

МНОГОМЕТАЛЛЬНОСТЬ И ВЫСОКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛОКАЛЬНЫХ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СИХОТЭ-АЛИНЯ (НА ПРИМЕРЕ АРСЕНЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

А.М. Кокорин, Д.К. Кокорина, А.А. Орехов

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

Поступила в редакцию 25 июля 2007 г.

Арсеньевское месторождение с крупными запасами олова традиционно рассматривается как эталонный объект Кавалеровского оловорудного района. На основе новых авторских материалов делаются выводы о его генезисе и о совмещении на месторождении трех оловорудных формаций и вольфрамовой минерализации, завершающей развитие рудно-магматического процесса. Руды разных этапов, связанные с разными магматическими комплексами, представляют олово-сульфидную, касситерит-сульфидно-силикатную и касситерит-кварцевую формации, по составу являются комплексными (Sn, Pb, Zn, Cu, Ag).

Крупные объемы многометалльных руд Арсеньевского месторождения подготовлены к отработке; при небольших дополнительных затратах запасы их могут быть удвоены. Прогнозные ресурсы комплексных руд Арсеньевского и других рудных полей Кавалеровского района на порядок превышают известные и достаточны для организации высококорентабельного горно-рудного производства.

Ключевые слова: олово, комплексность руд, зональность, рудно-магматический этап, Арсеньевское месторождение, Сихотэ-Алинь.

ВВЕДЕНИЕ

Арсеньевское месторождение с крупными запасами олова в рудных телах, обогащенных сульфидами, открыто в 1958 г. (первооткрыватель – Н.П. Ченцов). Первый этап его разведки с подсчетом запасов под руководством заслуженного геолога РСФСР Б.И. Шершакова был завершён в 1965 году. Шахтная доразведка с одновременной отработкой руд продолжалась до 80-х годов прошлого столетия. При этом подтвердились заключения о высоких его перспективах; по запасам олова месторождение вошло в разряд крупных оловорудных объектов. Богатая сульфидная минерализация в составе оловянных руд не оценивалась и безвозвратно терялась при отработке месторождения. На площади развития оловянных руд в 80-х годах прошлого столетия были открыты турмалиновые зоны с олово-сульфидным оруденением. Состав сульфидных руд этих зон комплексный (олово, свинец, цинк, медь, серебро), олово в них связано в станнине и сульфостаннатах. При отрицательной оценке по олову сульфидная составляющая комплексных руд в составе широтных зон не получи-

ла полной оценки. В северной части месторождения на площади сопряжения близмеридиональных жил и широтных зон с разноформационным оловянным оруденением в последние годы перед консервацией месторождения нами выделены жильные тела и зоны сульфосольно-полиметаллического состава. Руды этого типа концентрируются не только в северной части месторождения, но и представляют ведущий тип минерализации на прилегающих к месторождению участках: Поворотном (содержание свинца и цинка до 10 %, серебра – 400 г/т), Ново-Арсеньевском и др. Еще одной особенностью Арсеньевского месторождения является присутствие в рудах вольфрамовой (гюбнеритовой) минерализации.

Открытие на месторождении широтных турмалиновых зон с оловосульфидным оруденением послужило основанием для вывода о присутствии на месторождении двухэтапной минерализации. Полученные нами материалы показывают, что на Арсеньевском месторождении пространственно совмещены руды не двух, а трех оловорудных и вольфрамового этапов, образованные в процессе длительного (от

