

МАЛИНОВСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ – НОВЫЙ ТИП ЗОЛОТОРУДНОЙ
МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ПРИМОРСКОМ КРАЕ, РОССИЯ (ГЕОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ,
ГЕНЕЗИС)

*В.И. Гвоздев¹, К.Н. Доброшевский², А.С. Вах¹, Н.А. Горячев³, В.А. Степанов⁴,
Д.Г. Федосеев¹*

¹ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр-т 100 лет Владивостоку 159, г. Владивосток, 690022; e-mail: gvozdev@fegi.ru

²ЗАО «Приморзолото», ул. Верхнепортовая 46, оф. 308, г. Владивосток, 690003

³ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт, ул. Портовая 16, г. Магадан, 685000; e-mail: goryachev@neisri.ru

⁴ФГБУН Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН, Северо-Восточное шоссе 30, г. Петропавловск-Камчатский, 683002

Поступила в редакцию 19 марта 2015 г.

При изучении каменного материала, полученного при документации горных выработок, получены оригинальные сведения о вещественном составе руд месторождения. По минеральному составу выделено три типа прожилков, продуктивных на золотую минерализацию: сульфидно-кварцевые, сульфидно-карбонатно-кварцевые и сульфидные. Изучены околожильные метасоматиты, сопровождающие руды, и типоморфные особенности минералов; рассматриваются вопросы генезиса руд и месторождения. Установлено, что Малиновское месторождение – это минерализация нового для Приморского региона золото-турмалинового типа (золото-кварцевой формации), руды которого по многим параметрам очень близки к рудам крупных по запасам месторождений Забайкалья и Амурской области (Ключевское, Карийское, Кировское, Дарасунское и др.), генетически связанных с гранитоидным магматизмом.

Ключевые слова: месторождения золота, минералогия, генезис, Приморский край.

ВВЕДЕНИЕ

Первые сведения о золотоносности р. Большая Уссурка и ее притоков были получены в 1910 г. – были открыты золотоносные россыпи. Золотоносность (многочисленные свалы кварца с содержаниями золота 0.01–6.8 г/т) бассейна ключа Намова (правый приток р. Малиновка) была установлена при проведении геологических (съемка, поиски) работ в период с 1966 по 1971 годы. В 1976–1978 гг. Приморской партией ДВГРЭ (Кянно А.И., Приходько Б.Е., 1978 г.) проведено поисковое бурение кл. Намова и выявлено россыпное месторождение. В 1983–1985 гг. Приморской поисковой партией ППСЭ ППГО (Зенин А.Л., Родионов А.Н., 1985 г.) на территории района проводились общие поиски м 1:100 000, в результате которых участок Намовский (Малиновский) стал рассматриваться как перспективный на Cu-Au оруденение.

С 1985 по 1991 годы на площади участка Малиновский выполнялись поисковые работы Приморской

поисковой партией ППСЭ ППГО (Родионов А.Н., 1988 г.; 1991 г.). В результате этих работ были вскрыты канавами и единичными буровыми скважинами (до 300 м) рудные зоны Малахитовая, Меридиональная, Медная и др., что позволило оценить площадь Малиновского рудного узла по категории Р₂ в 19.7 т золота.

С 2009 г. по настоящее время на площади Малиновского месторождения ООО «Малиновская золоторудная компания» выполняет поисково-оценочные работы по наиболее перспективной зоне Меридиональной.

По металлогенической схеме районирования Приморского края [23], месторождение Малиновское первоначально было отнесено к группе объектов медно-порфирирового типа. Первые обобщающие сведения по геологическому строению и вещественному составу руд приведены в работах [10, 22], которые позволили предположить, что жильную минерализацию

на месторождении следует относить к золото-турмалиновому типу. В то же время, состав метасоматических пород и типоморфные особенности минералов, сопутствующих золотому оруденению, детально не изучались.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА И МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Краткое описание геологического строения района и месторождения приведено по материалам геологической съемки масштаба 1:50 000 (Максименко Ю.И., 1970 г.) и геолого-поисковых работ масштаба 1:10 000 (Родионов А.Н., 1988 г.).

Район и рудное поле Малиновского месторождения являются составной частью Сихотэ-Алинской аккреционно-складчатой области (врезка на рис. 1 А). Рудное поле расположено в верховье р. Малиновки и занимает площадь около 30 км². Согласно тектоно-стратиграфическому районированию Приморской части Сихотэ-Алиния, в геологическом строении района и месторождения принимают участие осадки турбидитового бассейна Журавлевско-Амурского террейна мелового возраста (рис. 1 А), который сформировался в результате скольжения литосферных плит и примыкает к Самаркинскому террейну с востока по Центральному Сихотэ-Алинскому разлому [11, 24]. Такое геолого-структурное положение месторождения обусловило проявление на его территории множества разных по возрасту и условиям формирования осадочных и магматических пород. Так, Журавлевско-Амурский террейн сложен разнообразными по составу осадочными (журавлевская – берриас–валанжин– и ключевская – валанжин – свиты), вулканогенными, экструзивными (дорофеевская – маастрихт– и богопольская – маастрихт-дат – свиты) и интрузивными (татибинский комплекс – поздний альб–сеноман-турон) породами.

Породы журавлевской свиты занимают центральную часть изученной площади. Они наиболее распространены и представлены алевролитами, песчанистыми алевролитами, реже мелко-среднезернистыми песчаниками, содержащими прослойки аргиллитов, алевритистых аргиллитов, гравелитов, кремнистых алевролитов, туфопесчаников, конгломератов, туфов среднего состава.

Породы ключевской свиты имеют подчиненное распространение и представлены в нижней части разреза среднезернистыми массивными, реже волнисто-слоистыми песчаниками с редкими прослоями и линзами алевролитов, алевропесчаников, реже конгломератов; верхняя часть – массивными алевролитами, реже аргиллитами.

Вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы дорофеевской свиты развиты преимущественно в западной части изученной площади и примыкают непосредственно к зоне Центрального Сихотэ-Алинского разлома. В ее составе преобладают туфоконгломераты, туфогравеллиты и туфопесчаники; менее распространены туфы андезитов и дацитов, ксенотуфы и туфы смешанного состава; редко встречаются пироксен-роговообманковые андезиты, андезибазальты, оливинные базальты, туфы и лавы среднего состава и др. Все породы этой свиты пропилитизированы, местами карбонатизированы и пиритизированы.

Вулканогенные и вулканогенно-осадочные отложения богопольской свиты относят к породам трахириолитовой формации и широко распространены в южной и юго-западной части площади, где они совместно с различными по составу экструзивными телами образуют Ороченско-Малиновскую вулканотектоническую впадину. В составе свиты выделяют три толщи, которые сложены преимущественно игнимбритами, туфами риолитов и риодацитов, туфопесчаниками и туфоалевролитами.

Среди магматических пород района и месторождения выделено два комплекса: *позднемеловой* (интрузивный татибинский: первая фаза – диориты, габбромонцодиориты и др.; вторая фаза – биотитовые гранодиориты, граниты, лейкограниты) и *поздне-меловой-палеогеновый* (вулканический богопольский – дациты, риодациты, андезиты, их туфы, игнимбиты и др.).

Интрузивные породы первой фазы *поздне-меловой* татибинского комплекса (Водораздельный массив – северо-восточная часть площади; рис. 1 А) прорывают породы журавлевской и ключевской свит и, в свою очередь, перекрываются вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами дорофеевской и богопольской свит. Установлено, что средний возраст габбромонцодиоритов (по цирконам, U–Pb, SHRIMP) равен 105.3 ± 1 млн лет [20]. Близкие значения возраста (103–105 млн лет по цирконам, U–Pb, SHRIMP) имеют и гранитоиды этого комплекса (северо-западная часть, по Центрально-Сихотэ-Алинскому разлому; рис. 1 А), которые более детально изучены на месторождениях Восток-2, Лермонтовском и сопредельных территориях [19]. По совокупности признаков (петрохимическим характеристикам и олово-вольфрамовой металлогенической специализации гранитоидов [8, 19, 20], ассоциирующим с ними метасоматическими породами и рудами, обогащенными минералами, содержащими калий, летучие F, B, Cl, CO²) с гранитоидами этого комплекса следует генети-

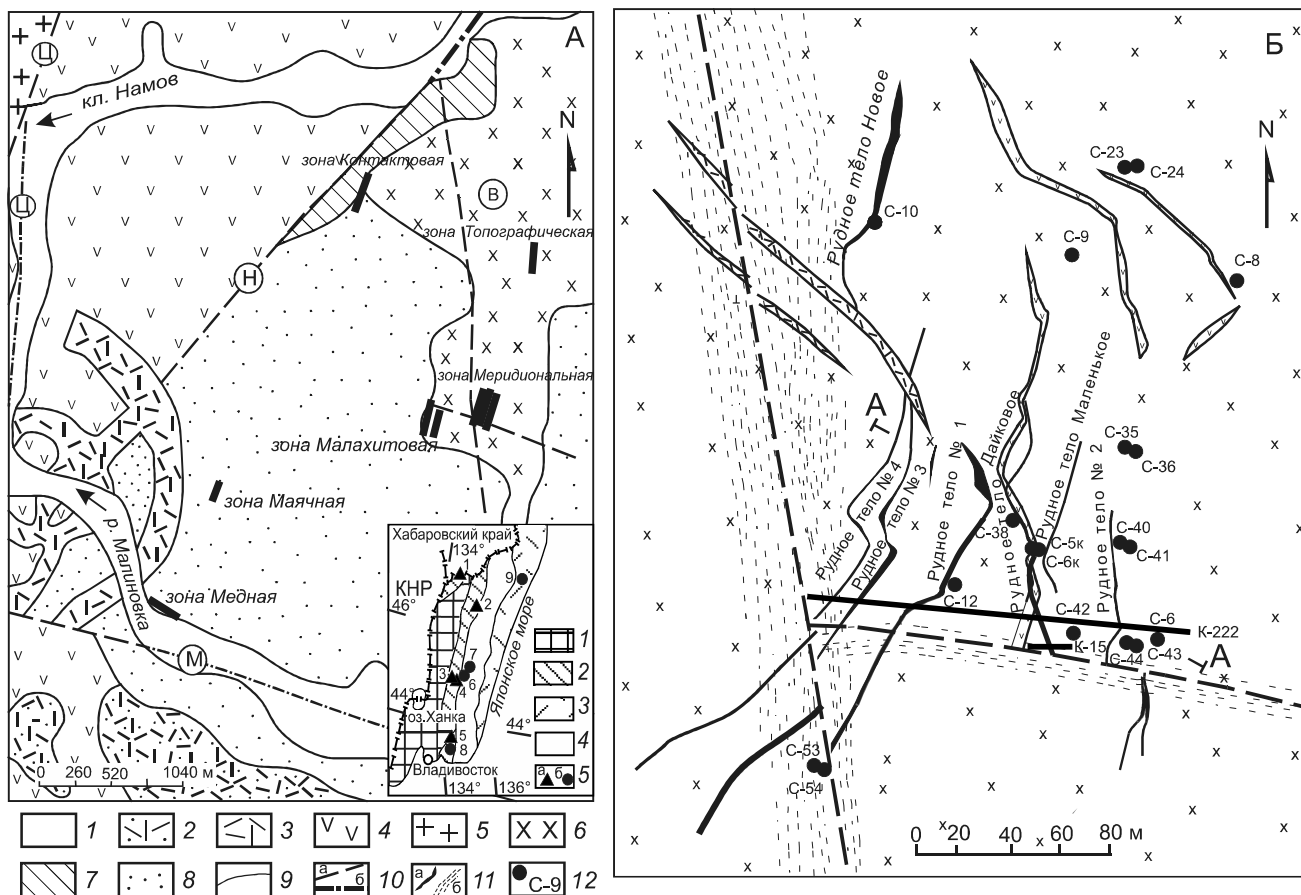


Рис. 1. Геологические схемы месторождения (А) Малиновского и рудной зоны Меридиональной (Б).

