

**МИНЕРАЛОГИЯ И СОСТАВ, ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ
ФОРМИРОВАНИЯ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ РОГОВИК (Северо-Восток России)**

Р.Г. Кравцова, А.С. Макшаков, Л.А. Павлова

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а, Россия

Получены новые данные по минеральному и первые результаты по геохимическому составу руд золото-серебряного месторождения Роговик (Омсу́кчанский рудный район, Северо-Восток России). Изучены закономерности распределения разнотипной рудной минерализации в пространстве. Сделан вывод о том, что руды месторождения сформировались в два этапа.

С ранним вулканогенным этапом связано образование собственно эпите́рмальных золото-серебряных руд, для которых типичен бедный минеральный и компонентный состав. Основные минералы представлены низкопробным самородным золотом, электрумом, акантитом, сульфосолями серебра, кустелитом, пиритом. Типоморфный элементный состав — Au, Ag, Sb, As, Se, Hg. Содержание S низкое и в основном не превышает 1 %.

В более поздний вулканоплутоногенный этап, под влиянием внедрения гранитоидной интрузии, появляются серебряные руды, имеющие более сложный минеральный и компонентный состав. Основные минералы — высокортутистые кустелит и самородное серебро, сульфосоли и селениды серебра, блеклая руда, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит. Типоморфный элементный состав — Ag, As, Sb, Se, Hg, Pb, Zn, Cu, В. Содержание S значительно превышает 1 %. Появляются повышенные концентрации Mo, Ge, F и легких лантаноидов — La, Ce, Nd.

В рамках вулканоплутоногенного этапа на участках совмещения серебряной минерализации с эпите́рмальной золото-серебряной формируются полихронные золото-серебряные руды. Характерная их особенность — многокомпонентность и крайняя изменчивость вещественного состава (и качественного, и количественного). Наряду с ранее перечисленными минералами часто встречаются высокортутистое золото, гессит, аргиродит, канфильдит, ортит, фторопатит, арсенопирит. В рудах на участках, в значительной степени подвергшихся процессам реювэнации, резко увеличиваются содержания Au, Ag, Hg, Cu, Pb, Zn, Ge, Se, La, Ce, Nd, S, F. Появляются Te и Bi.

Предполагается, что более поздние серебряные руды относятся к серебро-полиметаллической формации, широко проявленной на территории Омсу́кчанского рудного района. Установлена тесная связь и зональный характер распределения разных по типу руд в пространстве. В центральной части месторождения на верхних горизонтах широко проявлены эпите́рмальные золото-серебряные, на средних — серебряные, а на участках совмещения разных по возрасту рудоносных структур в основном с глубиной — реювэнированные золото-серебряные руды, имеющие сложный полиформационный состав.

Золото-серебряное месторождение, руды, минеральный состав, геохимические особенности, этапы формирования.

**MINERAL AND GEOCHEMICAL COMPOSITIONS, REGULARITIES OF DISTRIBUTION,
AND SPECIFIC FORMATION OF ORE MINERALIZATION
OF THE ROGOVIK GOLD–SILVER DEPOSIT (northeastern Russia)**

R.G. Kravtsova, A.S. Makshakov, and L.A. Pavlova

New data on the mineral composition and the first data on the geochemical composition of ores of the Rogovik gold–silver deposit (Omsukchan ore district, northeastern Russia) have been obtained. Study of the regularities of the spatial distribution of ore mineralization shows that the deposit ores formed in two stages.

Epithermal Au–Ag ores of typical poor mineral and elemental compositions were generated at the early volcanic stage. The major minerals are low-finesness native gold, electrum, acanthite, silver sulfosalts, kустелит, and pyrite. The typomorphic elemental composition of ores is as follows: Au, Ag, Sb, As, Se, and Hg. The content of S is low, mostly $\leq 1\%$.

Silver ores of more complex mineral and elemental compositions were produced under the impact of granitoid intrusion at the late volcanoplutonic stage. The major minerals are high-Hg kustelite and native silver, silver sulfosalts and selenides, fahlore, pyrite, chalcopyrite, galena, and sphalerite. The typomorphic elemental composition of ores is as follows: Ag, As, Sb, Se, Hg, Pb, Zn, Cu, and Bi. The content of S is much higher than 1%. The ores also have elevated contents of Mo, Ge, F, and LREE (La, Ce, and Nd).

At the volcanoplutonic stage, polychronous Au–Ag ores formed at the sites of the coexistence of silver and epithermal gold–silver mineralization. Their specific feature is a multicomponent composition and a strong variability in chemical composition (both qualitative and quantitative). Along with the above minerals, the ores contain high-Hg gold, hessite, argyrodite, canfieldite, orthite, fluorapatite, and arsenopyrite. At the sites with strongly rejuvenated rocks, the ores are strongly enriched in Au, Ag, Hg, Cu, Pb, Zn, Ge, Se, La, Ce, Nd, S, and F and also contain Te and Bi.

The hypothesis is put forward that the late silver ores belong to the Ag–complex-metal association widespread in the Omsukchan ore district. A close relationship between the ores of different types and their zonal spatial distribution have been established. In the central part of the Rogovik deposit, epithermal Au–Ag ores are widespread in the upper horizons, Ag ores are localized in the middle horizons, and rejuvenated polyassociation Au–Ag ores occur at the sites (mostly deep-seated) with ore-bearing structures of different ages.

Gold–silver deposit, ores, mineral composition, geochemical features, stages of formation

Исследования проводились на площади эпитермального золото-серебряного месторождения Роговик. В административном отношении оно расположено на территории Магаданской области, на левобережье р. Колыма, в 180 км на северо-восток от пос. Сеймчан и в 200 км на северо-запад от пос. Омсукчан. Практически объект изучения находится на территории одного из самых богатейших по запасам золота и серебра рудных районов — Омсукчанского. Открыто месторождение в 1971 г. В.М. Кузнецовым в результате геолого-съёмочных работ м-ба 1:200 000, проводившихся под его руководством.

Сведения о геологическом строении, структурно-тектонической позиции, минеральном составе пород и руд объекта в опубликованной литературе немногочисленны [Кузнецов и др., 1992; Кузнецов, Ливач, 2005; Кузнецов, 2011]. Проведенные ООО «Дукатское геолого-разведочное предприятие» (ООО «ДГРП», г. Магадан) в 2010—2012 гг. поисково-оценочные работы с целью изучения месторождения на закрытых участках и на глубину позволили значительно расширить имеющиеся на этот момент представления о его геологическом строении, вещественном составе, особенностях развития.

Опираясь на значительный объем проведенных нами детальных исследований, впервые был изучен геохимический состав руд месторождения, получены новые данные по их минеральному составу. На основе выявленных минеральных и геохимических парагенезисов проведена типизация вещественного состава руд. Установлены закономерности распределения разнотипной рудной минерализации в пространстве. Сделан вывод о том, что золото-серебряное месторождение Роговик сформировалось в два этапа.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения вещественного состава вмещающих пород и руд с разных разрезов и горизонтов месторождения было отобрано более 750 геохимических проб и 100 образцов. По рудным интервалам взяты 80 объемных минералого-геохимических проб (протолок) весом до 10 кг. Изготовлено и изучено около 100 шлифов и аншлифов. Отбор проб и их обработка проводились по общепринятой методике [Инструкция..., 1983].

Все пробы прошли спектральный приближенно-количественный анализ (СПКА) на широкий круг элементов в аналитической лаборатории Байкальского филиала «Сосновгеология» (г. Иркутск). Использовался метод просыпки на спектрографе СТЭ-1 «Полюс-2», аналитик М.С. Малюгин. Остальные аналитические исследования проводили в лабораториях ИГХ СО РАН (г. Иркутск).

Выборочный контроль осуществляли приближенно-количественным атомно-эмиссионным спектральным анализом (ПКАЭСА) на 50 химических элементов. Пробы анализировали путем их полного испарения из канала угольного электрода. Использовали спектрографы ДФС-458С, СТЭ-1, дуговой генератор ДГ-2, спектропроектор ПС-18 [Васильева и др., 1997], аналитик Н.Е. Смолянская.

Для определения Au применяли атомно-абсорбционный метод с предварительной экстракцией сульфидами нефти [Торгов, Хлебникова, 1977]. Замеры проводили на спектрометре М503 фирмы PERKIN-ELMER, аналитики В.Н. Власова, Т.С. Краснощекова.

Анализ Hg был выполнен методом кислотного разложения. Замеры проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре с зеемановской коррекцией неселективного поглощения [Методика..., 2004], аналитики Л.Д. Андрулайтис, О.С. Рязанцева.

Из 80 объемных минералого-геохимических проб (протолочек) в выборку для детального изучения рудного материала было отобрано 60. Кроме ранее перечисленных видов анализа в этих пробах определяли S, Se, Te, F, W, PЗЭ.

Общее содержание S выявляли объемным йодометрическим методом [Инструкция..., 1965], аналитик Т.Н. Галкина. Анализ на Se был выполнен флуорометрическим методом [Инструкция..., 1979], на Te — прямым атомно-абсорбционным [Воробьева и др., 1987], аналитик Н.Н. Брюханова.

Анализ на F и W проводили количественными атомно-эмиссионными методами на установке, состоящей из спектрографов ДФС-8 (обратная линейная дисперсия 0.2 нм/мм), ДФС-13 (0.4 нм/мм), PGS-2 (0.27 нм/мм), в кассетных частях которых находятся регистрирующие блоки многоканального анализатора эмиссионных спектров [Чумакова, 2009], аналитики Н.Л. Чумакова, О.М. Чернышева.

Определение PЗЭ осуществляли спектральным атомно-эмиссионным методом [Chumakova, Smirnova, 2011]. Последний использовался как поисковый на четыре основных лантаноида — Ce, La, Nd, Yb. Замеры проводили на спектрографах ДФС-8 и ДФС-13, в кассетных частях которых находятся регистрирующие блоки многоканального анализатора эмиссионных спектров, аналитик Н.Л. Чумакова.

Изучение минерального состава руд осуществляли с помощью микроскопа ПОЛАР-3 и микроанализатора JXA-8200 (JEOL Ltd, Япония). Для точной диагностики минералов, определения состава микровключений и выявления примесных элементов использовали электронно-зондовый рентгеноспектральный микроанализ по методикам [Павлова, Парадина, 1990]. Поверхности минералов исследовали в режиме растрового электронного микроскопа в обратнорассеянных электронах и по распределению интенсивностей рентгеновского излучения элементов (картирование) на предмет выявления включений и микровключений, содержащих рудные элементы. С помощью энергодисперсионного спектрометра EX-84055MU (JEOL Ltd, Япония) идентифицировали их состав. Управление съемкой и пересчет регистрируемых интенсивностей в концентрации проводили с помощью программного обеспечения микроанализатора.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Район исследований, где расположено золото-серебряное месторождение Роговик, в структурном отношении находится в центральной части Охотско-Чукотского вулканогенного пояса в северном замыкании Омсукчанского (Балыгычано-Сугойского) прогиба, в месте пересечения его субширотным Усть-Сугойским разломом (рис. 1, а).

Особенности развития и металлогеническая специализация прогиба, относящегося к рифтогенным, наиболее полно даны в работах [Кузнецов, Ливач, 2005; Кузнецов, 2006; Сидоров и др., 2009, 2011, 2013]. Необходимо отметить, что эта региональная структура возникла в результате процессов поздне-мезозойской тектономагматической активизации и уникальна по своей металлогенической специализации на серебро. Здесь находится крупнейшее в мире Дукатское золото-серебряное месторождение, в рудах которого сосредоточено более 14000 т серебра и 40 т золота [Константинов и др., 2003; Стружков, Константинов, 2005]. Его изучению посвящено значительное число публикаций [Раевская и др., 1977; Наталенко и др., 1980; Константинов, Сидоров, 1985; Кравцова, Захаров, 1996; Константинов и др., 1998, 2003; Кравцова, 2010].

Наряду с золото-серебряными объектами (Дукат, Лунное, Роговик, Иргучан, Баргузин, Красин и др.) широко проявлены серебро-полиметаллические (Гольцовое, Мечта, Тидит, Арылах, Пиритовое) и олово-серебряные (Новоджагынское, Малокенское, Ахтан) [Калинин и др., 1984; Кравцова и др., 1996, 1998; Константинов и др., 2003; Кравцова, 2010] месторождения и рудопроявления.

Площадь рассматриваемого здесь месторождения Роговик сложена вулканогенно-осадочной толщей омсукчанской свиты нижнемелового возраста, представленной преимущественно аргиллитами, вулканомиктовыми песчаниками, туфами риолитового состава, полимиктовыми брекчиями (см. рис. 1, б). Она характеризуется высокой степенью задернованности. До 70 % площади покрыто плащом делювиально-солифлюкционных суглинков. Поэтому до проведения в 2010—2011 гг. поисково-оценочных работ, выполненных ООО «ДГРП», месторождение было мало изучено. В последние годы, в связи с большим объемом бурения, на месторождении начались детальные исследования. Разведанная протяженность площади по простиранию рудных зон составила около 2000 м, по падению — немногим более 400 м. Несмотря на это, окончательные размеры рудного поля и месторождения в силу закрытости территории до настоящего времени до конца не установлены.

