — grey. CO₂ content in the samples do not exceed 0.22 wt.%, F content in the samples do not reach 0.016 wt. %.

Пирит и халькопирит встречаются значительно реже золота, образуют мелкие выделения размером 5–25 мкм в сростании с урановыми минералами и золотом. Пирит обычно содержит небольшую примесь As (около 1.5 мас. %), но в отдельных зернах содержание As составляет 8.3–10.6 мас. %. Состав халькопирита также непостоянен, одна его разновидность характеризуется незначительным содержанием примесей (As до 0.3, Sb до 0.5 мас. %), а другая — высоким содержанием селена (14.3 мас. %) и наличием серебра (0.9–1.2 мас. %).

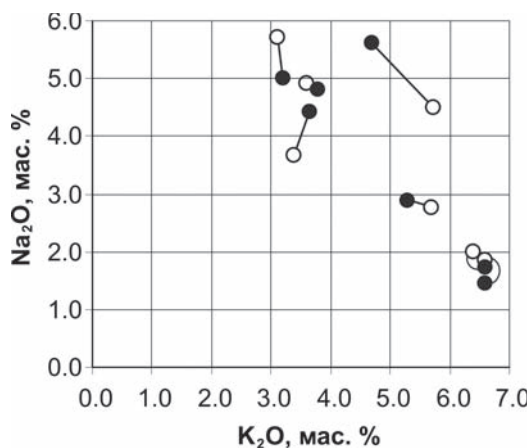


Рис. 2. Содержание щелочей в серых (черные кружки) и осветленных (белые кружки) риолитах

Fig. 2. Content of alkalis in gray (black spots) and bleached (white spots) rhyolites

Кайсикхит-(Y), редкоземельный карбосиликат, принадлежит к тому же гомологическому ряду, что и ранее обнаруженный в фукситовых прожилках кайнозит, отличаясь от него более высоким содержанием CO_2 и H_2O . Образует выделения неправильной формы размером 5–20 мкм. Состав кайсикхита-(Y) (мас. %, обр. 101-22.2): SiO_2 — 29.63, CaO — 7.40, FeO — 0.84, Y_2O_3 — 19.15, Ce_2O_3 — 3.59, Pr_2O_3 — 1.09, Nd_2O_3 — 5.25, Sm_2O_3 — 3.63, Eu_2O_3 — 1.15, Gd_2O_3 — 3.67, Dy_2O_3 — 3.38, Er_2O_3 — 1.52, Yb_2O_3 — 1.06, сумма — 81.36.

Редкоземельный карбонат образует выделения неправильной формы размером 10–20 мкм. Отмечен сов-

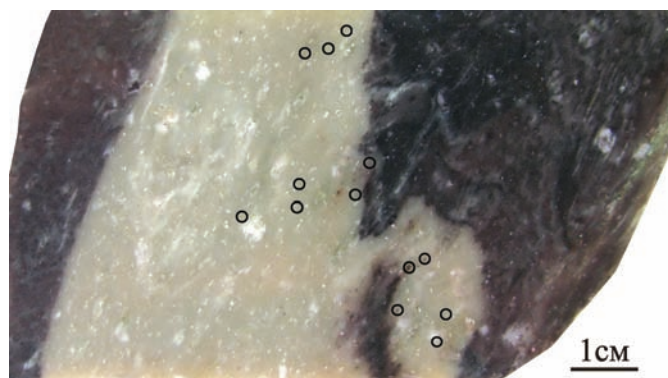


Рис. 3. Распределение самородного золота (выделено кружками) в осветленном риолите. Обр. 33100 (скв. 33, глубина 100 м)

Fig. 3. Distribution of native gold (highlighted by circles) in a bleached rhyolite. Sample 33100 (well 33, depth 100 m)

Таблица 2. Состав золота в пятнах осветления риолитов (мас. %)

