

УДК 553.43.44:549.3

**ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ
РИДДЕР-СОКОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
НА РУДНОМ АЛТАЕ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)**

Г.Д. Ганженко¹, М.А. Юдовская², И.В. Викентьев²

¹Алтайский Геолого-Экологический Институт, г. Усть-Каменогорск, Казахстан; gena72-100@mail.ru

²Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва

**GOLD-POLYMETALLIC MINERALIZATION
OF THE RIDDER-SOKOLNOYE DEPOSIT IN THE RUDNY ALTAI
(EASTERN KAZAKHSTAN)**

G.D. Ganzhenko¹, M.A. Yudovskaya², I.V. Vikentyev²

¹Altai Geological-Ecological Institute, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; gena72-100@mail.ru

²Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow

Новые геохимические данные по распределению золотой минерализации в разрезе залежей крупнейшего на Рудном Алтае Риддер-Сокольного месторождения подтверждают секущий характер золото-кварцевых жил и золотоносного штокверка по отношению к зонально построенным телам массивных и вкрапленных колчеданно-полиметаллических руд. Содержания золота в массивных колчеданных рудах находятся в прямой зависимости от содержаний цветных металлов, тогда как такая зависимость отсутствует для жильного малосульфидного золото-кварцевого оруденения, которое содержит более половины запасов золота на месторождении. Высокая доля кварца и подчинённая роль сульфидов, широкая распространённость крустификационных и брекчиевидных текстур в золотоносных жилах и их геохимическая специализация нехарактерны для колчеданного типа минерализации и, скорее, близки к характеристикам эпитермальных объектов. Ассоциация редких минералов в жилах с широким развитием теллуридов и заметным обогащением селеном более типична для минерализации, связанной с гранитоидным магматизмом.

Илл. 10. Табл. 2. Библ. 64.

Ключевые слова: Риддер-Сокольное месторождение, Рудный Алтай, колчеданное оруденение, золото, теллур, селен.

New geochemical data on distribution of gold mineralization in the ore lode sections of the Ridder-Sokolnoye deposit, the largest in Rudny Altai, confirm the crossing style of gold-quartz veins and gold-bearing stockwork relative to the zonal bodies of massive and disseminated massive sulfide polymetallic ores. The Au content of massive sulfide ores positively correlates with base metal content in contrast to low-sulfide gold-quartz veins, which contain more than half of gold reserves of the deposit. The high content of quartz, subordinate amount of sulfides, and dominant crustification and brecciated structures of gold-bearing veins, as well as their geochemistry, are similar to epithermal deposits rather than to massive sulfide deposits. An assemblage of rare minerals of veins with abundant tellurides and Se enrichment is more typical of mineralization related to granitic magmatism.

Figures 10. Tables 2. References 64.

Key words: Ridder-Sokolnoye deposit, Rudny Altai, massive sulfide mineralization, gold, tellurium, selenium.

Введение

Известное с 1784 г. барит-колчеданно-полиметаллическое месторождение Риддер-Сокольное до сих пор является одним из крупнейших промышленных объектов Рудного Алтая. При общих запасах до 225 млн т руды, содержащих в среднем, мас. %: Cu 0.39 Pb 0.78, Zn 1.66, а также, г/т: Au 2.61 и Ag 25.6 (Lobanov et al., 2014), отработанные и существующие запасы золота составляют более 500 т, что соответствует почти половине рудноалтайского золота и приближает месторождение к ряду гигантских золоторудных объектов (Sillitoe, 2000; Laznicka, 2010). Это старейшее на Рудном Алтае месторождение было впервые описано более 100 лет назад (Обручев, 1915; Пилипенко, 1915; Григорьев, 1927; Болдырев, Григорьев, 1927). Геологическое строение Лениногорского рудного поля детально изучалось в 1950–1980 гг., и важнейшие выводы изложены в ряде работ (Щерба, 1957; Ермолаев, 1957; Попов, 1968; Чепрасов и др., 1972; Проблемы генезиса..., 1977; Яковлев и др., 1986, Палеовулканологический..., 1984; Старостин, 1979; Николаев, Карманов, 1985; Викентьев, Карманов, 1989; Авдонин, 1981; и др.).

Многолетняя интенсивная отработка Риддер-Сокольного месторождения сопровождалась детальными минералогическими исследованиями, первые результаты которых были обобщены в монографии Б.И. Вейц (1959). Тематические исследования золотоносности руд верхних уровней в 1970 г. были проведены И.З. Исакович, а в 1973 г. – Х.Х. Куленовым. В 1976–1978 гг. Х.А. Беспаяевым, О.А. Ковриго, Г.С. Дурневым с соавторами было выполнено обобщение данных по распределению благородных металлов в пределах обрабатываемых в то время рудоносных уровней с 9 по 15 горизонты. В начале 1980-х гг. вышла обобщающая работа по минералогии руд Риддер-Сокольного месторождения (Покровская, 1982), которая включала данные микрорентгеноспектрального анализа основных и редких минералов.

Удивительной чертой Риддер-Сокольного месторождения является присутствие, наряду с золотоносными колчеданно-полиметаллическими массивными и жильно-вкрапленными рудами, собственно серебро-золоторудных тел в виде секущих жил и прожилковых зон (Омирсериков и др., 2006; Дюсембаева и др., 2010). Проблема источника золота остается нерешённой, что справедливо не

только для Риддер-Сокольного месторождения, но и для многих других богатых золотом колчеданных месторождений (Викентьев и др., 2006; Mercier-Langevin et al., 2011). Среди колчеданно-полиметаллических объектов наиболее богатыми золотом являются архейские месторождения в зеленокаменных поясах, например, в поясе Абитибби или такие как Болиден в Швеции (Mercier-Langevin et al., 2011). Богатейшие из них содержат от 200 до 330 т золота (ЛаРонда и Хорн) со средним содержанием Au (г/т), превышающим среднее содержание цветных металлов Cu + Zn + Pb (мас. %), что позволяет рассматривать их и как собственно золоторудные объекты. По запасам золота они заметно уступают Риддер-Сокольному месторождению.

Взаимоотношения золотой минерализации с колчеданным оруденением и время её проявления (синвулканическое или со- и постскладчатое) являются предметом дискуссий. Многие исследователи полагают, что пост- или синдеформационная золотая минерализация была наложена на сингенетическое бедное золотом колчеданное оруденение (Покровская, 1982). Альтернативно считается, что золотое оруденение было синхронно с основным этапом колчеданного рудоотложения в пределах той же гидротермальной системы, но представляет собой особый тип минерализации, связанный с доминирующим вкладом магматического источника в гидротермальном флюиде (Dube et al., 2007). Геохимические черты (Au-Ag ± Bi-Hg-Te-As-Sb) золотой минерализации в колчеданных месторождениях предполагают существенный вклад магматической составляющей, тогда как рециклинг морской воды с выщелачиванием металлов из подстилающих толщ, по-видимому, мог быть доминирующим фактором при формировании собственно колчеданных (существенно пиритовых) залежей. Вместе с тем, наложенные золотоносные минеральные ассоциации колчеданных месторождений могут иметь характеристики других типов оруденения – эпитермального, более глубинного порфирирового или даже «орогенного» мезотермального.

Задачами данной работы являлись выявление минералов-носителей золота, форм его нахождения в парагенетических ассоциациях и изучение закономерностей локализации богатого золотого оруденения Риддер-Сокольного месторождения. Целью исследования была идентификация ведущего геологического процесса, ответственного за аномальное богатство руд и его вещественных признаков, которые могут служить поисковыми критериями.

риями для дальнейших прогнозных, поисковых и разведочных работ, как на Рудном Алтае, так и в других колчеданосных провинциях.

Геологическое строение района и месторождения

Как часть Центрально-Азиатского орогенно-го пояса (Yakubchuk et al., 2012), Рудный Алтай по Северо-Восточной зоне смятия граничит со структурами Горного Алтая на северо-востоке, а по Иртышской зоне смятия – с Калба-Нарымской зоной на юго-западе (Лапухов и др., 1986; Викентьев, 2004; Дьячков и др., 2009). Образование Рудноалтайской зоны связано с эволюцией активной окраины Алтайского континента в среднем девоне – раннем карбоне, когда были сформированы мощные вулканогенно-осадочные толщи, вмещающие колчеданные залежи (Малыгин, Нахтигаль, 1999; Дьячков и др., 2009; Yakubchuk et al., 2012). Проявления вулканизма выразились в формировании субвулканических тел, вулканов центрального типа, а также мощных пирокластических толщ (Палеовулканологический..., 1984; Дергачёв и др., 1994). Антидромный вулканизм, с преобладанием дацит-риолитового, мигрировал с юго-востока в эмсе-эйфеле на северо-запад в живете-фране (Горжевский и др., 1977; Палеовулканологический..., 1984). Существенно кислый, хотя и бимодальный, характер базальт-риолитового многоактного вулканизма предопределил полиметаллическую специализацию связанного с ним оруденения (Вулканогенные..., 1978; Яковлев и др., 1986). Большинство месторождений Рудного Алтая претерпело значительные преобразования в связи с наложенными магматическими, метаморфическими и тектоническими процессами. Интрузивные породы Рудноалтайской зоны в основном представлены габброидами, плагиогранитами и гранитами позднедевонского змеиногорского комплекса с U-Pb изотопным возрастом $378 \pm 6 - 71 \pm 2$ млн. лет (Козлов, 2015; Куйбида и др., 2015), становление которого происходило синхронно с поздними этапами проявления базальт-риолитового вулканизма.

Лениногорское рудное поле находится в сводовой области Синюшинского антиклинория в пределах Лениногорско-Зырянской структурно-фациальной подзоны Рудноалтайской зоны. Рудное поле включает два крупнейших месторождения – Риддер-Сокольное и открытое в 1981 г. Новоленинское. Грабенообразная вулканотектоническая

депрессия, вмещающая рудное поле, сформировалась в среднем девоне и в настоящее время со всех сторон ограничена региональными разломами. С севера рудное поле оконтуривает Северный надвиг, по которому нижнедевонские отложения и гранодиориты Синюшинского массива надвинуты на девонские породы. С юга рудное поле ограничено Обручевским взбросом, с запада – Кедровско-Бутахихинской и с востока – Успенско-Карелинской тектоническими зонами, являющимися ветвями Северо-Восточной зоны смятия (рис. 1).

В основании разреза грабена залегают сложнодислоцированные сланцы хлорит-актинолит-кварцевого состава заводской свиты силур-раннедевонского возраста, перекрывающиеся пологолежащей толщей вулканогенно-осадочных пород эмс-раннеживетского возраста, расчленённых на лениногорскую, крюковскую, ильинскую и сокольскую свиты. Лениногорская свита сложена туфами кислого состава и вулканомиктовыми гравелитами, крюковская и сокольская представлены в основном терригенно-хемогенными отложениями, а ильинская свита состоит из смешанных туфов, туффитов и подчинённых лав среднего-основного состава. В рудном поле широко распространены субвулканические и экструзивные образования, представленные риолитами и более поздними диабазами (Дергачёв и др., 1994). Среднедевонские отложения деформированы в пределах Риддер-Сокольной и Крюковской горст-антиклинальных складок северо-западного простирания, которые, в свою очередь, осложнены брахикуполными структурами более высокого порядка, контролирующими положение отдельных залежей (Николаев и др., 1984). Купольные структуры разграничены разрывными нарушениями северо-западной ориентировки и образуют отдельные блоки месторождения: Центральный – с залежами Заводская, Риддерская, Центральная и Победа; Восточный – с залежами Белкина, Перспективная, Крюковская; Западный – с залежами 1-я, 2-я и 3-я Юго-Западные, Быструшинская и Южный фланг Быструшинской (рис. 2).

Типы оруденения

Руды Риддер-Сокольного месторождения типично полиметаллические, характеризующиеся преобладанием цинка над свинцом и медью с количественными соотношениями Zn : Pb : Cu, варьирующими от 10 : 5 : 1 в полиметаллических до 4 : 1 : 8 – в медно-цинковых разностях. По содержа-

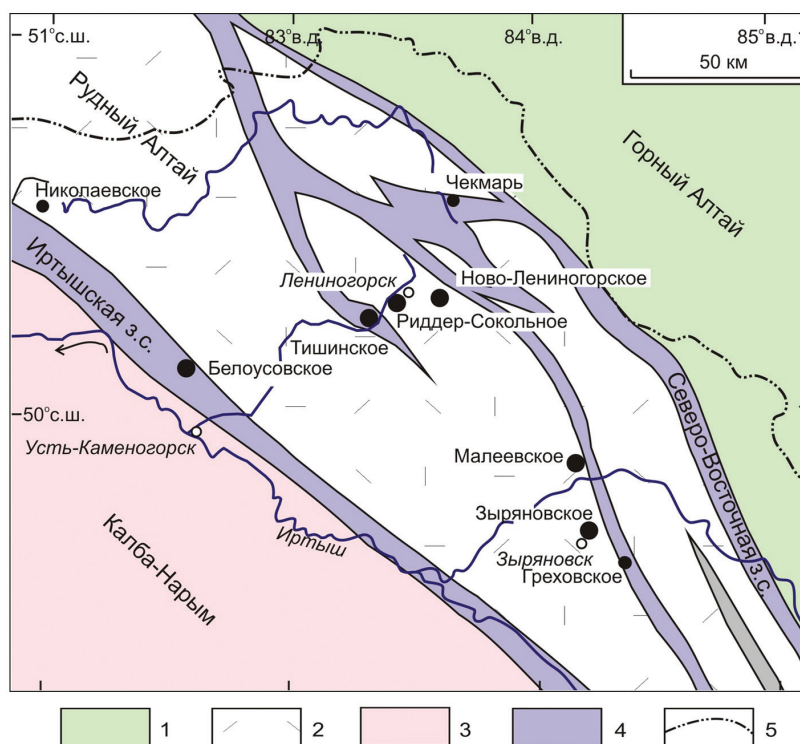


Рис. 1. Положение основных колчеданно-полиметаллических месторождений в структуре Рудного Алтая.

1 – Горноалтайский микроконтинент, комплекс основания (PR–PZ) и континентальной окраины (D_{2-3}); 2 – Рудноалтайская зона, преимущественно островодужные комплексы ($D_{1e}-D_{3fr}$); 3 – Калба-Нарымская зона, пелагические осадки (PZ_{2-3}); 4 – Иртышская (палеозона Беньюффа) и Северо-Восточная зоны смятия; 5 – государственная граница России и Казахстана. Малыми и большими кружками показаны месторождения с соответственно средними и крупными запасами руд.

Fig. 1. Position of major massive sulfide deposits in structure of Rudny Altay.

1 – Gorny Altay microcontinent, complexes of basement (PR–PZ) and continental margin (D_{2-3}); 2 – Rudny Altay zone, mostly island arc complexes ($D_{1e}-D_{3fr}$); 3 – Kalba-Narym zone, pelagic sedimentary rocks (PZ_{2-3}); 4 – Irtysh (Benioff paleozone) and North-East fold zones; 5 – state border of Russia and Kazakhstan. Small and large circles show medium and large deposits, respectively.

нию сульфидов руды подразделяются на сплошные (массивные) и прожилково-вкрапленные (включая слоистые и брекчиевые). Кроме промышленных сульфидных руд, золотоносными могут являться забалансовые руды, минерализованные и «безсульфидные» породы, которые принято называть золотыми малосульфидными рудами. Все вышеназванные вещественные типы золотых руд в зависимости от степени их золотоносности подразделяются на рядовые (содержание золота 2–16 г/т) и богатые (содержание золота более 16 г/т). Выделяются следующие структурно-морфологические типы оруденения: линзовидные и куполовидные залежи; прожилково-вкрапленное, прожилково-жильное штокверковое и параллельно-жильное оруденение; резко подчинёнными являются брекчиевые руды в эксплозивных брекчиях и слоистые руды.

Сульфидные и сульфидно-кварцевые рудные тела развиты на площади 20 км² на четырёх уровнях

эмс-эйфельского разреза. На двух нижних уровнях формировалась субэкономическая полиметаллическая минерализация. Эти отложения подверглись локальному размыву с отложением рудных галек, захороненных в гравелитах нижнего эмса в верхней части крюковской свиты (Чепрасов и др., 1972; Покровская, 1982). На верхних 2-м и 1-м рудоносных уровнях локализованы промышленные медно-цинковые и золото-полиметаллические руды. Первые залегают на границе лениногорской и крюковской свит, а вторые располагаются в средней и верхней частях крюковской свиты, в пределах так называемого «критического горизонта» (Буров, Курек, 1939).