На структурно-геологическую позицию месторождения существуют разные точки зрения. По мнению В.П. Пузырёва, Г.Г. Потопенко (материалы геологических фондов ПГО «Севостокгеология», 1972 и 1974 гг.) и В.М. Кузнецова с соавторами [1992], месторождение приурочено к эксплозивной криповулканической структуре. Эта структура представляет собой штокообразное тело эллипсоидной формы. Внутренняя его зона сложена разнообразными туффизитами, внешняя — тектоническими и эксплозивными брекчиями. Как предполагается, брекчии занимают большую часть объема вулканичес-

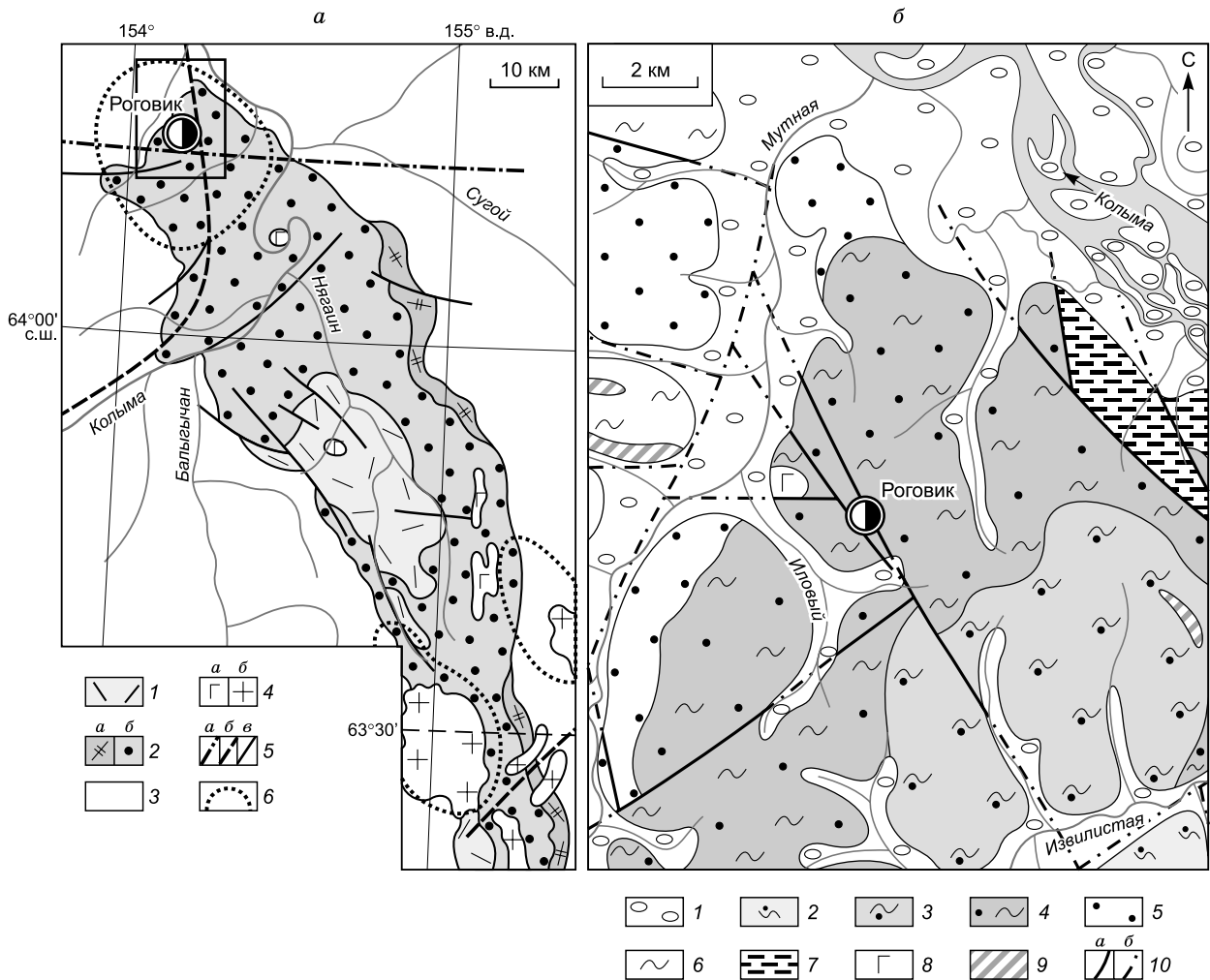


Рис. 1. Схема строения северного фланга Балыгычано-Сугойского прогиба, по [Кузнецов, Ливач, 2005] (а); схематическая геологическая карта месторождения Роговик, составлена по материалам отчетов В.П. Пузырева (1972 г.) и Г.Г. Потапенко (1974 г.) (геологические фонды ПГО «Севосток-геология») (б).

а—1 — нижневерхнемеловые вулканогенные образования таватумской и наяханской свит; 2 — нижнемеловые отложения: вулканытны аскольдинской свиты (а), терригенные угленосные отложения омукучанской свиты (б); 3 — домеловые отложения верхоянского комплекса; 4 — позднемееловые интрузивные образования: габбро (а), граниты (б); 5 — разломы: осевая линия Усть-Сугойского скрытого разлома фундамента (а), глубинные (б), прочие (в); б — контуры погребенных частей гранитоидных массивов, по геофизическим данным. б—1 — четвертичные отложения, аллювиальные и озерно-болотные галечники, пески; 2—4 — нижнемееловая омукучанская свита: 2 — верхняя подсвита, алевролиты, аргиллиты, 3 — средняя подсвита, алевролиты, песчаники, аргиллиты, 4 — нижняя подсвита, аргиллиты, вулканомиктовые песчаники, полимиктовые брекчии, туфы риолитов; 5 — юрские песчаники, алевролиты, глинистые сланцы; б — триасовые алевролиты, глинистые сланцы; 7 — пермские глинистые и алевроглинистые сланцы; 8 — позднемееловые интрузии габбро; 9 — позднемееловые субвулканические тела риолитов; 10 — разрывные нарушения: а — достоверные, б — скрытые под четвертичными отложениями.

кого аппарата. По мере удаления от центра структуры эксплозивные брекчии сменяются слабобрекчированными породами, а затем неизменными песчаниками и сланцами. Пространственная модель объекта представлена в виде конусовидного тела, которое на глубине 300—350 м резко сужается и переходит в подводящий канал.

В результате новых данных по геологическому строению месторождения криптовулканическая структура конусовидной формы не подтвердилась. Месторождение залегает среди терригенно-осадочных пород омукучанской свиты, представленных аргиллитами, вулканомиктовыми песчаниками с прослоями углей, туфами риолитов. В пределах этой свиты канавами на поверхности и скважинами на глубине вскрывается пластообразное тело брекчий, сложенное метасоматически измененными обломками вмещающих пород, сцементированными кварцем и калиевым полевым шпатом.

Проведенное нами изучение минерального состава вмещающих пород месторождения Роговик показало, что нет достаточных оснований использовать термины «эксплозивные брекчии», «туффизиты» и т.д., указывающие на связь пород с жерловыми фациями [Кравцова и др., 2012; Кравцова, Куликова, 2012]. По данным петрографических и петрологических исследований, правильнее будет называть рудовмещающую толщу вулканогенно-осадочной, сложной преимущественно витрокластическими и пепловыми туфами и туфогенными брекчиями. На всей площади месторождения Роговик широко проявлены процессы аргиллизации. Происходит почти полное преобразование первичных пород в аргиллиты с уничтожением реликтов первичной структуры.

Руды золото-серебряного месторождения Роговик представлены в основном тремя морфологическими типами — прожилково-жильным, прожилковым и прожилково-вкрапленным (рис. 2). Прожилково-жильная и прожилково-вкрапленная минерализация образует зоны, состоящие из кварцевых и полевошпат-кварцевых жил, прожилков и интенсивно измененных сульфидизированных вмещающих пород. Преобладают процессы пиритизации. На флангах и с глубиной появляется арсенопирит. Зоны характеризуются линейно-площадной морфологией, полого- и крутопадающим залеганием. Ширина зон крайне изменчива — от 10 до 160 м и более. Мощность жил и прожилков от волосовидных до 4—8 см, иногда до 10–20 см. Редко встречаются непротяженные (первые десятки метров) жилы полевошпат-кварцевого состава мощностью 0.25—0.80 м. По данным рентгеноструктурного анализа, полевошпат представлен двумя разновидностями — адуляром и ортоклазом. В жилах и прожилках на верхних горизонтах месторождения преобладает адуляр, постоянно присутствуют глинистые минералы, ярозит, гидрослюда (иллит) и серицит. С глубиной количество адуляра уменьшается, появляется ортоклаз, увеличивается количество серицита, появляется карбонат. На самых глубоких горизонтах широко распространены прожилки кварц-адуляр(ортоклаз)-карбонатного и кварц-ортоклаз-карбонатного состава, в которых постоянно присутствуют альбит и хлорит.

По результатам предыдущих исследователей из рудных минералов были установлены пирит, электрум, аргентит, науманит, андорит, полибазит, стефанит, пираргирит, самородное серебро, сульфиды полиметаллов и киноварь [Кузнецов и др., 1992]. Нами на месторождении выявлено около 40 рудных минералов, в том числе ранее неизвестных. Как показали наши данные, в целом руды отличаются сложным минеральным и компонентным составом и крайне неравномерное распределение благородных металлов. Рудные тела четких геологических границ не имеют и выделяются в основном по содержаниям Au и Ag.

МИНЕРАЛЬНЫЙ И ГЕОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РУД

При изучении минерального и геохимического состава руд было установлено три их типа. Первый — это собственно золото-серебряные руды, относящиеся к типичной эпитермальной убогосульфидной золото-серебряной формации. Их формирование связано с ранним вулканогенным этапом. Второй — серебряный, отнесен нами к серебро-полиметаллической формации руд, широко проявленной и на территории всего Балыгычано-Сугойского прогиба (месторождения Мечта, Тидит, Гольцовое), и на его золото-серебряных объектах, таких как Дукат, Арылах, Лунное [Константинов, Сидоров, 1985; Константинов и др., 1998, 2003; Кравцова, 2010]. Эти руды возникли под влиянием внедрения гранитоидной интрузии и относятся к более позднему вулканоплутоногенному этапу, что подтверждается геофизическими данными. Месторождение располагается над изометричным выступом крупного позднемелового интрузивного тела, залегающего в основании Балыгычано-Сугойского прогиба на глубине около 0.3—0.5 км [Кузнецов, Ливач, 2005]. При совмещении двух рудоносных систем — ранней золото-серебряной и более поздней серебряной — в результате процессов реювенации возник третий тип минерализации — полихронные руды, имеющие сложный полиформационный состав.

Золото-серебряные руды

Золото-серебряная минерализация наиболее широко проявлена в центральной части месторождения, на верхних горизонтах. Руды, не затронутые более поздними процессами, хорошо сохранились на интервале абсолютных отметок 290—320 м (см. рис. 2). Собственно вулканогенные золото-серебряные руды характеризуются бедным минеральным и компонентным составом. Они представлены в основном зонами прожилково-жильной минерализации, имеющими северо-западное простирание, реже отдельными жилами, для них характерны в основном линейная морфология и крутопадающее залегание. Руды тесно связаны с адуляр-кварцевыми и кварцевыми жилами и прожилками, в которых постоянно присутствуют глинистые минералы, гидрослюда (иллит), серицит, ярозит. Основные жильные минералы — кварц и адуляр (рис. 3).

Из простых сульфидов самый распространенный рудный минерал — пирит. В золото-серебряных рудах он встречается в виде вкрапленников, единичных зерен и агрегатов размером от 0.0n до 1 мм.

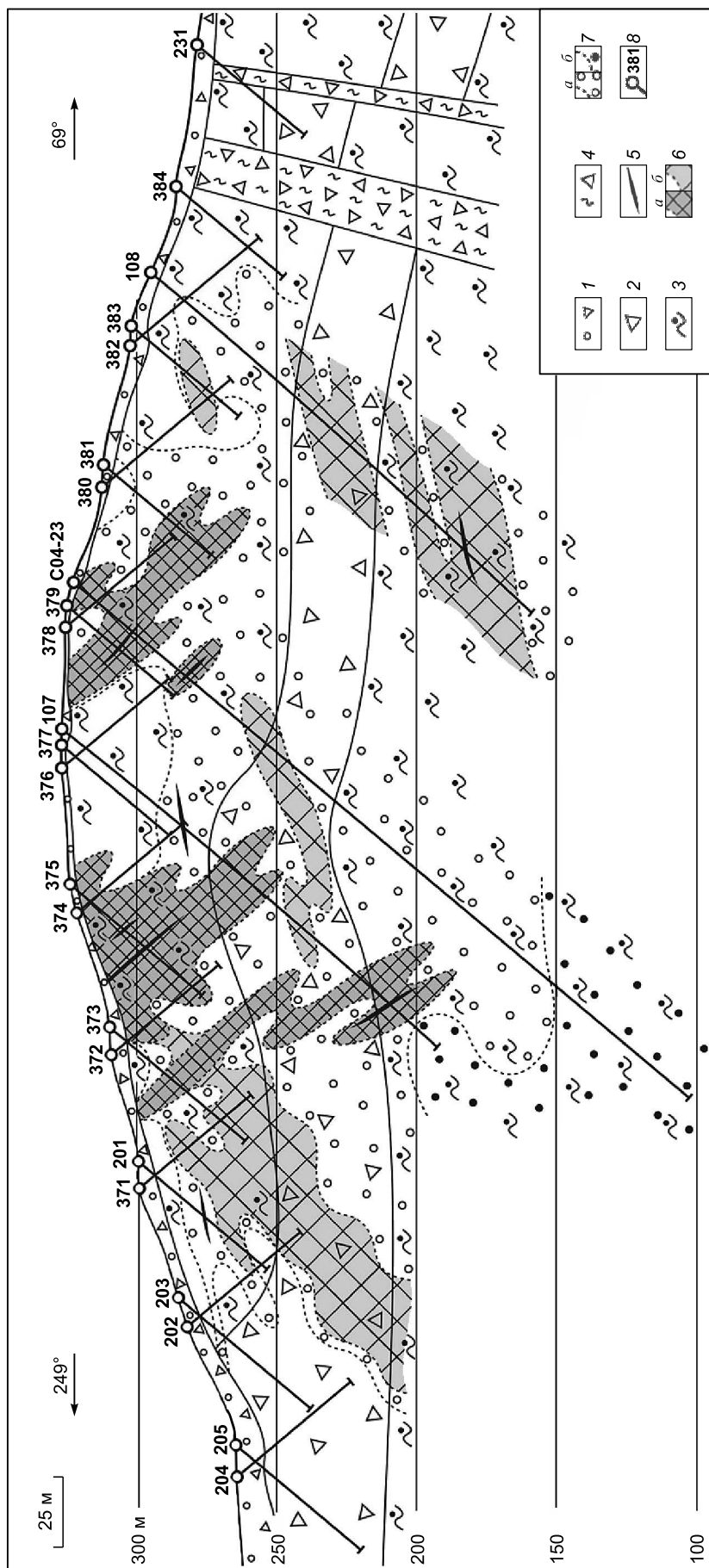


Рис. 2. Схематический геологический разрез через центральную часть месторождения Роговик (составлен авторами с использованием материалов ООО «ДГРП», г. Магадан).