Table 2. Gold composition in spots of rhyolite bleaching (wt. %)

| Образец Sample | Тип золота Gold type | Au | Ag | Cu | Pd | Hg | Сумма Total | Ассоциирующие с золотом минералы Gold associated minerals |
|-------------------|-------------------------|-------|-------|-------|------|-------|----------------|--|
| 38105 | Au I | 83.99 | 15.72 | 0.0 | 0.78 | 0.0 | 100.49 | TR Cb, Cay |
| | Au I | 82.97 | 15.84 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 98.81 | |
| | Au I | 83.76 | 16.37 | 0.0 | 0.94 | 0.0 | 101.07 | |
| | Au I | 84.61 | 15.67 | 0.0 | 0.95 | 0.0 | 101.23 | |
| | Au I | 84.44 | 15.24 | 0.0 | 0.91 | 0.0 | 100.59 | |
| | Au I | 84.78 | 14.99 | 0.63 | 0.0 | 0.0 | 100.40 | Cpy, Cof, U-Ti-Si |
| | Au I | 83.79 | 14.85 | 0.52 | 0.0 | 0.0 | 99.16 | |
| | Au I | 85.44 | 15.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 101.14 | Cof, Ttn, Py |
| | Au I | 83.8 | 14.96 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 98.76 | |
| | Au I | 79.63 | 20.31 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 99.94 | |
| Au I | 83.19 | 15.3 | 0.0 | 0.73 | 0.0 | 99.22 | | |
| 41 Б | Au I | 84.9 | 11.8 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 98.0 | Qz, Kfs, Ab, Ser |
| | Au I | 84.4 | 12.4 | 1.1 | 1.3 | 0.0 | 99.2 | |
| | Au I | 86.2 | 12.7 | 1.6 | 0.0 | 0.0 | 100.5 | |
| | Au II | 94.9 | 0.0 | 0.0 | 3.1 | 0.0 | 98.0 | |
| 72 Б | Au I | 81.1 | 16.3 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 98.1 | Qz, Kfs, Ab, Ser |
| | Au I | 83.7 | 18.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 101.9 | |
| 33100 | Au I | 84.67 | 13.59 | 1.83 | 0.67 | 0.0 | 100.76 | Qz, Kfs, Ab, Ser |
| | Au-Cu м | 82.61 | 1.26 | 12.01 | 2.45 | 0.0 | 98.33 | |
| | Au-Cu м | 84.85 | 0.44 | 12.27 | 2.51 | 0.0 | 100.07 | |
| | Au-Cu м | 82.18 | 0.87 | 15.39 | 0.79 | 0.0 | 99.23 | |
| | Au-Cu п | 77.99 | 0.0 | 21.26 | 0.0 | 0.0 | 99.25 | |
| | Au-Cu п | 82.24 | 0.0 | 18.38 | 1.78 | 0.0 | 102.40 | |
| | AuCu | 75.29 | 0.0 | 23.62 | 1.01 | 0.0 | 99.92 | Py, Cpy, Bran, Y-Nb-Ti |
| | Au I | 83.95 | 13.53 | 1.23 | 0.0 | 0.0 | 98.71 | |
| | Au II | 95.36 | 1.56 | 0.73 | 0.73 | 0.0 | 98.38 | |

Примечания. Au I — золото I, Au II — золото II, Au-Cu — медистое золото (м — матрица, п — пластинка), AuCu — тетрааурикуприд, TR Cb — редкоземельный карбонат, Cay — кайсикхит-(Y), Py — пирит, Cpy — халькопирит, Bran — браннерит, Cof — коффинит, U-Ti-Si — «титаносиликат» урана, Ttn — титанит, Y-Nb-Ti оксиды, Ab — альбит, Kfs — калиевый полевой шпат, Ser — серицит, Qz — кварц.

Notes. Au I — gold I, Au II — gold II, Au-Cu — copper gold (м — matrix, п — plate), AuCu — tetraauricupride, TR Cb — rare earth carbonate, Cay — caysikhite-(Y), Py — pyrite, Cpy — chalcopyrite, Bran — brannerite, Cof — coffinite, U-Ti-Si — uranium «titanosilicate», Ttn — titanite, Y-Nb-Ti oxides, Ab — albite, Kfs — potassium feldspar, Ser — sericite, Qz — quartz.