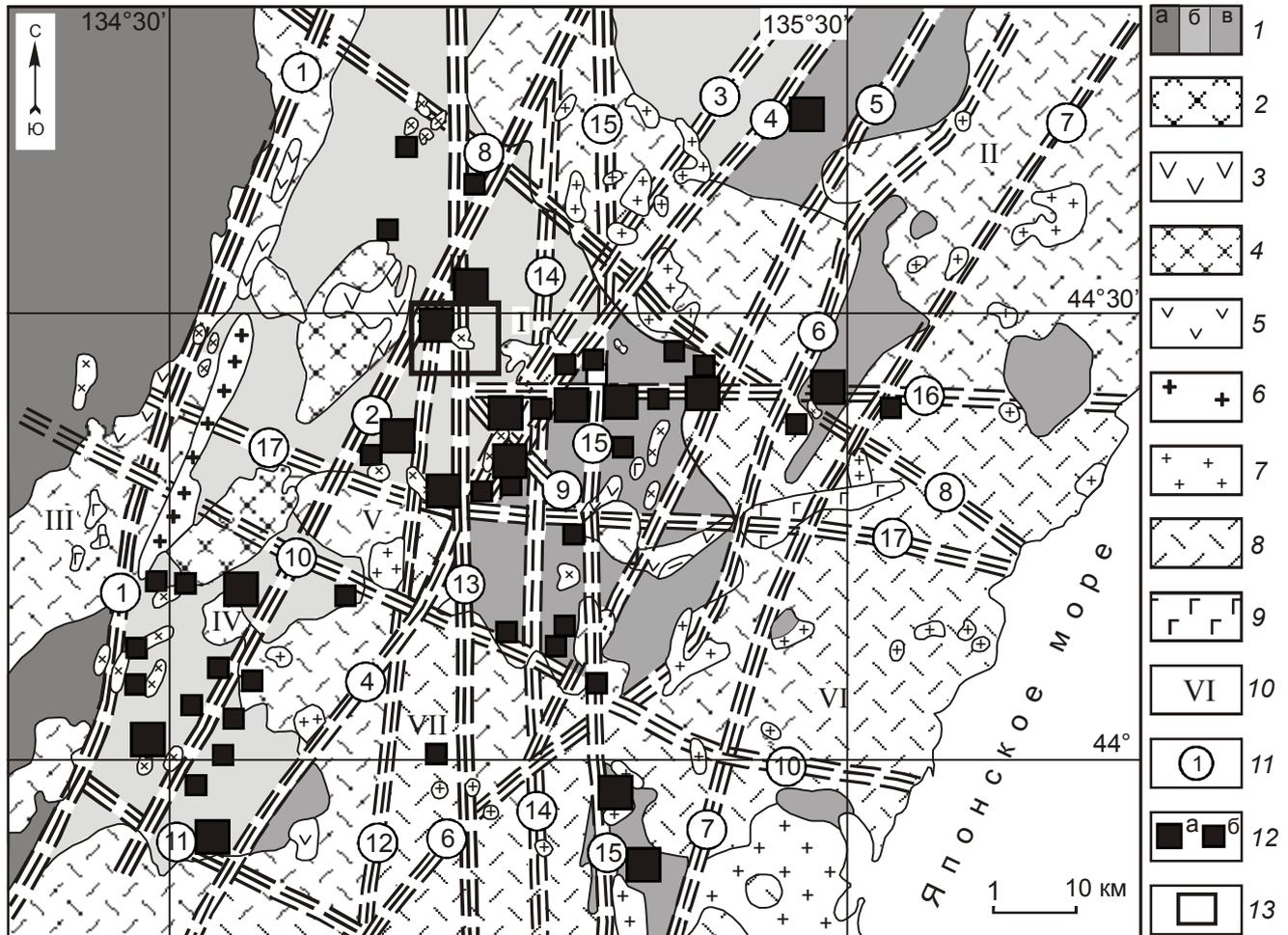


Рис. 1. Геолого-структурная схема Кавалеровского района (по [12] с дополнениями авторов).