1 – четвертичные отложения (суглинки, супеси, гальки); 2 – богопольская свита (K_2-P_1 , bg): туфы, туфолавы, туфопесчаники, туффиты, игнимбриты риолитов, реже дациты и лавы риолитов; 3 – богопольский комплекс (лп K_2-P_1 , bg): дайки риолитов, риодацитов; маастрихт-датский вулcano-плутонический комплекс (лп K_2-P_1 , m-d): риолиты; 4 – дороевская свита, верхняя подсвита ($K_2 dr_3$): андезиты, андезибазальты и их туфы с прослоями туфоалевролитов и туфов риолитов; маастрихтский вулканический комплекс: дайки андезитов, андезибазальтов (αK_2); 5–6 – Татибинский комплекс (5 – вторая фаза: граниты до умеренно-щелочных лейкогранитов – $\gamma-\epsilon \mu K_1 t_2$; 6 – первая фаза: монцидиориты, монцогаббродиориты – $\mu K_1 t_1$); 7 – ключевская свита: песчаники, алевролиты, алевроаргиллиты, их переслаивание, линзы гравелитов ($K_1 kl$); 8 – журавлевская свита: алевроаргиллиты, алевролиты, песчаники ($K_1 zt$); 9 – геологические границы; 10 – разрывные нарушения: а) установленные, б) перекрытые аллювием; 11 – а) рудные тела, б) зоны милонитизации; 12 – устье скважин и их номер. В кружках буквами обозначены: Ц – Центральный Сихотэ-Алинский разлом; Н – Намовский разлом; М – Малиновский разлом; В – Водораздельный массив габбромонцидиоритов. Геологическая схема составлена по материалам геологической карты L-53-XXXVII масштаба 1:200 000 (Белянский Г.С. и др., 2013 г.).

На врезке (фрагмент схемы террейнов Сихотэ-Алинского орогенного пояса и прилегающих территорий, по В.В. Голозубову [12] и А.И. Ханчуку с соавторами [24]): 1 – Ханкайско-Буреинский кристаллический массив и его обрамление; 2 – Самаркинская аккреционная призма (турбидит-олигостромовая); 3 – Прибрежный вулканический пояс; 4 – осадки турбидитового бассейна и прилегающих к нему островных дуг (Журавлевский – юг и Таухинский – север террейны); 5 – а – скарновые вольфрамовые месторождения (1 – Лермонтовское, 2 – Восток-2, 3 – Скрытое, 4 – Кордонное, 5 – Беневское), б – гидротермальные золоторудные месторождения (6 – Малиновское, 7 – Глухое, 8 – Криничное, 9 – Болотистое).

чески связывать золоторудную минерализацию Малиновского месторождения.

Породы *позднемелового-палеогеного* комплекса проявлены преимущественно в пределах Центрального Сихотэ-Алинского разлома. На изученной площади преобладают интрузивные тела и дайки кислого состава (риолиты, риодациты), которые занимают западную часть территории.

На месторождении установлено несколько рудных зон (Медная, Маячная, Контактная и др. – вскрыты только единичными канавами), из которых наиболее изучена зона Меридиональная (рис. 1 Б; вскрыта канавами и буровыми скважинами). По результатам дешифрирования аэрофотоснимков ряд исследователей предлагают рассматривать эту зону как интрузивно-купольную структуру центрального

типа (диаметр около 5 км), формирование которой произошло в результате внедрения Водораздельного интрузива габбромонциодоритов татибинского комплекса [20].

Рудные тела на Малиновском месторождении были выявлены по результатам металлотрического опробования (установлены аномалии Cu, Bi, Au, Ag). Они представляют собой линейные штокверки, состоящие из одной или нескольких субпараллельных сульфидно-кварцевых или сульфидных жил (мощностью до первых десятков сантиметров), которые сопровождаются зонами околожилных метасоматических пород (с турмалином, хлоритом, мусковитом), содержащими рассеянную прожилково-вкрапленную минерализацию. Предварительные прогнозные ресурсы месторождения составляют: Au – 42 т, Ag – 60 т, Cu – 80 т [1].

Все рудные тела зоны Меридиональной локализованы среди габбромонциодоритов (южная часть Водораздельного массива) и имеют близкое субмеридиональное, северо-восточное простирание и крутое падение (рис. 2) на восток, реже на запад; протяженность рудных тел меняется от 100 до 225 м, при мощности от 0.1 до 20.3 м в раздувах.

Некоторые рудные тела зоны Меридиональной прослежены буровыми скважинами до глубины 250 м [22]. По предварительным данным, прогнозные запасы золота в этой зоне по категориям P₁ и P₂ составляют 8.3 т (Доброшевский и др., 2012 г.).

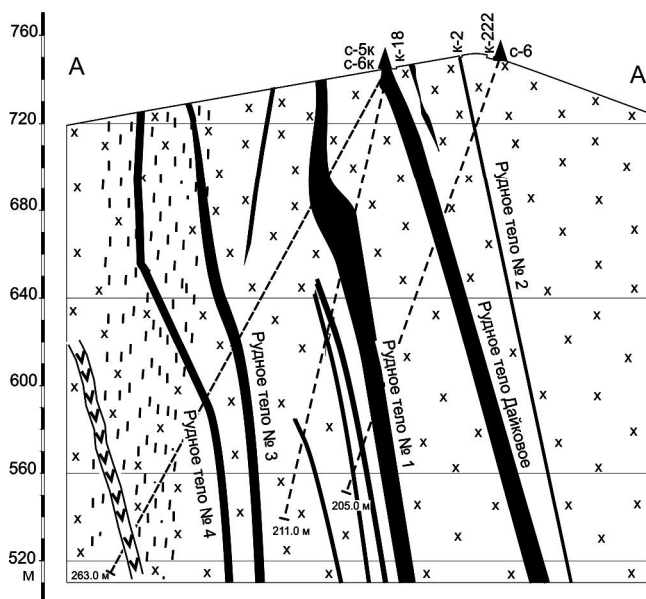


Рис. 2. Схематический геологический разрез А-А зоны Меридиональной по линии скважин 5к и 6к.

Условные обозначения как на рис. 1.

МИНЕРАЛОГИЯ РУДНЫХ ЖИЛ

В минеральном составе изученных кварцевых жил и прожилков преобладают кварц, карбонат, хлорит и турмалин, реже встречаются полевые шпаты, мусковит, эпидот, флюорит, апатит. Сульфидная минерализация в жилах распределена крайне неравномерно и варьирует в широком диапазоне от 5–7 до 30–40 %, в среднем составляя 10–15 %. Преобладают руды с вкрапленными, прожилково-вкрапленными текстурами; в гнездах, а иногда и в отдельных прожилках наблюдается массивная текстура. Среди сульфидных минералов наиболее часто встречаются халькопирит, пирит, арсенопирит и пирротин. В небольшом количестве в рудах присутствуют шеелит, магнетит, сфалерит, галенит, блеклая руда (тетраэдрит), самородные висмут и золото, сульфотеллуриды (группа жозеитов) и теллуриды (хедлейит) висмута, сложные Pb-Bi-Sb (кобеллит, Sb-козалит), Pb-Cu-Sb (бурнонит) и Pb-Bi-Ag (лиллианит-густавит) сульфосоли, висмутин, икунолит, молибденит. В окисленных рудах наблюдаются гидроксиды железа, ковеллин, халькозин, малахит, скородит и др.

По текстурным признакам на месторождении преобладают прожилково-вкрапленные руды, представленные тремя генетическими группами: 1 – **заполнения трещин** (кварцевые прожилки разного минерального состава с вкрапленными, гнездово-вкрапленными, иногда массивными текстурами), 2 – **метасоматическая** (вкрапленная текстура – рассеянная вкрапленность сульфидов в околожилных мусковит-кварцевых, турмалин-кварцевых, хлорит-кварцевых и хлоритовых метасоматитах), 3 – **коррозионная** (в зоне окисления структуры замещения сульфидных минералов по трещинам: арсенопирит – скородитом, пирротин и пирит – гидроксидами железа, халькопирит – ковеллином и малахитом и др.).

Содержание полезных компонентов в рудах меняется в широком диапазоне: Au – от 0.1 до 80.1 г/т, Ag – от 1.8 до 105.2 г/т, Cu – от 0.024 до 8.55 %. В некоторых пробах установлены высокие содержания WO₃ (до 0.95 %) и висмута (до 0.26 %). Такие вариации содержаний компонентов в рудных телах обусловлены крайне неравномерным распределением рудных минералов по массе прожилков, в которых часто наблюдаются участки и гнезда (до 10–15 см) арсенопиритового, халькопиритового, халькопирит-пирротинного или пиритового состава. В этой связи для характеристики минерализации по вещественному составу выделены и детально изучены следующие типы золоторудных прожилков: **сульфидно-кварцевые, сульфидно-карбонатно-кварцевые и сульфидные**. Следует обратить внимание, что взаимоотноше-

ний между этими прожилками не наблюдалось, что может косвенно свидетельствовать о близком времени их образования в один период деформаций.

Сульфидно-кварцевые прожилки (рис. 3 А) сложены преимущественно кварцем (75–85 %) и сульфидными минералами (15–25 %); в небольшом количестве присутствуют хлорит, турмалин, калишпат (ортоклаз), карбонат, апатит, шеелит. Из сульфидов преобладает арсенопирит (пространственно тяготеет к зальбандам прожилков), а пирит, халькопирит (с вкрапленниками сфалерита) и пирротин имеют подчиненное распространение (взаимоотношения показаны на рисунке 3Б–Е.); из редких минералов встречаются бурнонит, тетраэдрит, кобеллит, Sb-лиллианит, Sb-козалит, густавит, самородные висмут и золото (взаимоотношения минералов на рис. 3Ж–К). Следует отметить, что в околожилковых метасоматитах преобладают хлорит и турмалин, среди которых иногда встречаются гнезда (до 1 см) кварц-мусковитового состава с молибденитом (пластинки до 1 мм в длину). Не менее интересен и тот факт, что шеелит (реликты ксеноморфных зерен; рис. 3 В), как и арсенопирит, часто пространственно тяготеет к зальбандам прожилков и корродируется агрегатами арсенопирита с турмалином и хлоритом (рис. 3 Д). Обращает на себя внимание и то, что в минеральном составе «раздувов» рудных зон появляются участки с высокими концентрациями галенита и такими редкими минералами, как аурустибит, мальдонит, самородное серебро.