1 — элювиально-делювиальные отложения; 2 — горизонт аргиллизированных туфогенных брекчий; 3 — аргиллизированные витрокластические и пелловые туфы терригенно-осадочной толщи нижней подветвы омусканской свиты (К_{ом}); 4 — зоны смятия-дробления; 5 — жилы кварцевого и кварц-полевошпатового состава; 6 — зоны интенсивной минерализации: а — прожилково-жильной золото-серебряной, б — прожилково-вкрапленной минерализации; 7 — зоны прожилково-вкрапленной минерализации: а — серебряной, б — полихронной, сложного полиформационного состава; 8 — скважины и их номера.

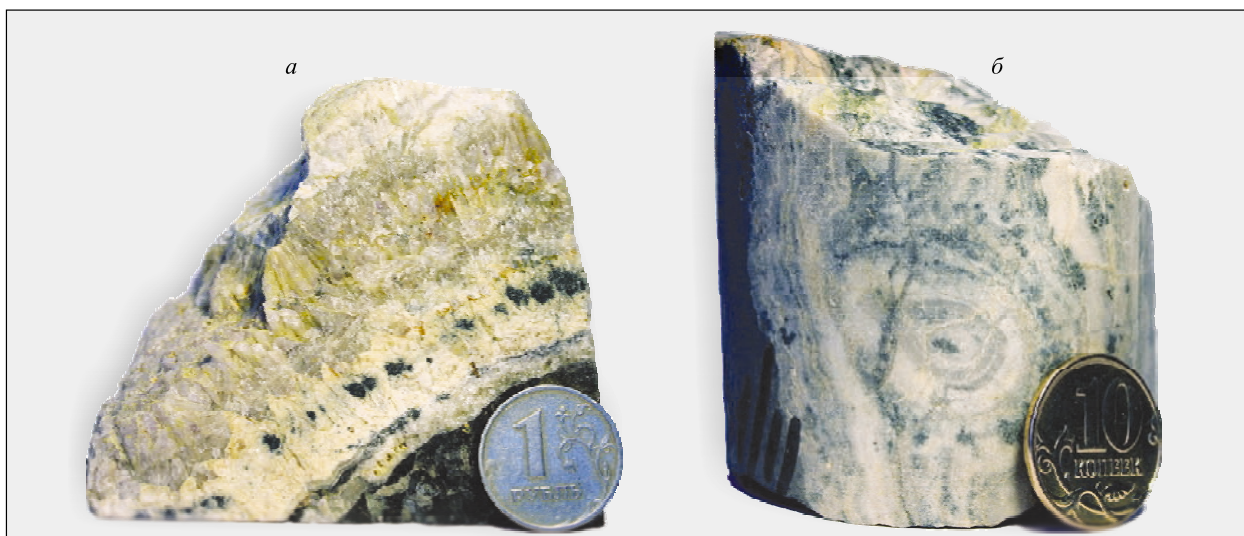


Рис. 3. Золото-серебряные руды.

a — профиль 400, скв. 108; *б* — профиль 500, скв. С05-04. Преобладают адуляр-кварцевые жилы и прожилки мощностью от 2 до 10 см с убогой сульфидной минерализацией. Реликты вмещающих пород изменены до кварцевых и адуляр-кварцевых метасоматитов. Кроме кварца, адуляра и тонкой вкрапленности рудных минералов в жилах отмечаются чешуйки гидрослюда (иллита), серицит, ярозит, гидроксиды железа.

Наблюдаются пойкилитовые прорастания электрума, акантита и серебросодержащих минералов в пиритах. В качестве часто встречающейся примеси установлен Se — до 0.43 % (рис. 4, табл. 1). Реже отмечаются галенит, сфалерит, халькопирит, мельниковит.

Из минералов серебра распространенными являются акантит, сульфосоли серебра и кюстелит. Наиболее часто наблюдаются рассеянные пятнистые скопления тонких выделений сульфосолей серебра (прустита, пираргирита) и сульфида серебра (акантита). Сульфосоли серебра ассоциируют с самородным золотом, образуют самостоятельные выделения в нерудных минералах, во многих зернах видны кристаллические очертания.

Реже встречаются самородное серебро, селениды серебра (науманнит), штернбергит, серебросодержащая блеклая руда (теннантит, тетраэдрит). Самородное серебро находится в виде тонкодисперсных включений (5—6 мкм) в кварце и тонких вкрапленниках на границе агрегатов сульфидов, сульфосолей серебра с размером выделений, не превышающих 5 мкм. Более крупные зерна встречаются редко. В качестве постоянной примеси в минералах серебра присутствуют Au, Hg и Se (см. табл. 1). Максимальное содержание Au (до 0.74 %) и Se (до 3.21 %) установлено в акантите, Hg — в самородном серебре и кюстелите (до 15.89 %).

Золотины образуют включения в кварце, ассоциируют с адуляром и рудными минералами, перечисленными выше, и характеризуются относительно однородным составом. Они представлены низкопробным самородным золотом (600—700 ‰) и электрумом (400—600 ‰). Часто в виде ксеноморфных зерен и агрегатов выполняют интерстиции в кварце, в ассоциации с сульфосолями серебра и акантитом наблюдаются в адуляр-кварцевых жилах и прожилках. Преобладают золотины размером от 2—10 мкм до 10—70 мкм. В качестве постоянной примеси присутствует Hg, содержание которой в золотинах практически не превышает 2 % (см. табл. 1).

Геохимическая характеристика вулканогенных золото-серебряных руд, не затронутых процессами реювенации, дана в табл. 2. Основной их элементный состав (г/т) — Au (до 6.04), Ag (до 40), As (до 800), Sb (до 50), Se (до 15.8) и Hg (до 2.7). Реже отмечаются повышенные концентрации В (до 60 г/т). Содержание S низкое — менее 1 %. Отношения Au:Ag типичны для руд эпитермальной убогосульфидной золото-серебряной формации — 1:2—1:35. Из остальных элементов наибольший интерес представляют легкие лантаноиды — Ce, La, Nd. Они составляют более 90 % от суммы изученных РЗЭ (La, Ce, Nd, Yb). Обращают на себя внимание нетипично высокие для эпитермальных золото-серебряных руд содержания Ce, La, Nd. Суммы концентраций этих элементов в рудах, где преобладают жилы и прожилки, колеблются в интервале 27—38 г/т, где присутствуют обломки метасоматитов — достигают 69 г/т. Необходимо подчеркнуть, что рудные зоны месторождения состоят не только из жил и прожилков, но и интенсивно измененных вмещающих пород. Очевидно, что уровень концентраций лантаноидов будет сильно зависеть от доли вмещающих пород и от уровня концентрации РЗЭ в них.

Таблица 1.

**Элементный состав пирита, минералов серебра и электрума
(золото-серебряные руды, месторождение Роговик)**

Номер точки замера	Ag	Au	Hg	Se	Fe	S	Сумма	Формула минерала
Кюстелит								
1	65.29	16.98	15.89	–	–	–	98.16	$Ag_{0.79}(Au_{0.11}, Hg_{0.10})_{0.21}$
2	66.02	15.41	15.83	–	–	–	97.26	$Ag_{0.80}(Au_{0.10}, Hg_{0.10})_{0.20}$
Науманнит								
3	81.34	–	–	16.81	–	0.99	99.14	$Ag_{2.27}(Se_{0.64}, S_{0.09})_{0.73}$
4	82.35	–	–	13.45	0.89	3.10	99.79	$Ag_{2.15}(Se_{0.57}, S_{0.27}, Fe_{0.02})_{0.86}$
5	80.86	–	–	15.55	0.32	2.99	99.72	$Ag_{2.19}(Se_{0.49}, S_{0.28}, Fe_{0.05})_{0.82}$
6	77.94	–	–	16.05	2.40	3.52	99.91	$Ag_{2.01}(Se_{0.56}, S_{0.30}, Fe_{0.12})_{0.98}$
7	71.11	0.16	–	14.20	6.50	7.36	99.33	$Ag_{1.67}(Se_{0.46}, S_{0.58}, Fe_{0.29})_{1.33}$
8	79.54	–	–	18.12	–	0.95	98.61	$Ag_{2.22}(Se_{0.69}, S_{0.09})_{0.78}$
9	79.52	–	–	18.02	–	1.15	98.69	$Ag_{2.21}(Se_{0.68}, S_{0.11})_{0.79}$
Акантит								
10	78.39	0.16	1.28	1.73	5.56	8.51	95.63	$(Ag_{1.95}, Fe_{0.27}, Hg_{0.02})_{2.24}(S_{0.71}, Se_{0.06})_{0.77}$
11	78.13	0.58	1.05	2.73	7.46	8.27	98.22	$(Ag_{1.88}, Fe_{0.35}, Au_{0.01}, Hg_{0.01})_{2.25}(S_{0.67}, Se_{0.09})_{0.76}$
12	77.54	0.74	3.24	3.21	6.31	9.01	100.05	$(Ag_{1.84}, Fe_{0.29}, Hg_{0.04}, Au_{0.01})_{2.18}(S_{0.72}, Se_{0.10})_{0.82}$
13	74.32	0.32	4.47	2.12	5.58	9.59	96.40	$(Ag_{1.82}, Fe_{0.26}, Hg_{0.06})_{2.14}(S_{0.79}, Se_{0.07})_{0.86}$
Пирит								
14	–	–	–	0.43	44.04	55.92	100.39	$Fe_{0.93}(S_{2.06}, Se_{0.01})_{2.07}$
15	–	–	–	0.43	45.98	54.37	100.78	$Fe_{0.98}(S_{2.02}, Se_{0.01})_{2.03}$
16	–	–	–	0.43	44.39	55.13	99.95	$Fe_{0.95}(S_{2.05}, Se_{0.01})_{2.06}$
Электрум								
17	56.29	40.98	1.89	–	–	–	99.16	$Ag_{0.71}(Au_{0.28}, Hg_{0.01})_{0.29}$
18	58.02	39.41	1.63	–	–	–	99.06	$Ag_{0.72}(Au_{0.27}, Hg_{0.01})_{0.28}$

Примечание. Элементы Sb, As, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, W, Mo, Sn, Bi, Ge, Te, Mn – не обнаружены. Прочерк – ниже предела обнаружения. Исследования проводили электронно-зондовым рентгеноспектральным микроанализатором JXA-8200 (JEOL Ltd, Токио, Япония); измерения интенсивностей выполнены с использованием волновых и энергодисперсионного спектрометров; расчеты концентраций проведены с помощью программного обеспечения прибора.

Ранее на примере золото-серебряных месторождений Дальнее, Карамкен и Дукал было показано, что концентрации РЗЭ в околорудных метасоматитах могут достигать 174 г/т и выше, тогда как в богатых Au и Ag кварц-адуляровых жилах они не превышают 12.2 г/т. В метасоматитах и в рудах этих месторождений преобладают легкие лантаноиды, составляя до 80 % и более от суммы всех изученных РЗЭ — La, Ce, Nd, Pr, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Yb, Lu [Кравцова и др., 2005; Кравцова, 2010].

Серебряные руды

Серебряные руды преобладают в основном на средних горизонтах месторождения, на интервале абсолютных отметок 140—260 м (см. рис. 2). Они тесно связаны с зонами прожилковой, прожилково-вкрапленной минерализации и по сравнению с золото-серебряным оруденением имеют более сложный минеральный и элементный состав (рис. 5). Для серебряных зон характерна в основном линейно-площадная морфология с хорошо проявленными элементами пологого залегания. По отношению к золото-серебряным зонам они занимают секущее положение и ориентированы на северо-восток. Крайне редко встречаются маломощные непротивленные жилы. Рудные тела состоят из сгущения кварцевых прожилков и интенсивно сульфидизированных вмещающих пород. В прожилках наряду с кварцем постоянно присутствуют адуляр, ортоклаз и серицит. Часто ортоклаз и серицит замещают адуляр. Из жильных образований основной минерал — кварц. Типичная особенность серебряных руд — крайне низкие содержания Au, менее 0.2 г/т.