Пологие линзообразные тела полиметаллических руд располагаются субсогласно с вмещающими породами и с глубиной сменяются крутопадающими прожилковыми телами штокверкового типа того же состава. Верхние части линзообразных за-

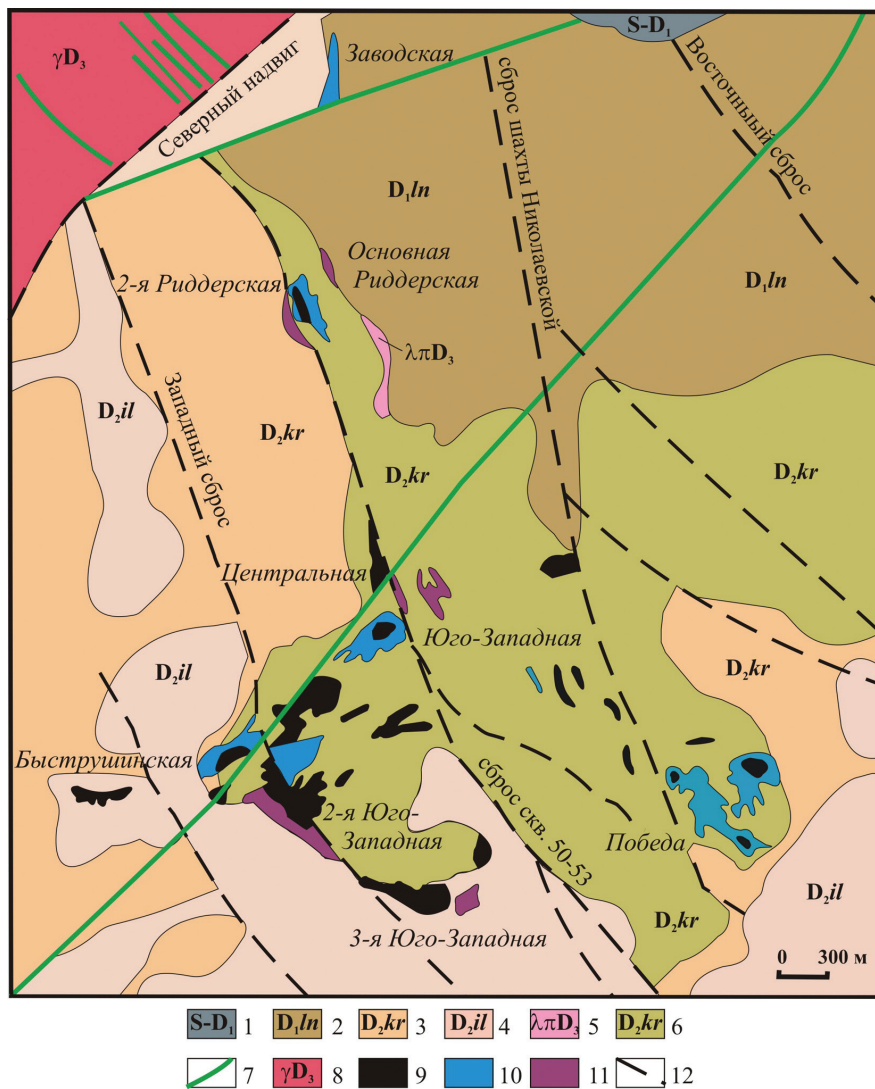


Рис. 2. Геологический план 11 горизонта Риддер-Сокольного месторождения (составлен О.А. Ковригой и Х.А. Беспаяевым в 1995 г.).

1 – метаморфические сланцы S-D₁; 2–4 – вулканогенно-осадочные отложения D₁₋₂: 2 – туффиты ленинградской свиты, 3 – алевролиты крюковской свиты, 4 – вулканиты ильинской свиты; 5 – субвулканические тела риолитов; 6 – метасоматиты по алевролитам крюковской свиты; 7 – диабазы C₁; 8 – гранитоиды змеиногорского комплекса D₃; 9–11 – руды: 9 – сплошные полиметаллические, 10 – прожилковые Pb-Zn, 11 – прожилковые Cu-Zn; 12 – разрывные нарушения.

Fig. 2. Geological plan of horizon 11 of the Ridder-Sokolnoe deposit (composed by O.A. Kovriga and Kh.A. Bespaev in 1995).

1 – metamorphic schists (S-D₁); 2–4 – volcanosedimentary rocks D₁₋₂: 2 – tuffites of the Leninogorsk Formation, 3 – siltstones of the Kryukovskaya Formation, 4 – volcanic rocks of the Il'inskaya Formation; 5 – subvolcanic rhyolite bodies; 6 – metasomatites after siltstones of the Kryukovskaya Formation; 7 – diabases C₁; 8 – granitic rocks of the Zmeinogorsk complex D₃; 9–11 – ores: 9 – massive polymetallic, 10 – stringer Pb-Zn, 11 – stringer Cu-Zn; 12 – faults.

лежей часто венчаются барит-полиметаллическими куполами, имеющими секущие соотношения с вмещающими известковистыми алевролитами. Массивные руды в линзообразных залежах имели широкое площадное развитие на всём месторождении, но к настоящему времени отработаны, и их фрагменты остались лишь на флангах.

На нижних горизонтах развиты медно-цинковые руды в виде секущих жильно-штоковерковых тел в зоне дробления пород на контакте агломератовых туфов и туффитов с вышележащими кремнистыми и известковистыми алевролитами. Прожилково-вкрапленные их разности по объёму составляют существенную часть руд месторождения. Они

прослеживаются в микрокварцитах крюковской свиты на сотни метров, образуя густую сеть прожилков, цементируя раздробленные кварциты, а с глубиной переходят во всё более редкую систему прожилков и крутопадающих жил. Таким образом, фиксируется чёткая зональность состава руд, выражающаяся сменой снизу вверх медно-колчеданных руд медно-цинковыми и полиметаллическими свинцово-цинковыми.

Золото-кварц-сульфидное и золото-кварцевое малосульфидное оруденение субпараллельно-жильного штокверкового типа прослеживается в пределах всего вертикального диапазона верхних двух уровней. Этот тип оруденения проявлен на всех залежах, за исключением Крюковской, однако к настоящему времени на залежах Победа, Центральная и 2-ая Юго-Западная (см. рис. 2) жильные штокверки в основном отработаны. Крутопадающие, иногда кулисообразно расположенные золото-кварц-сульфидные жилы, сменяющие на глубине сетчато-жильные (до густовкрапленных сульфидных руд) штокверковые зоны, имеют протяжённость от нескольких до первых сотен метров. Мощность их колеблется обычно в пределах 10 см–1 м, единичные жилы достигают мощности 6 м. Падение жил крутое до вертикального, простираение в разных блоках месторождения различное: в Центральном и Восточном – северо-западное, в Западном – северо-восточное. В пространственном распределении золотоносных кварц-сульфидных жил намечается тенденция приуроченности их к корневым частям под центром куполовидных залежей. Наиболее крупной на месторождении является так называемая «Стержневая» жила, которая прослеживалась более чем на 800 м в пределах 2-й Юго-Западной и Быструшинской залежей и была отработана на 14 и 15 горизонтах (Николаев, Карманов, 1985). Жила изменчивой мощности до 10 м была приурочена к разрыву северо-восточного простираения, имела зональное строение и была осложнена многочисленными апофизами и пострудными нарушениями.

Золото-кварцевые жилы с высоким содержанием золота (более 16 г/т), обрабатываемые селективно, широко развиты в пределах 2-ой Юго-Западной и Быструшинской залежей, хотя большая их часть к настоящему времени отработана. В единичных случаях такие жилы встречаются в залежах Центральной и Победа. Золото-кварцевые жилы имеют мощность 0.2–0.8 м, размеры их по падению достигают 40 м, по простираению 30–50 м. Полиметалли-

ческая минерализация появляется в жилах обычно при пересечении ими рудоносных уровней.

На месторождении широко развиты гидротермально-изменённые породы в пределах нижних и средних горизонтов крюковской свиты. Среди метасоматических образований преобладают микрокварциты, серицитолиты, а также кварц-карбонат-баритовые, кварц-серицит-хлоритовые породы, слагающие практически весь рудо локализирующий уровень месторождения. Кварц-баритовые породы занимают верхние части купольных структур. Ниже они сменяются карбонат-кварц-баритовыми разностями, которые переходят в микрокварциты.

Отбор образцов и методы их анализа

Работа основана на данных исследования образцов богатых золотосодержащих руд, систематически отобранных при проведении минералогического картирования и анализа распределения золотого оруденения на нижних горизонтах Риддер-Сокольского месторождения в 2002–2003 гг. Определение участков для выборочного минералогического картирования и отбор штучных проб проводились совместно с геологической службой Риддерского ГОКа. Картины пространственного распределения золота и цветных металлов в различных типах руд получены на основе статистической обработки около 300 тысяч разведочных данных. Минералого-геохимическое картирование осуществлялось на основе данных по количественным соотношениям рудных компонентов и минералов в главных морфоструктурных типах оруденения, определённых при фотодокументации в подземных горных выработках, изучении шлифов и аншлифов, а также микроаналитических данных.

Анализ вещества проводился в лаборатории Риддерского ГОКа различными методами. Золото и Ag были сконцентрированы пробирным методом и определены методом атомной абсорбции. Основные оксиды, сера и главные металлы (Cu, Pb, Zn и Fe) определялись с помощью рентгеноспектрального метода; пламенно-эмиссионное определение использовалось для Na и K. Рассеянные элементы As, Sb, Bi, Ni, Co, Cd, Mn, Mo, Te, Tl, In, Ge, Ba и Sn были определены количественным спектроскопическим методом. Химические анализы на Fe₂O₃ и FeO выполнялись в лаборатории ЗАО «Топаз». Качественный (приблизённо-количественный) и количественный анализы основных и редких минералов проводились с помощью электронных мик-

роскопов JXA-775 в ИГН им. К.И. Сатпаева и JEOL 5610 в ИГЕМ РАН, оборудованных энергодисперсионными приставками.

Распределение золота в разрезе залежей

В разрезе *Быструшинской залежи* с 19 по 11 горизонт чётко просматривается вертикальная зональность распределения типов оруденения. На верхнем гипсометрическом уровне залежи локализуется штокверковое свинцово-цинковое, а на нижнем – жильное цинково-медное и медное оруденение, тогда как во вмещающих алевропелитах проявлена серно-колчеданная минерализация. Кроме того, в самой верхней части разреза продуктивной толщи располагается серебросодержащая порода. Жильное оруденение, богатое золотом, локализуется в пределах средней части разреза (13–16 горизонты) и представляет собой комбинацию жильных и метасоматических тел (рис. 3). На нижних горизонтах с 19 по 15 руды исключительно медные и до 17 горизонта обеднённые золотом. В направлении к верхним горизонтам происходит постепенное нарастание концентраций золота в тех же медных и малосульфидных рудах до многих сотен г/т. Выше 14 горизонта, наравне с медными и малосульфидными рудами, появляются свинцово-цинковые разности руд, богатые золотом. Наиболее высокие содержания золота от первых до нескольких тысяч г/т наблюдаются в жильных золото-кварц-сульфидных медных рудах. Золото-кварцевое оруденение с содержаниями золота 0.3–20 г/т приурочено к кварц-карбонатным прожилкам. Золото коррелирует с серебром, но корреляция между содержаниями благородных металлов и других рудных компонентов отсутствует или невысокая (рис. 4).

На *Южном фланге Быструшинской залежи* выделяются согласные и штокверковые рудные тела, сложенные золотыми свинцово-цинковыми и малосульфидными рудами (рис. 5). Вмещающие алевролиты несут послонную сульфидную минерализацию, а в верхах куполовидных сооружений локализованы согласные тела свинцово-цинковых руд в серицит-карбонат-кварцевых породах. Сплошные свинцово-цинковые руды в верхах купола содержат первые десятки г/т Au и сотни г/т Ag, тогда как их вкрапленные разности в кварц-карбонат-серицитовых метасоматитах и микрокварцитах в центральной части купола содержат золото в пределах нескольких грамм на тонну. Кварц-баритовые метасоматиты, которые отмечались

многими геологами как широко распространённые образования апикальных частей купольных сооружений месторождения, нетипичны для этой залежи. Штокверк сложен золото-малосульфидными и золото-кварц-сульфидными прожилками с широко изменчивыми содержаниями золота. Так же, как и в основном теле залежи, наблюдается только корреляция содержаниями золота и серебра (см. рис. 4).

На уровне 530–490 м на фоне штокверка появляются карбонат-кварцевые жилы со свинцово-цинковой минерализацией, которые выполняют крутопадающие зоны брекчирования. Участки жильных зон с богатым сульфидным оруденением в брекчированных микрокварцитах показывают сравнительно невысокие концентрации благородных металлов – первые г/т Au и десятки г/т Ag (см. рис. 5). Обогащённый золотом жильный тип оруденения развит на уровнях 500–400 м и представлен крутопадающими золотоносными кварц-карбонат-сульфидными жилами. Основным минералом этих жил является кварц, составляющий 60–85 об. % от общего жильного выполнения. По соотношению содержаниями цветных металлов и серы жилы отвечают свинцово-цинковому, медно-цинковому и малосульфидному типам.

Корневые части *Второй Юго-Западной залежи* сложены маломощными прожилково-вкрапленными богатыми и рядовыми золотыми свинцово-цинковыми рудами, богатыми и рядовыми малосульфидными рудами, а также богатыми золото-кварц-сульфидными рудами, существенно медными. Изменчивые содержания золота вплоть до богатых руд установлены также во вмещающих породах. Ступающиеся и разреженные маломощные прожилки кварц-карбонатного, кварц-пирит-халькопиритового, а также кварц-сфалерит-галенитового состава несут крайне изменчивые количества золота. Они подразделяются на золото-полиметаллические и малосульфидные золото-кварцевые руды. Наибольшая мощность линзобразной рудовмещающей части разреза составляет около 300 м, и наиболее глубокое погружение нижней границы минерализации отмечается под участком наивысшего воздымания купола в центральной части залежи.

В *Третьей Юго-Западной залежи* была изучена золото-кварц-полиметаллическая жила, пересекаемая выработками на пяти уровнях между 14 и 16 горизонтами (рис. 6). Благородные металлы показывают крайне неравномерное распределение с

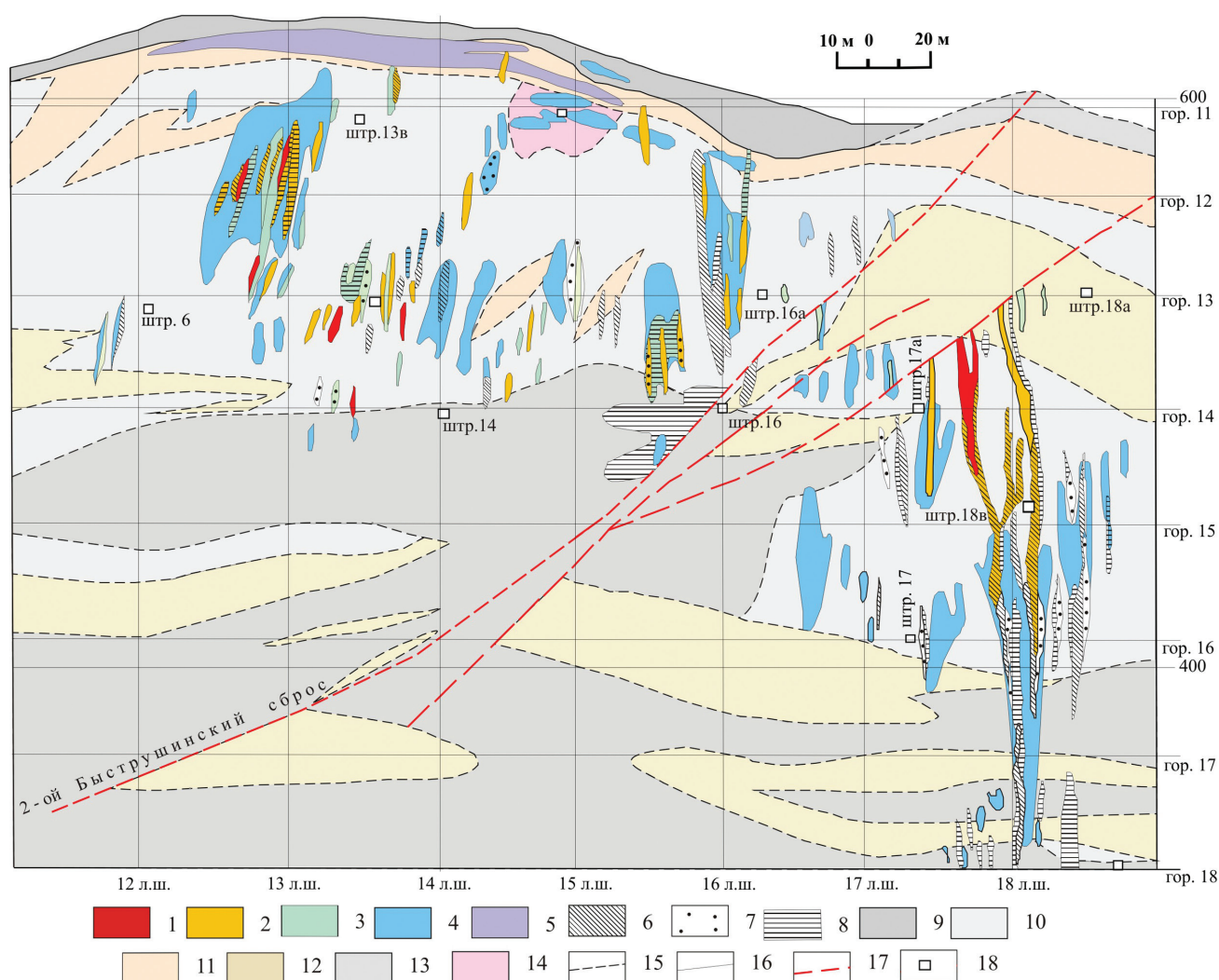


Рис. 3. Распределение золота и типов оруденения по линии ортов 21б Быструшинской залежи.