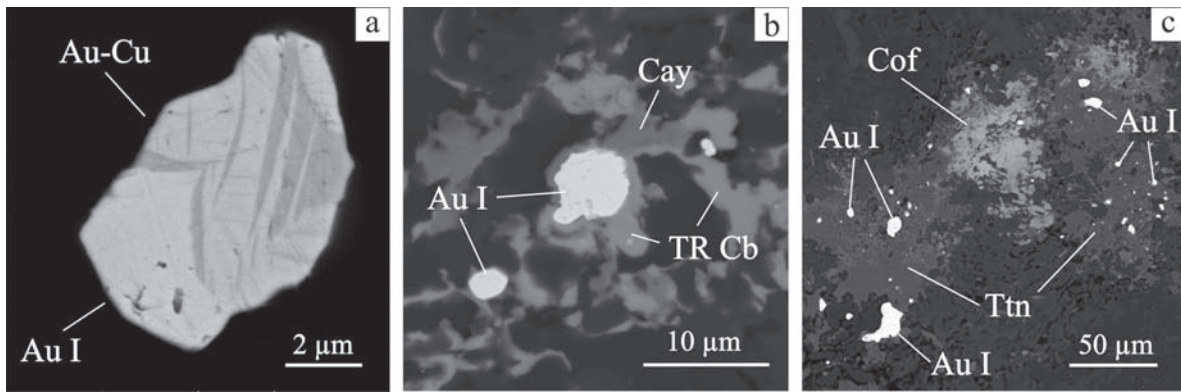


Рис. 4. Золото в пятнах осветления риолитов: а — сростание золота I однородного строения и медистого золота решетчатого строения; б — золото I в сростании с редкоземельным карбонатом (TR Cb) и кайсикхитом — (Y) (Cay); с — многочисленные выделения золота I в ассоциации с титанитом (Ttn) и коффинитом (Cof). Изображение в отраженных электронах: а — обр. 33100; б, с — обр. 38105

Fig. 4. Gold in spots of rhyolite bleaching: a — intergrowth of gold I of the homogeneous structure with cupreous gold of the latticed structure; b — gold I in accretion with rare-earth carbonate (TR Cb) and caysichite — (Y) (Cay); c — numerous segregations of gold I in association with titanite (Ttn) and coffinite (Cof). Image obtained with reflected electrons: a — sample 33100; b, c — sample 38105

местно с кайсикхитом в сростании с золотом (рис. 4). Состав минерала с примесью алюмосиликата калия (мас. %, обр. 38105): Al_2O_3 — 1.51, SiO_2 — 3.81, K_2O — 0.37, CaO — 7.01, La_2O_3 — 8.96, Ce_2O_3 — 22.73, Pr_2O_3 — 2.73, Nd_2O_3 — 15.81, Sm_2O_3 — 1.80, сумма — 64.73. Возможно, является кальциевым аналогом анкилита.

Браннерит, оксид урана и титана с теоретической формулой $(U, Ca, Y, Ce)(Ti, Fe)_2O_6$, образует выделения размером до 25 мкм в сростании с золотом, пиритом и халькопиритом (рис. 5). Браннерит, видимо, метамиктен и подвержен гидролизному разложению, его выделения не вполне гомогенны. При анализе минерала обычно фиксируется барий (до нескольких мас. %) с эквивалентным количеством серы, что свидетельствует о наличии мельчайших включений барита. Наиболее качественный анализ браннерита: (обр. 33100, мас. %): UO_2 — 32.87, CaO — 1.23, Y_2O_3 — 3.55, Ce_2O_3 — 1.81, Nd_2O_3 — 1.05, TiO_2 — 32.07, Nb_2O_5 — 1.30, SiO_2 — 3.79, Al_2O_3 — 0.59, SO_3 — 1.14, As_2O_3 — 0.53, сумма — 79.93.