Из минералов серебра распространенными являются самородное серебро, сульфосоли серебра (прустит, пираргирит, стефанит) и селениды серебра (науманнит, агвиларит). Самородное серебро нахо-

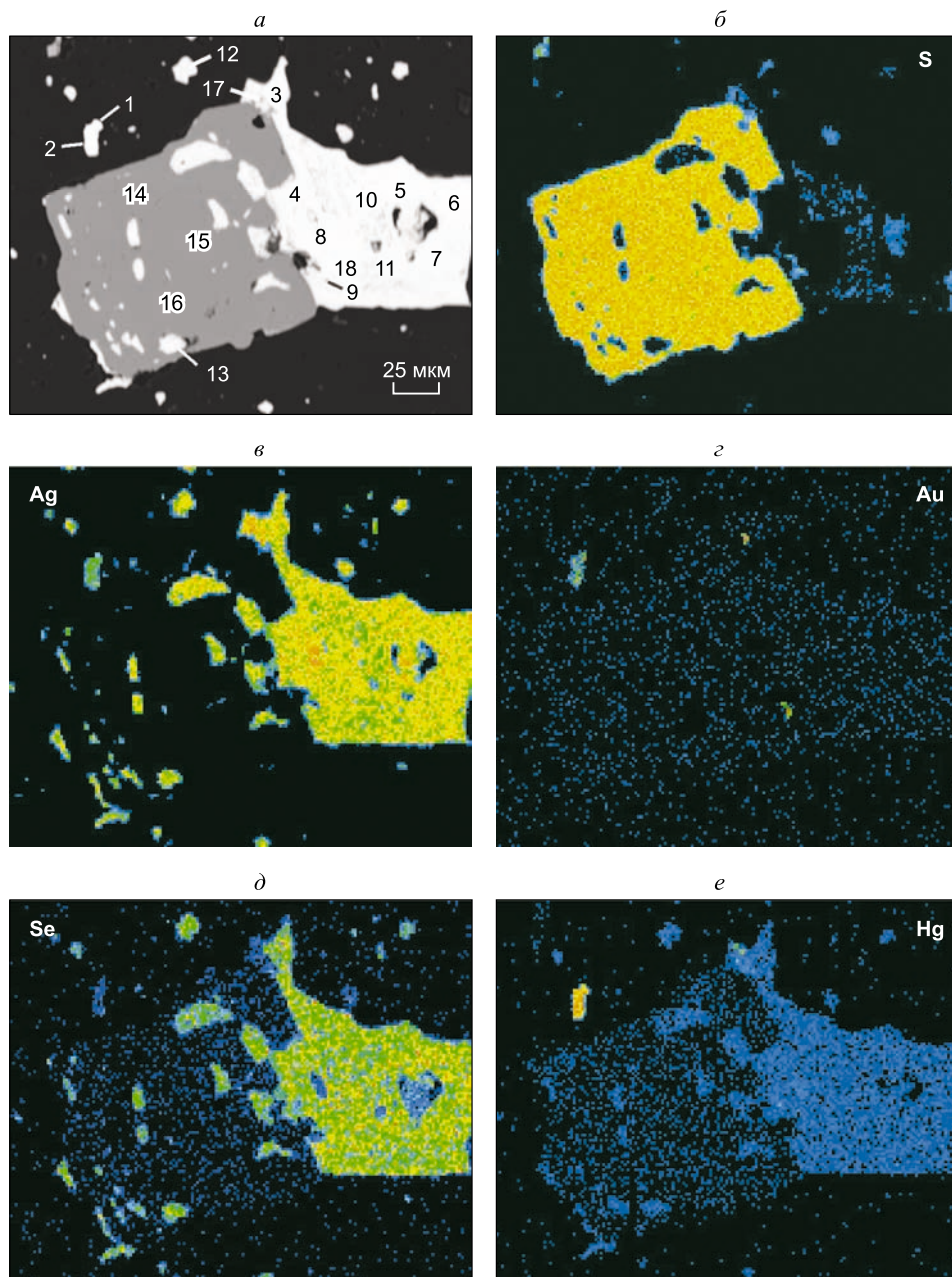


Рис. 4. Адуляр-кварцевая жила.

Взаимопрорастание метазернистого пирита (14-16), науманнита (3-9), акантита (10, 11, 13) и микровключений электрума (17, 18). Выделения кюстелита (1, 2) и акантита (12) в кварце. Изображение дано: *a* — в обратнорассеянных электронах, *б*—*е* — в рентгеновских лучах. 1-18 — точки замеров содержаний элементов, указанных в табл. 1.

дится в тесной ассоциации с сульфосолями и селенидами серебра (рис. 6, табл. 3). Широко распространены его тонкодисперсные включения в кварце. В самородном серебре в виде примеси (%) отмечены Hg (до 11.13), S (до 1.44), Se (до 2.04), Sb (1.48) и Cu (0.28), в селенидах серебра — Au (до 0.20) и Hg (до 0.15), в сульфосолях серебра — Hg (до 0.18) и Se (до 1.42).

Из других минералов серебра часто встречаются кюстелит, акантит, штернбергит, штроейерит, полибазит, полиаргирит, миаргирит, теннантит, тетраэдрит, фрейбергит. Из простых сульфидов наряду с пиритом заметно проявлены такие минералы, как халькопирит, сфалерит, галенит, в меньшей степени — марказит. Киноварь, найденная В.М. Кузнецовым с соавторами [1992], нами не установлена. По данным фазового химического анализа, сульфидная форма Hg в рудах серебра все же присутствует. Также при микронзондовых исследованиях в ряде образцов нами были установлены очень мелкие (2—

Таблица 2. Геохимический состав золото-серебряных руд. Месторождение Роговик*

Номер пробы	Абс. отм., м	Au	Ag ₁ (Ag ₂)	Au:Ag	Hg	As	Sb	Cu	Pb	Mo	B	Ge	Se	F	S	Ce	La	Nd	Σ РЗЭ
332/11	320	0.83	15(8)	1:10	0.2	600	40	30	6	6	60	1	8.8	230	0.30	27	10	8	45
471/11	315	0.87	20(8)	1:9	1.8	800	50	20	10	5	60	1	15.8	240	0.17	30	13	16	59
500/11	300	1.50	20(10)	1:7	0.5	500	20	10	5	1	50	<1	8.2	200	0.81	40	14	15	69
724/11	310	0.57	20(20)	1:35	2.7	100	30	20	4	1	50	<1	7.4	150	0.11	22	11	10	43
155003	320	2.21	10(10)	1:5	1.4	600	50	10	5	5	30	<1	9.2	200	0.25	14	5	8	27
МН-155003	320	1.01	10(10)	1:10	1.3	400	40	10	3	3	30	<1	12.3	160	0.30	14	7	6	27
155005	320	0.72	8(10)	1:14	0.8	300	30	10	4	3	30	<1	9.7	180	0.19	20	9	9	38
155015	310	0.44	30(15)	1:34	0.8	300	30	20	2	4	30	<1	6.9	220	0.12	15	6	6	27
155023	305	0.81	5(10)	1:12	1.3	150	20	10	1	1	20	<1	11.2	260	0.14	19	9	9	37
155025	300	1.05	30(25)	1:24	1.0	300	40	20	4	3	30	<1	10.3	170	0.17	16	5	5	26
155027	300	0.45	20(8)	1:18	1.2	200	50	20	2	2	30	1	8.2	140	0.16	15	6	7	28
155030	300	0.83	30(20)	1:24	2.2	300	50	20	5	2	30	1	11.8	120	0.42	18	8	10	36
155033	295	2.52	20(15)	1:6	0.9	150	30	20	4	2	30	1	10.6	130	0.44	24	8	8	40
155035	295	4.33	30(10)	1:2	2.0	800	50	30	6	6	40	1.5	10.1	110	0.50	23	10	10	43
МН-155035	295	6.04	15(10)	1:2	1.9	400	30	20	3	2	30	<1	14.8	130	0.64	25	10	10	45
155037	295	2.16	30(15)	1:7	1.6	600	50	20	6	6	40	1	10.2	150	0.57	20	7	9	36
МН-155037	295	2.90	40(20)	1:7	1.9	500	50	30	5	6	40	1	13.1	200	0.63	16	7	9	32
155040	290	0.59	15(8)	1:6	0.8	400	30	20	3	1.5	30	<1	9.6	130	0.37	15	9	9	33
155042	290	0.78	10(5)	1:6	0.6	400	20	20	3	1.5	30	<1	9.4	160	0.40	30	9	11	50
155045	290	1.18	30(15)	1:12	0.8	400	20	30	6	3	30	<1	8.8	150	0.50	20	10	8	38

Примечание. Здесь и в табл. 4, 8: содержание всех элементов дано в г/т, S – в %, Ag₁ – метод СПКА, Ag₂ – метод ПКАЭСА; при расчетах отношений Au:Ag использованы содержания Ag₂, жирным шрифтом выделены максимальные концентрации основных элементов-индикаторов оруденения. Содержание Bi, Te, Zn и W – ниже предела обнаружения (<1, <0.2, <20 и <5 г/т соответственно).

* Профиль 400 — скв. 107, 374, 375, 378, 379, С04-23.

3 мкм) обособления какого-то минерала Hg в ассоциации с сульфидами и селенидами серебра. Скорее всего, это метацинобарит, минерал более высокотемпературный по сравнению с киноварью. Не исключена возможность появления селенида ртути. В то же время Hg в виде примеси часто встречается во многих изученных нами рудных минералах.

Геохимическая характеристика серебряных руд дана в табл. 4. Главный элемент — Ag. Его концентрации достигают 1000 г/т и более. Высокие содержания (г/т) установлены для Hg (до 46.5), As (до 600), Sb (до 200), В (300) и Se (до 132.8), повышенные — для Cu (до 100), Pb (до 60), Zn (400). Появля-

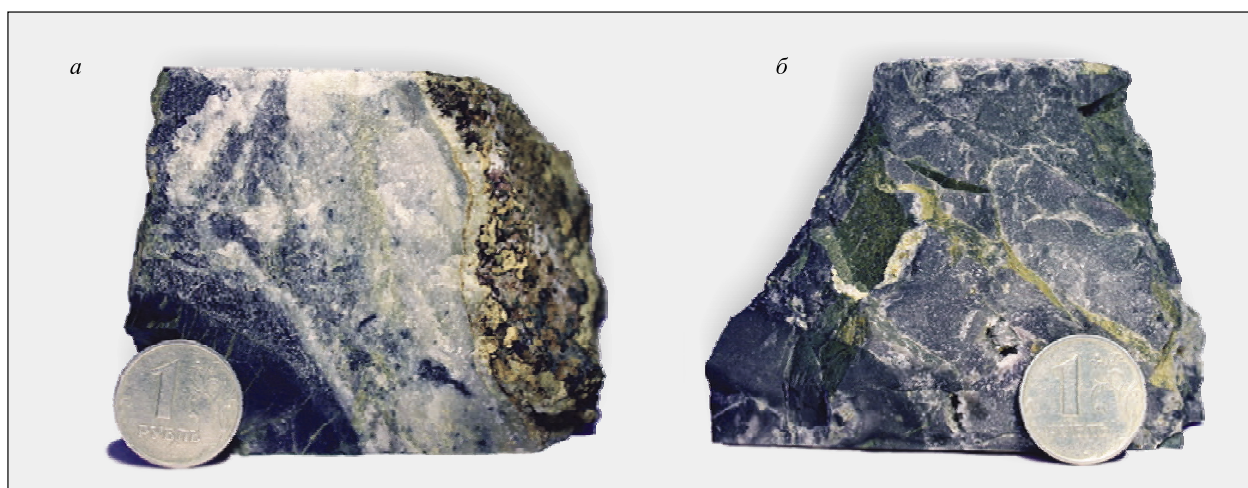


Рис. 5. Серебряные руды.

а — кварц-полевошпатовая жила мощностью около 6 см в тонкозернистых окварцованных и пиритизированных метасоматитах (профиль 400, скв. 107); б — брекчированная кварцевая жила с обломками метасоматитов (профиль 400, скв. 378). Кроме кварца и тонкой вкрапленности рудных минералов отмечаются полевой шпат и серицит, пелитовые частицы, частицы углеродистого вещества, гидроксиды железа, реже хлорит. Полевой шпат представлен адуляром и ортоклазом.

ются Mo (до 50 г/т) и Ge (до 10 г/т). В единичных пробах отмечены Bi (до 3 г/т) и Te (0.5 г/т). Значительно увеличивается содержание S (до 15.43 %). Отмечаются нетипично высокие концентрации F (до 1200 г/т). Отношения Au:Ag изменяются в интервале 1:300—1:10000 и больше. Такие значения этого показателя характерны только для руд серебряносных рудных формаций, широко проявленных, как уже говорилось, на площади Балыгычано-Сугуйского прогиба [Константинов и др., 1998, 2003].