1–4 – содержания золота (г/т): 1 – (>30), 2 – (2–30), 3 – (1–2), 4 – (0.3–1); 5 – руды с отношением Ag/Au >50; 6–8 – содержания Cu + Pb + Zn (мас. %): 6 – (1.5–12), 7 – (0.9–1.5), 8 – (<0.9); 9–14 – вмещающие породы: 9 – алевропелиты кряковской свиты, 10 – кварциты, серицитовые микрокварциты, 11 – серицитизированные алевролиты, 12 – серицит-хлорит-кварцевые метасоматиты, 13 – кремнистые алевропелиты, 14 – брекчия; 15 – литологические границы; 16 – границы рудных тел; 17 – тектонические нарушения; 18 – горные выработки.

Fig. 3. Distribution of gold and ore types along the ort line 21b of the Bystrushinskaya ore body.

1–4 – Au content (g/t): 1 – (> 30), 2 – (2–30), 3 – (1–2), 4 – (0.3–1); 5 – ores with Ag/Au ratio of >50; 6–8 – Cu + Pb + Zn content (wt. %): 6 – (1.5–12), 7 – (0.9–1.5), 8 – (<0.9); 9–14 – host rocks: 9 – siltstones of the Kryukovskaya Formation, 10 – microquartzites, sericite microquartzites, 11 – sericitized siltstones, 12 – sericite-chlorite-quartz metasomatites, 13 – siliceous siltstones, 14 – breccia; 15 – lithological boundaries; 16 – contours of ore bodies; 17 – faults; 18 – mines.

приуроченностью наиболее высоких концентраций Au к центральной части жилы, а Ag к её флангам. Распределение золота, очевидно, контролируется структурами северо-восточного простирания. Содержание золота по изученной части жилы колеблется от первого десятка до нескольких сотен г/т. Содержания цветных металлов отвечают рядовым и богатым рудам, но корреляция между содержаниями цветных и благородных металлов отсутствует.

По залежи *Победа* были проанализированы богатые руды разного состава – свинцово-цинковые, полиметаллические и медно-цинковые. Было установлено, что наиболее высокая золотоносность свойственна полиметаллическим разностям, а относительно низкая – свинцово-цинковым. Та же закономерность установлена для жильных золото-кварц-сульфидных руд, где свинцово-цинковые разности обеднены золотом, а золото-кварц-

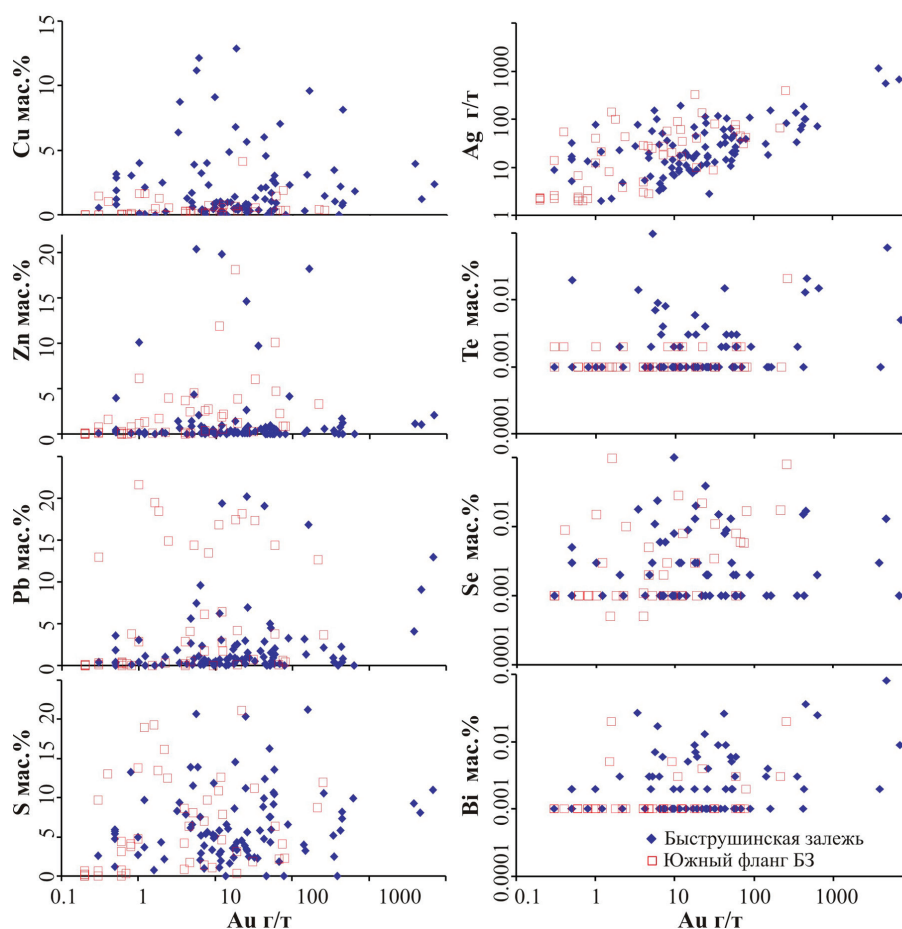


Рис. 4. Бинарные диаграммы соотношений содержания золота (г/т) с содержаниями основных (мас. %) и рассеянных (г/т) рудных компонентов в валовых пробах Быструшинской залежи и Южного фланга Быструшинской залежи.

Fig. 4. Binary plots of Au content (g/t) against major (wt. %) and trace (g/t) elements in bulk rock samples from the Bystrushinskaya lode and Southern flank of the Bystrushinskaya lode.

полиметаллические жилы показывают более высокие его содержания (2–7.5 г/т). В целом, богатые сульфидами золото-кварц-сульфидные руды этой залежи несколько богаче сульфидами, но обеднены золотом по сравнению с другими залежами.

Корневые части *Центральной залежи* сложены золотым малосульфидным, полиметаллическим и медно-цинковым жильным оруденением, характеризующимся неравномерным распределением содержания золота. Богатое золотое оруденение отмечено только в 7 пробах из 9500 проанализированных, что говорит о его ограниченном распространении в корневых частях залежи, тогда как на верхних уровнях этой залежи высокие концентрации золота наблюдались чаще (Николаев, Карманов, 1985).

Крюковская залежь включает два рудоносных уровня: верхний с согласным оруденением и нижний, представленный секущими зонами с экономи-

ческой и субэкономической сульфидной минерализацией. Верхний уровень (в пределах гипсометрических отметок 720–820 м) характеризуется широким развитием золотоносных и сереброносных разновидностей всех типов руд. Однако среднее содержание Au в балансовых рудах составляет всего 1.45 г/т, Ag – 110 г/т, а в забалансовых рудах содержания благородных металлов в два раза ниже. Высокое отношение Ag/Au позволяет считать согласные руды преимущественно сереброносными. Нижний уровень представлен редкими маломощными секущими кварц-сульфидными прожилками, тонкой рассеянной и гнездовой вкрапленностью и шпировидными выделениями сульфидов в кварцсерицитовой породе. Содержание золота редко превышает 2 г/т. Высокие содержания золота характерны только для оруденения малосульфидного типа, которое представлено единичными проявлениями. В целом, согласное сульфидное оруденение

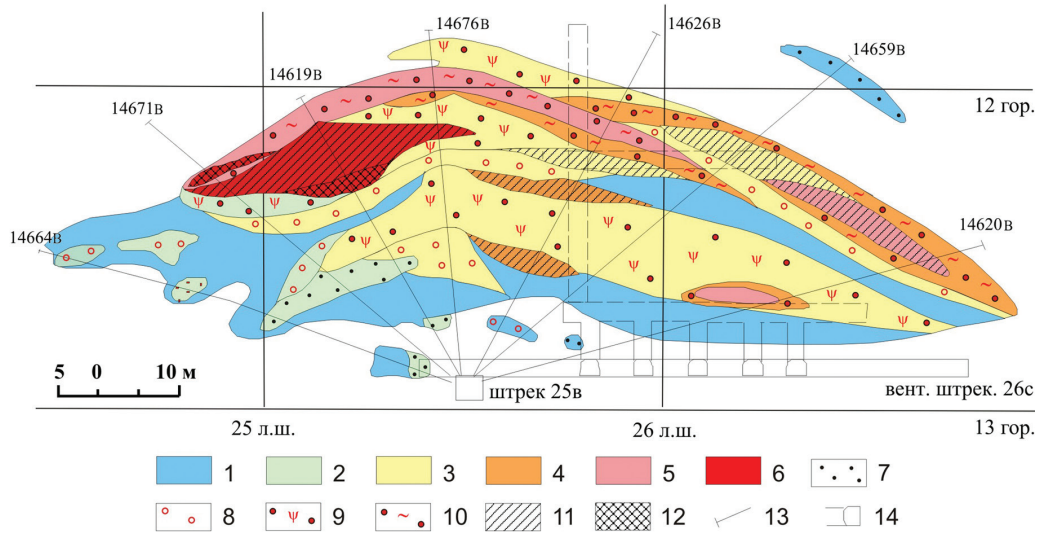


Рис. 5. Распределение золота и типов оруденения в разрезе на Южном фланге Быструшинской залежи по линии ортов 31а.

1–6 – содержания золота (г/т): 1 – (0.3–1), 2 – (1–2), 3 – (2–5), 4 – (5–16), 5 – (16–50), 6 – (> 50 г/т); 7 – минерализованная порода; 8–12 – типы руд: 8 – забалансовая Pb-Zn; 9 – вкрапленная Pb-Zn в серицит-карбонат-кварцевых метасоматитах; 10 – прожилковая Pb-Zn в микрокварцитах; 11 – богатая Pb-Zn; 12 – сплошная Pb-Zn руда (Cu + Pb + Zn > 50 мас. %); 13 – скважины; 14 – горные выработки.

Fig. 5. Distribution of gold and ore types in cross-section of the Southern flank of the Bystrushinskaya lode along the ort line 31a.

1–6 – gold content (g/t): 1 – (0.3–1), 2 – (1–2), 3 – (2–5), 4 – (5–16), 5 – (16–50), 6 – (> 50 g/t); 7 – mineralized rock; 8–12 – ore types: 8 – off-balance Pb-Zn ore; 9 – disseminated Pb-Zn ore in sericite-carbonate-quartz metasomatites; 10 – stringer Pb-Zn ore in microquartzites; 11 – rich Pb-Zn ore; 12 – massive Pb-Zn ore (Cu + Pb + Zn > 50 wt. %); 13 – boreholes; 14 – mines.

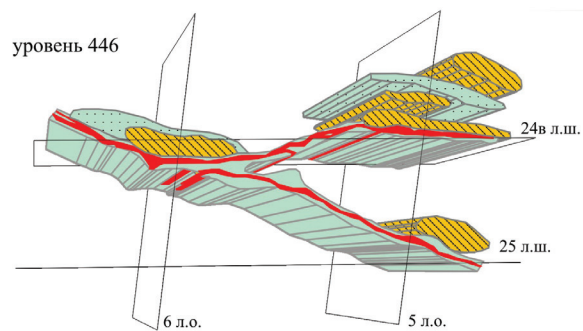
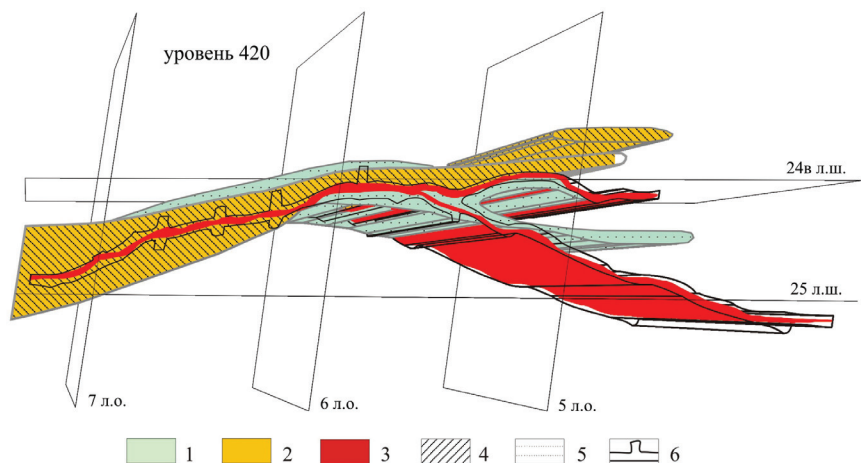


Рис. 6. Проекция послойных минералогических планов уровней 446 и 420 м Третьей Юго-Западной залежи.

Содержания золота (г/т): 1 – (1–2); 2 – (2–16); 3 – (> 16); 4 – богатая Pb-Zn руда; 5 – бедная Pb-Zn руда; 6 – контуры горных выработок и отработанных руд.

Fig. 6. Projections of layer-by-layer mineralogical plans of levels 446 and 420 m of the Third Southeastern lode.

Gold content (g/t): 1 – (1–2); 2 – (2–16); 3 – (> 16); 4 – rich Pb-Zn ore; 5 – poor Pb-Zn ore; 6 – contours of mines and extracted ores.



Крюковской залежи содержит на порядок меньше золота по сравнению с другими залежами Риддер-Сокольного месторождения, хотя повышенная сереброносность присуща как согласным, так и секущим рудам. Для руд этой залежи характерно отсутствие корреляционных связей между содержаниями Au и Ag, тогда как отмечена положительная корреляция между содержаниями Ag, Pb и Zn.

Текстуры золотых руд

Зональные золото-кварц-сульфидные жилы развиваются по зонам брекчирования; их центральная часть выполнена кварц-карбонат-серицит-сульфидной массой, нередко содержащей угловатые неправильной формы обломки вмещающих серицитовых микрокварцитов. Зональное строение жил проявляется в смене от периферии к центру следующих зон: тонкозернистые золотосодержащие сульфиды → кварц-серицит-хлоритовые гнезда → полосы крупнозернистых сульфидов (халькопирит, сфалерит и галенит). В центральной части сульфидных полос выделяются зональный молочно-белый кварц или доломит и анкерит. Зальбанды золотосодержащих жил окаймлены изменёнными вмещающими породами, превращёнными в серицитолиты, с включениями кристаллов аметиста, буровато-розового кварца, тонкозернистых сульфидов и самородного золота.

Полосчатые и крустификационные золото-кварц-сульфидные жилы сложены симметрично и асимметрично расположенными грубыми и тонкими полосками кварца, различающимися зернистостью и оттенками цвета за счёт пигментации серицитом, хлоритом и гематитом. Полоски ровные, извилистые, крустификационные, иногда ритмичные и фестончатые в основном повторяют очертания контактов прожилков. Рудные минералы (сфалерит, галенит, халькопирит, пирит, блеклая руда) в жилах образуют прерывистые полоски, линзочки, петельчатые и фестончатые обособления, а также неравномерную вкрапленность и гнезда (рис. 7а, б, г, е).

Секущие прожилки хлорита, серицита, пирита и халькопирита нередко пересекают полосчатость более ранних прожилков. В отдельных прожилках наблюдается смещение их фрагментов поздними нарушениями.

Брекчиевый и брекчиевидный облик золото-кварц-сульфидных руд обусловлен наличием в жильной массе обломков вмещающих микроквар-

цитов, более ранних сегрегаций и прожилков кварца или сульфидов. Цементом является более поздний кварц или кварц-карбонатный материал с вкрапленностью сульфидов (см. рис. 7в, д).