Ранее браннерит на месторождении отмечался в ассоциации с титанитом в агрегатах фуксита в цементе золотоносных риолитовых брекчий. Состав браннерита (мас. %): SiO_2 — 1.99, TiO_2 — 34.32, Al_2O_3 — 1.81, Fe_2O_3 — 3.11, MgO — 0.24, CaO — 3.70, CeO_2 — 0.41, UO_2 — 53.09 [10].

Y-Nb-Ti-оксиды с общей формулой $(Y, U, TR, Th)(Ti, Nb)_2(O, OH)_6$ образуют самостоятельные выделения размером 10–20 мкм, а также фиксируются в сростании с браннеритом. Состав оксидов заметно варьирует, относительно выдержанным составом обладает минерал с наиболее высокими содержаниями Y и Ti, предположительно поликраз-(Y), содержащий (мас. %): Y_2O_3 — 21.45, Nd_2O_3 — 1.69, Sm_2O_3 — 1.56, Gd_2O_3 — 3.2, Dy_2O_3 — 4.91, Ho_2O_3 — 1.31, Er_2O_3 — 2.88, Yb_2O_3 — 1.98, WO_3 — 1.66, UO_2 — 4.36, TiO_2 — 44.24, Nb_2O_5 — 9.1, сумма — 98.34. Кроме того, присутствует минерал с меньшими содержаниями Y_2O_3 и TiO_2 (11.4 и 28.7 мас. % соответственно) при более высоких содержаниях UO_2 (13.5 мас. %) и Nb_2O_5 (11.8 мас. %), а также минерал, в котором уран не фиксируется, но присутствует — 3.6 мас. % ThO_2 .

Коффинит, гидросиликат урана с теоретической формулой $U(SiO_4)_{1-x}(OH)_{4x}$, образует в риолитовой матрице самостоятельные выделения размером до 0.2 мм, а также встречается в сростании с золотом, пиритом

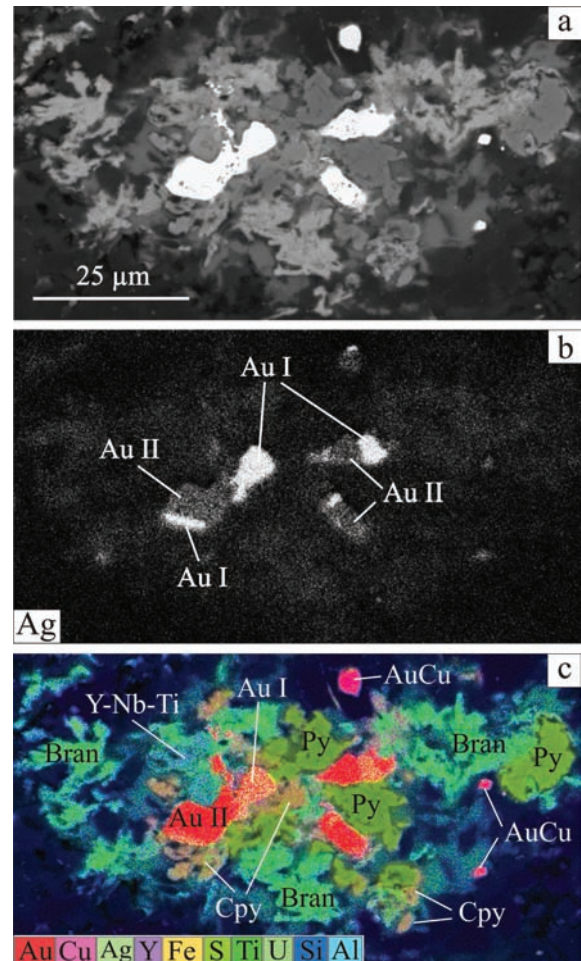


Рис. 5. Золото фазово-неоднородного строения в сростании с пиритом и халькопиритом приурочено к скоплению браннерита. Изображение в отраженных электронах (а), характеристическом излучении Ag (б) и многослойное изображение в избранных цветах основных элементов (с). Au I — золото I, Au II — золото II, AuCu — тетрааурикуприд, Py — пирит, Cpy — халькопирит, Bran — браннерит, Y-Nb-Ti-оксиды. Обр. 33100