Сульфидно-карбонатно-кварцевые прожилки наиболее распространены на месторождении. В них количество карбоната иногда превышает 20–25 %, кварца – 45–50 %, сульфидов – 35–40 % (рис. 4 А). Из сульфидных минералов здесь преобладает халькопирит и пирротин, а количество арсенопирита редко превышает 10 % (от объема сульфидов). В околожилковых метасоматических породах встречаются хлорит (преобладает), мусковит, кварц и турмалин (иногда преобладает). Взаимоотношения между перечисленными минералами показаны на рис. 4 Б, В. Халькопирит часто содержит «звездчатые» вкрапленники сфалерита и мелкие (не более 0.08 мм) идиоморфные зерна пирита и Со-арсенопирита (редко глаукодота). Висмутовые минералы и самородное золото наблюдаются в виде изометричных зерен (до 0.07 мм в поперечнике) в халькопирите или вкрапленников до 0.5 мм (рис. 4 Г) в арсенопирите. В арсенопирите висмутовые минералы представлены висмутином, сульфотеллуридами висмута (группа жозеита) и самородным висмутом. Следует отметить, что в сульфидно-карбонатно-кварцевых прожилках иногда наблюдаются микрозонки (до 3 мм мощностью, ориен-

тированные почти перпендикулярно контакту жилы) карбонат-хлорит-пиритового состава, в которых Sb-козалит образует тесные сростания с густавитом, галенитом, самородным висмутом и золотом (рис. 4 Д).

Сульфидные прожилки встречаются редко. Один из них наблюдался в скважине 35 среди монцогаббродиоритов (рис. 5 А). В его составе практически отсутствует кварц, а карбонат, ортоклаз и хлорит имеют подчиненное распространение (в сумме не более 10 %). Сульфидные минералы составляют более 90 %. Из них преобладают пирротин и халькопирит (соотношение близкое 1:1). Халькопирит более характерен для приконтактных, а пирротин для центральных участков прожилка. В небольшом количестве в прожилках наблюдались сфалерит (с эмульсионной вкрапленностью халькопирита), магнетит, флюорит, ильменит-? и минералы Ni-Co-Sb состава (рис. 5 Д). Особенностью таких прожилков является повышенная концентрация в них низкопробного золота (рис. 5 Е, Ж), которое часто наблюдается в сростках с самородным висмутом и хедлейитом. Следует отметить, что во внешних зонах околожилковых метасоматитов преобладают карбонат (замещает полевые шпаты; рис. 5 Б) и хлорит (замещает темноцветные минералы), при этом сохраняется текстурный рисунок первичной породы; во внутренних зонах – хлорит; а непосредственно в контакте прожилка – среди хлорита встречаются гнезда (до более 5 мм) кварц-мусковитового состава с турмалином (рис. 5 В).

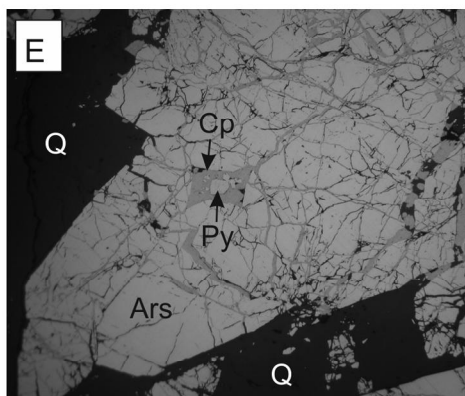
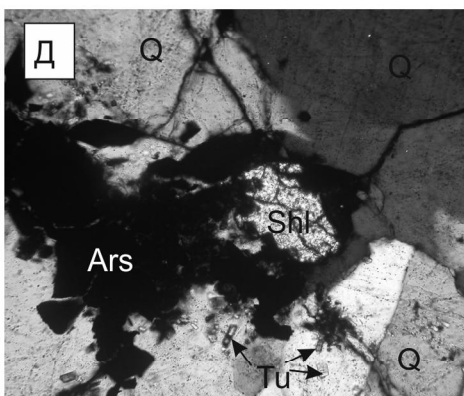
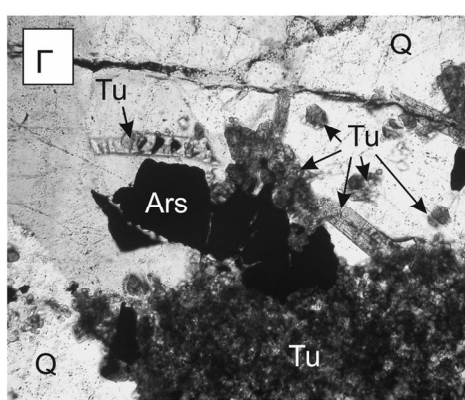
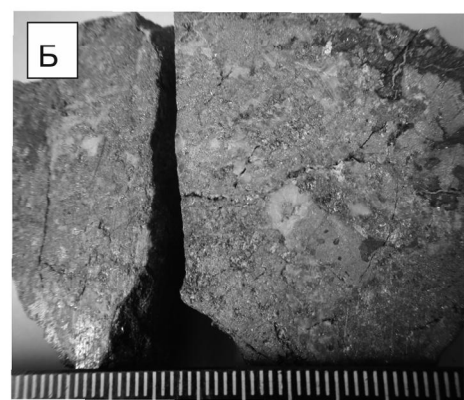
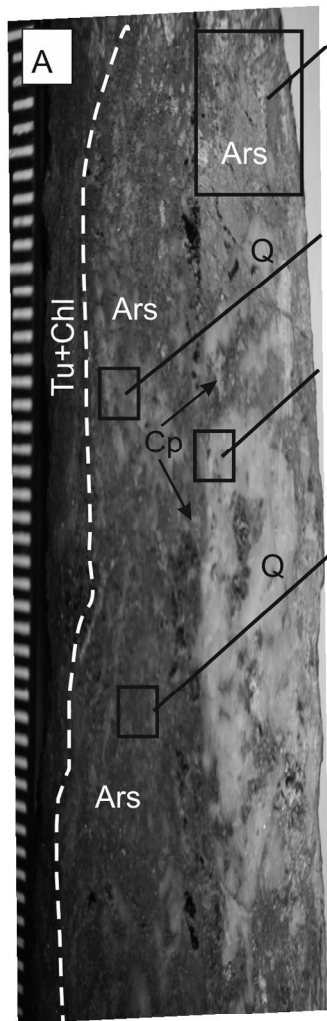
ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОВ И ВОПРОСЫ ГЕНЕЗИСА РУД

Прежде чем рассматривать типоморфные особенности минералов следует обратить внимание на то, что во всех изученных прожилках последовательность кристаллизации сульфидных минералов одинаковая. Одними из первых кристаллизуются арсенопирит (реже пирит), халькопирит со «звездочками» сфалерита (структура распада твердого раствора) и пирротин; чуть позднее – блеклые руды (тетраэдрит) и сложные Pb-Bi-Sb (кобеллит), Pb-Cu-Sb (бурнонит) сульфосоли; еще позднее (выполняют микротрещины и микропрожилки в арсенопирите) – пирит (основная масса), сфалерит (с эмульсионной вкрапленностью халькопирита – распад твердого раствора), Pb-Bi (Sb-козалит) и Pb-Bi-Ag (Sb-лиллианит, густавит) сульфосоли, галенит, висмутин, икунолит, сульфотеллуриды и теллуриды висмута, самородный висмут, золото, мальдонит, аурустибит.

По результатам рентгеноспектрального микроанализа установлено, что однотипные минералы из прожилков разного минерального состава имеют разные типоморфные особенности.

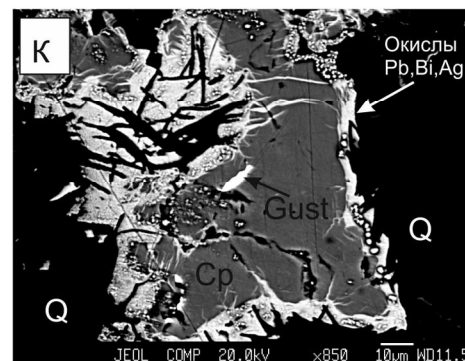
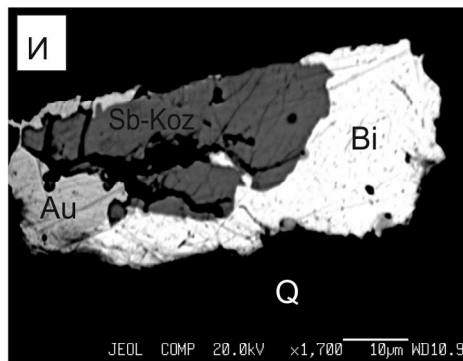
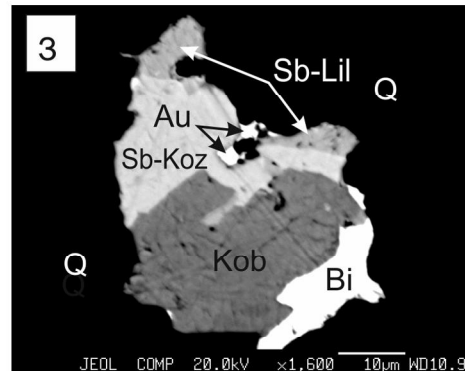
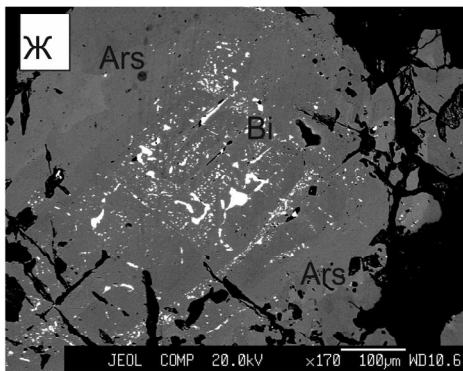
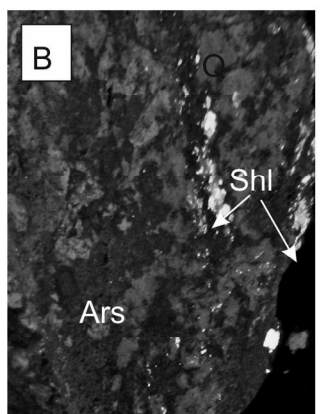
Канавка 15