1 – терригенный (аккреционный) комплекс Самаркинского (а), Журавлевского (б), Таухинского (в) террейнов; 2, 3 – трахиандезит-монзонитовый (березовский) комплекс: 2 – интрузивная фация, 3 – эффузивная фация; 4, 5 – андезит-монциодорит-гранодиоритовый (угловской) комплекс: 4 – интрузивная фация, 5 – эффузивная фация; 6 – гранит-лейкогранитовый (шумнинский) комплекс; 7, 8 – риолит-гранитный (богопольский) комплекс: 7 – интрузивная фация, 8 – эффузивная фация; 9 – андезито-базальтовый (самаргинско-кузнецовский) комплекс; 10 – вулканотектонические депрессии: I – Угловская, II – Якутинская, III – Антоновская, IV – Широкопаднинская, V – Лужкинская, VI – Зеркальная, VII – Аввакумовская; 11 – разломы (кружки на схеме): 1 – Центральный, 2 – Березовский, 3 – Дубровский, 4 – Фурмановский, 5 – Тигровый, 6 – Суворовский, 7 – Восточный, 8 – Дорожный, 9 – Западный, 10 – Павловский, 11 – Аввакумовский, 12 – месторождения (а), рудопоявления (б); 13 – границы рис. 2.

100 до 30 млн лет назад) развития рудно-магматической системы. Эта особенность формирования – важная, по мнению авторов, причина многометалльности и высокой продуктивности Арсеньевского и других, подобных ему, месторождений Сихотэ-Алиня.

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Локализация Арсеньевского месторождения в западной части Кавалеровского района контролируется Березовским разломом (рис. 1), в зоне влияния которого находятся Новогорское, Кедровое,

Искра, Кривое, Соболиное, Фурмановское и другие месторождения. Площадь месторождения слагают нижнемеловые (апт-альбские) терригенные породы светловоднинской и лужкинской свит Журавлевского террейна (рис. 2). В составе светловоднинской свиты выделяются две подсвиты: нижняя – алевролитопесчаниковая и верхняя – алевролитовая. Лужкинская свита с угловым несогласием перекрывает светловоднинские отложения и состоит из двух толщ: в нижней преобладают песчаники с конгломератами и гравелитами в ос-