Вкрапленные и прожилково-вкрапленные текстуры представлены мелкой вкрапленностью сфалерита, пирита, галенита, халькопирита в кварце, карбонате, сериците, хлорите и во вмещающих породах.

Гнездово-вкрапленный текстурный рисунок возникает в результате развития гнездовых обособлений кварца различных оттенков, сульфидов, хлорита, карбонатов, серицита в кварце или нерудных минералах среди сульфидной массы, а также при обособлении одного сульфида в другом, чаще халькопирита и пирита в сфалерите (см. рис. 7ж).

Массивная текстура встречается редко, слагая отдельные участки стратифицированных полиметаллических руд Южного фланга Быструшинской залежи, состоящих в основном из сфалерита, галенита, а также характерна лишь для отдельных участков кварцевых жил, обогащённых сульфидами и, как правило, представленных крупнозернистым халькопиритом, сфалеритом, реже галенитом.

Минеральный состав золотых руд

Минеральный состав золотых руд относительно прост, хотя общий список минералов довольно обширен (Покровская, 1982; Омирсериков и др., 2006; Пак, 1994; Байбатша и др., 2009, 2010). Руды нижних горизонтов месторождения, где развито жильно-штокерковое золото-кварц-сульфидное и медное оруденение, отличаются от свинцово-цинкового оруденения верхних горизонтов количественными соотношениями рудных и жильных минералов, а также составом ассоциаций редких минералов.

Главными минералами, которые составляют более 99 % объёма жильной рудной массы, являются сфалерит, галенит, халькопирит, пирит, кварц, доломит, анкерит, серицит, хлорит и самородное золото. К второстепенным относятся блеклая руда, бурнонит, марказит, арсенопирит, кобальтин и кальцит. Из редких минералов наиболее широко распространены теллуриды Ag, Bi и Pb – гессит, теллуrowисмутит и алтаит. Реже встречаются другие теллуриды, сульфотеллуриды и сульфосоли – тетрадимит, козалит, цумоит, виттит. Установлены самородные Bi и Te, селениды Pb, Bi и Ag. На фоне широкой встречаемости Pb-Bi-Ag теллуридов от-

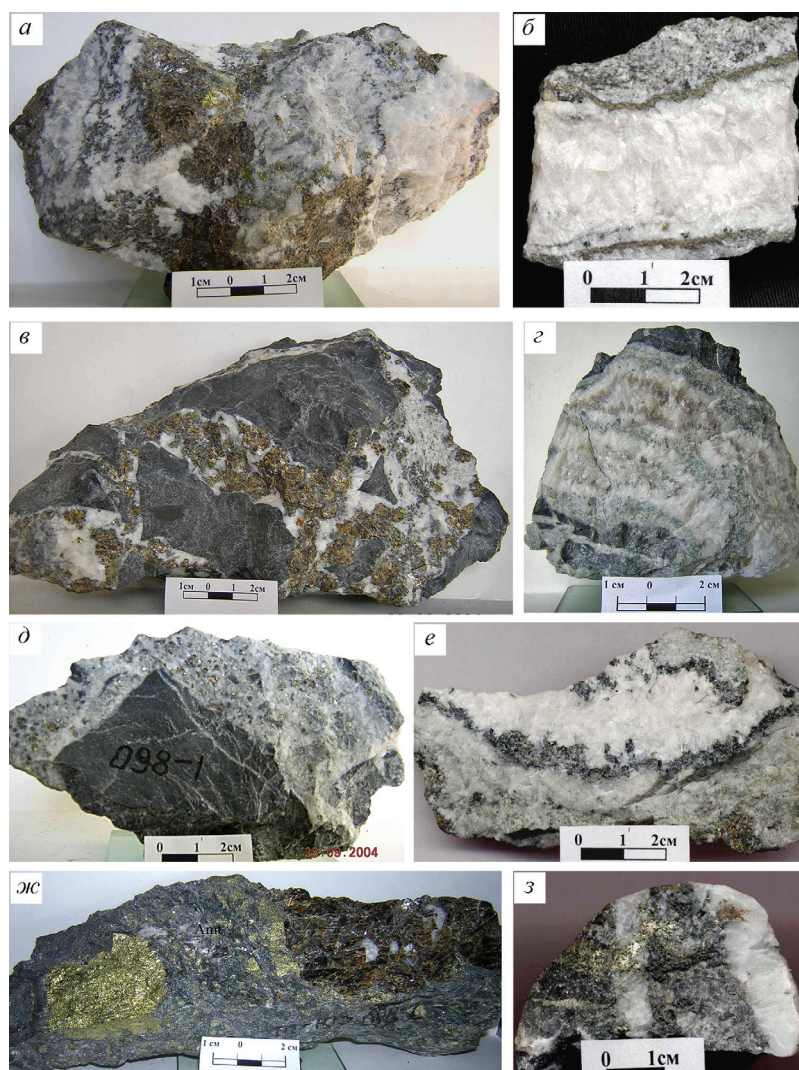


Рис. 7. Текстуры золотых руд Риддер-Сокольного месторождения.

a – халькопирит-галенит-сфалерит-кварцевая жила, богатая золотом (Быструшинская залежь, гор. 16, обр. 24); *б* – богатая золотая руда в симметрично-зональном сульфид-кварц-карбонатном прожилке (2-я Юго-Западная залежь, гор. 15, обр. 349); *в* – бедные золотом кварц-сфалеритовые прожилки в брекчированном микрокварците (Южный фланг Быструшинской залежи, гор. 15, обр. 8); *г* – богатая золотая малосульфидная руда в симметрично-зональном кварц-карбонатном прожилке (3-я Юго-Западная залежь, гор. 16, обр. 130); *д* – богатые золотом халькопирит-сфалерит-кварцевые прожилки, цементирующие обломки микрокварцитов (3-я Юго-Западная залежь, гор. 16, обр. 098-1); *е* – зональный серицит-сульфид-кварц-карбонатный прожилок, богатый золотом (2-я Юго-Западная залежь, гор. 15, обр. 350); *ж* – прожилок с гнездовыми обособлениями крупных кристаллов аметиста, сфалерита и халькопирита в мелкозернистом галенит-кварц-серицит-хлоритовом метасоматите – богатая золото-полиметаллическая руда (3-я Юго-Западная залежь, гор. 16, обр. 098-2); *з* – пирит-халькопиритовый прожилок, секущий прожилки кварца в метасоматите по туфам (Крюковская залежь, гл. 495 м, обр. К-2736).

Fig. 7. Textures of gold ores of the Ridder-Sokolnoe deposit.

a – gold-rich chalcopyrite-galena-sphalerite-quartz vein (Bystrushinskaya lode, horizon 16, sample 24); *b* – rich gold ore in symmetrical zonal sulfide-quartz-carbonate vein (Second Southeastern lode, horizon 15, sample 349); *v* – gold-poor quartz-sphalerite veins in brecciated microquartzite (Southern flank of the Bystrushinskaya lode, horizon 15, sample 8); *g* – gold-rich low-sulfide ore in symmetrical zonal quartz-carbonate vein (Third Southeastern lode, horizon 16, sample 130); *d* – gold-rich chalcopyrite-sphalerite-quartz veins cementing microquartzite clasts (Third Southeastern lode, horizon 16, sample 098-1); *e* – gold-rich zonal sericite-sulfide-quartz-carbonate vein (Second Southeastern lode, horizon 15, sample 350); *zh* – veinlet with coarse-grained aggregates of amethyst, sphalerite and chalcopyrite in fine-grained galena-quartz-sericite-chlorite metasomatite – gold-rich polymetallic ore (Third Southeastern lode, horizon 16, sample 098-2); *z* – pyrite-chalcopyrite veinlet crosscutting quartz veins in metasomatite after tuff (Kryukovskaya lode, depth 495 m, sample K-2736).

мечаются редкость Au-Ag теллуридов, из которых надёжно диагностирован сильванит $(Au,Ag)_2Te_4$, упомянут также петцит (Рафаилович, 2010). Среди редких отмечены также борнит, халькозин и ковеллин.

Халькопирит является преобладающим рудным минералом на нижних горизонтах месторождения и широко распространён в жилах, где им сложены зональные оторочки и гнездовые обособления. В зонах брекчирования в халькопирите есть многочисленные двойники давления и тонкозернистая гранобластовая структура (рис. 8а). Кристаллографически ориентированные эмульсиевидные выделения наряду с каймами замещения по периферии зёрен широко распространены в сфалерите (см. рис. 8б), а также встречаются в блеклой руде. Минерал интенсивно замещает пирит в колломорфных почках, а также по периферии и в центре кристаллов (см. рис. 8в), образует прожилки по трещинам в брекчированном пирите (см. рис. 8г). Совместно с халькопиритом встречены редкие борнит, халькозин и ковеллин.

Сфалерит – второй по распространённости сульфид и в золотых, и в штокверковых полиметаллических рудах – образует агрегаты мелких кристаллов с признаками перекристаллизации, выполняет центральную часть пиритовых колломорфных агрегатов, даёт крупные кристаллы в гнездах. Окраска сфалерита обусловлена как примесью железа (до 5 мас. % Fe), так и наличием эмульсиевидной вкрапленности халькопирита (см. рис. 8б). В брекчиевых зонах он жёлтый (маложелезистый) и зеленовато-бурый (с включениями халькопирита), на средних и нижних горизонтах жильных тел преобладает более железистый сфалерит буро-коричневого цвета. В крутопадающих жилах часто отмечается крупнозернистый сфалерит, также несущий включения халькопирита. В совместных сростаниях отмечается до трёх разновидностей сфалерита разного цвета (коричневый, зеленоватый, жёлтый или серый), при этом более светлые различия несут текстурные признаки более поздней кристаллизации или перекристаллизации. Среди примесей так же постоянно присутствует Cd до 0.5 мас. %.

Галенит широко распространён в сульфидных ассоциациях, а также слагает характерные мономинеральные полосы мощностью от долей до 2–3 мм, подчеркивающие зональное крустификационное строение кварц-карбонатных прожилков (см. рис. 7е). Галенит проявлен в виде эмульсиевидной вкрапленности в кварце и карбонатах совместно с самородным золотом, кайм роста и замещения во-

круг и внутри более ранних сульфидных агрегатов (см. рис. 8е), образует сети прожилков в брекчированном пирите. Галенит выполняет центральные и периферические части в колломорфных пиритовых почках, а так же сам образует колломорфные агрегаты, сохраняющиеся в силикатной или сульфидной массе (см. рис. 8д). В галените из золото-содержащих ассоциаций энергодисперсионным анализом выявлена частая примесь Se (до 4 мас. %) и Ag (0.3–0.6 мас. %).

В целом, халькопирит и галенит обнаруживают текстурные черты наиболее поздней кристаллизации во всех ассоциациях, что связано с их многократным переотложением при пульсационном поступлении порций гидротермальных флюидов и, отчасти, с локальным метаморфизмом руд.

Пирит встречается повсеместно. Предыдущими исследователями на месторождении выделялось до пяти генераций пирита (Чепрасов и др., 1972; Покровская, 1982). Синседиментная генерация пирита распространена в осадочных отложениях на верхних горизонтах Быструшинской залежи и её южного фланга, а также в метасоматитах Крюковской залежи.

В золотых рудах пирит встречается в виде идиоморфных зёрен кубического, октаэдрического и округлого облика и их агрегатов (см. рис. 8е). Зёрна пирита часто замещены более поздним халькопиритом с образованием кайм замещения, коррозионных и петельчатых структур. Атоллоидные выделения пирита (см. рис. 8в) встречаются в разных ассоциациях, их центральная часть может быть выполнена кварцем, карбонатом, силикатами, сульфидами или представлять полость растворения. Отдельные зоны в атоллоидных агрегатах пирита замещаются халькопиритом, галенитом, сфалеритом и редко – самородным золотом. Атоллоидный пирит часто обрастает кристаллическими и крустификационными оторочками более позднего пирита, при этом очертания ядерной части определяются по насыщенности многочисленными мельчайшими включениями сульфидов и нерудных минералов. Брекчированные зёрна пирита (см. рис. 8г) замещаются халькопиритом, галенитом и сфалеритом по периферии зёрен и по сети разбивающих их трещин, в которых может присутствовать и самородное золото. Тонкозернистый пирит формирует колломорфные тонкие каймы иногда ритмичного строения (см. рис. 8ж) совместно с хлоритом, кварцем и карбонатами. Ситовидная (пойкилитовая) структура присуща как унаследованным ядрам в зональ-

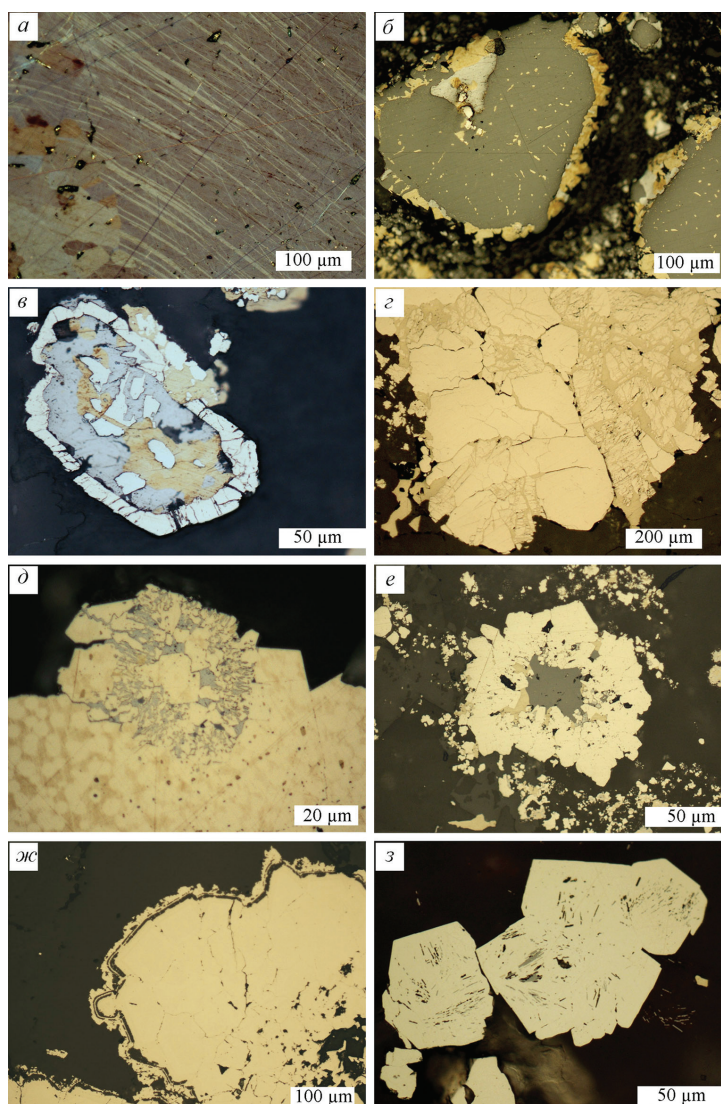


Рис. 8. Структуры сростаний и морфология зёрен главных рудных сульфидов в золотых рудах Риддер-Сокольного месторождения.

a – двойники давления и микрогранобластовый агрегат халькопирита (обр. 108); *б* – эмульсиевидная вкрапленность и каймы халькопирита в крупнозернистом сфалерите (обр. 77); *в* – скелетный кристалл пирита с центральной частью, выполненной халькопиритом, галенитом и марказитом (обр. 142); *г* – брекчированный пирит с микропрожилками халькопирита (обр. 141); *д* – атоллоподобный агрегат, сложенный ксеноморфными выделениями галенита, заполняющего интерстиции в почковидном пирите среди агрегата его округлых сферолитов (обр. 233); *е* – атоллоподобный агрегат пирита с центром, выполненным сфалеритом, и интерстиционными галенитом и халькопиритом (обр. 142); *ж* – колломорфно-крустификационная текстура агрегатов пирита в полосчатой жиле (обр. 97); *з* – иголочки спекулярита в основной массе яшмоида и в виде включений в метакристаллах пирита (обр. 141). Фото а, д, ж – Быструшинская залежь; фото б–г, е, з – 2-я Юго-Западная залежь.