Расчистка 61



2 mm

K-222



Так, арсенопириты в *сульфидно-кварцевых* жилах часто имеют зональное строение (рис. 3 Ж), обусловленное присутствием в его внешних зонах примеси кобальта. А именно, содержание кобальта в центральной части зерен редко превышает 1.0 мас. % (табл. 1, ан. 6), в то время как в периферийных частях – часто более 4 мас. % (табл. 1, ан. 5). В таких участках прожилков в халькопиритах нередко наблюдаются глаукоцит, а иногда и кобальтин. Сфалерит из сульфидно-кварцевых прожилков по составу относится к железистой разновидности (8 мас. % Fe), а галенит не содержит примесей серебра (табл. 2, ан. 1, 2, 11, 12). Присутствие в отдельных анализах галенита повышенных концентраций висмута обусловлено присутствием в нем эмульсионной вкрапленности самородного висмута, который часто содержит примесь сурьмы (табл. 4). В целом, типоморфной особенностью прожилков этого типа является присутствие в них сульфосолей разных групп элементов: Pb-Bi-Sb, Pb-Cu-Sb, Pb-Bi-Ag и др. Учитывая то, что перечисленные минералы часто образуют тесные сростания, имеют близкие оптические характеристики, широкий диапазон вариаций по элементному составу (табл. 3), при отсутствии рентгенограмм их название условно дается по результатам построения диаграммы Bi_2S_3 – PbS – Sb_2S_3 (рис. 6). Установлено, что примесь железа характерна практически для всех изученных висмутовых минералов (кроме Се-икунолита); примесь серебра – для Sb-козалита; сурьмы – для висмутинов и самородного висмута. Состав самородного золота в этих прожилках варьирует в широком диапазоне: наиболее низкопробное золото (24–31 мас. % Ag) наблюдалось в сростках с кобеллитом; более высокопробное (16–20 мас. % Ag) – со Sb-козалитом, висмутином, сульфотеллуридами висмута и самородным висмутом; самое высокопробное – встречается в сростках с ауристобитом (8 мас. % Ag) и мальдонитом (4 мас. % Ag).

Похожие типоморфные особенности имеют минералы из *сульфидно-карбонатно-кварцевых* жил: арсенопириты – зональные, содержат до 6.67 мас. % Со во внешних зонах зерен; в сфалерите – 6–9 мас. % Fe; в галенитах – присутствуют примеси висмута и серебра (табл. 1–4). Интересно отметить, что самородное золото (рис. 4 Г, Д) в сростках с висмутином, сульфотеллуридами висмута и висмутом содержит до 15.78 мас. % Ag (табл. 4, ан. 17), а в сростках с галенитом, Sb-козалитом и густавитом – до 19.98 мас. % Ag (табл. 4, ан. 18). Примечательно, что на траверсе метасоматических зон пирит-карбонат-хлоритового состава с Sb-козалитом и густавитом иногда встречается арсенопирит с примесью сурьмы до 1.78 мас. % (единичные находки).

Типоморфной особенностью *сульфидных* (халькопирит-пирротиновых) жил является отсутствие минералов мышьяка и присутствие здесь таких минералов, как паракоистибит, гудмундит и брейтгауптит (табл. 1, ан. 18–20). Сфалерит в этих жилах содержит более 10 мас. % Fe, а в сульфотеллуридах висмута присутствует селен до 0.79 мас. % (табл. 2, 4). Здесь же установлено и самое низкопробное золото (от 27 до 38 мас. % Ag), которое наблюдалось в сростках с самородным висмутом, хедлейитом и галенитом.

Следует отметить, что во всех изученных прожилках преобладает золото в самородной форме. Это подтверждается результатами рентгеноспектрально-го микроанализа сульфидных минералов (значимых содержаний не установлено; см. таблицы), а также результатами изучения двух малых технологических проб окисленных руд (при содержаниях Au – 0.29 и 0.21 г/т, Ag – 2.0 и 1.21 г/т извлекалось Au – 90.2 и 96.2 %, Ag – 92.2 и 84.1 %, соответственно).

Сопоставляя полученные результаты (по распространению минерализации в тех или иных магматических породах; по минеральному составу и типоморфным особенностям минералов из прожилков,

Рис. 3. Строение сульфидно-кварцевых прожилков и характерные взаимоотношения минералов.

А – прожилок арсенопирит-кварцевого состава с околожилным турмалин-хлоритовым метасоматитом (контакт показан пунктиром – рудное тело Дайкового); Б – густовкрапленные сульфидно-кварцевые руды (рудная зона Медная); В – распределение шеелита (белое) в арсенопирит-кварцевом прожилке (в лучах люминисцентной лампы); Г – идиоморфные зерна арсенопирита и турмалина среди кварца (вблизи контакта прожилка); Д – шеелит корродируется арсенопиритом; Е – микротрещины в арсенопирите выполняются пиритом и халькопиритом (редко пирротином); Ж – скопления висмутовых минералов (преобладает самородный висмут) по зонам роста арсенопирита (светлые участки арсенопирита обогащены кобальтом); З – сростание кобеллита с самородными висмутом и золотом; И – сростания висмутина с сульфотеллуридом висмута, самородными золотом и висмутом; К – ксеноморфный вкрапленник густавита в халькопирите (по периферии халькопирита и по трещинам развиваются оксиды сложного Pb, Bi, Ag состава).

Здесь и далее принятые сокращения минералов: Q – кварц, Tu – турмалин, Chl – хлорит, Mu – мусковит, Ser – серицит, Ca – карбонат, Sfn – сфен, Ilm – ильменит, Mgt – магнетит, Shl – шеелит, Ars – арсенопирит, Po – пирротин, Cr – халькопирит, Sf – сфалерит, Py – пирит, Sb-Lil – сурьмянистый лиллианит, Sb-Koz – сурьмянистый козалит, Kob – кобеллит, Vn – висмутин, Tel – сульфотеллуриды висмута группы жезеита, Bi – самородный висмут, Au – самородное золото, Ni-Co-Sb – элементный состав вкрапленников, образующих сложные сростания разных минералов.

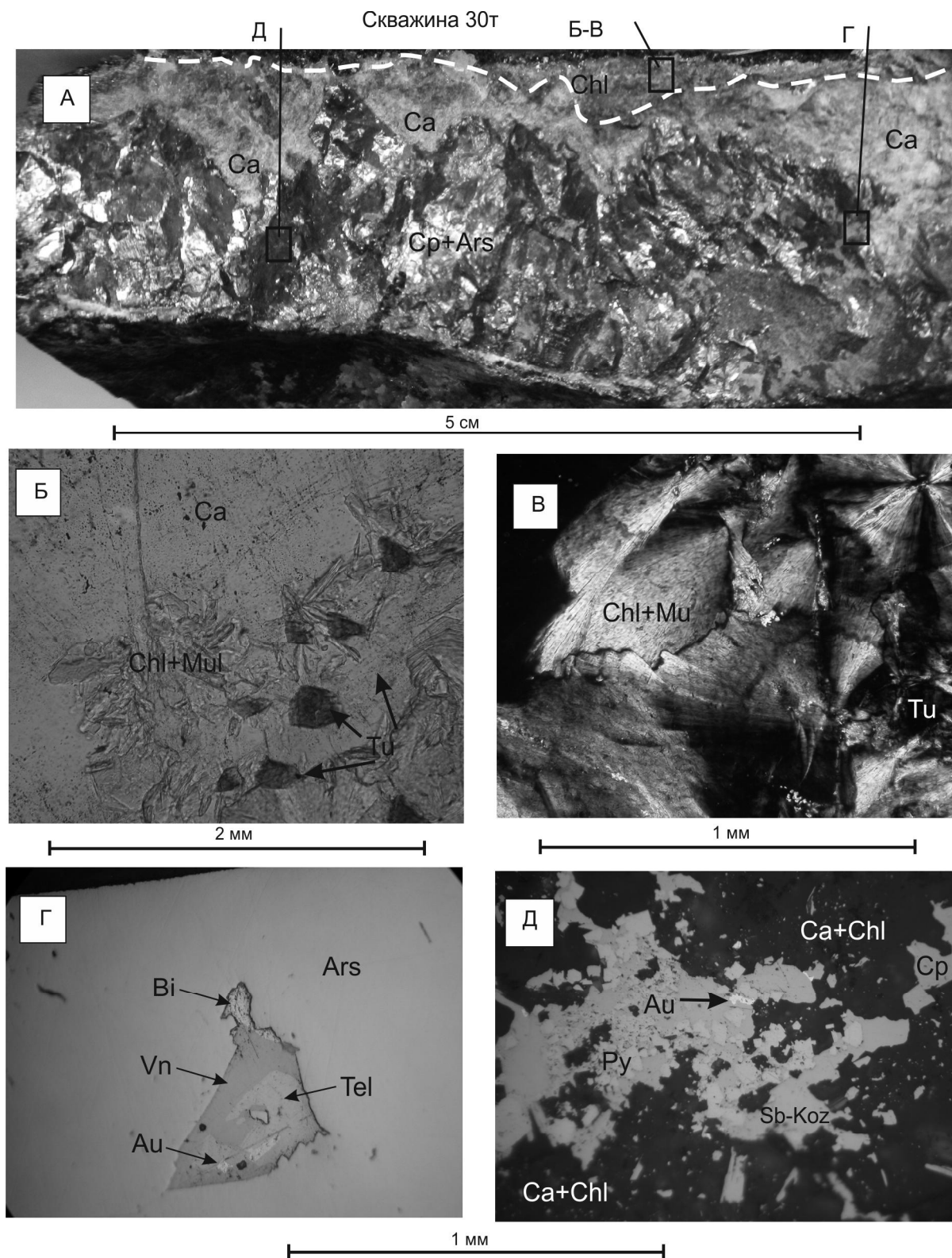


Рис. 4. Строение сульфидно-карбонатно-кварцевого прожилка и характерные взаимоотношения минералов.

А – гнездо халькопирит-арсенопирит-кварцевого состава в центральной части сульфидно-карбонат-кварцевого прожилка (пунктиром отмечен контакт прожилка с хлоритовым околожилным метасоматитом; Б – гнездо хлорит-мусковитового состава с турмалином; В – то же самое, увеличенный фрагмент; Г – в арсенопирите ксеноморфный вкрапленник висмутовых минералов (висмутин, сульфотеллурид висмута, самородный висмут) с самородным золотом; Д – сростания пирита со Sb-козалитом и самородным золотом в карбонат-хлоритовом метасоматите.