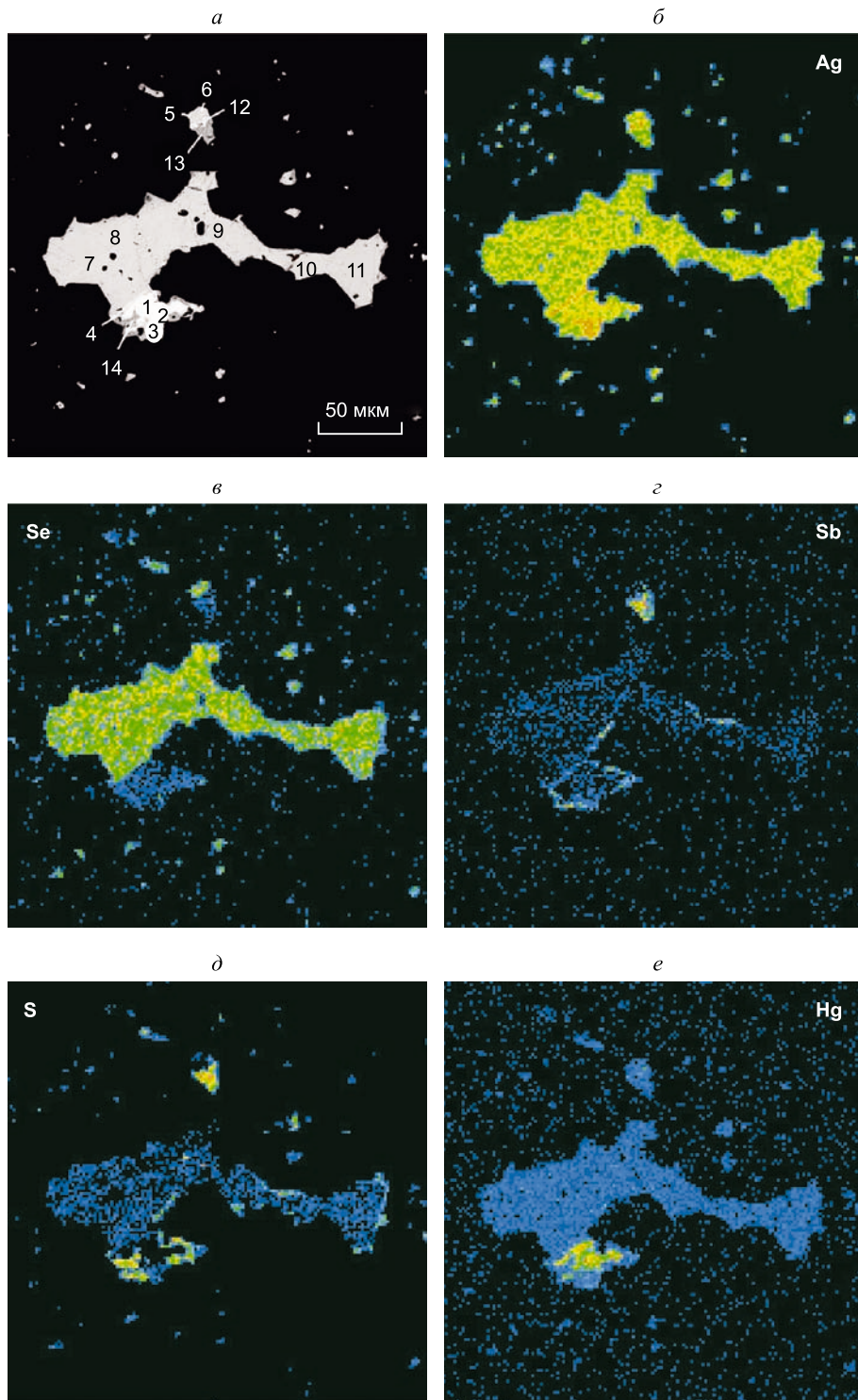


Рис. 6. Ксеноморфный агрегат самородного серебра (1-6), науманита (7-12) и стефанита (13, 14).

Изображение дано: *a* — в обратнорассеянных электронах, *б—e* — в рентгеновских лучах. 1-14 — точки замеров содержаний элементов, указанных в табл. 3.

Таблица 3. Элементный состав минералов серебра (серебряные руды, месторождение Роговик)

Номер точки замера	Ag	Hg	Se	S	Sb	Au	Cu	Сумма	Формула минерала
Ртутистое серебро									
1	89.34	11.13	–	0.33	–	–	–	100.80	(Ag _{0.93} , Hg _{0.06} , S _{0.01}) _{1.00}
2	87.63	10.93	–	0.40	–	–	–	98.96	(Ag _{0.92} , Hg _{0.06} , S _{0.02}) _{1.00}
Самородное серебро									
3	96.74	2.49	0.34	0.25	1.14	–	–	100.96	(Ag _{0.96} , Hg _{0.01} , S _{0.01} , Sb _{0.01} , Se _{0.01}) _{1.00}
4	95.51	0.66	2.04	1.44	–	–	0.28	100.01	(Ag _{0.92} , S _{0.05} , Se _{0.03} , Cu _{0.01}) _{1.00}
5	96.14	1.45	0.64	0.45	1.34	–	–	100.02	(Ag _{0.96} , Hg _{0.01} , S _{0.01} , Sb _{0.01} , Se _{0.01}) _{1.00}
6	96.96	0.94	1.35	0.71	1.48	–	–	101.44	(Ag _{0.94} , S _{0.02} , Se _{0.02} , Hg _{0.01} , Sb _{0.01}) _{1.00}
Науманнит									
7	77.14	–	21.32	1.48	–	–	–	99.94	Ag _{2.08} (Se _{0.79} , S _{0.13}) _{0.92}
8	76.92	–	22.67	1.16	–	–	–	100.75	Ag _{2.07} (Se _{0.83} , S _{0.10}) _{0.93}
9	76.42	0.15	21.44	2.11	–	0.16	–	100.28	Ag _{2.03} (Se _{0.78} , S _{0.19}) _{0.97}
10	76.43	0.14	20.15	2.12	–	0.20	–	99.04	Ag _{2.06} (Se _{0.74} , S _{0.19}) _{0.93}
11	77.39	–	20.13	2.12	–	–	–	99.64	Ag _{2.07} (Se _{0.74} , S _{0.19}) _{0.93}
12	77.24	–	21.37	1.26	–	–	–	99.87	Ag _{2.09} (Se _{0.79} , S _{0.11}) _{0.90}
Стефанит									
13	68.01	0.18	1.42	15.89	14.85	–	–	100.35	(Ag _{4.98} , Se _{0.14} , Hg _{0.01}) _{5.13} Sb _{0.96} S _{3.91}
14	68.65	0.12	0.42	16.09	15.25	–	–	100.53	(Ag _{5.02} , Se _{0.04}) _{5.06} Sb _{0.99} S _{3.96}

Примечание. Элементы As, Pb, Zn, Ni, Co, Fe, W, Mo, Sn, Bi, Ge, Te, Mn не обнаружены.

Таблица 4. Геохимический состав серебряных руд. Месторождение Роговик*

Номер проб	Абс. отгм., м	Au	Ag ₁ (Ag ₂)	Au:Ag	Hg	As	Sb	Cu	Pb	Zn	Mo	W	Bi	B	Ge	Se	Te	F	S	Ce	La	Nd	Σ P3Э
220/11	250	0.07	30(500)	1:7142	46.5	100	40	40	40	<20	50	5	1	50	1	21.7	<0.2	240	2.13	45	24	26	95
221/11	250	0.10	60(200)	1:2000	29.4	200	200	20	40	<20	30	<5	1	50	2	96.5	<0.2	460	2.32	36	18	20	74
222/11	240	0.18	50(100)	1:556	15.4	600	100	60	40	<20	20	<5	<1	100	1	132.8	<0.2	930	15.43	41	21	22	84
223/11	240	0.10	30(50)	1:500	3.3	200	80	100	40	60	10	5	<1	200	3	67.2	<0.2	990	10.71	68	31	40	139
750/11	260	0.11	> 100(1000)	1:9090	1.0	400	20	20	5	<20	1	<5	<1	60	3	71.3	<0.2	250	1.65	22	12	12	46
781/11	200	0.03	> 100(1000)	1:33330	0.7	100	20	30	15	80	1	<5	<1	60	1.5	17.1	<0.2	450	2.51	30	15	14	59
808/11	150	0.06	>100(600)	1:10000	4.5	300	30	30	20	80	2	<5	<1	60	10	69.4	<0.2	400	1.97	31	14	17	62
812/11	140	0.06	15(50)	1:833	0.5	600	20	20	40	200	3	8	<1	40	1	8.2	<0.2	520	3.69	39	19	16	74
817/11	130	0.05	30(15)	1:300	0.8	300	50	40	60	300	2	5	<1	80	1	13.5	0.5	460	2.45	76	34	45	155
831/11	250	0.17	15(80)	1:470	1.5	60	30	40	20	100	1	<5	1	150	2	2.7	<0.2	430	2.60	58	27	31	116
38091	210	0.06	10(50)	1:833	8.5	200	30	40	20	300	1	<5	<1	20	–	5.9	–	610	–	36	16	17	69
38205	220	0.01	10(10)	1:1000	9.1	60	20	40	30	200	3	<5	<1	240	–	5.6	–	1200	–	57	25	<5	82
38278	225	0.19	100(300)	1:1500	1.8	60	10	20	20	60	2	<5	<1	50	–	57.4	–	580	–	40	19	21	80
38292	175	0.10	200(40)	1:400	0.8	100	30	30	30	60	3	<5	<1	30	–	17.6	–	480	1.97	41	17	20	78
38399	185	0.06	100(80)	1:1333	0.9	60	<10	20	10	20	2	6	<1	150	–	16.0	–	280	2.51	42	19	24	85
38427	240	0.01	10(8)	1:800	15.1	100	40	30	40	200	2	<5	<1	160	–	7.3	–	710	9.93	96	42	42	180
38450	155	0.04	40(15)	1:375	0.5	300	20	80	30	400	2	6	<1	150	–	5.1	–	630	1.59	48	23	28	99
155414	230	0.04	15(30)	1:750	3.3	200	50	50	20	200	3	<5	<1	300	3	123.9	<0.2	440	2.58	27	9	9	45
МН-157914	220	0.14	>100(500)	1:3571	1.4	60	20	15	4	<20	1	<5	<1	60	1.5	57.0	0.4	170	1.36	47	23	26	96
С07-22	210	0.10	10(30)	1:300	0.3	80	<20	20	30	80	1	<5	3	80	1.5	5.1	<0.2	930	3.88	77	29	25	131

Примечание. Прочерк – элемент не определялся.

* Профили 300 — скв. 109; 400 — скв. 108, 202, 204, С04-23; 500 — скв. 103, С05-04; 700 — скв. 110, 111, С07-20, С07-22.



Рис. 7. Полиформационные золото-серебряные руды.

a — профиль 400, скв. С04-23; *б* — профиль 400, скв. С04-23. Руды представлены зонами интенсивного прожилкования, окварцевания и сульфидизации. В прожилках кварц-адуляр(ортоклаз)-карбонатного и кварц-ортоклаз-карбонатного состава наряду с тонкой вкрапленностью рудных минералов постоянно присутствуют серицит, альбит и хлорит.

Из остальных элементов наибольший интерес представляют легкие лантаноиды — Ce, La, Nd. Так же, как и в золото-серебряных рудах, они составляют более 90 % от суммы изученных РЗЭ (La, Ce, Nd, Yb). Обращают на себя внимание еще более высокие содержания Ce, La, Nd. Суммы концентраций этих элементов в серебряных рудах значительно выше, чем в золото-серебряных. Там, где преобладают прожилки, суммы РЗЭ колеблются в интервале 45—69 г/т, где доминирует вкрапленная сульфидная минерализация — достигают 180 г/т.

Полиформационные золото-серебряные руды

Еще более сложным и крайне неустойчивым минеральным и элементным составом характеризуются полихронные руды, имеющие сложный состав — полиформационные золото-серебряные руды (рис. 7). Они появляются в основном с глубиной на участках совмещения серебряного оруденения с золото-серебряным, на интервале абсолютных отметок 100—240 м (см. рис. 2). Рудные тела представлены прожилково-вкрапленной минерализацией, имеющей преимущественно площадной характер развития. Преобладает вкрапленная сульфидная минерализация в интенсивно серицитизированных, калишпацизированных и карбонатизированных метасоматитах. Сульфиды представлены пиритом и арсенопиритом. Частые прожилки имеют кварц-адуляр(ортоклаз)-карбонатный состав, присутствуют альбит, серицит и хлорит. Из аксессуарных минералов отмечены анатаз, рутил, сфен.

Полиформационным золото-серебряным рудам свойственны все ранее перечисленные минералы и рудные элементы. Кроме того, именно здесь появляются такие не типичные для вулканогенных золото-серебряных руд минералы, как гессит, аргиродит, канфильдит, ортит, фторапатит, арсенопирит и магнетит. Установлена крайняя изменчивость золотин — от собственно самородного золота (700—720 ‰) до электрума, близкого по составу к кюстелиту (200—300 ‰).

Из минералов серебра наиболее распространены сульфиды (акантит, штернбергит), сульфосоли (пираргирит, полиаргирит, стефанит) и селениды (науманнит, агвиларит). Акантит образует тесные сростания с сульфосолями и селенидами серебра, встречается в виде мелких включений в кварце (рис. 8, табл. 5). Сульфиды, сульфосоли и селениды серебра часто находятся в тесной ассоциации с самородным золотом, электрумом, кюстелитом, самородным серебром.

Практически всегда в полиформационных золото-серебряных рудах в разных количествах присутствует галенит, халькопирит, сфалерит, блеклая руда (теннантит, тетраэдрит). Появляется серебросодержащая блеклая руда (фрейбергит). Теннантит и тетраэдрит, как правило, находятся в тесной ассоциации с простыми сульфидами — галенитом, сфалеритом, халькопиритом, реже пиритом. Фрейбергит чаще встречается в ассоциации с сульфосолями и селенидами серебра, кюстелитом и самородным серебром.