Fig. 8. Textures of intergrowths and grain morphology of major sulfides of gold ores of the Ridder-Sokolnoe deposit.

a – deformation twins and microgranoblastic aggregate of chalcopyrite (sample 108); *б* – emulsion and rims of chalcopyrite in coarse-grained sphalerite (sample 77); *в* – skeletal pyrite crystal with central part filled with chalcopyrite, galena and marcasite (sample 141); *г* – brecciated pyrite with chalcopyrite microveinlets (sample 141); *д* – atoll-like aggregate composed of anhedral galena and interstitial to nodular pyrite among its spherulitic aggregate (sample 233); *е* – atoll-like pyrite aggregate with sphalerite centre and interstitial galena and chalcopyrite (sample 142); *ж* – colloform-crustification structure of pyrite in a banded vein (sample 97); *з* – acicular specularite in jasperoid matrix and pyrite metacrystals (sample 141). Photos а, д, ж – Bystrushinskaya lode; photos б–г, е, з – Second Southeastern lode.

ном пирите, так и отдельным кристаллам, при этом участки, богатые включениями, более подвержены последующему замещению, например, халькопиритом. В тех участках, где пирит развит в тёмно-красных яшмоидах (с высокой долей тонкозернистого гематита), ориентированные сростания иглолечек спекулярита наблюдаются как в яшмоиде, так и внутри зёрен идиоморфного и атоллоидного пирита (см. рис. 8з). Перекристаллизация пирита может приводить как к его укрупнению при нарастании его более поздних генераций, так и к рассеянию при мобилизации вещества крупных кристаллов пирита и его переотложению в непосредственной близости в виде тонкой вкрапленности.

Марказит встречается редко в виде игольчатых, лучистых и скелетных кристаллов в сростании с силикатами и, возможно, как псевдоморфоза по последним, в частности, по хлориту. Также он образует мелкие ксеноморфные зёрна в брекчированном пирите, видимо, образованные при перераспределении вещества пирита.

Блеклая руда в составе жильного оруденения распространена менее, чем в субсогласных телах массивных руд. Она представлена Fe- и Zn-содержащими разностями тетраэдрита и теннантита и обычно не содержит примеси серебра. Из других сульфосолей встречен бурнонит.

Арсенопирит и *кобальтин* редко встречаются в виде эвгедральных мелких кристаллов в сульфидах, часто зональных, а также в виде поздних кайм, обрастающих кристаллы пирита. Иногда такие каймы сложены полиминеральными сростаниями с участием теллуридов и самородного золота.

Самородное золото образует идиоморфные и ксеноморфные включения в сульфидах (рис. 9а, б), кварце и силикатах. Кроме того, золото формирует эмульсиевидную вкрапленность до 1 мм в сульфидах и кварце, встречается в виде прожилков в брекчированных минералах (см. рис. 9в), цементирующей массы (см. рис. 9г), выполняет центр и каймы в атоллоидных агрегатах пирита и галенита (см. рис. 8д). Сложные сростания образует в основном с теллуридами (рис. 10). Тонкие каймы самородного золота и теллуридов обрамляют поздние хлорит-кварцевые микропрожилки (см. рис. 9е). Пробность золота колеблется в широких пределах 664–899 при содержании 52–83 ат. % (табл. 1), но большинство зёрен содержит около 75 ат. % Au. Основной примесью является серебро. Золото с пониженной пробностью (менее 751) не было встречено в сростании с теллуридами.

Минералы висмута – сульфиды, сульфотеллуриды и теллуриды – (табл. 2) не образуют крупных выделений в рудах. Они обычно представлены отдельными идиоморфными кристаллами (до 100 мкм) в массе халькопирита или галенита (см. рис. 10а). В наиболее поздних микропрожилках они ассоциируют с золотом, минералами серебра, самородными Bi и Te, формируя наиболее внешние зоны обрамления этих прожилков. Идиоморфные кристаллы чаще гомогенные. Ксеноморфные выделения часто имеют гетерогенное строение, напоминающее структуры распада, при этом мелкие фазы часто имеют нестехиометричный состав, иногда неответствующий известным минералам (см. табл. 2). Среди неназванных минералов надо отметить частую встречаемость богатого селеном теллурида $Bi_2(Te, Se)$, который типичен для гидротермальных месторождений, связанных с гранитоидами (Гамянин и др., 1980). Обрамление силикатных минералов чаще сложено гетерогенными сростаниями с нечёткими границами между минералами и нестехиометрическими составами (см. рис. 9б, г). Такие сростания свидетельствуют о неустойчивости более ранних теллуридов в ореолах воздействия поздних низкотемпературных флюидов.

Для минералов висмута, как и для главных сульфидов жильного оруденения, характерны повышенные содержания Se до 8 мас. % (см. табл. 2), а также Pb, Sb и Ag. Повышенный фон селена в рудах приводит к кристаллизации его собственных минералов. Среди обнаруженных селенидов один близок по составу к науманниту Ag_2Se (см. рис. 10з), состав другого отвечает неназванному соединению $PbBiSe$.

Теллуриды Ag и Pb (гессит и алтаит) имеют гомогенный состав и строение и широко распространены (см. рис. 10в) в отличие от теллуридов золота, которые редки – нами установлен только силванит в составе сложного сростания с теллуридами Bi и самородным золотом (см. рис. 10е).

Среди нерудных минералов кварц является самым распространённым в жилах. Кварц преимущественно белого цвета, реже с голубым, сиреневым, розовым, буровато-коричневым и зеленовато-серым оттенками. Он слагает сливные и кристаллически-зернистые мономинеральные агрегаты в центральных частях жил, а также крустификационные полосы и друзы в полостях. Жильный кварц цементирует зоны дробления: на 16 горизонте Южного фланга Быструшинской залежи; в западной стенке орта 27 зона дробления выполнена кварцем,

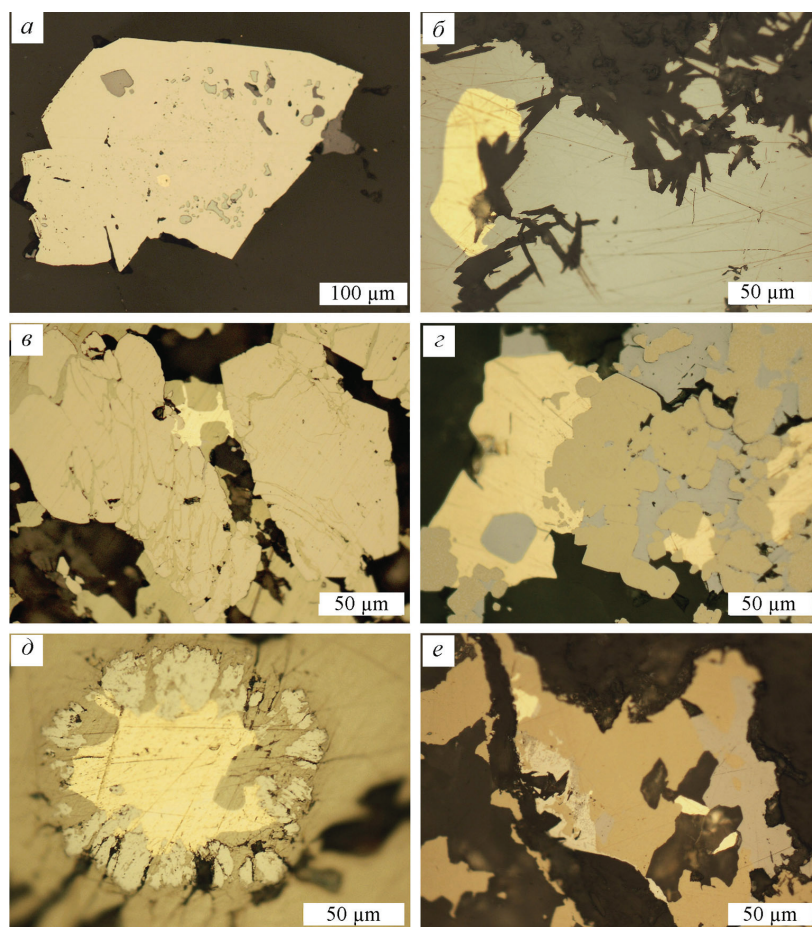


Рис. 9. Тектурные взаимоотношения самородного золота с другими минералами.

a – метакристалл пирита с включениями кварца, карбоната, халькопирита, галенита и самородного золота (обр. 114); *б* – идиоморфное зерно самородного золота на контакте галенита и пластинчатого хлорита (обр. 088); *в* – самородное золото в халькопирите, развивающемся по трещинам в брекчированном пирите (обр. 108); *г* – самородное золото и галенит в межзерновом пространстве кристаллов пирита, ксеноморфное зерно самородного золота содержит идиоморфное зерно галенита (обр. 108-2); *д* – атоллоидный агрегат галенита в халькопирите с самородным золотом в центре (обр. 355); *е* – самородное золото в кварце, халькопирите и вдоль кварц-хлоритового микропрожилка совместно с Pb-Bi теллуридами и самородным Te (обр. 108). Фото *a* – 3-я Юго-Западная залежь; *б* – Южный фланг Быструшинской залежи; *в-е* – Быструшинская залежь.

Fig. 9. Textural relationship between native gold and other minerals.

a – pyrite metacrystal with inclusions of quartz, carbonate, chalcopyrite, galena and native gold (sample 114); *b* – euhedral native gold grain at the contact of galena and platy chlorite (sample 088); *v* – native gold in chalcopyrite vein in brecciated pyrite (sample 108); *g* – interstitial native gold and galena in pyrite; anhedral grain of native gold contains euhedral galena grain (sample 108-2); *d* – atoll-like galena aggregate hosted by chalcopyrite with native gold in the centre (sample 355); *e* – native gold grain in quartz, chalcopyrite and along quartz-chlorite microveinlet in assemblage with Pb-Bi tellurides and native Te (sample 108). Photos *a* – Third Southeastern lode; *b* – South flank of the Bystrushinskaya lode; *v-e* – Bystrushinskaya lode.

а в восточной стенке – розовым доломитом. Кварцевые прожилки показывают частые случаи взаимного пересечения, что говорит о неоднократном подновлении разрывных нарушений и пульсационном поступлении растворов. Под микроскопом кварц нередко показывает волнистое погасание, мозаичное и сферолитовое строение.

Доломит, анкерит и кальцит образуют тесные сростания с кварцем, реже слагают мономинеральные крустификационные полосы и карбонатные прожилки. Доломит розового цвета относится к Mn-содержащей разновидности с составом (мас. %): MgO 7.26; CaO 29.31; MnO 1.38; FeO 5.75. Доломит может слагать тела сплошных доломитолитов,

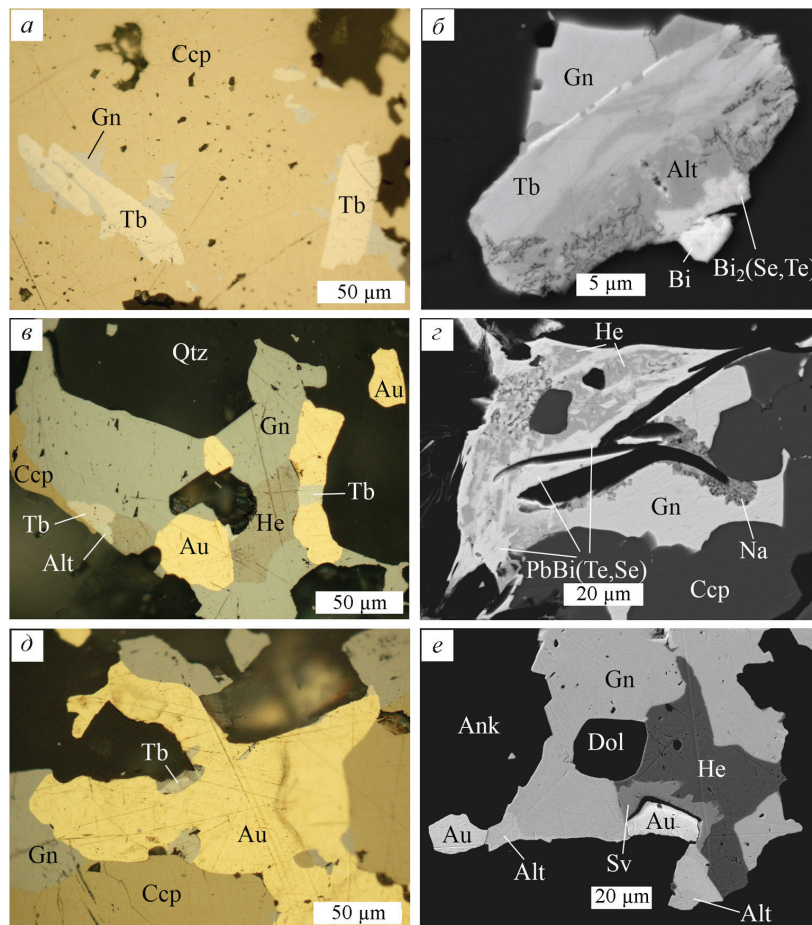


Рис. 10. Минеральные ассоциации с теллуридами Bi, Pb, Au и Ag в золотых рудах месторождения Риддер-Сокольное.

a – кристаллы теллуровисмутита (Tb) в сростании с галенитом (Gn) в халькопирите (Ccp) (обр. 108); *б* – сростание галенита (Gn), алтаита (Alt), гетерогенного теллуровисмутита (Tb), unnamed минерала $Bi_2(Se,Te)$ и самородного висмута (Bi) (обр. 105); *в* – сростание галенита (Gn), халькопирита (Ccp), теллуровисмутита (Tb), алтаита (Alt) и гессита (He) в кварце (Qtz) (обр. 339); *г* – сростание Se-содержащего галенита (Gn), гессита (He), науманнита (Na) и unnamed минерала $PbBi(Te,Se)$ среди гетерогенных сульфосолей в хлорит-халькопирит-кварцевом прожилке (обр. 108); *д* – галенит (Gn), теллуровисмутит (Tb) и самородное золото (Au) в халькопирите (Ccp) и кварце (обр. 339); *е* – сростание самородного золота (Au) с гесситом (He), алтаитом (Alt), теллуровисмутитом (Tb) и сильванитом (Sv) в галените (Gn), нерудные минералы – доломит (Dol) и анкерит (Ank) (обр. 339).

Фото а, б, г – Быструшинская залежь; в, д, е – 2-я Юго-Западная залежь.

Fig. 10. Mineral assemblages with Bi, Pb, Au and Ag tellurides in gold ores of the Ridder-Sokolnoe deposit.

a – crystals of tellurobismuthite (Tb) intergrown with galena (Gn) in chalcopyrite (Ccp) (sample 108); *б* – intergrowth of galena (Gn), altaite (Alt), heterogeneous tellurobismuthite (Tb), unnamed $Bi_2(Se,Te)$ and native bismuth (Bi) (sample 105); *в* – intergrowth of galena (Gn), chalcopyrite (Ccp), tellurobismuthite (Tb), altaite (Alt) and hessite (He) in quartz (Qtz) (sample 339); *г* – intergrowth of Se-bearing galena (Gn), hessite (He), naumannite (Na) and unnamed mineral $PbBi(Te,Se)$ among heterogeneous sulfosalts in chlorite-chalcopyrite-quartz veinlet (sample 108); *д* – galena (Gn), tellurobismuthite (Tb) and native gold (Au) in chalcopyrite (Ccp) and quartz (sample 339); *е* – intergrowth of native gold (Au) with hessite (He), altaite (Alt), tellurobismuthite (Tb) and sylvanite (Sv) in galena (Gn), gangue minerals are dolomite (Dol) and ankerite (Ank) (sample 339).

тогда как анкерит распространён только в жилах, а кальцит – в наиболее поздних микропрожилках совместно с цеолитами и гипсом.

Хлорит (клинохлор), серицит и гематит также широко распространены в жилах, из редких жильных минералов отмечаются новообразованные рутил и циркон.