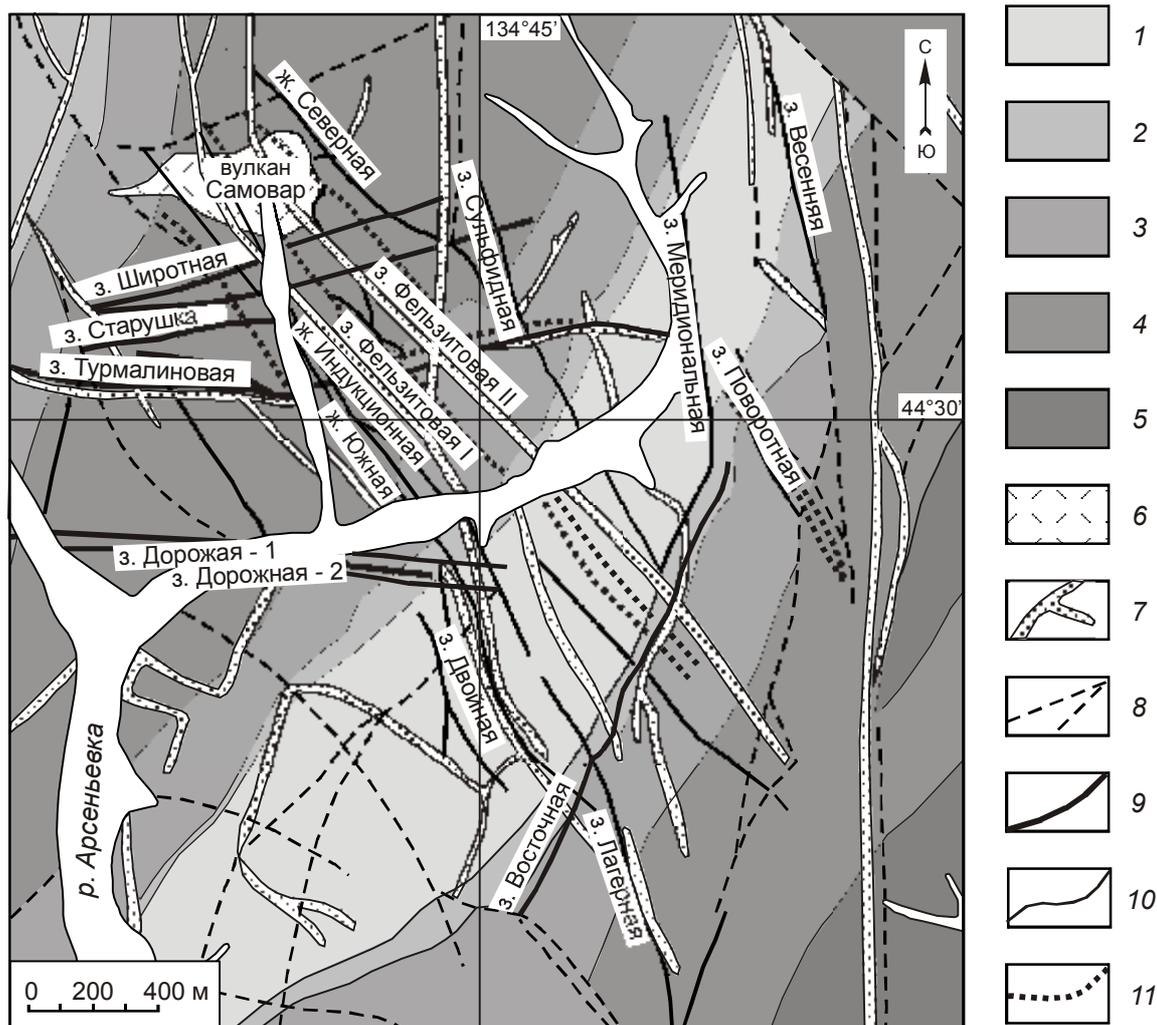


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Арсеньевского месторождения.

1, 2 – лужкинская свита (K_1): 1 – алевропесчаники верхней пачки, 2 – песчаники с конгломератами нижней пачки; 3, 4 – светловоднинская свита (K_1): 3 – алевролиты верхней пачки, 4 – песчаники нижней пачки; 5 – дивнинская свита (K_1), алевролиты; 6 – лавы, лаво- и туфобрекчии риолитов; 7 – дайки базальтов, андезитов, дацитов, липаритов; 8 – разломы; 9–11 – рудные зоны и жилы: 9 – рудные зоны первого этапа, 10 – рудные жилы и зоны второго этапа, 11 – рудные зоны и жилы третьего этапа.

новании, в верхней – алевропесчаники. Видимая мощность осадочных пород – около 2000 м.

Пликативные структуры на площади месторождения представлены Арсеньевской антиклинальной складкой (приосевая часть и юго-восточное крыло) и узкой Лужкинской синклиналью на крыле антиклинали. Оси этих структур при северо-восточном простираии полого ($10-20^\circ$) погружаются к юго-западу, крылья их осложнены складками более высоких порядков. Разрывные структуры на месторождении принадлежат к разным элементам Березовской сдвиговой зоны на участке ее пересечения с Арсеньевским, Ивановским и Запад-

ным разломами (рис. 1). Среди них выделяются лево- и правосторонние сдвиги, надвиги, взбросы, а также магмо- и рудоконтролирующие структуры растяжения – раздвиги, сбросы [10].

Магматические породы на месторождении имеют широкое распространение, занимая до 30 % его площади на глубоких горизонтах (рис. 2, 3). Проявляются они в виде дайковых серий, отдельных массивов, экструзий, реликтовых полей вулканитов, флюидно-эксплозивных (трубки взрыва) тел, в сложении которых участвуют монцитонитоиды, гранодиориты, граниты и их эффузивные аналоги. По данным разных исследователей [11–14], интрузивные образо-