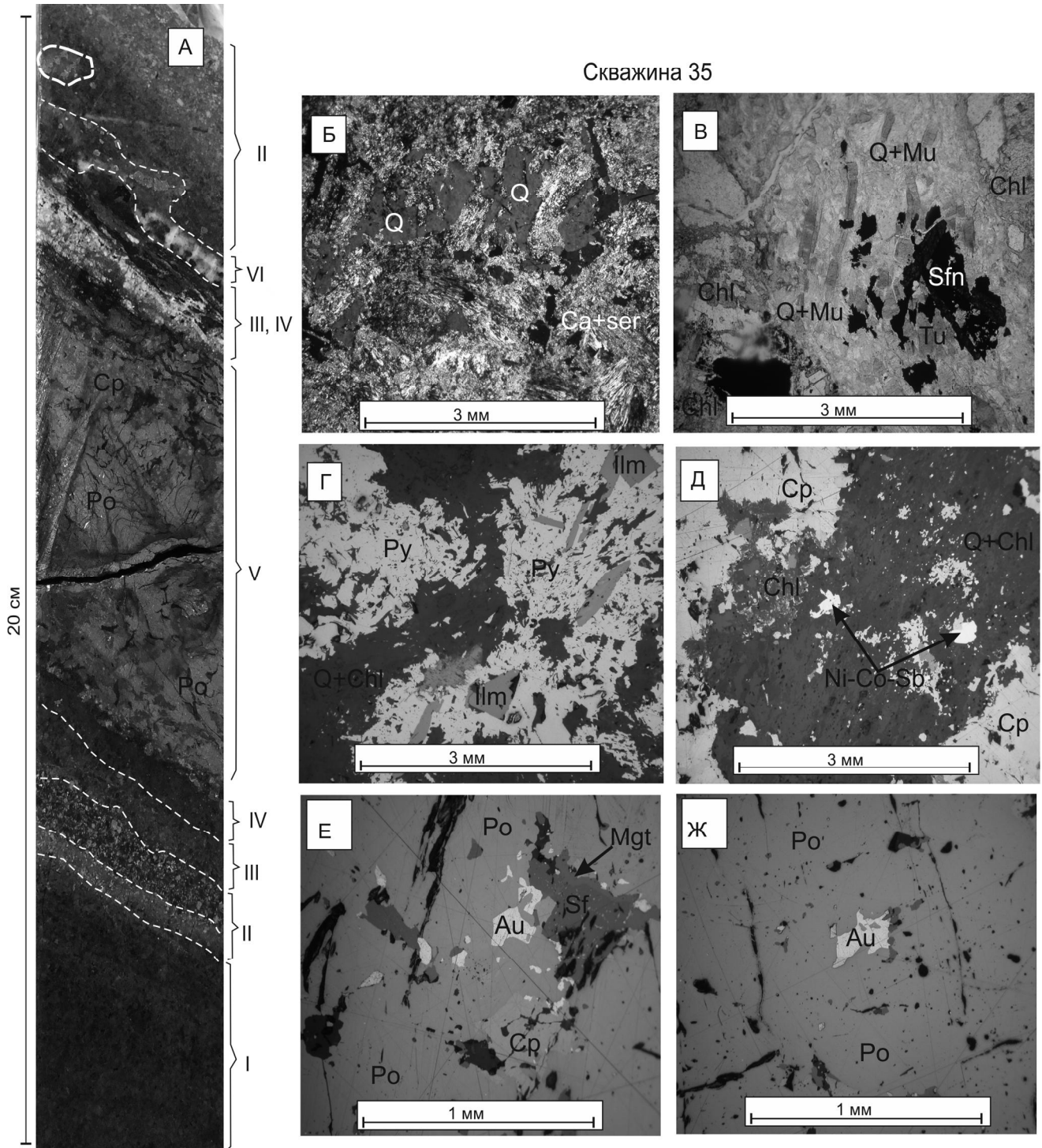


Рис. 5. Строение сульфидного прожилка и характерные взаимоотношения минералов.

А – строение сульфидного прожилка в монцогаббродиоритах: I – зона слабоизмененных монцогаббродиоритов, II – зоны в разной степени карбонатизированных монцогаббродиоритов, III – зона хлоритовых метасоматитов, IV – зона хлоритовых метасоматитов с гнездами (реликтами) турмалин-мусковит-кварцевого состава, V – зона сплошных сульфидных (халькопирит-пирротиновых) руд; VI – зона окварцевания с гнездами пирита; Б – взаимоотношения минералов в зоне II; В – взаимоотношения минералов в зоне IV; Г – взаимоотношения минералов в зоне VI; Д, Е – взаимоотношения минералов в зоне V (Д – гнездо кварц-хлоритового метасоматита с вкрапленниками, сложенными Ni-Co-Sb минералами паракостибитом, гудмундитом и брейтгауптитом; Е – в пирротин-халькопиритовой массе ксеноморфные вкрапленники сфалерита с эмульсионной вкрапленностью халькопирита по периферии замещаются магнетитом; Ж – ксеноморфные вкрапленники самородного золота в пирротине, центральная часть сульфидного прожилка).

Таблица 1. Рентгеноспектральные микроанализы минералов группы As-Co-Fe-Ni-Sb, мас. %.

№п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
As	43.74	44.58	43.73	43.98	45.10	45.43	42.53	45.22	45.41	45.40
Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe	35.50	31.02	26.54	34.42	28.44	34.28	35.32	31.62	32.81	31.44
Co	-	4.48	8.04	-	6.98	1.39	-	4.06	2.27	3.63
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	20.97	19.97	18.97	21.20	19.31	20.64	20.46	20.09	20.47	19.45
Сумма	100.21	100.06	99.28	99.60	99.82	101.74	98.31	100.98	100.96	100.42
№ обр.	K-15	K-15	K-15	K-222	K-222	K-222	M-2	M-2	P-410	P-61
Формульные коэффициенты										
№п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
As	0.93	0.97	0.98	0.94	0.99	0.96	0.96	0.97	0.97	0.99
Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe	1.02	0.90	0.80	0.99	0.83	0.97	1.03	0.91	0.94	0.92
Co	-	0.12	0.22	-	0.19	0.04	-	0.11	0.06	0.10
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	1.05	1.01	1.00	1.07	0.99	1.03	1.04	1.01	1.03	0.99
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
продолжение таблицы										
№п.п.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
As	45.91	46.25	46.29	44.78	45.07	39.47	39.76	-	-	-
Sb	-	-	-	1.95	-	-	-	56.75	56.81	66.17
Fe	33.61	33.58	27.61	34.71	45.24	8.26	3.88	1.59	26.39	0.64
Co	-	1.36	6.77	-	9.03	26.84	31.42	25.58	-	-
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30.87
Cu	-	-	-	-	-	2.34	0.97	-	-	-
S	20.65	20.22	19.93	20.30	19.99	24.51	22.64	14.68	12.17	-
Сумма	100.17	101.42	100.51	101.74	99.13	101.42	98.66	98.61	97.90	101.80
№ обр.	P-61	C-30г	C-30г	C-30г	P-61	P-61	M-2	C-35	C-35	C-35
Формульные коэффициенты										
№п.п.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
As	0.99	0.99	1.00	0.96	0.82	0.82	0.86	-	-	-
Sb	-	-	-	0.03	-	-	-	1.01	1.06	1.01
Fe	0.97	0.96	0.80	0.99	1.11	0.22	0.11	0.06	1.07	0.02
Co	-	0.04	0.19	-	0.21	0.71	0.86	0.94	-	-
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.97
Cu	-	-	-	-	-	0.06	0.03	-	-	-
S	1.04	1.01	1.01	1.02	0.86	1.19	1.14	0.99	0.87	-
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2

Примечание. Анализы 1–11, 15–17 – минералы сульфидно-кварцевых прожилков; ан. 12–14 – сульфидно-карбонатно-кварцевых прожилков; ан. 18–20 – сульфидных прожилков. Анализы 1, 4, 7, 11, 14 – арсенопириты; ан. 2, 3, 5, 6, 8–10, 12, 13 – Со-арсенопириты; ан. 15 – глаукоцит, ан. 16, 17 – кобальтин; ан. 18 – паракостибит; ан. 19 – гудмундит; ан. 20 – брейтгауптит. В анализе 20 присутствуют висмут – 3.03 мас. % и теллур – 1.01 мас. %. Здесь и далее анализы выполнены в лаборатории рентгеновских методов Аналитического центра ДВГИ ДВО РАН на рентгеноспектральном микроанализаторе GEOL JXA-8100 с энергодисперсионным спектрометром INKA-sight производства Oxford Instruments (Великобритания); аналитик Г.Б. Молчанова. N – количество атомов, на которое рассчитывается минерал.

продуктивных на золотую минерализацию; все золоторудные прожилки пересекаются только поздними кварц-карбонатными прожилками с пиритом; присутствие среди околужильных метасоматитов гнезд мусковит-кварцевого состава с молибденитом) можно предложить следующую схему формирования мине-

ральных комплексов в рудах Малиновского месторождения (рис. 7). Согласно этой схеме минерализация формировалась в два возрастных (магматических) этапа: 1 – позднемеловой и 2 – позднемеловой–палеогеновый. Основанием для выделения второго этапа минерализации послужила сульфидная минерализа-

Таблица 2. Рентгеноспектральные микроанализы сфалерита и галенита, мас. %.

№ п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Zn	60.03	56.38	60.19	56.60	54.92	54.96	-	-	-	-	-	-
Fe	6.56	8.08	6.89	8.92	11.66	10.52	0.63	0.59	-	-	1.26	-
Cu	-	1.27	-	1.44	0.59	0.32	0.47	0.81	-	-	-	-
Cd	-	0.49	-	0.47	-	0.49	-	-	-	-	-	-
Pb	-	-	-	-	-	-	82.47	80.57	83.91	82.43	80.98	89.12
Bi	-	-	-	-	-	-	-	6.71	2.90	3.74	5.22	-
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	0.68	0.74	-	-
Se	-	-	-	-	-	-	1.22	1.01	-	-	-	-
S	33.47	32.62	33.41	33.11	33.40	33.43	13.23	12.17	13.11	13.19	13.13	12.49
Сумма	100.93	99.84	100.49	100.54	100.58	99.74	97.75	101.87	100.60	100.16	100.59	101.60
№ обр.	K-222	P-61	C-30т	C-30т	C-35	C-35	C-35	C-35	C-30т	C-30т	K-222	K-15
Формульные коэффициенты												
№ п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Zn	0.89	0.84	0.88	0.83	0.80	0.80	-	-	-	-	-	-
Fe	0.11	0.14	0.12	0.15	0.20	0.17	0.03	0.02	-	-	0.05	-
Cu	-	0.02	-	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	-	-	-	-
Cd	-	0.01	-	0.01	-	0.01	-	-	-	-	-	-
Pb	-	-	-	-	-	-	0.94	0.93	0.97	0.95	0.92	1.05
Bi	-	-	-	-	-	-	-	0.08	0.03	0.04	0.06	-
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.02	-
Se	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.03	-	-	-
S	1.00	0.99	1.00	0.99	0.99	1.01	0.98	0.91	0.98	0.99	0.97	0.97
N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Примечание. Анализы 1–6 – сфалерит; ан. 7–12 – галенит. В анализе 1 – 0.87 мас. % As.