Таблица 1

Состав самородного золота в различных минеральных ассоциациях Риддер-Сокольного месторождения

Table 1

Composition of native gold from various mineral assemblages of the Ridder-Sokolnoe deposit

№ образца	Ассоциация золота	Au	Ag	Au	Ag
		мас. %		ат. %	
Б-095-2	С халькопиритом в кварц-серицитовой массе	89.95	10.05	83.05	16.95
Б-095-2	С галенитом и тетрадимитом в кварц-серицитовой массе	89.14	10.86	81.80	18.20
ЗЮЗ-049-4	Со сфалеритом и галенитом	87.49	12.51	79.29	20.71
ЗЮЗ-039-13	С халькопиритом в кварце	86.76	13.24	78.20	21.80
Б-072-2	С теллуридов висмута и пиритом в халькопирите	85.65	13.68	77.42	22.58
ЗЮЗ-039	С галенитом в халькопирите	80.85	13.06	77.22	22.78
ЮБ-086-1	Тонкозернистая вкрапленность в пирите	85.87	14.13	76.89	23.11
Б-032-11	В сростании с халькопиритом и бурнонитом в тетраэдрите	83.03	13.98	76.48	23.52
ЗЮЗ-039	Зональное зерно золота в халькопирите	84.85	15.15	75.41	24.59
2ЮЗ-355	С борнитом, карбонатом и халькозином в блеклой руде среди кварца	84.82	15.18	75.36	24.64
Б-154	С галенитом и теллуридом в кварце	82.03	17.97	71.42	28.58
Б-098-2	Среди теллуридов и сульфидов	80.88	19.12	69.84	30.16
Б-023-3	В пиритовой «рубашке» в кварце	79.47	18.79	69.84	30.16
Б-108	В сростании с теллуридами	80.39	19.61	69.18	30.82
Б-201-2	С халькопиритом	75.06	24.53	62.62	37.38
ЗЮЗ-045-9	В кварце среди галенита	75.08	24.90	62.28	37.72
П-052-2	С галенитом в кварц-серицитовой массе	71.04	28.96	57.32	42.68
ЗЮЗ-039	С халькопиритом и пиритом	66.45	33.55	52.02	47.98

Примечание. Залежи: Б – Быструшинская, ЮБ – Южный фланг Быструшинской, ЗЮЗ и 2ЮЗ – Третья и Вторая Юго-Западные, П – Победа. Анализы нормированы на 100 %.

Note. Ore lodes: Б – Bystrushinskaya, ЮБ – Southern flank of Bystrushinskaya, ЗЮЗ and 2ЮЗ – Third and Second Southeastern, П – Pobeda. Analysis are normalized on 100%.

Обсуждение результатов.

Золотоносность различных типов оруденения

В целом, анализ графических материалов по распределению типов оруденения и степени золотоносности показал, что нижние гипсометрические уровни (ниже отметки +500 м) залежей Быструшинская, Победа, 2-я, 3-я Юго-Западные и Центральная представлены секущими телами полиметаллических и малосульфидных руд с золотом. Кроме того, на первых трёх выделяются ещё медные, а в последней – медно-цинковые разности золотых руд.

Характерной особенностью субсогласного оруденения линзовидных залежей (в основном выше отметки +500 м) является повышенная сереброносность и прямая зависимость золотоносности от содержания сульфидов в руде с положительной корреляцией между золотом и цветными металлами. В этих рудах отношение Ag/Au на порядок выше, чем в секущих рудных жилах и штокверке. Для секущих жил, напротив, характерно превалирование Au

над Ag и отсутствие корреляционных связей между благородными и цветными металлами (см. рис. 6).

Все виды золотого оруденения по распространённости можно расположить в следующем порядке: золото-кварц-сульфидные жилы (6 об. % от общего объёма руды), сульфидные руды (12 об. %), малосульфидные и золото-кварцевые руды (15 об. %), золотосодержащие руды и породы, (9 об. %) и золотоносные породы и руды, составляющие до 56 об. %. Однако, если условно учесть в них средние содержания Au (г/т), соответственно: 32; 4; 4; 1.5; 0.5, то относительный вклад заключённого в них металла составит, мас. %: 56; 14; 18; 4; 8. Из приведённых данных видно, что золотосодержащие и слабозолотоносные породы и руды содержат только лишь порядка 12 % золота месторождения и, по сути, не представляют большого промышленного интереса. Эти образования служат прямым поисковым признаком золотоносности рудоносного уровня. Более половины золота содержится в золото-кварц-сульфидных жилах, которые представляют собой наиболее ценное сырьё.

Таблица 2

Состав Pb-Bi сульфидов, теллуридов и селенидов (мас. %) Риддер-Сокольного месторождения

Table 2

Compositions of Pb-Bi sulfides, tellurides and selenides (wt. %) of the Ridder-Sokolnoe deposit

№ образца	Минерал	Pb	Bi	Ag	Cu	Te	Se	S
2ЮЗ-355	Козалит	37.57	38.96		1.05		1.60	16.78
3ЮЗ-039	Козалит	39.88	36.33		1.29		2.19	15.58
3ЮЗ-039	Козалит	37.50	38.90	2.2	1.00		1.60	16.70
		$Pb_{1.72-1.92}Bi_{1.74-1.84}Ag_{0.09}Cu_{0.02-0.2}Se_{0.19-0.28}S_{4.86-5.08}$						
3ЮЗ-039	Ag-ВИТТИТ	34.80	40.50	5.35	0.07		3.89	15.3
		$Pb_{2.86}Bi_{3.3}Ag_{0.85}Cu_{0.02}Se_{0.84}S_{8.13}$						
Б-234	Тетрадимит		59.42			35.90		3.35
Б-095	Тетрадимит	0.16	59.27			34.93		4.76
Б-026	Тетрадимит		58.47	0.70		35.11		3.00
Б-154	Тетрадимит		58.57			35.36		3.72
Б-154	Тетрадимит		58.00	0.66		35.93		3.22
Б-095	Тетрадимит		57.26			34.04		5.05
		$Bi_{1.96-2.14}Ag_{0.05}Te_{1.91-2.12}S_{0.71-1.13}$						
3ЮЗ-039	Pb-тетрадимит	7.01	54.24		0.15	28.93	3.52	5.88
П-049	Pb-тетрадимит	16.05	47.87			24.65	5.96	4.91
		$Pb_{0.23-0.53}Bi_{1.57-1.73}Cu_{0.02}Te_{1.33-1.51}Se_{0.3-0.52}S_{1.05-1.22}$						
Б-233	Теллуrowисмутит	6.56	47.21			46.23		
Б-072	Теллуrowисмутит		53.27			46.44		
Б-233	Теллуrowисмутит		52.58			47.08	0.34	
Б-108	Теллуrowисмутит		56.93			40.05	3.02	
Б-108	Теллуrowисмутит		56.14		2.31	39.30		
Б-108	Теллуrowисмутит		56.03		1.32	37.94	3.74	
		$Pb_{0.0-0.26}Bi_{1.82-2.19}Cu_{0.0-0.3}Te_{2.35-2.95}Se_{0.0-0.37}$						
2ЮЗ-355	Цумоит	4.38	59.70			32.80		
Б-233	Цумоит	3.80	54.00			35.50	4.63	
2ЮЗ-35	Цумоит		59.90			40.10		
Б-105	Цумоит		59.14		1.08	35.87	3.92	
2ЮЗ-35	Цумоит		59.16			40.84		
Б-234	Цумоит		58.98			41.02		
		$Pb_{0.0-0.07}Bi_{0.84-1.01}Cu_{0.0-0.05}Te_{0.89-1.07}Se_{0.0-0.19}$						
Б-108	Науманнит	3.47		69.17	1.68		20.82	
		$Pb_{0.05}Ag_{2.03}Cu_{0.08}Se_{0.83}$						
		Незванные минералы						
3ЮЗ-039	$Bi_2(Te,Se)$		73.15			22.55	2.31	
3ЮЗ-039	$Bi_2(Te,Se)$		72.96			22.07	3.65	
Б-105	$Bi_2(Te,Se)$		70.47	1.61	2.57	15.21	8.18	
		$Bi_{1.64-1.89}Ag_{0.0-0.07}Cu_{0.0-0.2}Te_{0.58-0.95}Se_{0.16-0.51}$						
Б-108	PbBi(Te,Se)	37.74	39.50			18.15	4.61	
Б-108	PbBi(Te,Se)	30.15	41.84		1.20	22.98	2.78	
		$Pb_{0.75-0.96}Bi_{0.99-1.04}Cu_{0.0-0.1}Te_{0.75-0.93}Se_{0.18-0.31}$						
2ЮЗ-355	Bi-Ag сульфотеллурид		33.44	38.5		23.04	0.99	4.01
		$Bi_{2.49}Ag_{5.56}Te_{2.81}Se_{0.2}$						
Б-108	Bi-Ag теллурид		59.13	5.89		32.56	2.42	
		$Bi_{4.09}Ag_{0.79}Te_{3.68}Se_{0.44}$						
3ЮЗ-039	PbBiSe	39.80	36.30	1.90	1.20		15.50	Sb 2.12
		$Pb_{0.94}Bi_{0.85}Ag_{0.09}Cu_{0.09}Sb_{0.08}Se_{0.96}$						

Примечание. Залежи: Б – Быструшинская, 3ЮЗ и 2ЮЗ – Третья и Вторая Юго-Западные и П – Победа.

Note. Ore lodes: Б – Bystrushinskaya, 3ЮЗ and 2ЮЗ – Third and Second Southeastern, П – Pobeda.

Повышенной золотоносностью характеризуются все метасоматические образования. Однако продуктивная золотоносность свойственна только определённым типам руд – богатым пологозалегающим полиметаллическим и крутопадающим жильным сульфидно-кварцевым. Первые содержат золото в пределах нескольких г/т, а вторые – на порядок выше. При этом основная масса самородного золота в первых ассоциирует с сульфидными минералами, а во-вторых, кроме сульфидов, ещё с кварцем, карбонатами и алюмосиликатами. Серебро тяготеет к верхним, обогащённым карбонатом, баритом и свинцом горизонтам, а золото – к нижним частям залежей, характеризующимися увеличением доли кремнезёма.

В рудных жилах золото ассоциирует как с кварцем, так и с сульфидами, которые обычно располагаются в зальбандах жил и жильных зон, в том числе образуя метасоматическую вкрапленность вблизи контакта с вмещающими породами. Узкие золотоносные «полосы» образованы, по-видимому, в результате диффузионной миграции флюидов и отложения золота на холодном контакте с вмещающими породами. Такие руды нами изучены по рудным жилам разведочного штрека 25 3-й Юго-Западной залежи и разведочного штрека 27-а, в камере 20 на Южном фланге Быструшинской залежи и в 7-ом и 13-ом блоках Быструшинской залежи.

Последовательность минералообразования и генезис золотого оруденения

По Риддер-Сокольному месторождению ранее был выполнен ряд обобщающих работ, рассматривающих условия локализации и генезис руд. Образование руд связывали с субвулканическими интрузиями кварцевых порфиров, которые рассматривались как дериваты змеиногорского интрузивного комплекса (Буров, Курек, 1939; Ермолаев, 1957; Щерба, 1957; Попов, 1968; и др.). Б.И. Вейц (1953) одна из первых высказалась за связь оруденения с девонским вулканизмом на основании минералогических исследований (Григорьев, 1927; Вейц, 1945; Шадлун, 1951). Была разработана трёхэтапная схема формирования месторождения (Чепрасов и др., 1972). После подсечения руд на глубоких горизонтах месторождения эта схема была модернизирована с добавлением ещё 2-х этапов (Покровская, 1982). По данным этих исследователей, процесс рудоотложения поэтапно развивался снизу вверх. И.З. Исакович (1972) вы-

деляла две основные стадии оруденения, не рассматривая стадию золотой минерализации как самостоятельную, впрочем, как и предыдущие исследователи.

Породы и массивные руды Риддер-Сокольного месторождения дислоцированы и метаморфизованы незначительно (Чепрасов и др., 1972; Покровская, 1982; Викентьев, Карманов, 1989; Ганженко, Сапаргалиев, 2016; и др.), хотя существует и точка зрения о динаметаморфической природе формирования линзовидных рудных залежей в связи с пологими надвиговыми зонами в позднем карбоне ~307 млн лет назад (Зиновьев, 2016). Выделены три возрастные группы разрывных нарушений: досреднедевонские, среднепозднедевонские и позднепалеозойские (Сандомирский, Старостин, 1975). Возраст разрывных нарушений определялся во многом по взаимоотношениям с интрузивными гранитоидными комплексами, позднекаменноугольный возраст которых считался достоверно определённым. Однако, современные датировки подтверждают более древний U-Pb изотопный возраст 387 ± 4 млн лет гранитоидов Синюшинского массива по сравнению с возрастом гранитоидов змеиногорского комплекса (Куйбида и др., 2015). Присутствие древних гранитоидов, комагматичных комплексу субвулканических кислых порфировых интрузий, кардинально меняет картину наших представлений по истории развития месторождения и ставит вопрос о возрастных взаимоотношениях жильного оруденения и кислых интрузивов. Проведение изотопного датирования по циркону из золотых жил месторождения является важной задачей будущих исследований, т.к. при их отсутствии рассмотрение этих взаимоотношений остаётся во многом спекулятивным.

Исследования изотопного состава серы, выполненные в разные годы и разными коллективами, однозначно подтверждают близметеоритный состав сульфидной серы Риддер-Сокольного месторождения, указывающий на её глубинный и гомогенный источник (Авдонин и др., 1972; Гриненко, Гриненко, 1974; Лапухов и др., 1991; Викентьев, 2004). При этом максимальной изменчивостью изотопного состава серы отличаются сингенетичные пириты глинистых сланцев и кварц-серицитовых пород. Сульфиды полиметаллических руд не показывают заметного фракционирования изотопов серы ни в вертикальном разрезе, ни по стадиям (Лапухов и др., 1991), хотя отмечается заметное фракционирование изотопов серы в подкупольных участках рудных залежей, что может быть обусловлено пе-

нераспределением тяжёлых и лёгких изотопов при равновесной кристаллизации барита и сульфидов. В глубоких частях залежей пирит, халькопирит и сфалерит имеют близравновесные значения $\delta^{34}\text{S}$, но галенит локально показывает значительные вариации в области отрицательных значений. В отличие от сульфидов массивных полиметаллических руд, сульфиды секущих кварцевых жил имеют резко гетерогенный изотопный состав серы (Лапухов и др., 1991); эти авторы предположили, что формирование золотоносных кварцевых жил происходило в условиях дефицита серы, и существенное значение приобретало заимствование серы из сульфидов рудовмещающих толщ.

Исследованием флюидных включений в минералах колчеданно-полиметаллических руд и жильных тел всех залежей месторождения определены температуры гомогенизации включений в кварце из полиметаллических руд и жил в диапазоне от 370 до 90 °С (Прокофьев, 2000), что ожидаемо, учитывая многостадийность процесса и наложенный характер поздних минеральных ассоциаций. Включения в сфалерите как массивных, так и жильных руд гомогенизируются в широком интервале от 325 до 80 °С. Барит в массивных барит-полиметаллических рудах содержит включения с температурой гомогенизации от 265 до 120 °С, а в гематит-баритовой ассоциации – от 255 до 90 °С. В халькопирит-кварцевой жиле из Быструшинской залежи температуры гомогенизации включений в барите составляют 220–155 °С, а в сосуществующем с ним кварце – 370–90 °С. Концентрации солей составляют 18.5–2.7 мас. % (экв. NaCl) и не коррелируют с температурой. Давление составляло 198–20 бар, соответствуя малоглубинным условиям. Присутствие сингенетичных газовых включений свидетельствует о гетерогенизации минералообразующего флюида. К сожалению, данные не привязаны к золотоносности минеральных ассоциаций и, принимая во внимание многостадийность минералообразования, среди них невозможно выделить диапазон условий образования золоторудной стадии.

Приведенные литературные и наши новые данные подтверждают выводы предыдущих исследователей (Проблемы..., 1977; Лапухов, Иванов, 1993; Попов и др., 1995; Ерёмин и др., 2000; Щерба и др., 2000) о том, что месторождение формировалось в результате многостадийного процесса, с наложением продуктов последовательных стадий в широком вертикальном диапазоне.

В пределах изученных рудных залежей устанавливается развитие синседиментной минерализации (стадия I), подобной субэкономическим слоистым рудам Второй Риддерской залежи. Эта наиболее ранняя ассоциация проявлена в рудовмещающих алевролитах, где спорадически, в виде неравномерной вкрапленности, стяжений, прерывистых слойков и линз развит аутигенный мелкозернистый пирит в ассоциации с доломитом, фенгитом, реже халькопиритом, сфалеритом и галенитом. Содержания золота составляют десятые–первые г/т. Несомненным также является широкое развитие предрудных метасоматитов (стадия II), формирование которых предшествовало и местами было синхронным с основным процессом рудообразования. Микрокварциты, серицитовые микрокварциты, кварц-серицитовые, кварц-серицит-карбонатные, кварц-баритовые, серицит-хлорит-кварцевые, серицит-карбонатные метасоматиты развиваются по вмещающим породам (Чекваидзе, 1981; Мохов, Викентьев, 1988) и являются золотоносными. Стадия III гидротермально-метасоматического формирования субсогласных рудных тел в куполовидных структурах проявлена во всём вертикальном разрезе месторождения. Линзовидные тела сложены несколькими рудными ассоциациями, которые зонально распределены в разрезе: верхняя барит-полиметаллическая сменяется полиметаллической, свинцово-цинковой и медно-цинковой по направлению к корням залежей. Все эти ассоциации золотоносны, при этом золото выделялось неоднократно, хотя наибольшее его количество, по-видимому, кристаллизовалось при затухании гидротермально-метасоматического процесса.