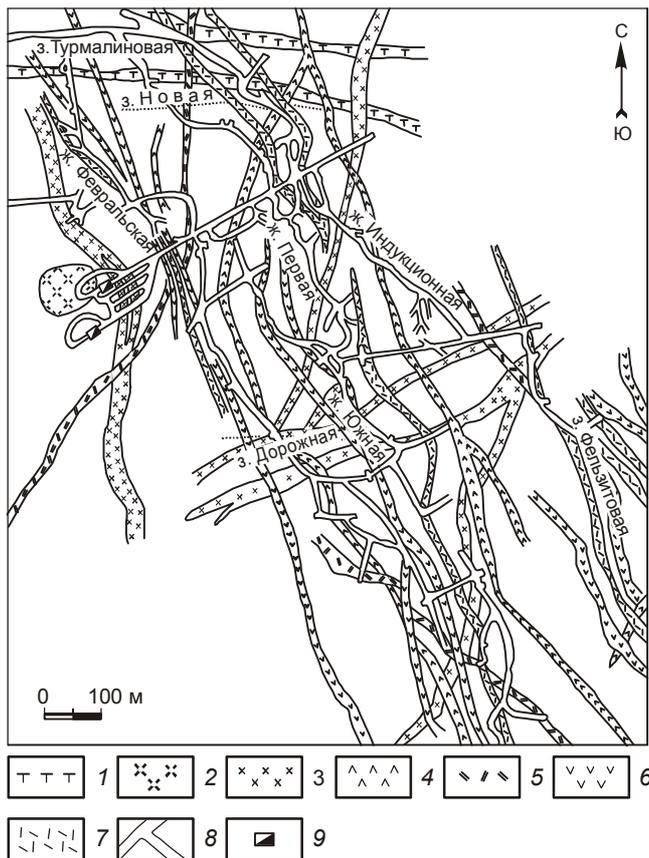


Рис. 3. Пространственно-временные взаимоотношения магматических пород Арсеньевского месторождения (горизонт X, абс. отм. +210 м).

1 – трахибазальты; 2 – монцодиорит-порфиры; 3 – гранодиориты; 4 – дациты; 5 – риолиты; 6 – высокоглиноземистые андезиты; 7 – ультракалиевые риолиты; 8 – горные выработки; 9 – шахты.

вания месторождения относятся к нескольким интрузивным комплексам Кавалеровского рудного района. Исследователями предложены разные варианты деления магматической ассоциации Кавалеровского района на генетические группы – магматические комплексы [2, 9, 15]. Модель развития магматизма и оруденения района, предложенная В.К. Финашиным [16, 17], принимается за основу при анализе магматизма Арсеньевского месторождения. В эту модель внесены некоторые уточнения и дополнения, учитывающие новые данные. Выделяются трахиандезит-монцонитовый березовско-араратский, андезит-гранодиоритовый новогорско-угловской и гранит-лейкогранитовый шумнинский магматические комплексы, в рождении и эволюции которых участвовали интрателлурические потоки высоковосстановленных флюидов. Развитие магматических комплексов месторождения, как и района, происходило в широком временном интервале (100–30 млн лет назад) и в значительной степени совмещено в пространстве (рис. 4, 5).

В магмонасыщенном блоке месторождения с параметрами 3 (длина) × 1 (ширина) × 1 (высота) км сосредоточены основные объемы руд. За боковыми границами блока выявлены дополнительные участки минерализации, повышающие общие ресурсы рудного поля [6].

МОРФОЛОГИЯ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУДНЫХ ЖИЛ И ЗОН

Основные запасы оловянных руд месторождения сосредоточены в близмеридиональной (северо-