ция пирит-кварцевого состава, которая наблюдалась в дайках риолитов предположительно позднемелового–палеогенового возраста.

В первом этапе, продуктивном на золото, по вещественному составу изученных «типовых» прожилков можно выделить три стадии минерализации, которые различаются по элементной специализации (рис. 7). В первой стадии определяющими элементами являются P, Mo, W, As, Fe; во второй – В, As, Fe, Cu; в третьей – В, Fe, Cu (при присутствии Ni и отсутствии As). Несмотря на разную элементную специализацию стадий минерализации, граница между первой и второй стадиями выделена условно из-за отсутствия геологических данных.

В первую стадию формировались преимущественно прожилки сульфидно-кварцевого состава, в которых кристаллизация минералов начиналась с молибденит-кварцевой и шеелит-кварцевой ассоциаций (с мусковитом) из растворов повышенной фосфорности (часто встречается фторопатит, содержащий более 3 мас. % F), при температурах более 350 °С и вариациями рН от 6.3 до 7.7 (присутствие шеелита; [4]). Позднее, в эту же стадию, кристаллизуется арсенопирит-кварцевая ассоциация с турмалином, висмутовыми минералами (висмутин, сульфотеллуриды висмута, самородный висмут) и самородным золотом

(15–20 мас. % Ag). Арсенопириты этой ассоциации обычно не содержат примеси кобальта, а в висмутовых минералах – низкие концентрации сурьмы (не более 0.5 мас. % Sb). По перечисленным выше показателям эти ассоциации очень похожи на ассоциации, наблюдаемые на скарных шеелит-сульфидных месторождениях Приморского края (Лермонтовском, Восток-2 и др.) [8], где медь, золото и висмут являются сопутствующими компонентами руд.

Еще позднее кристаллизуется пирит-халькопирит-пирротин-кварцевая ассоциация с хлоритом. В халькопиритах этой ассоциации наблюдаются включения сфалерита и иногда идиоморфные зерна кобальтсодержащих минералов (глаукодота, кобальтина).

Во вторую стадию формировались преимущественно сульфидно-карбонатно-кварцевые жилы, в околожилных метасоматитах которых часто преобладает турмалин, а хлорит и кварц имеют подчиненное распространение. Здесь молибденит-кварцевая и шеелит-кварцевая ассоциации обычно не наблюдаются или имеют резко подчиненное распространение; преобладают арсенопирит-кварцевая и пирит-халькопирит-пирротин-кварцевая ассоциации с бурнонитом, блеклыми рудами, висмутовыми минералами (кобеллитом, Sb-козалитом, висмутином, самородным

Таблица 3. Рентгеноспектральные микроанализы бурнонита, блеклых руд и висмутовых минералов, мас. %.

№ п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pb	38.49	39.50	35.63	36.53	37.52	41.16	50.92	45.45	48.49	42.41	41.97
Ag	-	-	-	1.24	-	-	-	1.15	-	1.08	1.34
Bi	-	-	-	-	23.03	23.32	16.68	26.64	24.98	35.39	37.48
Sb	23.00	23.53	28.45	29.26	19.13	15.18	12.69	8.97	8.12	5.66	3.11
Fe	2.39	2.26	6.73	4.19	2.53	2.14	0.91	0.88	0.47	-	0.55
Cu	12.46	12.46	35.63	36.53	-	1.25	1.75	1.25	2.44	-	0.48
As	3.78	3.31	1.35	-	-	-	-	-	-	-	-
S	17.74	18.14	25.40	24.84	17.89	17.02	16.70	15.69	15.60	15.69	15.71
Сумма	99.85	99.20	100.12	99.03	100.08	100.07	99.65	100.01	100.10	100.22	100.66
№ обр.	К-222	К-222	К-222	К-222	К-222	К-15	К-222	К-222	К-222	К-222	К-222
Формульные коэффициенты											
№п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pb	0.93	0.93	2.64	2.76	4.32	1.75	2.22	2.07	2.20	2.00	1.97
Ag	-	-	-	0.18	-	-	-	0.10	-	0.10	0.12
Bi	-	-	-	-	2.63	0.98	0.72	1.20	1.13	1.65	1.74
Sb	0.92	0.94	3.58	3.79	3.74	1.09	0.94	0.69	0.63	0.45	0.25
Fe	0.21	0.21	1.83	1.17	1.01	0.34	0.15	0.15	0.08	-	0.09
Cu	0.96	0.95	8.53	8.94	-	0.17	0.25	0.18	0.36	-	0.07
As	0.25	0.21	0.26	-	-	-	-	-	-	-	-
S	2.73	2.76	12.16	12.16	13.30	4.67	4.72	4.61	4.60	4.80	4.76
N	6	6	29	29	25	9	9	9	9	9	9

продолжение таблицы 3

№ п.п.	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Pb	42.17	23.75	24.79	25.98	-	-	-	-	3.47	3.06	-
Ag	1.36	7.34	7.65	7.78	-	-	-	-	-	-	-
Bi	34.83	45.92	42.78	50.06	76.93	79.95	78.08	76.53	80.96	80.51	86.07
Sb	5.96	-	4.40	-	2.54	1.51	1.18	1.26	-	-	-
Fe	0.78	2.60	1.97	-	0.41	0.46	0.71	0.67	-	-	1.37
Cu	0.66	4.70	-	-	0.92	1.74	-	-	-	-	0.63
As	-	-	0.38	-	-	-	4.05	3.88	-	-	2.69
S	15.50	15.69	16.22	14.74	18.20	18.00	17.92	17.93	5.39	4.68	9.66
Сумма	100.27	100.01	100.53	98.57	99.00	98.65	101.94	100.29	98.34	97.49	100.36
№ обр.	К-222	К-222	С-30Г	С-30Г	К-15	К-15	С-30Г	С-30Г	С-8-52	С-8-52	К-222
Формульные коэффициенты											
№ п.п.	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Pb	1.95	4.98	5.39	6.15	-	-	-	-	0.21	0.19	-
Ag	0.12	2.96	3.18	3.53	-	-	-	-	-	-	-
Bi	1.60	9.55	9.20	11.74	1.88	1.93	1.85	1.83	4.75	4.93	3.68
Sb	0.46	-	1.62	-	0.11	0.06	0.05	0.05	-	-	-
Fe	0.13	2.02	1.58	-	0.04	0.03	0.06	0.06	-	-	0.22
Cu	0.10	3.19	-	-	0.07	0.13	-	-	-	-	0.09
As	-	-	0.22	-	-	-	0.27	0.26	-	-	0.32
S	4.64	21.34	22.81	22.58	2.90	2.85	2.77	2.80	2.06	1.88	2.69
N	9	44	44	44	5	5	5	5	7	7	7

Примечание. Анализы 1, 2 – бурнонит; ан. 3, 4 – тетраэдрит; ан. 5, 6 – кобеллит; 7 – Sb-лиллианит; 8, 9 – бурсаит-буланжерит; 10–12 – Sb-козалит; ан. 13–15 – густавит (ширмерит); ан. 16–19 – висмутин; ан. 20–22 – икунолит. В анализах 3, 4 присутствуют 2.56 и 2.97 мас. % Zn, соответственно; в анализе 20, 21 – 1.04 и 1.97 мас. % Te, 7.49 и 7.33 мас. % Se, соответственно; в анализе 14 – 2.34 мас. % Au.

Таблица 4. Рентгеноспектральные микроанализы теллуридов и сульфотеллуридов висмута, самородных висмута и золота, мас. %.

№ п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Bi	79.90	82.13	79.12	72.22	71.60	80.18	82.09	69.75	-	-	1.50
Pb	-	-	-	-	-	-	-	11.12	-	-	-
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	23.64	25.86	19.24
Au	-	-	-	-	-	-	-	-	68.28	69.35	72.21
As	0.47	0.68	0.96	4.20	4.47	-	-	-	-	-	-
Fe	2.23	0.81	1.04	1.36	1.44	1.86	1.01	-	2.69	1.92	1.60
Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	3.75	2.99	-
Te	11.12	10.39	14.64	20.23	20.44	16.67	17.66	20.67	-	-	-
Se	-	1.07	0.94	-	-	0.64	0.79	-	-	-	-
S	6.24	4.31	3.52	2.55	2.48	-	-	-	-	-	1.00
Сумма	99.97	99.39	100.21	100.55	100.14	99.36	101.56	101.55	98.36	100.12	99.09
№ обр.	K-15	C-30г	C-30г	K-222	K-222	C-35	C-35	K-222	K-15	K-15	K-15
Формульные коэффициенты											
№ п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Bi	3.77	4.25	4.10	3.61	3.60	6.90	7.03	6.08	-	-	0.01
Pb	-	-	-	-	-	-	-	0.98	-	-	-
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	0.33	0.36	0.29
Au	-	-	-	-	-	-	-	-	0.52	0.54	0.60
As	0.06	0.10	0.14	0.62	0.63	-	-	-	-	-	-
Fe	0.39	0.16	0.20	0.26	0.27	0.60	0.32	-	0.07	0.05	0.05
Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	0.08	0.05	-
Te	0.86	0.88	1.24	1.67	1.68	2.35	2.47	2.94	-	-	-
Se	-	0.15	0.13	-	-	0.15	0.18	-	-	-	-
S	1.92	1.46	1.19	0.84	0.82	-	-	-	-	-	0.05
N	7	7	7	7	7	10	10	10	1	1	1

продолжение таблицы 4

№ п.п.	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Bi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98.51	99.96
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ag	17.77	16.13	16.01	8.37	4.07	15.78	19.98	38.32	31.29	-	-
Au	83.63	84.80	83.07	90.39	94.26	84.04	78.29	62.50	67.72	-	-
Fe	-	-	-	1.78	-	-	-	-	-	-	0.43
Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.80	0.67
Сумма	101.40	100.94	99.07	100.55	98.33	98.20	98.27	100.81	99.63	100.31	100.39
№ обр.	K-222	K-222	K-222	K-222	K-222	C-30г	C-30г	C-35	C-35	K-15	K-222
Формульные коэффициенты											
№ п.п.	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Bi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.97	0.97
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ag	0.28	0.26	0.26	0.14	0.07	0.26	0.32	0.53	0.46	-	-
Au	0.72	0.74	0.74	0.81	0.93	0.74	0.68	0.47	0.54	-	-
Fe	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	-	0.02
Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.01
N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Примечание. Анализы 1–3 – жозеит-А; ан. 4, 5 – жозеит-В; ан. 6, 7 – хедлейит; 8 – Pb-хедлейит; 9–20 – самородное золото; ан. 21, 22 – самородный висмут.