Золотоносные сульфидно-кварцевые с теллуридами и кварцевые жилы с малосульфидной минерализацией формировались при пульсационном поступлении гидротермальных растворов вдоль трещинных нарушений в уже консолидированных рудах и породах (стадия IV). Содержание Au в этом типе руд колеблется от первых г/т до тысяч г/т. По минеральному составу различаются кварц-халькопирит-золотая, кварц-галенит-сфалерит-халькопирит-золотая с теллуридами и кварц-доломит-золотая ассоциации. Эти ассоциации кристаллизуются многократно, формируя крутопадающие жилы и прожилки со взаимными пересечениями, и наложены на все ранее образованные руды и метасоматиты. Крустификационно-зональное строение жил, их расширение или брекчирование при поступлении следующих порций

растворов указывают на прерывисто-непрерывный характер поступления и быструю кристаллизацию пересыщенных кремнезёмом растворов, а также многократные интратрудные тектонические подвижки. Отмечается повышенная золотоносность более сложно построенных агрегатов, что говорит об обогащении руд золотом в ходе повторяющихся процессов растворения-переотложения. Кварц-доломит-золотая ассоциация наложена как на вмещающие метасоматические образования, так и на ранние жилы и, кроме того, образует обособленные выделения внутри кварц-сульфидных жильных тел. Высокая доля кварца и подчинённая роль сульфидов в жилах, их текстурный рисунок с обилием крустификационных полос и геохимическая специализация не характерны для колчеданного типа минерализации и, скорее, близки к характеристикам эпitherмальных объектов. Ассоциация редких минералов в жилах с широким развитием теллуридов и заметным обогащением селеном также более типична для минерализации, связанной с гранитоидным магматизмом (Гамянин и др., 2003; Menez, Botelho, 2017). Нужно отметить, что метаморфическая стадия на месторождении не выделяется, хотя позднепалеозойская тектоническая активизация привела к локальным динамотермальным преобразованиям. Масштабные процессы метаморфизма, способствовавшие перераспределению и концентрированию золота в некоторых метаморфизованных месторождениях Урала, например, на Гайском (Vikentyev et al., 2017) не проявлены на Риддер-Сокольном месторождении. На данном этапе неизученными остаются пропорции золота в сульфидах, которые могут быть значительно обогащены им и другими примесями при установленных условиях рудообразования (Trigub et al., 2017). Несомненно, требуются дальнейшие исследования для полной характеристики баланса золота, как для золоторудных ассоциаций в поздних жильных рудах, так и в ассоциациях колчеданной стадии.

Заключение

Содержание золота в Риддер-Сокольном месторождении отчётливо увеличивается от синседиментных образований к продуктам гидротермально-метасоматической, а затем жильной сульфидно-кварцевой стадии. Сульфидно-золото-кварцевая минерализация в секущих жилах и штокверке содержит основные запасы золота месторождения. Её состав отличается от такового колчеданных

руд пониженным количеством сульфидов и повышенным содержаниям SiO_2 , CO_2 , Te , Se и Au . Это сближает эти образования с минерализацией эпitherмального типа, хотя источник вещества остаётся невыясненным на современном уровне знания, за исключением его общей констатации.

Как было замечено ранее (Hannington et al., 1999), для многих колчеданных провинций аномальная обогащённость золотом связана с необычно широким проявлением кислого вулканизма и процессами раннего внутридугового рифтинга. Однако зависимость между составом колчеданных руд и их золотоносностью отсутствует (Dube et al., 2007; Рафаилович, 2010): в большинстве рудных районов мира только одно или два месторождения аномально обогащены золотом, тогда как соседние сравнительно бедны им. Среди месторождений Лениногорского, Белоусовского и Зырянского районов руды Риддер-Сокольного месторождения резко выделяются своей высокой золотоносностью, что говорит скорее о местном контроле, нежели о существовании региональных закономерностей. Так, второе по величине запасов на Рудном Алтае Зырянское месторождение не обогащено золотом и не содержало самостоятельной золотой минерализации.

Авторы благодарят А.В. Мохова за помощь при проведении электронно-микроскопических исследований.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного фонда (проект 14-17-00693-П).

Литература

- Авдонин В.В.** (1981) Рудоносные вулканотектонические депрессии центральной части Рудного Алтая. *Вестник Московского Университета, Серия Геология*, **6**, 29–40.
- Авдонин В.В., Воинков Д.М., Гриненко Л.Н., Дёмин Ю.И.** (1972) Изотопный состав серы сульфидов различных групп месторождений Лениногорского района (Рудный Алтай). *Геология рудных месторождений*, **14**(3), 31–44.
- Байбатша А.Б., Дюсембаева К.Ш., Ганженко Г.Д.** (2009) О богатых золотосодержащих рудах глубоких горизонтов месторождения Риддер-Сокольное. *Материалы научно-практической конференции «Сатпаевские чтения»*. Алматы, 161–167.
- Байбатша А.Б., Дюсембаева К.Ш., Касенова А.Т.** (2010) Бурсаит, алексит, пильзенит – первые находки в Казахстане в рудах Риддер-Сокольного золото-колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай). *Геология и охрана недр*, **37**(4), 44–47.

- Болдырев А.К., Григорьев И.Ф.** (1927) Карта главнейших полиметаллических месторождений Русского Алтая. *Геолком, Материалы по общей и прикладной геологии*, **67**, 86 с.
- Буров П.П., Курек Н.Н.** (1939) Риддерская группа полиметаллических месторождений на Алтае. *Цветные металлы*, **6**, 3–17.
- Вейц Б.И.** (1945) Особенности минерального состава, структур и текстур руд некоторых полиметаллических месторождений Рудного Алтая. *Известия АН СССР*, **6**, 33–36.
- Вейц Б. И.** (1953) О генетической связи полиметаллического оруденения Рудного Алтая с девонским вулканизмом. *Известия АН КазССР. Серия геологическая*, **17**, 105–115.
- Вейц Б.И.** (1959) Минералогия Рудного Алтая. Т. 3. Геолого-минералогическая характеристика полиметаллических месторождений Рудного Алтая. Алма-Ата, Наука, 488 с.
- Викентьев И.В.** (2004) Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. М., Научный мир, 340 с.
- Викентьев И.В., Карманов В.П.** (1989) Два структурно-геохимических типа полиметаллических месторождений в Лениногорском рудном районе. *Известия вузов. Геология и разведка*, **8**, 48–57.
- Викентьев И.В., Молошаг В.П., Юдовская М.А.** (2006) Формы нахождения и условия концентрирования благородных металлов в колчеданных рудах Урала. *Геология рудных месторождений*, **48(2)**, 91–125.
- Вулканогенные колчеданно-полиметаллические месторождения (на примере Рудного Алтая) (под ред. Г.Ф. Яковлева). (1978). М., Изд-во Московского университета, 280 с.
- Гамянин Г.Н., Лескова Л.В., Вяльсов Л.Н., Лапутина И.П.** (1980) Bi_2Te и $BiTe$ в месторождениях Северо-Востока СССР. *Записки ВМО*, **109(2)**, 230–235.
- Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Бахарев А.Г., Колесниченко П.П., Зайцев А.И., Диман Е.Н., Бердников Н.В.** (2003) Условия зарождения и эволюция гранитоидных золоторудно-магматических систем в мезозоидах Северо-Востока Азии. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 196 с.
- Ганженко Г.Д., Сапаргалиев Е.М.** (2016) Результаты предварительных исследований по разработке теоретических основ прогнозирования и оценки геологических структур Рудного Алтая на полиметаллическое оруденение. *Вестник КазНАЕН*, **3–4**, 75–80.
- Горжевский Д.И., Чекваидзе В.Б., Исакович И.З.** (1977) Типы полиметаллических месторождений Рудного Алтая, их происхождение и методы поисков. М., Недра, 197 с.
- Григорьев И.Ф.** (1927) Исследование Алтайских руд в отраженном свете. *Геолком, Материалы по общей и прикладной геологии*, **70**, 47 с.
- Гриненко В.А., Гриненко Л.Н.** (1974) Геохимия изотопов серы. М., Наука, 274 с.
- Дергачёв А.Л., Пак Т.М., Ерёмин Н.И.** (1994) О природе рудовмещающих купольных структур на Риддер-Сокольном месторождении на Рудном Алтае. *Доклады РАН*, **334(4)**, 476–479.
- Дьячков Б.А., Титов Д.В., Сапаргалиев Е.М.** (2009) Рудные пояса Большого Алтая и оценка их перспектив. *Геология рудных месторождений*, **51**, 222–238.
- Дюсембаева К.Ш., Ганженко Г.Д., Касенова А.Т.** (2010) Новое в минералогии золото-колчеданно-полиметаллического месторождения Риддер-Сокольное (Рудный Алтай). *Материалы конференции «Геологическая наука и промышленное развитие Республики Казахстан»*, Алматы, 169–172.
- Ерёмин Н.И., Сергеева Н.Е., Дергачёв А.Л., Позднякова Н.В.** (2000) Благородные металлы в вулканогенных колчеданных месторождениях. *Вестник Московского университета. Серия Геология*, **2**, 52–59.
- Ермолаев К.Ф.** (1957) О морфологии и условиях образования рудных тел Лениногорского месторождения / Полиметаллические месторождения Рудного Алтая. М., Госгеолтехиздат, 185–209.
- Зиновьев С.В.** (2016) Роль динамометаморфизма в формировании рудных месторождений (на примере колчеданных Тишинского и Риддер-Сокольного месторождений Рудного Алтая). *Геология и геофизика*, **57(3)**, 521–536.
- Исакович И.З.** (1972) Минеральные ассоциации, золотоносность и некоторые условия формирования руд полиметаллических месторождений Змеиногорского и Лениногорского районов Рудного Алтая. *Автореферат канд. дисс. М., ЦНИГРИ*, 18 с.
- Козлов М.С.** (2015) Условия формирования Рудно-алтайской металлогенической провинции. *Геология рудных месторождений*, **57(4)**, 299–326.
- Куйбида М.Л., Крук Н.Н., Шокальский С.П., Гусев Н.И., Мурзин О.В.** (2015) Надсубдукционные плагиограниты Рудного Алтая: возраст и особенности состава. *Доклады Академии наук*, **464(3)**, 317–322.
- Лапухов А.С., Доильницын Е.Ф., Каныгин А.А., Карманов В.П., Кудряшов А.М.** (1991) О полигенности рудноалтайских колчеданно-полиметаллических месторождений по данным изотопного состава серы / Изотопные исследования процессов рудообразования. Новосибирск, Наука, 41–56.
- Лапухов А.С., Иванов Н.Б.** (1993) Благороднометалльные геохимические ассоциации колчеданно-полиметаллических месторождений рудноалтайского типа. *Геология и геофизика*, **34(4)**, 92–100.
- Лапухов А.С., Прокопенко А.И., Иванов Н.Б., Трубников Л.М.** (1986) Рудообразующие системы колчеданно-полиметаллических месторождений зон смятия (Рудный Алтай). Новосибирск, Наука, 182 с.
- Малыгин А.А., Нахтигаль Г.П.** (1999) Реставрирование рудно-магматических систем как метод прогнозирования промышленных колчеданно-полиметаллических месторождений

ских месторождений Рудного Алтая. *Геология Казахстана*, **2**, 29–42.

Мохов В.А., Викентьев И.В. (1988) Динамометаморфизм колчеданно-полиметаллических месторождений Лениногорского района (Р. Алтай). *Известия вузов. Геология и разведка*, **12**, 55–61.

Николаев Л.Г., Карманов В.П. (1985) Зональность и вещественный состав линейного участка штокверка Риддер-Сокольского месторождения. *Известия АН КазССР. Серия геологическая*, **2**, 18–32.

Николаев Л.Г., Карманов В.П., Дурнев Г.С. (1984) Структурно-морфологические особенности эксплозивных сооружений Риддер-Сокольского месторождения и вопросы их генезиса. *Известия АН КазССР. Серия геологическая*, **1**, 1–13.

Обручев В.А. (1915) Алтайские этюды. О тектонике Русского Алтая. М., Изд-во И.Н. Кушнарева и Ко, 71 с.

Омирсериков М.Ш., Дюсембаева К.Ш., Исаева Л.Д., Асубаева С.А. (2006) Вещественный состав богатых золотосодержащих руд глубоких горизонтов Риддер-Сокольского месторождения. *Вестник НТУ*, **56**(6), 23–27.

Пак Т.М. (1994) Структурно-морфологические, минералого-геохимические особенности и генезис Риддер-Сокольского колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай). *Автореферат канд. дисс.* М., МГУ, 16 с.

Палеовулканогеологический анализ колчеданосных провинций (на примере Рудного Алтая). (1984) М., Изд-во Московского университета, 193 с.

Пилипенко П. П. (1915) Минералогия Западного Алтая. *Известия Томского университета*, **62**, 763 с.

Покровская И.В. (1982) Минералогия и условия образования полиметаллических месторождений (Лениногорский район Рудного Алтая). Алма-Ата, Наука, 153 с.

Попов В.В. (1968) Вулканизм, тектоника и полиметаллическое оруденение Лениногорского рудного района. Алма-Ата, Наука, 173 с.

Попов В.В., Стучевский Н.И., Дёмин Ю.И. (1995) Полиметаллические месторождения Рудного Алтая. М., ИГЕМ РАН, 414 с.

Проблемы генезиса колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая (под ред. А.А. Абдулина). (1977). Алма-Ата, Наука, 304 с.

Прокофьев В.Ю. (2000) Геохимические особенности рудообразующих флюидов гидротермальных месторождений золота различных генетических типов (по данным исследования флюидных включений). Новосибирск, Наука, 192 с.

Рафаилович М.С. (2010) Крупнотоннажные месторождения золота и цветных металлов Казахстана и соседних регионов Центральной Азии. *Известия НАН РК. Серия геологическая*, **6**, 12–30.

Сандомирский С.А., Старостин В.И. (1975) Рудоносные структуры Риддер-Сокольского полиметаллического месторождения. *Геология рудных месторождений*, **17**(2), 3–15.

Старостин В.И. (1979) Структурно-петрофизический анализ эндогенных рудных полей. М., Недра, 240 с.

Чекваидзе В.Б. (1981) Околорудные метасоматиты колчеданно-полиметаллических месторождений и их поисковое значение. М., Недра, 240 с.

Чепрасов Б.Л., Покровская И.В., Ковриго О.А. (1972) О полигенном характере оруденения Риддер-Сокольского месторождения. *Геология рудных месторождений*, **14**(6), 30–45.

Шадлун Т.Н. (1951) Об особенностях строения колчеданных руд на некоторых месторождениях Алтая. *Известия АН СССР. Серия Геологическая*, **5**, 18–30.

Щерба Г.Н. (1957) Геология Лениногорского рудного поля / Полиметаллические месторождения Рудного Алтая. М., Госгеолтехиздат, 7–181.

Щерба Г.Н., Беспяев Х.А., Дьячков Б.А. (2000) Большой Алтай (геология и металлогения). Книга 2. Металлогения. Алматы, РИО ВАК РК, 400 с.

Яковлев Г.Ф., Авдонин В.В., Сакня Д.Р., Старостин В.И. (1986) Закономерности размещения колчеданно-полиметаллических месторождений на Рудном Алтае. *Известия вузов. Геология и разведка*, **11**, 27–39.

Dubé B., Mercier-Langevin P., Hannington M., Lafrance B., Gosselin G., Gosselin P. (2007) The LaRonde Penna world-class Au-rich volcanogenic massive sulfide deposit, Abitibi, Québec: mineralogy and geochemistry of alteration and implications for genesis and exploration. *Economic Geology*, **102**, 633–666.

Hannington M.D., Poulsen K.H., Thompson J.F.H., Sillitoe R. (1999) Volcanogenic gold in the massive sulfide environment. *Review in Economic Geology*, **8**, 325–356.

Laznicka P. (2010) Giant Metallic Deposits. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 736 p.

Lobanov K., Yakubchuk A., Creaser R.A. (2014) Besshi-Type VMS deposits of the Rudny Altai (Central Asia). *Economic Geology*, **109**, 1403–1430.

Menez J., Botelho N.F. (2017) Ore characterization and textural relationships among gold, selenides, platinum group minerals, and uraninite at the granite-related Buraco do Ouro gold mine, Cavalcante, Central Brazil. *Mineralogical Magazine*, **81**, 463–475.