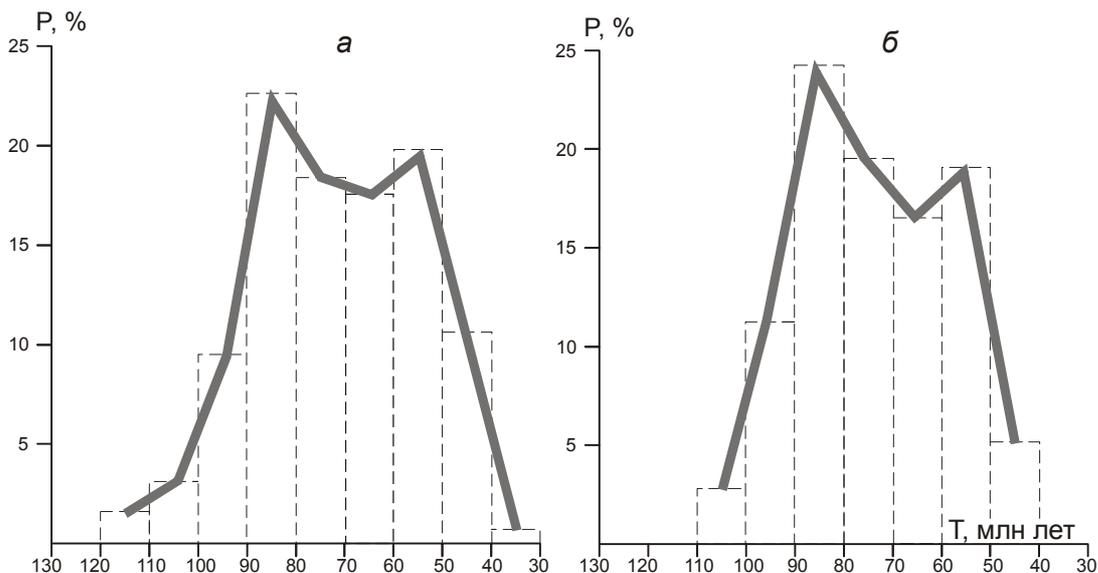


Рис. 4. Гистограммы значений изотопного возраста изверженных пород (а), руд и околорудных метасоматитов (б) Кавалеровского района (а – 109 определений, б – 35 определений).

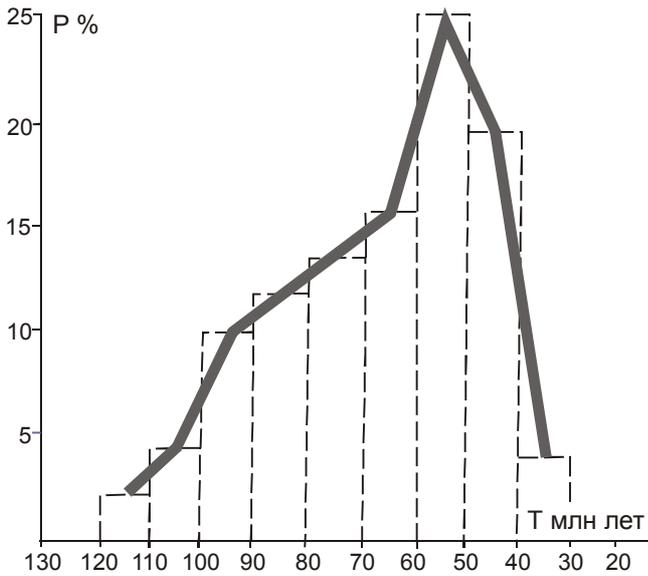


Рис. 5. Гистограмма значений изотопного возраста изверженных пород Арсеньевского месторождения (использовано 27 определений).

западной) жильной серии, главными жилами в которой являются (с запада на восток) – Февральская, Южная, Первая, Индукционная (рис. 3). В центральной и северной частях месторождения локализуются выявленные относительно недавно две серии широтных рудоносных зон. Широтная зона Дорожная в центральной части месторождения имеет протяженность около 1000 м, мощность рудоносной полосы не менее 100 м, рудоносность зоны не изучена. Серию широтных рудоносных зон (общей протяженностью по простиранию более 1000 м, на глубину до 1000 м при мощности рудоносной полосы около 300 м) в северной части месторождения представляют линзообразные тела кварцевых турмалинитов, вмещающие жилообразные тела оловосульфидных (комплексных) руд. В северной же части месторождения на участке сопряжения меридиональных жил и широтных зон, по материалам авторов, выделяется крупная зона поздней жильно-прожилковой минерализации, в пределах которой жильные тела и системы прожилков имеют близмеридиональное и близширотное простирание.