Fig. 5. Gold of the phase-heterogeneous structure in the intergrowth with pyrite and chalcopyrite is confined to the brannerite accumulation. The images were obtained by reflected electrons (a) and characteristic radiation Ag (b); the multilayered image in the selected colors of the main elements is shown in (c): Au I — gold I, Au II — gold II, AuCu — tetraauricupride, Py — pyrite, Cpy — chalcopyrite, Bran — brannerite, Y-Nb-Ti oxides. Sample 33100

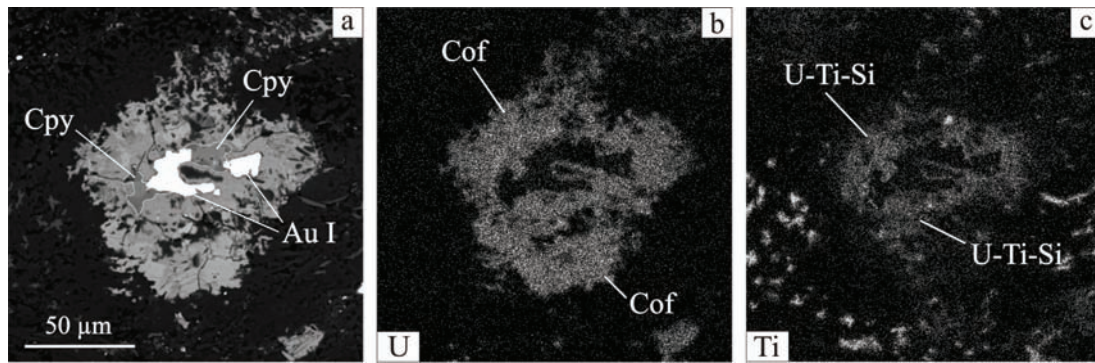


Рис. 6. Золото I в сростании с халькопиритом приурочено к уран-«титаносиликат» (U-Ti-Si)-коффинитовому (Cof) выделению зонального строения. Изображение в отраженных электронах (a) и характеристическом излучении U (b) и Ti (c). Обр. 38105

Fig. 6. The intergrowth of gold I with chalcopyrite is confined to the uranium-«titanosilicate»(U-Ti-Si)-coffinite (Cof) segregation of the zonal structure. The images were obtained by reflected electrons (a), characteristic radiation of U (b) and Ti (c). Sample 38105

и халькопиритом. Коффинит метамиктен и, видимо, подвержен гидролизному разложению, его выделения пронизаны радиальными трещинами. Форма выделений коффинита неправильная, изредка отмечаются агрегаты колломорфно-зонального строения вокруг мельчайших выделений оксида урана. Состав коффинита довольно устойчив, для него характерно постоянное наличие Y (обр. 38105, мас. %): Al_2O_3 — 1.49, SiO_2 — 18.31, P_2O_5 — 1.61, CaO — 1.17, TiO_2 — 1.05, Y_2O_3 — 9.07, Nd_2O_3 — 0.56, Sm_2O_3 — 0.92, Gd_2O_3 — 1.60, Dy_2O_3 — 2.13, Er_2O_3 — 0.82, Yb_2O_3 — 1.26, UO_2 — 46.66, сумма — 86.65. Коффинит иногда сопровождается минеральными выделениями, имеющими состав «титаносиликата» урана. Золото-сульфид-уран-«титаносиликат»-коффинитовое выделение (рис. 6) имеет ярко выраженное зональное строение, центральная часть которого, включающая золото и халькопирит, соответствует по составу «титаносиликату» урана, а коффинит составляет его периферию. Состав «титаносиликата» урана довольно выдержан и вполне соответствует индивидуальному химическому соединению, но не исключено, что является тонкой механической смесью браннерита и коффинита (обр. 38105, мас. %): Al_2O_3 — 1.23–3.14, SiO_2 — 9.54–13.65, CaO — 1.89–2.71, TiO_2 — 13.53–17.81, FeO — 0.66–0.99, Y_2O_3 — 0.60–2.50, Nb_2O_5 — до 1.99, Ce_2O_3 — 1.36–1.98, Nd_2O_3 — до 0.33, UO_2 — 42.26–43.71, сумма — 77.9–80.5.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что локальное осветление риолитов обусловлено удалением из них железа. Наличие барита в тонкой смеси с браннеритом указывает на возможность выноса железа из пятен осветления в сульфатной форме. В этом метасоматическом процессе заметного привноса или выноса других петрогенных компонентов, в том числе щелочей, не происходило. С локальным осветлением риолитов связано отложение золота и ассоциирующих с ним сульфидов, минералов урана и редких земель. По фазовому и химическому составу золото в пятнах осветления риолитов принципиально не отличается от золота, присутствующего в фукситовых прожилках. Кроме того, для фукситовых прожилков, как и осветленных риолитов, характерны минералы редких земель, также имеющих повышенное содержание урана. Минералого-геохимическое сходство золотой минерализации в фукситовых прожилках и участках осветления риолитов позволяет предполагать, что процесс рудообразования был единым. Вместе с этим обращает на себя внимание пространственная неоднородность образующихся минеральных комплек-