Mercier-Langevin P., Dubé B., Bécu V., Hannington M.D. (2011) The gold content of volcanogenic massive sulfide deposits. *Mineralium Deposita*, **46**, 509–539.

Sillitoe R.H. (2000) Gold-rich porphyry deposits: descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery. *Review in Economic Geology*, **13**, 315–345.

Trigub A.L., Tagirov B.R., Kvashnina K.O., Lafuerza S., Filimonova O.N., Nickolsky M.S. (2017) Experimental determination of gold speciation in sulfide-rich hydrothermal fluids under a wide range of redox conditions. *Chemical Geology*, **471**, 52–64.

Vikentyev I.V., Belogub E.V., Novoselov K.A., Moloshag V.P. (2017) Metamorphism of volcanogenic

massive sulphide deposits in the Urals. *Ore Geology Review*, **85**, 30–63.

Yakubchuk A., Degtyarev K., Maslennikov V., Wurst A., Stekhin A., Lobanov K. (2012) Tectonomagmatic settings, architecture and metallogeny of the Central Asian copper province. *Society of Economic Geology Special Publication*, **16**, 403–432.

References

Avdonin V.V. (1981) [Ore-bearing volcanotectonic depressions of the central part of Rudny Altai]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya Geologiya [Vestnik of Moscow University. Series Geology]*, **6**, 29–40. (in Russian)

Avdonin V.V., Voinkov D.M., Grinenko L.N., Demin Yu.I. (1972) [Sulfur isotopic composition of sulfides of various groups of deposits in the Leninogorsk region (Rudny Altai)]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy [Geology of Ore Deposits]*, **14**(3), 31–44. (in Russian)

Baybatsha A.B., Dyusembaeva K.Sh., Ganzhenko G.D. (2009) [Gold-rich ores of deep horizons of the Ridder-Sokolnoe deposit]. *Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii «Satpaevskie chteniya» [Materials of Scientific-Practical Conference «Satpaev Readings»]*. Almaty, 161–167. (in Russian)

Baybatsha A.B., Dyusembaeva K.Sh., Kasenova A.T. (2010) [Bursaite, alexite, pilzenite – first finds in Kazakhstan in ores of the Ridder-Sokolnoe gold-bearing massive sulfide deposit (Rudny Altai)]. *Geologiya i okhrana nedr [Geology and Resource Survey]*, **37**(4), 44–47. (in Russian)

Boldyrev A.K., Grigoryev I.F. (1927) [Map of major polymetallic deposits of Russian Altai]. *Geolkom, Materialy po obschey i prikladnoy geologii [Geolkom, Materials on General and Applied Geology]*, **67**, 86 p. (in Russian)

Burov P.P., Kurek N.N. (1939) [Ridder group of polymetallic deposits in Altai]. *Tsvetnye metally [Base Metals]*, **6**, 3–17. (in Russian)

Chekvaizze V.B. (1981) [Peripheral metasomatites of massive sulfide polymetallic deposits and their significance for prospecting]. M., Nedra, 240 p. (in Russian)

Cheprasov B.L., Pokrovskaya I.V., Kovrigo O.A. (1972) [Polygenetic character of mineralization of the Ridder-Sokolnoe deposit]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy [Geology of Ore Deposits]*, **14**(6), 30–45. (in Russian)

D'yachkov B.A., Titov D.V., Sapargaliev E.M. (2009) [Ore belts of the Greater Altai and their ore resource potential]. *[Geology of Ore Deposits]*, **51**(3), 197–211.

Dergachev A.L., Pak T.M., Eremin N.I. (1994) [Nature of ore-bearing dome structures of the Ridder-Sokolnoe deposit of Rudny Altai]. *Doklady AN [Doklady Earth Sciences]*, **334**(4), 476–479. (in Russian)

Dubé B., Mercier-Langevin P., Hannington M., Lafrance B., Gosselin G., Gosselin P. (2007) The LaRonde Penna world-class Au-rich volcanogenic massive sulfide deposit, Abitibi, Québec: mineralogy and geochemistry

of alteration and implications for genesis and exploration. *Economic Geology*, **102**, 633–666.

Dyusembaeva K.Sh., Ganzhenko G.D., Kasenova A.T. (2010) [News on mineralogy of the Ridder-Sokolnoe gold-bearing massive sulfide polymetallic deposit (Rudny Altai)]. *Materialy konferentsii «Geologicheskaya nauka i industrialnoe razvitie Respubliki Kazakhstan» [Materials of Conference «Geological Science and Economic Development of the Republic of Kazakhstan»]*, Almaty, 169–172. (in Russian)

Eremin N.I., Sergeeva N.E., Dergachev A.L., Pozdnyakova N.V. (2000) [Noble metals in volcanogenic massive sulfide deposits]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya Geologiya [Vestnik of Moscow State University. Series Geology]*, **2**, 52–59. (in Russian)

Ermolaev K.F. (1957) [Morphology and formation conditions of ore bodies of the Leninogorsk deposit / Polymetallic deposits of Rudny Altai]. M., Gosgeoltekhizdat, 185–209. (in Russian)

Gamyanin G.N., Goryachev N.A., Bakharev A.G., Kolesnichenko P.P., Zaytzev A.I., Diman E.N., Berdnikov N.V. (2003) [Conditions of generation and evolution of gold-bearing granitic magmatic systems in Mesozoic complexes of Northeast Asia]. Magadan, SVKNI DVO RAN, 196 p. (in Russian)

Gamyanin G.N., Leskova L.V., Vyalsov L.N., Laputina I.P. (1980) [Bi₂Te and BiTe in deposits of the northeast of the USSR]. *Zapiski VMO [Proceedings of VMO]*, **109**(2), 230–235. (in Russian)

Ganzhenko G.D., Sapargaliev E.M. (2016) [Results of preliminary investigations on theoretical basis for prediction and evaluation of geological structures of Rudny Altai in respect to polymetallic mineralization]. *Vestnik KazNAEN [Proceedings of KazNANS]*, **3–4**, 75–80. (in Russian)

Gorzhevskiy D.I., Chekvaizze V.B., Isakovich I.Z. (1977) [Types of polymetallic deposits of Rudny Altai, their origin and prospecting methods]. M., Nedra, 197 p. (in Russian)

Grigor'ev I.F. (1927) [Study of Altai ores in reflected light]. *Geolkom, Materialy po obschey i prikladnoy geologii [Geolkom, Materials on General and Applied Geology]*, **70**, 47 p. (in Russian)

Grinenko V.A., Grinenko L.N. (1974) [Geochemistry of sulfur isotopes]. M., Nauka, 274 p. (in Russian)

Hannington M.D., Poulsen K.H., Thompson J.F.H., Sillitoe R. (1999) Volcanogenic gold in massive sulfide environment. *Reviews in Economic Geology*, **8**, 325–356.

Isakovich I.Z. (1972) [Mineral assemblages, gold potential and some formation conditions of ores of polymetallic deposits of the Zmeinogorsk and Leninogorsk regions of Rudny Altai]. *Autoreferat of PhD dissertation*. M., TsNIGRI, 18 p. (in Russian)

Kozlov M.S. (2015) [Formation conditions of the Rudny Altai metallogenic province]. *[Geology of Ore Deposits]*, **57**(4), 266–291.

- Kuybida M.L., Kruk N.N., Shokalskiy S.P., Gusev N.I., Murzin O.V.** (2015) [Subduction plagiogranites of Rudny Altai: age and composition characteristics]. *[Doklady Earth Sciences]*, **464**(1), 914–918.
- Lapukhov A.S., Doilnitsyn E.F., Kanygin A.A., Karmanov V.P., Kudryashov A.M.** (1991) [Polygenetic nature of Rudny Altai massive sulfide polymetallic deposits according to sulfur isotopic compositional data / Isotopic studies of ore formation]. Novosibirsk, Nauka, 41–56. (in Russian)
- Lapukhov A.S., Ivanov N.B.** (1993) [Noble-metal geochemical associations of massive sulfide polymetallic deposits of Rudny Altai type]. *Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics]*, **34**(4), 92–100. (in Russian)
- Lapukhov A.S., Prokopenko A.I., Ivanov N.B., Trubnikov L.M.** (1986) [Ore-forming systems of massive sulfide polymetallic deposits of folded zones (Rudny Altai)]. Novosibirsk, Nauka, 182 p. (in Russian)
- Laznicka P.** (2010) Giant metallic deposits. Berlin, Heidelberg, Springer, 736 p.
- Lobanov K., Yakubchuk A., Creaser R.A.** (2014) Besshi-Type VMS deposits of the Rudny Altai (Central Asia). *Economic Geology*, **109**, 1403–1430.
- Malygin A.A., Nakhtigal G.P.** (1999) [Restoration of ore-magmatic systems as a prognosing method for economic massive sulfide polymetallic deposits of Rudny Altai]. *Geologiya Kazakhstana [Geology of Kazakhstan]*, **2**, 29–42. (in Russian)
- Menez J., Botelho N.F.** (2017) Ore characterization and textural relationships among gold, selenides, platinum group minerals, and uraninite at the granite-related Buraco do Ouro gold mine, Cavalcante, Central Brazil. *Mineralogical Magazine*, **81**, 463–475.
- Mercier-Langevin P., Dubé B., Bécu V., Hannington M.D.** (2011) The gold content of volcanogenic massive sulfide deposits. *Mineralium Deposita*, **46**, 509–539.
- Mokhov V.A., Vikentyev I.V.** (1988) [Dinamometamorphism of massive sulfide deposits of the Leninogorsk region (Rudny Altai)]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka [Proceedings of Higher Schools. Geology and Exploration]*, **12**, 55–61. (in Russian)
- Nikolaev L.G., Karmanov V.P.** (1985) [Zonation and composition of a linear part of stockwork of the Ridder-Sokolnoe deposit]. *Izvestiya KazAN SSSR. Seriya geologicheskaya [Proceedings of KazAS USSR. Geological Series]*, **2**, 18–32. (in Russian)
- Nikolaev L.G., Karmanov V.P., Durnev G.S.** (1984) [Structural-morphological features of explosive structures of the Ridder-Sokolnoe deposit and problems of their genesis]. *Izvestiya KazAN SSSR. Seriya geologicheskaya [Proceedings of KazAS USSR. Geological Series]*, **1**, 1–13. (in Russian)
- Obruchev V.A.** (1915) [Altai etudes. Tectonic of Russian Altai]. M., Isdatelstvo I.N. Kushnarev i Co, 71 p. (in Russian)
- Omirserikov M.Sh., Dyusembaeva K.Sh., Isaeva L.D., Asubaeva S.A.** (2006) [Composition of gold-rich ores of deep horizons of the Ridder-Sokolnoe deposit]. *Vestnik NTU [Vestnik NTU]*, **56**(6), 23–27. (in Russian)
- [Paleovolcanological analysis of massive sulfide provinces: example of Rudny Altai]. (1984). M., Izdatelstvo Moscovskogo Universiteta, 193 p. (in Russian)
- Pak T.M.** (1994) [Structural-morphological and mineralogical-geochemical characteristics and genesis of the Ridder-Sokolnoe massive sulfide polymetallic deposit (Rudny Altai)]. *Autoreferat of PhD dissertation*. M., MSU, 16 p. (in Russian)
- Pilipenko P.P.** (1915) [Mineralogy of West Altai]. *Izvestiya Tomskogo Universiteta [Proceedings of Tomsk State University]*, **62**, 763 p. (in Russian)
- Pokrovskaya I.V.** (1982) [Mineralogy and formation conditions of polymetallic deposits (Leninogorsk region of Rudny Altai)]. Alma-Ata, Nauka, 153 p. (in Russian)
- Popov V.V.** (1968) [Volcanism, tectonic and polymetallic mineralization of the Leninogorsk ore region]. Alma-Ata, Nauka, 173 p. (in Russian)
- Popov V.V., Stuchevisky N.I., Demin Yu.I.** (1995) [Polymetallic deposits of Rudny Altai]. M., IGEM RAN 414 p. (in Russian)
- [Problems of genesis of massive sulfide polymetallic deposits of Rudny Altai (Abdulin A.A. ed.)] (1977). Alma-Ata, Nauka, 304 p. (in Russian)
- Prokofev V.Yu.** (2000) [Geochemical characteristics of ore-forming fluids of hydrothermal gold deposits of various genetic types (according to fluid inclusion data)]. Novosibirsk, Nauka, 192 p. (in Russian)
- Rafailovich M.S.** (2010) [Large-scale gold and base metal deposits of Kazakhstan and adjacent regions of Central Asia]. *Izvestiya NAN RK. Seriya geologicheskaya [Proceedings of NAS RK. Geological Series]*, **6**, 12–30. (in Russian)
- Sandomirsky S.A., Starostin V.I.** (1975) [Ore-bearing structures of the Ridder-Sokolnoe polymetallic deposit]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy [Geology of Ore Deposits]*, **17**(2), 3–15. (in Russian)
- Scherba G.N.** (1957) [Geology of the Leninogorsk ore field / Polymetallic deposits of Rudny Altai]. M., Gosgeoltekhizdat, 7–181. (in Russian)
- Shcherba G.N., Bespaev Kh.A., D'yachkov B.A.** (2000) [Great Altai (geology and metallogeny). Book 2. Metallogeny]. Almaty, RIO VAK RK, 400 p. (in Russian)
- Shadlun T.N.** (1951) [Peculiarities of structure of massive sulfide ores in some deposits of Rudny Altai]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geologicheskaya [Proceedings of AS USSR. Geological Series]*, **5**, 18–30. (in Russian)
- Sillitoe R.H.** (2000) Gold-rich porphyry deposits: descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery. *Reviews in Economic Geology*, **13**, 315–345.
- Starostin V.I.** (1979) [Structural-petrophysical analysis of endogeneous ore fields]. M., Nedra, 240 p. (in Russian)

- Trigub A.L., Tagirov B.R., Kvashnina K.O., Lafuerza S., Filimonova O.N., Nickolsky M.S.** (2017) Experimental determination of gold speciation in sulfide-rich hydrothermal fluids under a wide range of redox conditions. *Chemical Geology*, **471**, 52–64.
- Veitz B.I.** (1945) [Features of mineral composition, structures and textures of ores from some polymetallic deposits of Rudny Altai]. *Izvestiya AN SSSR [Proceedings of AS USSR]*, **6**, 33–36. (in Russian)
- Veitz B.I.** (1953) [Genetic link between polymetallic mineralization of Rudny Altai and Devonian volcanism]. *Izvestiya KazAN SSSR. Seriya geologicheskaya [Proceedings of KazAS USSR. Geological Series]*, **17**, 105–115. (in Russian)
- Veitz B.I.** (1959) [Mineralogy of Rudny Altai. Vol. 3. Geological-mineralogical characteristics of polymetallic deposits of Rudny Altai]. Alma-Ata, Nauka, 488 p. (in Russian)
- Vikentyev I.V.** (2004) [Conditions of formation and metamorphism of massive sulfide ores]. M., Nauchny mir, 340 p. (in Russian)
- Vikentyev I.V., Belogub E.V., Novoselov K.A., Moloshag V.P.** (2017) Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals. *Ore Geology Review*, **85**, 30–63.
- Vikentyev I.V., Karmanov V.P.** (1989) [Two structural-geochemical types of polymetallic deposits of the Leninogorsk ore region]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka [Proceedings of Higher Schools. Geology and prospecting]*, **8**, 48–57. (in Russian)
- Vikentyev I.V., Moloshag V.P., Yudovskaya M.A.** (2006) [Speciation of noble metals and conditions of their concentration in massive sulfide ores of the Urals]. *Geology of Ore Deposits*, **48**(2), 77–107.
- [Volcanogenic polymetallic massive sulfide deposits (example of Rudny Altai (Yakovlev G.F. ed.)). (1978) M., Moscow University Publishing, 280 p. (in Russian)]
- Yakovlev G.F., Avdonin V.V., Saliya D.R., Starostin V.I.** (1986) [Principles of distribution of massive sulfide polymetallic deposits of Rudny Altai]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka [Proceedings of Higher Schools. Geology and Exploration]*, **11**, 27–39. (in Russian)
- Yakubchuk A., Degtyarev K., Maslennikov V., Wurst A., Stekhin A., Lobanov K.** (2012) Tectonomagmatic settings, architecture and metallogeny of the Central Asian copper province. *Society of Economic Geology Special Publication*, **16**, 403–432.
- Zinoviev S.V.** (2016) The role of dynamometamorphism in the formation of ore deposits (by the example of the Tishinka and Ridder-Sokol'noe pyrite deposits in Rudny Altai). *[Russian Geology and Geophysics]*, **57**(3), 409–420.

Поступила в редакцию 25 января 2018 г.