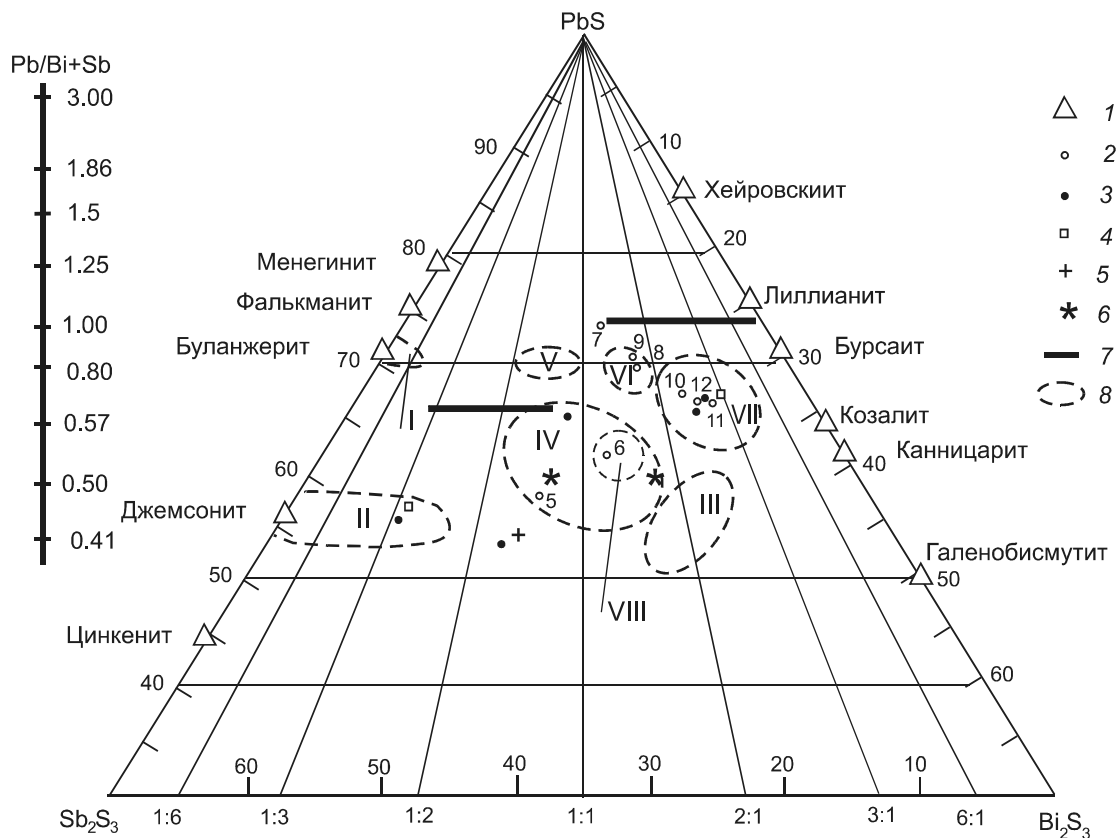


Рис. 6. Состав сульфосолей сложного состава на диаграмме PbS–Bi₂S₃–Sb₂S₃.

I – теоретические составы минералов: хейровскийит – Pb₆Bi₂S₉, лиллианит – Pb₃Bi₂S₆, бурсаит – Pb₅Bi₄S₁₁, козалит – Pb₂Bi₂S₅, канницарит – Pb₈Bi₁₀S₂₃, галенобисмутит – PbBi₂S₄, менегинит – Pb₁₃Sb₇S₂₄, фалькманит – Pb₃Sb₂S₆, буланжерит – Pb₄Sb₅S₁₁, джемсонит – Pb₄FeSb₆S₁₄, цинкениит – Pb₉Sb₂₂S₄₂; 2 – минералы золоторудного месторождения Малиновского; 3 – минералы медно-вольфрамового месторождения Агылки [8]; 4 – минералы вольфрамового месторождения Восток-2 [8]; 5 – рецбанит, по [29]; 6 – состав кобеллита, по [27, 31]; 7 – синтетические твердые растворы, по [25, 26]; 8 – поля состава минералов: I – висмутовый буланжерит [2], II – висмутовый джемсонит [16], III – кобеллит [18], IV – кобеллит месторождения Агылки [8], V – яскульскит [3, 8, 33]; VI – Sb-козалит-бурсаит [8]; VII – Sb-козалит [8], VIII – кобеллит Средне-Голготайского золоторудного месторождения [3]. Номера точек соответствуют номерам анализов таблицы 3.

висмутом и др.) и золотом. В арсенипиритах этой стадии постоянно присутствует примесь кобальта (от более 1 до 8 мас. %); в халькопиритах наблюдается «звездчатая» вкрапленность сфалерита, в сфалеритах – эмульсионная вкрапленность халькопирита (структуры распада твердого раствора). Судя по наличию структур распада твердых растворов сфалерита и халькопирита, а так же присутствию в рудах самородного висмута (кристаллизуется одним из последних), температура кристаллизации минералов этой стадии 270–300–400 °C [15, 32].

Первые результаты изучения изотопного состава серы ($\delta^{34}\text{S}$) пиритов и халькопиритов (пирит – 0.8 ‰; халькопирит – -0.5 ‰) этой стадии минерализации указывают на их близость к значениям состава серы в метеоритном стандарте, что характерно для оловорудных месторождений (Забывое, Тигриное) Приморско-

го региона, генетически ассоциирующих с гранитоидным магматизмом татибинского комплекса.

В третью стадию формировались сульфидные жилы и микропрожилки халькопирит-пирротиновой ассоциации. Их особенность – практически полное отсутствие кварца. Здесь кристаллизация минералов началась с образования околожильных метасоматических пород турмалин-мусковит-кварцевого состава (реликты), которые были практически полностью замещены хлоритовыми метасоматитами, содержащими вкрапленность Ni-Sb-Co минералов. Судя по присутствию большого количества пирротина, халькопирита (со звездочками сфалерита), самородного висмута, флюорита, а также присутствию в хедлейите примеси селена, такие жилы формировались из высокосернистых фтористых восстановленных растворов при относительно более низких температурах от бо-

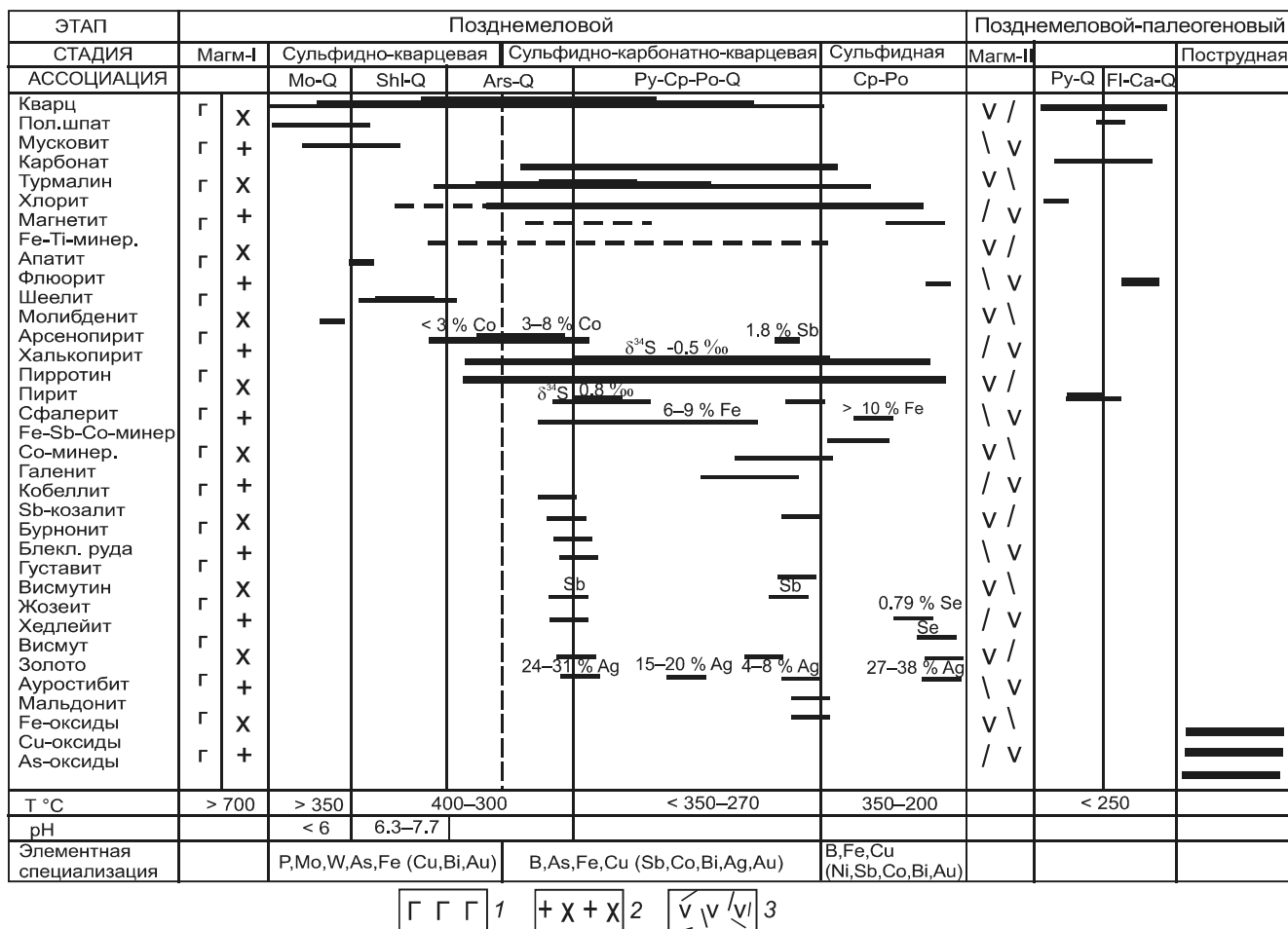


Рис. 7. Схема стадийности минералообразования месторождения Малиновского.

Ассоциации минералов: Mo-Q – молибденит-кварцевая, Shl-Q – шеелит-кварцевая, Ars-Q – арсенопирит-кварцевая, Py-Cp-Po-Q – пирит-халькопирит-пирротин-кварцевая, Cp-Po – халькопирит-пирротин-кварцевая, Py-Q – пирит-кварцевая, Fl-Ca-Q – флюорит-кальцит-кварцевая. 1 – габбро, габбромонцодиориты; 2 – гранодиориты, граниты; 3 – Вулканогенные породы кислого, среднего состава (андезиты, риолиты и др.).

лее 200 до менее 350 °C [15, 32]. Следует отметить, что минералов мышьяка (арсенопирита) в прожилках этой стадии не наблюдалось.