сов, выражающаяся прежде всего в отсутствии фуксита в участках осветления риолитов. Существенно иным был также характер миграции железа при образовании фукситовых прожилков. Хотя они часто сопровождаются узкими зонами осветления риолитов с пониженным содержанием железа, но в самих прожилках происходило его накопление; обычное содержание Fe_2O_3 в фукситовых прожилках составляет 6–8 мас. % (при незначительной доле FeO), что заметно больше, чем общее содержание железа в окружающем риолите. Вполне возможно, что в ходе единого гидротермального процесса образование пятен осветления предшествовало образованию фукситовых прожилков. При этом редкие земли и, возможно, уран заимствовались растворами из риолитов. Что касается хрома, золота и палладия, то их источники предположительно являются глубинными, производными базит-гипербазитового магматизма.

Следует отметить, что золотоносные пятна осветления наряду с полосами фукситизации пород наблюдаются не только в риолитах месторождения Чудное, но и в терригенных породах нижнего ордовика на рудопоявлении Нестеровское [2], что свидетельствует о сходстве рудообразующих процессов на них.

Рассматривая Малдинскую рудную зону в целом, можно полагать, что важнейшую роль в формировании рудной минерализации месторождения Чудное, а также уран-серебряного проявления Ясное, уран-медного проявления Народинское играли крупные разрывные нарушения северо-восточного простирания, в частности Малдинский разлом. Возраст золото-фукситовых прожилков в риолитах, согласно результатам изотопного датирования, составляет 230–250 млн лет, что соответствует поздней перми–раннему триасу [3 и др.]. Этому времени отвечает активизация эндогенных процессов, проявление метаморфизма зеленосланцевой фации, интенсивная гидротермально-метасоматическая деятельность, мобилизация и переотложение различных компонентов. С палеозойскими метасоматическими формациями связана золоторудная минерализация многих уральских месторождений [8 и др.]. Вместе с этим остается актуальной проблема металлогенического значения межформационного контакта уралид и доуралид как региональной зоны несогласия с возможным развитием кембрийских кор выветривания.

Выводы

Локальное осветление риолитов на золоторудном месторождении Чудное обусловлено метасомати-



ческим изменением пород, главным образом выносом железа. Участки осветления являются золотоносными. Содержание в них золота обычно заметно выше, чем в окружающих серых риолитах и достигает нескольких граммов на тонну. В ассоциации с золотом в небольшом количестве находятся пирит, халькопирит, минералы урана и редких земель. По составу золото в пятнах осветления риолитов принципиально не отличается от золота в фукситовых прожилках. В качестве элементно-примесей в нем присутствуют серебро, медь и палладий. Преобладает золото 800–850 пробы, в сростании с ним встречаются высокопробное (950) и медистое золото. В виде мельчайших выделений отмечена стехиометричная фаза AuCu.