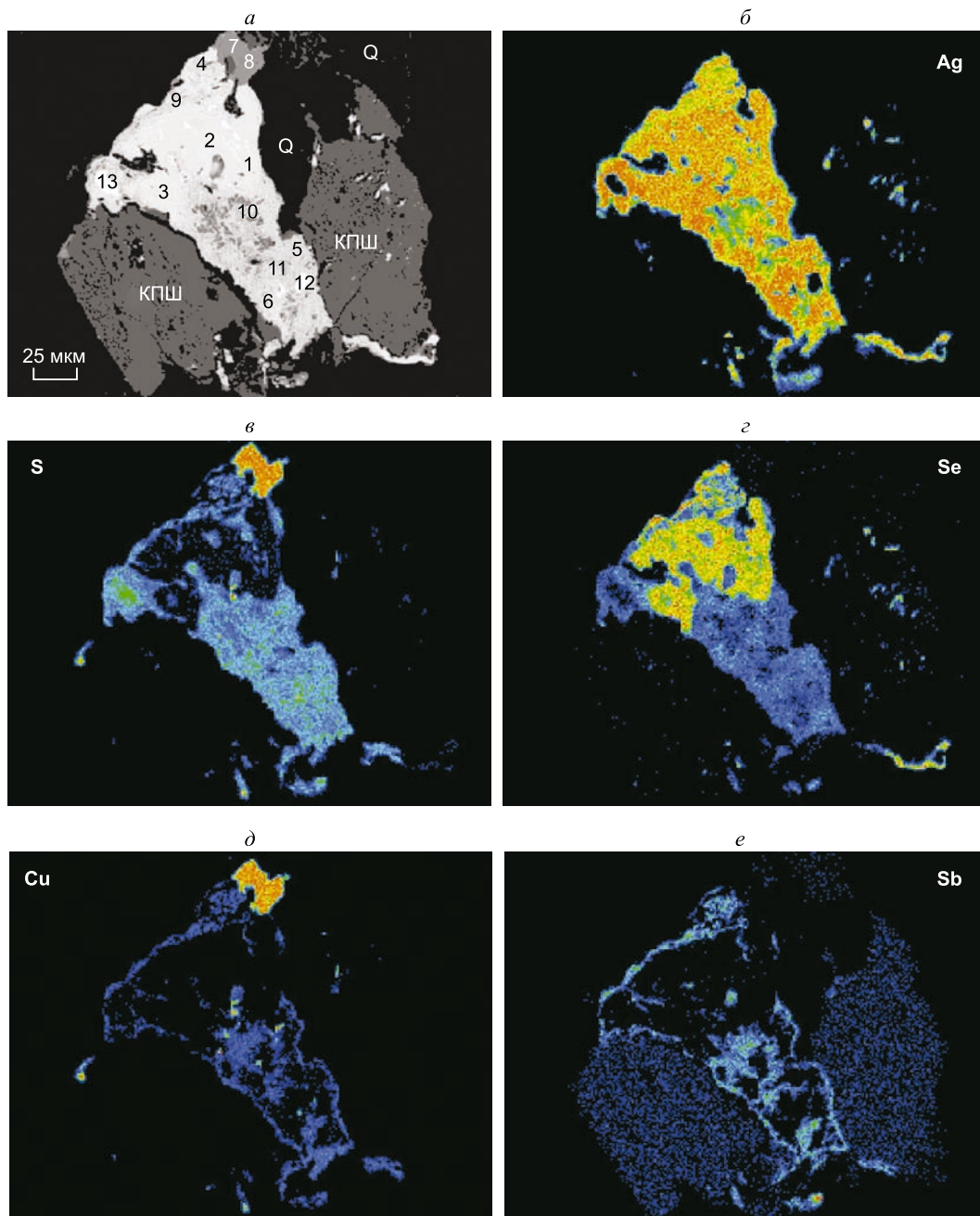


Рис. 8. Кварц-адуляр(ортоклаз)-карбонатный прожилок.

Рудные минералы представлены ксеноморфным агрегатом, состоящим из акантита (5, 6), селенидов (1-4) и сульфосолей (9-11) серебра в тесном сростании с галенитом (12, 13) и халькопиритом (7, 8). Изображение дано: *a* — в обратнорассеянных электронах, *б—e* — в рентгеновских лучах. 1-13 — точки замеров, содержания элементов, указанных в табл. 5.

На нижних горизонтах месторождения на интервале абсолютных отметок 100—105 м скважинами были вскрыты сульфидные прожилки, по минеральному и геохимическому составу аналогичные рудам серебро-полиметаллической формации [Кравцова, 2010]. Содержание Ag здесь достигает 10000 г/т.

Полиформационный характер руд достаточно отчетливо отражается в крайне сложных взаимоотношениях между рудными минералами. Блеклая руда (фрейбергит) находится в виде реликтов в селенидах серебра (науманнит, агвиларит). Те и другие, по всей вероятности, замещаются сульфосолями серебра (стефанитом) и самородным серебром (рис. 9, табл. 6).

Еще одна отличительная особенность этого типа руд — значительное количество примесных элементов в рудных минералах (см. табл. 5—7). В качестве постоянной примеси установлена Hg. Наиболее

Таблица 5.

**Элементный состав минералов серебра, халькопирита и галенита
(полиформационные золото-серебряные руды, месторождение Роговик)**

Номер точки замера	Ag	Se	Cu	Fe	Pb	Sb	S	Au	Te	Сумма	Формула минерала
Науманнит											
1	80.31	18.47	—	—	—	—	1.86	—	—	100.64	$Ag_{2.16}(Se_{0.68}, S_{0.17})_{0.85}$
2	80.25	19.15	—	—	—	—	1.81	—	—	101.21	$Ag_{2.14}(Se_{0.70}, S_{0.16})_{0.86}$
3	80.52	18.70	—	—	—	—	1.50	—	—	100.72	$Ag_{2.17}(Se_{0.69}, S_{0.14})_{0.83}$
4	75.50	18.26	1.10	—	—	2.73	1.42	—	—	99.01	$(Ag_{2.07}, Cu_{0.05})_{2.12}(Se_{0.68}, S_{0.13}, Sb_{0.07})_{0.88}$
Акантит											
5	75.70	4.42	1.46	0.95	—	—	14.22	—	—	96.75	$(Ag_{1.70}, Cu_{0.06}, Fe_{0.04})_{1.80}(S_{1.07}, Se_{0.14})_{1.21}$
6	79.08	2.36	0.63	—	—	—	15.61	—	—	97.68	$(Ag_{1.75}, Cu_{0.02})_{1.77}(S_{1.16}, Se_{0.07})_{1.23}$
Халькопирит											
7	—	—	35.28	29.77	—	—	34.37	—	—	99.42	$Cu_{1.03}Fe_{0.99}S_{1.99}$
8	—	—	36.03	29.92	—	—	35.03	—	—	100.98	$Cu_{1.03}Fe_{0.98}S_{1.99}$
Полларгирит											
9	71.52	7.61	2.70	—	—	6.90	9.04	—	0.47	98.24	$(Ag_{23.19}, Cu_{1.49})_{24.68}Sb_{1.98}(S_{9.86}, Se_{3.37}, Te_{0.13})_{13.36}$
10	70.58	4.00	2.38	—	—	9.41	12.98	0.65	—	100.00	$(Ag_{21.32}, Cu_{1.22}, Au_{0.11})_{22.65}Sb_{2.52}(S_{13.19}, Se_{1.65})_{14.84}$
11	75.45	5.76	1.79	—	—	4.95	12.23	—	0.39	100.57	$(Ag_{22.83}, Cu_{0.92})_{23.75}Sb_{1.33}(S_{12.45}, Se_{2.38}, Te_{0.10})_{14.93}$
Галенит											
12	0.45	—	—	—	85.25	—	12.89	—	—	98.59	$(Pb_{1.01}, Ag_{0.01})_{1.02}S_{0.98}$
13	0.25	—	—	—	84.55	—	13.55	—	—	98.35	$(Pb_{0.98}, Ag_{0.01})_{0.99}S_{1.01}$

Примечание. Элементы Hg, As, Zn, Ni, Co, W, Mo, Sn, Bi, Ge, Mn не обнаружены.

высокие концентрации этого элемента отмечены в самородном серебре (до 24.61 %), кюстелите (до 21.22 %) и электруме (до 18.21 %). По существу, такие соединения можно отнести к амальгамам (рис. 10, табл. 7). Ртуть постоянно присутствует в блеклых рудах (до 0.21 %), селенидах (до 0.20 %) и сульфосолях (до 0.16 %) серебра.

Наиболее высокие содержания Se (%) установлены в Se-акантите (до 7.25), сульфосолях (до 7.61) и селенидах (до 1.10) серебра, блеклой руде (до 1.93), электруме (до 0.34). Примесная Cu (%) присутствует в сульфосолях серебра (до 2.70), акантите (до 1.46), самородном серебре (до 0.11). Au (до 0.65 %) и Te (до 0.47 %) характерны для сульфосолей серебра, Sb (до 2.73 %) и S (до 1.86 %) — для селенидов серебра. Sb в виде примеси часто присутствует в самородном серебре (до 4.82 %) и Se-акантите (до 0.81 %). Постоянной примесью в галените является Ag (до 0.45 %).

Именно в полиформационных рудах установлены самые высокие содержания Au (до 260 г/т) и Ag (до 10000 г/т). Показателем крайней изменчивости состава этого типа руд являются Au:Ag отношения. Значения этого показателя изменяются от 1:5 до 1:6000 и более. Наиболее высокие содержания (г/т) отмечены также для Zn (до 2000), Cu (до 1000), Se (до 684.6), Sb (до 600), Pb (до 400), В (до 300), Hg (до 168), Ge (> 100) и Bi (до 15). Высокими остаются содержания As (до 500 г/т). Отчетливо проявлен Te (до 27 г/т). В единичных пробах появляются W (до 21 г/т) и Mo (до 10 г/т). Еще более значительно увеличивается содержание S (до 18.32 %) (табл. 8).

Рис. 9. Ксеноморфный агрегат, состоящий из селенидов серебра (1, 2), Se-акантита (3, 4), сульфo-антимонидов серебра (5-7), самородного серебра (8-14) и серебряных блеклых руд (15, 16).

Самородное серебро и сульфoантимониды серебра (стефанит) замещают на отдельных участках селениды серебра (науманнит), Se-акантит и блеклые руды (фрейбергит), выполняют каемки вокруг этих минералов, а также ответвления в нерудных минералах. Изображение дано в обратнорассеянных электронах. 1-16 — точки замеров содержаний элементов, указанных в табл. 6.

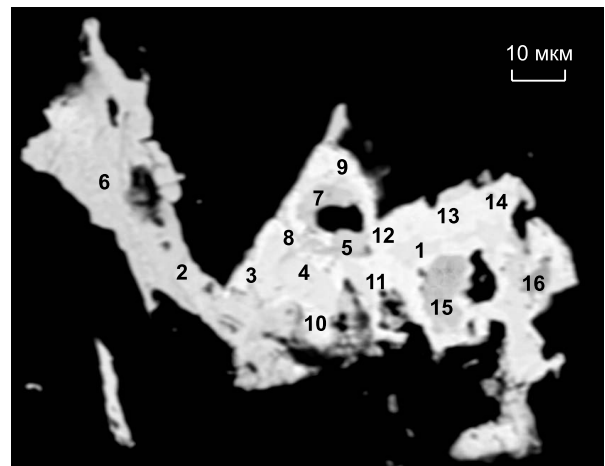


Таблица 6.

**Элементный состав минералов серебра
(полиформационные золото-серебряные руды, месторождение Роговик)**

Номер точки замера	Ag	Se	Sb	Cu	S	Hg	Fe	Сумма	Формула минерала
Науманнит									
1	79.67	20.98	—	—	0.42	0.20	—	101.27	Ag _{2.17} (Se _{0.78} , S _{0.04}) _{0.82}
2	79.41	19.32	0.18	—	0.44	0.15	—	99.50	Ag _{2.22} (Se _{0.74} , S _{0.04}) _{0.78}
Акантит									
3	84.75	6.48	0.81	—	9.49	—	—	101.53	Ag _{2.01} (S _{0.76} , Se _{0.21} , Sb _{0.02}) _{0.99}
4	84.76	7.25	—	—	8.53	—	—	100.54	Ag _{2.06} (S _{0.70} , Se _{0.24}) _{0.94}
Стефанит									
5	75.50	1.53	14.85	—	15.26	0.16	—	107.30	(Ag _{5.31} , Hg _{0.01}) _{5.32} Sb _{0.93} (S _{3.61} , Se _{0.15}) _{3.76}
6	72.11	2.87	9.86	0.16	13.11	—	—	98.11	(Ag _{5.59} , Cu _{0.02}) _{5.61} Sb _{0.68} (S _{3.42} , Se _{0.30}) _{3.72}
7	73.97	0.91	15.36	—	15.39	—	—	105.63	Ag _{5.27} Sb _{0.97} (S _{3.69} , Se _{0.09}) _{3.78}
Самородное серебро									
8	96.85	0.26	2.74	—	1.18	0.81	—	101.84	(Ag _{0.93} , S _{0.04} , Sb _{0.02} , Hg _{0.01}) _{1.00}
9	96.68	0.17	2.73	0.11	0.85	1.89	—	102.43	(Ag _{0.94} , S _{0.03} , Sb _{0.02} , Hg _{0.01}) _{1.00}
10	86.53	5.35	—	—	5.67	0.80	—	98.35	(Ag _{0.76} , S _{0.17} , Se _{0.07}) _{1.00}
11	85.72	0.27	4.82	—	4.77	3.52	—	99.10	(Ag _{0.79} , S _{0.15} , Sb _{0.04} , Hg _{0.02}) _{1.00}
12	98.20	0.68	3.01	—	0.63	0.90	—	103.42	(Ag _{0.94} , Sb _{0.02} , S _{0.02} , Se _{0.01} , Hg _{0.01}) _{1.00}
13	95.86	0.49	2.75	—	0.22	0.95	—	100.27	(Ag _{0.96} , Sb _{0.02} , S _{0.01} , Se _{0.01}) _{1.00}
14	96.71	2.01	2.18	—	0.74	0.53	—	102.17	(Ag _{0.93} , Se _{0.03} , S _{0.02} , Sb _{0.02}) _{1.00}
Фрейбергит									
15	31.85	1.56	24.21	21.47	21.63	0.11	0.81	101.64	(Cu _{6.57} , Ag _{5.75} , Fe _{0.28} , Hg _{0.01}) _{12.61} Sb _{3.87} (S _{13.13} , Se _{0.38}) _{13.51}
16	30.54	1.93	22.76	23.71	20.91	0.21	0.13	100.19	(Cu _{7.35} , Ag _{5.58} , Fe _{0.05} , Hg _{0.02}) _{13.00} Sb _{3.68} (S _{12.85} , Se _{0.48}) _{13.33}

Примечание. Элементы Au, As, Zn, Pb, Ni, Co, W, Mo, Sn, Bi, Ge, Te, Mn не обнаружены.