Во второй этап минерализации, кроме прожилков пирит-кварцевого состава с карбонатом, условно включены зоны дробления на флангах зоны Меридиональной с флюорит-кальцит-кварцевыми прожилками. Их взаимоотношения с прожилками другого состава пока не ясны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопоставляя полученные результаты с данными по золоторудным месторождениям Востока России, можно сделать следующие выводы:

– геолого-структурная позиция и геодинамическая обстановка (формирование очагово-купольных структур с гранитоидным магматизмом в зоне влияния Центрального Сихотэ-Алинского разлома –

зона скольжения литосферных плит), широкое распространение в метасоматических породах и рудах минералов, обогащенных калием, летучими (F, B, Cl, CO² и др.), элементами семейства железа (Ni, Co и др.) и литофильными (W, Mo, Pb и др.), указывают на то, что изученное Малиновское месторождение имеет большое сходство с месторождениями, ассоциирующими с гранитоидным магматизмом, продуцирующим золото-редкометалльный тип оруденения.

– по минералого-технологическим признакам [21] руды месторождения следует относить к умеренно-сульфидному или существенно-сульфидному жильному и комбинированному геолого-промышленным типам (а не к порфиоровому, как предполагалось ранее), золото в которых присутствует преимущественно в свободной форме и которые легко обогащаются традиционным методом цианирования;

– по составу околожильных пород (мусковитовые, турмалиновые и хлоритовые метасоматиты), по присутствию в прожилках молибденита и шеелита, по Р-Т параметрам минералообразования руды изученного месторождения следует считать производными рудно-магматических систем, генетически связанных с гранитоидными магматическими комплексами I-S типа [14], продуцирующими редкометалльную минерализацию;

– по минеральному составу руды являются комплексными на вольфрам, медь, висмут, и их следует относить к золото-висмутовому типу [7, 8, 13];

– по стадийности минералообразования и типоморфным признакам минералов изученное месторождение имеет большое сходство с месторождениями золото-кварцевого, золото-сульфидно-кварцевого формационных типов – крупные по запасам месторождения Забайкалья (Дарасунское, Средне-Голготайское, Карийское, Ключевское) [13, 17], Амурской области (Кировское, и др.) [9, 21, 22], Северо-Востока (Наталка и др.) [5, 6, 7, 13, 14] и Аляски (Пого) [28, 30];

– по комплексу признаков (геолого-структурной позиции, морфологии рудных тел, вещественному составу руд, геолого-промышленному типу) месторождение Малиновское следует относить к перспективным, крупным по запасам золоторудным объектам, ранее не известным на территории Приморского края.

Работа выполнена при частичной поддержке гос. бюджета и гранта ДВО РАН № 15-I-2-0030.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архипов Г.И. Минеральные ресурсы Приморского края: состояние и перспективы (<http://cyberleninka.ru/n/article/mineralnye-resursy-primorskogo-kрая-sostoyanie-i-perspektivy>).
- Бородаев Ю.С., Мозгова Н.Н. О висмута-сурьмяных сульфосолях свинца Почекуевского месторождения (Восточное Забайкалье) // Геология руд. месторождений. 1975. № 2. С. 47–59.
- Бортников Н.С., Цепин А.И. Сурьмяно-висмутовые сульфосоли Средне-Голготайского месторождения (Восточное Забайкалье) // Изв. АН СССР. Серия геол. 1987. № 1. С. 86–95.
- Брызгалин Д.В. О генезисе шеелита в месторождениях скарнового типа // Геохимия. 1958. № 3. С. 195–204.
- Волков А.В., Савва Н.Е., Сидоров А.А., Прокофьев В.Д., Горячев Н.А., Вознесенский С.Д., Альшевский А.В., Чернова А.Д. Золоторудное месторождение Школьное (Северо-Восток России) // Геология руд. месторождений. 2011. Т. 53, № 1. С. 3–31.
- Волков А. В., Черепанова Н. В., Прокофьев В. Ю., Смильгин С.В., Трубкин Н.В., Алексеев В.Ю. Месторождение золота в Бутарном гранитоидном штоке (Северо-восток России): геологическое строение, минералогия и условия формирования руд // Геология руд. месторождений. 2013. Т. 55, № 3. С. 214–237.
- Гамянин Г.Н., Горячев Н.А. Золото-редкометалльное оруденение Северо-Востока России // Тихоокеан. геология. 1998. № 3. С. 88–94.
- Гвоздев В.И. Рудно-магматические системы скарновых шеелит-сульфидных месторождений Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2010. 338 с.
- Гвоздев В.И., Горячев Н.А., Вах А.С., Федосеев Д.Г., Семяняк Б.И. Минеральный состав и типоморфные особенности минералов золоторудных жил Кировского месторождения (Верхнее Приамурье) // Тихоокеан. геология, 2013, № 6. С. 40–51.
- Гвоздев В.И., Доброшевский К.Н., Степанов В.А., Горячев Н.А., Вах А.С. Минералогия и вопросы генезиса Малиновского золоторудного месторождения (Приморский край, Россия): Материалы Второй Всерос. конф. с международным участием. Владивосток, 17–20 сентября 2014 г. «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и литосферных плит». Владивосток: Дальнаука, 2014. С. 307–309.
- Геодинамика, магматизм и металлогения Дальнего Востока России. Кн. 1. Владивосток: Дальнаука, 2006. 572 с.
- Голозубов В.В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006. 239 с.
- Горячев Н.А., Бердников Н.В. Типы рудоносных гранитоидов юго-восточной части мезозойд Северо-Востока России и их флюидная специализация // Тихоокеан. геология. 2006. Т. 25, № 3. С. 40–52.
- Горячев Н.А., Гамянин Г.Н. Золото-висмутовые (золото-редкометалльные) месторождения Северо-Востока России: типы и перспективы промышленного освоения // Золоторудные месторождения России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2006. С. 50–62.
- Колонин Г.Р. О самородном висмуте как о геологическом термометре. V. Кристаллизация висмута в гидротермальных условиях: Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. Новосибирск: Наука, СО АН СССР, 1971. Т. VI. С. 15–25.
- Мозгова Н.Н. Нестехиометрия и гомологические ряды сульфосолей: Дис... д-ра. геол.- минер. наук. М., 1985. Т. II. 345 с.
- Прокофьев В.Ю., Бортников Н.С., Зорина Л.Д., Куликова З.И., Матель Н.Л., Колпакова Н.Н., Ильина Г.Ф. Генетические особенности золото-сульфидного месторождения Дарасун (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология руд. месторождений. 2000. № 6. С. 526–548.
- Сахарова М.С., Кривицкая Н.Н. Минералого-геохимическая характеристика свинцово-сурьмяно-висмутовых сульфосолей из золоторудных месторождений Восточного Забайкалья // Геология руд. месторождений. 1973. № 4. С. 56–70.
- Сахно В.Г., Гвоздев В.И., Аленичева А.А., Прасолов Э.М., Зарубина Н.В. Гранитоидный магматизм вольфрамовых рудно-магматических систем Лермонтовская и Восток-2: U-Pb (SHRIMP) датирование, изотопная характеристика (³He/⁴He) руд // Докл. РАН. 2011. Т. 438, № 1. С. 82–90.
- Сахно В.Г., Степанов В.А., Гвоздев В.И., Доброшевский К.Н. Малиновская золоторудная магматическая система Центрального Сихотэ-Алиня: геохронология, петро-ге-

- охимический состав и изотопная характеристика магматических комплексов (Приморье, Россия) // Докл. РАН. 2013. Т. 452, № 1. С. 1–8.
21. Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Китаев Н.А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: Академ. изд-во «ГЕО», 2006. 291 с.
 22. Степанов В.А., Бельченко Е.Л., Доброшевский К.Н., Гвоздев В.И. Малиновское золоторудное месторождение, Приморский край // Руды и металлы. 2013. № 3. С. 26–33.
 23. Ханчук А.И., Раткин В.В., Рязанцева М.Д., Голозубов В.В., Гонохова Н.Г. Геология и полезные ископаемые Приморского края. Владивосток: Дальнаука, 1995. 66 с.
 24. Ханчук А.И. Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 5–34.
 25. Bortnikov N.S., Nekrasov N.Ya., Mozgova N.N., Tsepina A.I. Phases and phase relations in the central portion of system Fe-Pb-Sb-S between 300 and 500° in relation to lead-antimony sulphosalts // Neues-Jahrb. Mineral. Abh. 1981. V. 1. P. 37–60.
 26. Chung L.L.Y., Walia D.S., Knowles C.R. Phase relationship the system PbS-Sb₂S₃-Bi₂S₃ and PbS-FeS-Sb₂S₃-Bi₂S₃ // Econ. Geol., 1980. V. 75, N 8. P. 317–328.
 27. Harris D.C., Jambor J.L., Lachancet G.R., Thorpe R.J. Tintinait, the antimony analogue of kobellit // Can. Miner. 1968. V. 9, Pt. 3. P. 371–382.
 28. Hart C.J.R. Reduced intrusion-related gold systems // Mineral deposits of Canada: A Synthesis of major deposit types, district metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods // Geol. Association Can., Mineral Deposits Division, Spec. Publ. 2007. N 5. P. 95–112.
 29. Kupcik V., Schneider A., Varcek C. Chemismus von einigen Bi-Sulfosalzen aus dem Zips-Gomoren Erzgebirge (CSSR) // Nenes Jahrd. Mineral. Monatsh. 1969. N 10.
 30. Lang J.R., Baker T., Hart C.J., Mortensen J.K. An exploration model for intrusion related gold systems // SEG Newsletter. 2000. N 40. P. 6–15.
 31. Miede G. Crystal structure of kobellite // Nature Physicak. Sci. 1971. V. 231, N 23.
 32. Sugaki A., Yamae N. Thermal studies in the intergrowth of chalcopyrite and sphalerite // Sci. Rep. Tohoku Univ. Sendai. 1952. P. 103–110.
 33. Zakrzewski M.A. Jaskolskiite, a new Pb-Cu-Sb-Bi sulfosalts from the Vena deposit, Sweden // Can. Mineralogist. 1984. V. 22, Pt. 4. P. 481–495.

Рекомендована к печати В.Г. Сахно

V.I. Gvozdev, K.N. Dobroshevsky, A.S. Vakh, N.A. Goryachev, V.A. Stepanov, D.G. Fedoseev

Malinovsky deposit – a new type of gold-ore mineralization in Primorye, Russia (geology, mineralogy, genesis)

Original information on the ore matter composition of the deposit has been obtained from the mining workings (trenches, strippings, boreholes). In mineral composition three types of veinlets, productive for gold mineralization have been recognized: sulfide-quartz, sulfide-carbonate-quartz, and sulfide. Their near-vein metasomatites accompanying ores and typomorphic features of minerals have been studied, and the problems of the ore and deposit genesis are discussed. It has been established that the Malinovsky deposit is mineralization of a new for Primorye region gold-tourmaline type (gold-quartz formation), the ores of which are very similar in their parameters to those of large deposits of Trans-Baikal area and Amur Region (Klyuchevsky, Kariy, Kirov, Darasun and others) being genetically related to granitoid magmatism.

Key words: gold deposits, mineralogy, genesis, Primorye.