Оловянную специализацию месторождения определяет, как отмечалось выше, свита близмеридиональных (северо-западных) жил. В жиле Южной сосредоточено 63 % утвержденных запасов олова, Первой – 18 %, Индукционной – 14 %, Февральской – 5 %. Жильные тела локализуются в полосе шириной около 300 м, контролируются трещинами отрыва северо-западного простирания (320–340°) и крутого (около 70°) северо-восточного падения, имея протя-

женность по простиранию около 3000 м и на глубину более 800 м. Жилы слагает кварц, сопровождаемый флюоритом и карбонатом. В боковых ореолах присутствуют кварц-хлоритовые метасоматиты, в призальбандовых частях находится касситерит, на удалении от зальбандов в приосевой части локализуются сульфиды (арсенопирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит, пирит) и минералы сульфосольной ассоциации. Осевую часть жильных тел обычно занимает поздняя, нередко доминирующая кварц-флюорит-карбонатная минерализация (рис. 6).

По простиранию и падению строение и вещественный состав жил значительно меняется. Основная на месторождении жила Южная на верхних горизонтах при общей северо-западной ориентировке и относительно простом строении в центральной части образует западное отклонение. На севере она расщепляется на несколько ветвей, теряющихся в достаивающих жилу прожилках наложенной минерализации. На южном отрезке жила состоит из двух, трех и более сближенных маломощных жил кварц-касситерит-сульфидного состава, сопровождаемых дополнительными прожилками и участками брекчиевых руд. Мощность “жильных” и “зонных” участков

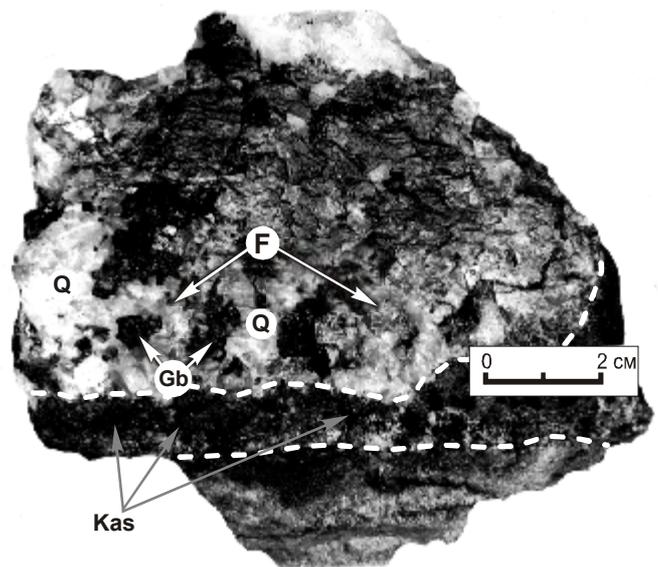


Рис. 6. Зональное строение рудной жилы.

В боковой её части (выделено пунктиром) хлоритизированные алевролиты в обломках цементируются кварцем и касситеритом (черный). В центральной части жила имеет кварц (белый)-флюоритовый (светло-серый) состав. Поздний гюбнерит (темно-серый) выполняет гнезда в кварце и флюорите (образец № 356-86, жила Южная, горизонт IV, штрек 41 сев., инт. 403 м от устья).

Названия минералов на рисунке: Kas – касситерит, Q – кварц, F – флюорит, Gb – гюбнерит.

с околорудными кварц-хлоритовыми метасоматитами меняется (от 0.1 до 2.5 м), что придает рудному телу четковидное строение.