Особенностью полихронных образований, имеющих сложный полиформационный состав, несмотря на разброс значений, является еще более высокий уровень концентраций РЗЭ (ΣРЗЭ достигают 100 г/т и выше). В спектре РЗЭ, так же как и в большинстве образований, связанных с гранитоидными магмами, преобладают легкие «гидрофильные» лантаноиды цериевой группы — Се, La, Nd. О влиянии процессов гранитоидного магматизма на формирование полиформационных золото-серебряных руд может говорить также появление крайне высоких содержаний F — до 2000 г/т (см. табл. 7).

Выявленные особенности вещественного состава, закономерности распределения разных типов минерализации в пространстве, характер проявленных магматических процессов позволяют сделать вывод, что так же как и для ряда золото-серебряных объектов Омсукчанского прогиба, для руд месторож-

Таблица 7. **Элементный состав зерна высокортутистого электрума низкой пробыности
(полиформационные золото-серебряные руды, месторождение Роговик)**

Номер точки замера	Ag	Au	Hg	Se	Сумма	Формула минерала
1	54.69	27.39	18.09	—	100.17	Ag _{0.69} (Au _{0.19} , Hg _{0.12}) _{0.31}
2	54.77	26.93	18.13	—	99.83	Ag _{0.69} (Au _{0.19} , Hg _{0.12}) _{0.31}
3	54.70	26.50	18.21	—	99.41	Ag _{0.69} (Au _{0.19} , Hg _{0.12}) _{0.31}
4	57.05	27.98	14.66	0.16	99.85	Ag _{0.71} (Au _{0.19} , Hg _{0.10}) _{0.29}
5	57.79	26.59	14.77	0.22	99.37	Ag _{0.72} (Au _{0.18} , Hg _{0.10}) _{0.28}
6	57.47	30.79	11.74	—	100.00	Ag _{0.71} (Au _{0.21} , Hg _{0.08}) _{0.29}
7	57.46	27.50	13.75	0.19	98.90	Ag _{0.72} (Au _{0.19} , Hg _{0.09}) _{0.28}
8	55.78	27.62	15.71	—	99.11	Ag _{0.70} (Au _{0.19} , Hg _{0.11}) _{0.30}
9	56.44	27.67	14.15	—	98.26	Ag _{0.71} (Au _{0.19} , Hg _{0.10}) _{0.29}
10	55.22	31.66	12.19	0.34	99.41	Ag _{0.69} (Au _{0.22} , Hg _{0.08} , Se _{0.01}) _{0.31}

Примечание. Элементы Sb, As, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Fe, Mo, W, Sn, Bi, Ge, Te, S, Mn не обнаружены.

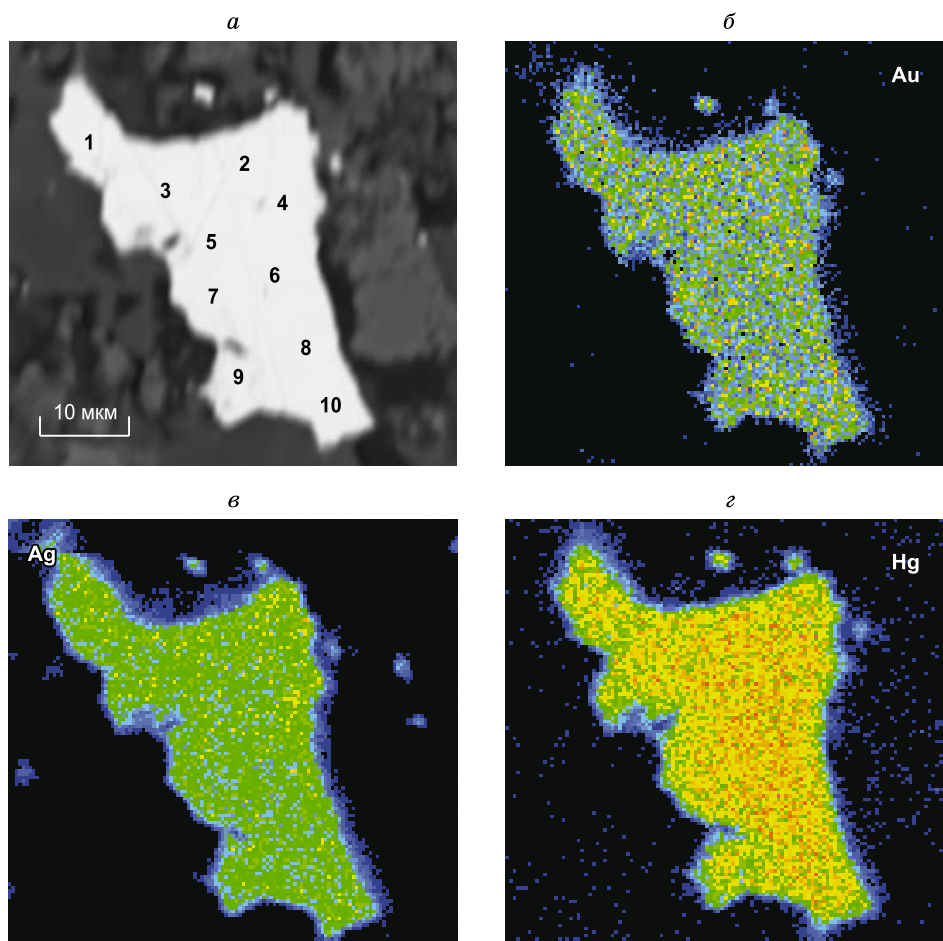


Рис. 10. Зерно высокортутистого электрума низкой пробы (белое) в прожилке кварца-адуляра(ортоклаз)-карбонатного состава (серое).

Изображение дано: *а* — в обратнорассеянных электронах; *б—г* — в рентгеновских лучах. 1-10 — точки замеров содержаний элементов, указанных в табл. 7.

дения Роговик типичны процессы реювенации. Эти процессы, судя по работам ряда исследователей [Берман и др., 1993; Константинов и др., 1998; Кравцова и др., 2003; Сидоров, Волков, 2005; Гончаров и др., 2006; Кравцова, 2010], явление достаточно распространенное. Наиболее ярким примером реювенации существовавшего ранее «догранитного» Au-Ag оруденения являются полихронные руды Дукатского месторождения, имеющие сложный полиформационный состав. Их окончательный облик сформировался под влиянием процессов, сопровождавших внедрение гранитоидной интрузии на более позднем этапе развития Дукатской рудно-магматической системы [Берман и др., 1993; Константинов и др., 1998; Кравцова и др., 2003; Кравцова, 2010].

Полученные данные по особенностям формирования полихронных руд на месторождении Роговик и то, что месторождение расположено над изометричным выступом крупного позднемелового интрузивного тела [Кузнецов, Ливач, 2005], а выявленная минерализация относится к более позднему вулканоплутоногенному этапу, еще одно доказательство тому. Здесь, так же как на Дукате, при совмещении двух рудоносных систем (ранней золото-серебряной и более поздней серебряной) в результате процессов реювенации возникли полихронные руды, имеющие сложный полиформационный состав.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании изучения минерального и геохимического состава руд с учетом структурных и морфологических особенностей рудных тел проведена их типизация. Установлены три типа рудной минерализации — эпитермальный золото-серебряный, серебряный и полиформационный золото-серебряный. Выявлена тесная связь и зональный характер распределения разных по типу руд в пространстве. В цент-

Таблица 8. Геохимический состав полиформационных золото-серебряных руд. Месторождение Роговик*

Номер пробы	Абс. отн., м	Au	Ag ₁ (Ag ₂)	Au:Ag	Hg	As	Sb	Cu	Pb	Zn	Mo	W	Bi	B	Ge	Se	Te	F	S	Ce	La	Nd	Σ PЭЭ
MH-628/11	240	260.10	>100(6000)	1:23	168.8	400	200	100	50	50	10	8	10	60	>100	25.1	<0.2	250	3.81	33	15	14	62
MH-716/11	200	0.02	0.4(1.5)	1:75	11.9	500	40	30	50	100	2	<5	<1	50	<1	16.3	<0.2	620	18.32	86	32	39	157
815/11	130	0.02	2(4)	1:200	0.6	150	<20	10	20	150	<1	<5	<1	100	<1	25.6	<0.2	2000	4.52	110	59	62	231
MH-816/11	130	0.10	20(30)	1:300	0.3	110	50	20	340	110	1	21	12	95	2	30.5	0.3	1100	14.37	72	36	38	146
820/11	125	3.10	>100(600)	1:194	2.8	200	150	100	30	300	3	<5	<1	100	2	29.1	0.8	410	1.08	44	20	23	87
821/11	120	0.04	6(10)	1:250	0.5	300	20	40	30	100	1.5	<5	1	80	1	14.7	0.26	360	2.34	46	21	25	92
822/11	120	31.09	>100(4000)	1:128	35.6	50	50	30	10	30	<1	<5	<1	40	2	141.5	2.6	400	1.11	37	14	18	69
828/11	110	0.11	0.3(0.5)	1:5	0.8	<50	<20	20	6	50	<1	<5	<1	60	<1	0.8	<0.2	700	0.40	59	30	33	122
829/11	105	0.22	3(5)	1:22	1.9	100	40	30	20	300	2	<5	1	120	2	1.6	<0.2	1900	1.77	53	20	52	125
830/11	105	88.13	>100(10000)	1:114	74.5	60	80	60	20	<20	2	<5	2	30	8	23.1	<0.2	200	2.6	10	5	2	17
156125	245	2.16	>100(4000)	1:1852	6.3	200	20	20	10	<20	3	<5	<1	60	5	320.2	<0.2	250	1.12	33	12	14	59
MH-156125	245	5.48	>100(6000)	1:1095	8.2	200	20	20	10	<20	3	<5	<1	50	5	684.6	<0.2	250	0.92	38	15	19	72
MH-156168	240	2.06	>100(3000)	1:1456	4.4	300	40	20	6	30	2	<5	<1	60		65.9	<0.2	310	0.44	36	14	16	66
156572	150	1.88	>100(2000)	1:1064	1.2	300	30	50	15	20	10	5	1	50	15	120.1	<0.2	360	1.62	38	16	23	77
MH-156572	220	0.36	>100(2000)	1:5556	1.2	200	20	40	10	<20	6	<5	<1	50	6	128.3	<0.2	370	1.76	41	15	22	78
MH-156954	240	0.47	>100(3000)	1:6382	2.9	300	30	30	10	<20	3	<5	<1	40	3	119.4	<0.2	400	1.50	40	16	18	74
MH-157919	230	0.62	>100(3000)	1:4838	0.7	80	20	15	5	30	1	<5	<1	80	2	58.1	0.3	220	0.40	17	7	7	31
MH-159180	210	5.51	40(60)	1:11	1.6	500	30	60	30	300	4	10	<1	300	2	16.5	0.3	500	4.56	62	29	32	123
159425	100	1.80	>100(4000)	1:2222	4.3	100	600	1000	400	1500	3	<5	10	100	>100	425.8	0.3	240	1.65	28	11	10	49
MH-159425	100	2.61	>100(6000)	1:2298	5.6	100	600	1000	400	2000	3	<5	15	150	>100	436.1	27.1	230	1.59	39	12	11	62

* Профили: 400 — скв. 107, 108, С04-23; 500 — скв. 101, 103; 700 — скв. С07-20, С07-27; 900 — скв. С09-04; 1600 — скв. С16-04.

ральной части месторождения на верхних горизонтах широко проявлены образования типичной эпитеpмальной золото-серебряной формации, на средних интервалах — более поздней серебро-полиметаллической, а на участках совмещения разных по возрасту рудоносных структур в основном с глубиной — золото-серебряные руды, имеющие сложный полиформационный состав. Сделан вывод о том, что рудная минерализация месторождения Роговик сформировалась в два этапа.