Отложение золота в фукситовых прожилках и участках осветления риолитов было обусловлено, вероятнее всего, проявлением единого гидротермального процесса в позднепалеозойское время. Присутствие палладия в участках осветления риолитов, как и в фукситовых прожилках, указывает на важную роль глубинных источников вещества. При этом пространственная связь золота с фукситом не является обязательной и золотоносность риолитов не ограничивается участками развития в них фукситовых прожилков.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта УрО РАН № 18-5-5-57 «Перспективные рудные районы севера Урала, Пай-Хоя и Тимана».

Литература

1. Галанкина О. Л., Гавриленко В. В., Гайдамако И. М. Новые данные о минералогии гидротермального золото-платиноидного оруденения Приполярного Урала // Записки ВМО. 1998. № 3. С. 72–78.
2. Ефанова Л. И., Юдович Я. Э. Бонанцевые руды золота на месторождении Нестеровское / Геохимия древних толщ севера Урала. Сыктывкар: Геопринт, 2002. С. 285–292.
3. Кузнецов С. К., Андреичев В. Л. Возраст золото-фукситовой минерализации в риолитах хребта Малдынырд // Золото, платина и алмазы Республики Коми и сопредельных регионов: Материалы всерос. конф. Сыктывкар, 1998. С. 18–19.
4. Кузнецов С. К., Тарбаев М. Б., Соболева А. А. Минералогическо-геохимические особенности золото-фукситовых прожилков в риолитах хребта Малдынырд // Сыктывкарский минералогический сборник № 28. Сыктывкар, 1999. С. 146–154.
5. Моралев Г. В., Борисов А. В., Суренко С. В., Нагаева С. П., Тарбаев М. Б., Кузнецов С. К., Онищенко С. А., Ефанова Л. И., Соболева А. А. Распределение и формы нахождения редкоземельных элементов на Au-Pd-REE-рудопрооявлениях Чудное и Нестеровское (хребет Малдынырд, Приполярный Урал) // Геохимия. 2005. № 11. С. 1175–1195.
6. Озеров В. С. Метаморфогенные россыпи золота Приполярного Урала // Руды и металлы. 1996. № 4. С. 28–37.
7. Онищенко С. А., Онищенко Л. В., Ефанова Л. И., Артеева Т. А. Золоторудное месторождение Чудное на Приполярном Урале // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XVI съезда Республики Коми. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2014. Т. III. С. 172–175.
8. Сазонов В. Н., Огородников В. Н., Коротеев В. А., Поленов Ю. А. Месторождения золота Урала. Екатеринбург: УГГА, 2001. 622 с.
9. Тарбаев М. Б., Кузнецов С. К., Моралев Г. В., Соболева А. А., Лапутина И. П. Новый золото-палладиевый тип минерализации в Кожимском районе Приполярного Урала // Геол. рудных месторожд. 1996. Т. 38. № 1. С. 15–30.
10. Федюнин О. В., Плетнев П. А., Спиридонов Э. М. Браннерит UTi_2O_6 из метаморфизованных золотоносных брекчий месторождения Чудное, Приполярный Урал // Урал. летняя минер. школа – 98. Екатеринбург: УГГА, 1998. С. 165–167.
11. Шумилов И. Х., Остащенко Б. А. Минералогические особенности Au-Pd-TR-оруденения на Приполярном Урале. Сыктывкар: Геопринт, 2000. 104 с.