С ранним вулканогенным этапом связано образование эпитеpмальных золото-серебряных руд, для которых типичен бедный минеральный и компонентный состав. Они представлены зонами прожилково-жильной минерализации, реже отдельными жилами, имеют северо-западное простирание, линейную морфологию и крутопадающее залегание. Из жильных основные минералы — кварц и адуляр. Наиболее распространены рудные минералы — самородное золото, электрум, акантит, сульфосоли серебра, кюстелит, пирит. Реже встречается самородное серебро, науманнит, штернбергит, блеклая руда, еще реже — галенит, сфалерит, халькопирит. В качестве примеси в золотинах часто присутствует Hg. Ее содержание практически не превышает 1 %. Преобладают золотины размером от микронных частиц до мелких. Основной элементный состав прост — Au, Ag, As, Sb, Se, Hg. Содержание S низкое, менее 1 %. Отношения Au:Ag свойственны рудам эпитеpмальной убогосульфидной золото-серебряной формации и не превышают значений 1:2—1:35.

С более поздним вулканоплутоногенным этапом связаны серебряные руды. Их формирование происходило под влиянием внедрившейся гранитоидной интрузии. Серебряные руды представлены зонами прожилковой и прожилково-вкрапленной минерализации и по сравнению с золото-серебряным оруденением имеют более сложный минеральный и элементный состав. Для серебряных зон характерна в основном линейно-площадная морфология с хорошо проявленными элементами пологого залегания. Зоны прожилкования по отношению к золото-серебряным занимают секущее положение и ориентированы на северо-восток. Из жильных образований основной минерал — кварц. Присутствует адуляр. Часто его замещают ортоклаз и серицит. Рудные минералы представлены ртутистым кюстелитом и самородным серебром, сульфосолями и селенидами серебра, блеклой рудой, пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом. Основной элементный состав — Ag, As, Sb, Se, Hg, Pb, Zn, Cu, В. Появляются Mo, Ge, В, F, S и легкие лантаноиды — La, Ce, Nd. Главный элемент здесь только один — Ag. Отношения Au:Ag исключительно высокие, до 1:10 000 и более, что типично для руд сереброносных формаций.

Еще более сложным и крайне неустойчивым минеральным и элементным составом характеризуются полихронные руды, имеющие сложный полиформационный состав. Полиформационные золото-серебряные руды появляются на участках совмещения серебряного оруденения с золото-серебряным. Рудные тела представлены прожилково-вкрапленной минерализацией, имеющей площадной характер развития. Преобладает вкрапленная сульфидная минерализация в серицитизированных, калишпатизированных и карбонатизированных метасоматитах. Сульфиды в них представлены пиритом и арсениопиритом. Прожилки имеют кварц-адуляр(ортоклаз)-карбонатный состав, присутствуют альбит, серицит и хлорит. Для золото-серебряных полиформационных руд характерны все ранее перечисленные минералы и рудные элементы. Кроме того, здесь отмечено появление таких не типичных для вулканогенных золото-серебряных руд минералов, как гессит, аргиродит, канфильдит, ортит, фторапатит.

Установлена крайняя изменчивость золотинов — от собственно самородного золота до электрума и кюстелита. Высокортутистое самородное серебро и золото близки по составу к амальгамам. В виде постоянной примеси отмечен Se. В рудах на участках, подвергшихся процессам реювенации, резко увеличиваются содержания Au, Ag, Hg, Cu, Pb, Zn, Se, S, Ge, F, PЗЭ. Появляются Te и Bi. Показателем крайней изменчивости состава этого типа руд являются Au:Ag отношения, изменяющиеся в интервале от 1:5 до 1:6000 и более.

Сравнивая изученное нами месторождение с золоторудными месторождениями Северо-Востока России и зарубежья, относящимися к разным золоторудным формациям (субформациям), а именно золото-мышьяковисто-сульфидной (золото-сульфидная, золото-сурьяно-ртутная, золото-сульфидно-вкрапленная), золото-сульфидно-кварцевой, золото-кварцевой (золото-порфировая), золото-полисульфидной (золото-скарновая, золото-молибденовая, золото-висмут-теллуровая), золото-серебряной (золото-теллуридная, золото-адуляр-кварцевая, золото-серебро-адуляр-кварцевая), руды, связанные с ранним вулканогенным этапом, можно отнести к золото-серебро-адуляр-кварцевой субформации золото-серебряной формации.

Учитывая уникальность Омсукчанского рудного района (Балыгычано-Сугойского прогиба), широко известного своей металлогенической специализацией на серебро, где наряду с золото-серебряным оруденением существенно развиты преимущественно серебряные (Дукат, Лунное, Арылах) и серебро-полиметаллические (Гольцовое, Мечта, Тидит) эпитеpмальные месторождения, появление серебряных руд на Роговиковской площади в более поздний вулканоплутоногенный этап является вполне закономерным.

Опыт проведения геохимических исследований на территории Северо-Востока России в рудных районах центральной части Охотско-Чукотского вулканогенного пояса позволяет предположить, что золото-серебряное месторождение Роговик — это не единственный и, возможно, не главный рудный объект на этой территории. Полученные результаты говорят в пользу оптимистичной оценки данной площади на предмет обнаружения новых рудных объектов и не только золото-серебряных.

Авторы благодарны за помощь в аналитических исследованиях М.С. Малюгину, Н.Е. Смолянской, В.Н. Власовой, Т.С. Краснощековой, Л.Д. Андрулайтис, О.С. Рязанцевой, Н.Н. Брюхановой, Н.Л. Чумаковой, О.М. Чернышевой. Особую признательность авторы хотели бы выразить всем геологическим службам Дукатского геолого-разведочного предприятия (г. Магадан), его главному геологу Б.И. Ишкову и ведущему геологу В.И. Зайцеву за всестороннюю помощь в проведении полевых работ и техническом их сопровождении (предоставление первичной документации, транспорт, проживание).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 14-05-00361) и СО РАН (интеграционный проект № 48).

ЛИТЕРАТУРА

Берман Ю.С., Прокофьев В.Ю., Козеренко С.В., Елисеева Н.А., Колпакова Н.Н. Реювенация золото-серебряного оруденения вулканогенного месторождения Дукат (по результатам исследования флюидных включений) // Геохимия, 1993, № 4, с. 539—548.

Васильева И.Е., Кузнецов А.М., Васильев И.Л., Шабанова Е.В. Градуировка методик атомно-эмиссионного анализа с компьютерной обработкой спектров // Журнал аналитической химии, 1997, т. 52, № 12, с. 1238—1248.

Воробьева С.Е., Меньшиков В.И., Цыханский В.Д., Пахомова Н.Н., Ларионова О.В. Прямое атомно-абсорбционное определение Au, Ag, Sb, Te, Bi с применением электротермического атомизатора // Тезисы докладов VIII Областной научно-технической конференции по спектроскопии. Тамбов, ТИХМ, 1987, с. 55—56.

Гончаров В.И., Гамянин Г.Н., Савва Н.Е., Сидоров А.А., Горячев Н.А., Кравцова Р.Г., Округин В.М., Волков А.В. Золото-серебряные месторождения Северо-Востока Азии: типы, минералого-геохимические особенности и перспективы их рационального освоения // Золоторудные месторождения Северо-Востока России. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 2006, с. 4—16.

Инструкция № IX. Химические аналитические методы. Йодометрическое определение общего содержания серы. М., ВИМС, 1965, 9 с.

Инструкция № 160-Х. Экстракционно-флуориметрическое определение селена с 2, 3-диаминонафталином. М., ВИМС, 1979, 12 с.

Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М., Недра, 1983, 191 с.

Калинин А.И., Яранцева Л.М., Наталенко В.Е., Канищев В.К. Геология серебро-полиметаллического оруденения Новоджагынской интрузивно-купольной структуры // Колыма, 1984, № 1, с. 29—31.

Константинов М.М., Сидоров А.А. Сереборудные формации вулканических областей // Советская геология, 1985, № 1, с. 27—32.

Константинов М.М., Наталенко В.Е., Калинин А.И., Стружков С.Ф. Золото-серебряное месторождение Дукат. М., Недра, 1998, 203 с.

Константинов М.М., Костин А.В., Сидоров А.А. Геология месторождений серебра. Якутск, ГУП НИИП «Сахаполиграфиздат», 2003, 282 с.

Кравцова Р.Г. Геохимия и условия формирования золото-серебряных рудообразующих систем Северного Приохотья. Новосибирск, Академ. изд-во «Гео», 2010, 292 с.

Кравцова Р.Г., Захаров М.Н. Геохимические поля концентрирования Дукатской золото-серебряноносной рудно-магматической системы (северо-восток России) // Геология и геофизика, 1996, т. 37 (5), с. 28—38.

Кравцова Р.Г., Куликова З.И. Минералого-геохимические особенности пород и руд золото-серебряного месторождения Роговик (Северо-Восток России) // Современные проблемы геохимии. Материалы Всероссийского совещания, посвященного 95-летию со дня рождения Л.В. Таусона. Т. 3. Иркутск, Ин-т географии СО РАН, 2012, с. 82—86.

Кравцова Р.Г., Захаров М.Н., Иванов О.П. Комплексные геохимические исследования Пестринского сереброносного рудного поля (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений, 1996, т. 38, № 5, с. 424—436.

Кравцова Р.Г., Захаров М.Н., Шатков Н.Г. Минералого-геохимические особенности рудовмещающих пород серебро-полиметаллического месторождения Гольцовое (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений, 1998, т. 40, № 3, с. 221—235.

Кравцова Р.Г., Боровиков А.А., Борисенко А.С., Прокофьев В.Ю. Условия формирования золото-серебряных месторождений Северного Приохотья, Россия // Геология рудных месторождений, 2003, т. 45, № 5, с. 452—473.

Кравцова Р.Г., Захаров М.Н., Коркина О.И. Редкоземельные элементы в метасоматитах и рудах золото-серебряного месторождения Дукат (северо-восток России) // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (6), с. 603—616.

Кравцова Р.Г., Макшаков А.С., Тарасова Ю.И., Куликова З.И. Минералого-геохимические особенности вмещающих пород и руд золото-серебряного месторождения Роговик (Северо-Восток России) // Изв. СО РАЕН, секция наук о Земле. Геология, поиски и разведка рудных месторождений, 2012, т. 41(2), с. 11—22.

Кузнецов В.М. Разнопорядковые структуры позднемезозойской тектономагматической активизации в Верхояно-Чукотской складчатой области // Вестн. СВНЦ РАН, 2006, № 2, с. 2-13.

Кузнецов В.М. Структурный контроль флюидно-эксплозивных систем с золото-серебряным оруденением на Охотско-Колымском водоразделе // Золото северного обрамления Пацифика. Тезисы докладов II Международного горно-геологического форума, посвященного 110-летию со дня рождения Ю.А. Билибина. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 2011, с. 115—117.

Кузнецов В.М., Ливач А.Э. Строение и металлогеническое районирование Балыгычано-Сугойского прогиба // Проблемы металлогении рудных районов Северо-Востока России. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 2005, с. 156—176.

Кузнецов В.М., Палымская З.А., Пузырев В.П., Пчелинцева Р.З., Степанов В.А., Щитова В.И. Золото-серебряное оруденение в криптовулканической структуре // Колыма, 1992, № 3, с. 5—8.

Методика выполнения измерений массовой концентрации общей ртути методом «холодного пара» на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой РП-91. ПНД Ф 14.1:2:4.160-2000. М., НПФ «Льюмэкс», 2004, 28 с.

Наталенко В.Е., Калинин А.И., Раевская И.С., Толстихин Ю.В., Халхалов Ю.А., Бельков Е.В. Геологическое строение Дукатского месторождения // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Вып. 25. Магадан, Магадан. кн. изд-во, 1980, с. 61-73.

Павлова Л.А., Парадина Л.Ф. Рентгеноспектральный микроанализ и его применение в минералогии. Якутск, ЯНЦ СО АН СССР, 1990, 186 с.

Раевская И.С., Калинин А.И., Наталенко В.Е. О стадийности и этапности минералообразования на золото-серебряном месторождении // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Вып. 23. Магадан, Магадан. кн. изд-во, 1977, с. 149—155.

Сидоров А.А., Волков А.В., Томсон И.Н. О типах ремобилизации рудного вещества // ДАН, 2005, т. 403, № 1, с. 78—82.

Сидоров А.А., Волков А.В., Белый В.Ф., Алексеев В.Ю., Колова Е.Е. Золото-сереброносный Охотско-Чукотский вулканогенный пояс // Геология рудных месторождений, 2009, т. 51, № 6, с. 492—507.

Сидоров А.А., Волков А.В., Чехов А.Д., Савва Н.Е., Алексеев В.Ю., Уютнов К.В. Вулканогенные пояса окраинно-морской литосферы Северо-Востока России и их рудоносность // Вулканология и сейсмология, 2011, № 6, с. 21—35.

Сидоров А.А., Волков А.В., Алексеев В.Ю. Зоны активизации и вулканизм // Вулканология и сейсмология, 2013, № 3, с. 3—14.

Стружков С.Ф., Константинов М.М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М., Научный мир, 2005, 320 с.

Торгов В.Г., Хлебникова А.А. Атомно-абсорбционное определение золота в пламени и беспламенном графитовом анализаторе с предварительным выделением экстракцией сульфидами нефти // Журнал аналитической химии, 1977, т. 32, вып. 5, с. 960—964.

Чумакова Н.Л. Автоматизация методики количественного атомно-эмиссионного определения вольфрама в геологических объектах // Аналитика и контроль, 2009, № 4, с. 1—4.

Chumakova N.L., Smirnova E.V. Determination of lanthanum, cerium, neodymium, ytterbium, and yttrium in geological samples with the use of a multichannel analyzer of atomic emission spectra // Inorg. Mater., 2011, v. 47, № 14, p. 1522—1528.