References

1. Galankina O. L., Gavrilenco V. V., Gaydamako I. M. *Novye dannye o mineralogii gidrotermalnogo zoloto-platinoidnogo orudeniya Pripolyarnogo Urala* (New data on mineralogy of hydrothermal gold-platinoid mineralization of the Subpolar Urals). Reports of the All-Russian Mineralogical Society, 1998, No. 3, pp. 72–78.
2. Efanova L. I., Yudovich Ya. E. *Bonantsevye rudy zolota na mestorozhdenii Nesterovskoe* (Bonanza gold ores of the Nesterovskoe deposit). Geochemistry of the ancient strata of the North of the Urals. Syktyvkar: Geoprint, 2002, pp. 285–292.
3. Kuznetsov S. K., Andreichev V. L. *Vozrast zoloto-fuksitovoi mineralizatsii v riolitah hrebta Maldynyrd* (Age of the gold-fuchs site mineralization in rhyolites of the Maldynyrd ridge). Gold, platinum, and diamonds of the Komi Republic and adjacent regions. Proceedings of the All-Russian Conference. Syktyvkar, 1998, pp. 18–19.
4. Kuznetsov S. K., Tarbaev M. B., Soboleva A. A. *Mineralogicheskieskie osobennosti zoloto-fuksitovykh prozhilkov v riolitah hrebta Maldynyrd* (Mineralogical-and-geochemical peculiarities of gold-fuchs site veinlets in rhyolites of the Maldynyrd ridge). Syktyvkar issue of articles on mineralogy 28, Syktyvkar, 1999, pp. 146–154.
5. Moralev G. V., Borisov A. V., Surenkov C. V., Nagaeva S. P., Tarbaev M. B., Kuznetsov S. K., Onishchenko S. A., Efanova L. I., Soboleva A. A. *Raspredelenie i formy nahozhdeniya redkozemel'nykh elementov na Au-Pd-REE rudoproyavleniyah Chudnoe i Nesterovskoe (hrebta Maldynyrd, Pripolyarnyi Ural)* (Distribution and forms of location of rare-earth elements in the Au-Pd-REE ore occurrences Chudnoe and Nesterovskoe (Maldynyrd ridge, the Subpolar Urals)). Geochemistry, 2005, No. 11, pp. 1175–1195.
6. Ozerov V. S. *Metamorfogennye rossypi zolota Pripolyarnogo Urala* (Metamorphogenic gold placers in the Subpolar Urals). Ores and Metals, 1996, No. 4, pp. 28–37.
7. Onishchenko S. A., Onishchenko L. V., Efanova L. I., Arteeva T. A. *Zolotorudnoe mestorozhdenie Chudnoe na Pripolyarnom Urale* (The gold-ore deposit Chudnoe in the Subpolar Urals). Geology and mineral resources of the European Northeast of Russia: Proceedings of the 16th congress of the Komi Republic, V. III, Syktyvkar: Institute of geology Komi SC UB RAS, 2014, pp. 172–175.
8. Sazonov V. N., Ogorodnikov V. N., Koroteev V. A., Polenov Yu. A. *Mestorozhdeniya zolota Urala* (Gold deposits of in the Urals). Ekaterinburg: Ural State Mining and Geological Academy, 2001, 622 p.
9. Tarbaev M. B., Kuznetsov S. K., Moralev G. V., Soboleva A. A., Laputina I. P. *Novyi zoloto-palladievyy tip mineralizatsii v Kozhimskom raione Pripolyarnogo Urala* (New gold-palladium type of mineralization in the Kozhim district of the Subpolar Urals). Geology of ore deposits, 1996, V. 38, No. 1, pp. 15–30.
10. Fedyunin O. V., Pletnev P. A., Spiridonov E. M. *Brannerit UTi_2O_6 iz metamorfizovannykh zolotonosnykh brekchii mestorozhdeniya Chudnoe, Pripolyarnyi Ural* (Brannerite UTi_2O_6 from the metamorphosed gold-bearing breccias of the Chudnoe deposit, the Subpolar Urals). Uralian summer mineralogical school-98. Ekaterinburg: Ural State Mining and Geological Academy, 1998, pp. 165–167.
11. Shumilov I. Kh., Ostashchenko B. A. *Mineralogicheskieskie osobennosti Au-Pd-TR orudeniya na Pripolyarnom Urale* (Mineralogical and technological peculiarities of Au-Pd-TR metallization in the Subpolar Urals). Syktyvkar: Geoprint, 2000, 104 p.