На более глубоких горизонтах (500 м от поверхности) генеральное простирание структуры остается северо-западным при сохранении крутого угла падения. В северной части наблюдается устойчивое отклонение жилы к западу на 15–25°. Изменение строения жилы состоит в появлении все большего количества апофиз, дополнительных жилок, за счет которых жила превращается в жильную зону. На небольших по простиранию участках видны изменения направления жилы вплоть до широтного. Наблюдается увеличение их мощности, нередко около широтных нарушений происходит расщепление жилы с последующим ее преобразованием в тонкий проводник широтной ориентировки, переходящий по простиранию в крупное тело северо-западного направления. Значительное влияние на морфологию жильного тела оказывают переслаивание песчаников и алевролитов (участки лестничного строения жильного типа) и дайки риолитов. Как правило, мощность рудного тела в дайках возрастает, минерализация концентрируется в линзовидных обособлениях, гнездах, соединенных между собой тонкими проводниками, руда в риолитах приобретает пятнистую и полосчатую текстуру. Эти наблюдения дают основание говорить о близкой (генетической) связи риолитов, новогорско-угловского интрузивного комплекса и оловянных руд.

Другие рудные жилы по особенностям строения не отличаются от жилы Южной. При относительно простой морфологии на верхних горизонтах и средней мощности 0.5 м на отдельных участках они расщепляются, образуют перегибы, сопровождаются

близширотными апофизами. С глубиной они превращаются в зоны, состоящие из переменного количества маломощных жил, прожилков с раздувами, пережимами и участками разрыва сплошности рудной жилы [6].

На верхних горизонтах состав рудных жил преимущественно кварцевый, флюорит и карбонат только на локальных участках выступают в роли ведущих. Касситерит в переменных количествах обычно концентрируется в зальбандах жил и прожилков и отделен от сульфидов кварцем (рис. 7). Сульфидам принадлежит подчиненная роль, последовательность их образования следующая: арсенипирит – пирротин – халькопирит – сфалерит – галенит – пирит – рудные минералы сульфосольной ассоциации. В составе жил на локальных участках присутствует гюбнерит – поздний рудный минерал, сопровождаемый в рудах цеолитами, флюоритом, кварцем, карбонатом и пиритом. Кварцевые жилы со сложным комплексом жильных и рудных минералов на всем протяжении сопровождаются околожильными кварц-хлоритовыми метасоматитами.

На глубоких горизонтах (от 800 до 1000 м от поверхности) меняются не только морфология рудных тел, но и состав минерализации. Мелкие жилы и прожилки кварца с главным северо-западным и близширотным направлением располагаются в линейном интервале метасоматитов кварц-хлорит-серицитового (мусковитового) состава. В метасоматитах появляются топаз и турмалин, с кварцем кроме касситерита ассоциируют молибденит, висмутин, пирит, самородное золото. В целом минерализация самых глубоких (корневых) горизонтов рудных тел приобретает черты проявлений касситерито-кварцевой формации.

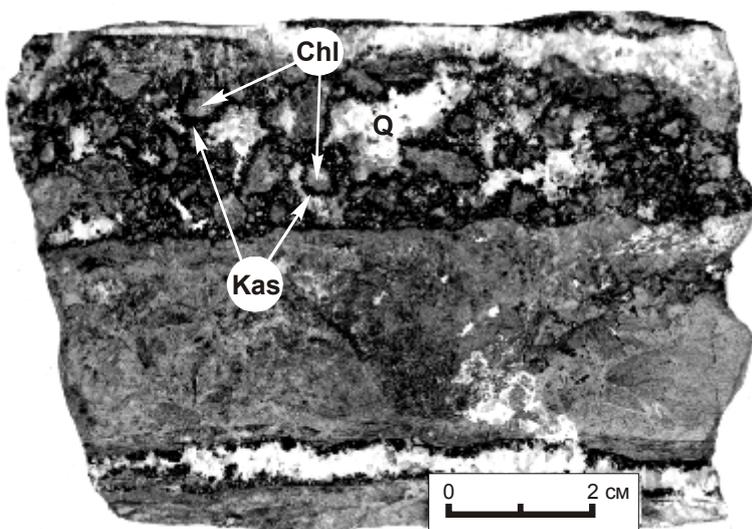


Рис. 7. Брекчиевая и прожилковая текстуры оловянной руды.

Касситерит (черный) обрастает обломки хлоритов (серый) и располагается в приконтактной части кварцевых прожилков (белый). Полости в брекчиевых рудах выполнены кварцем (образец № 190-86, жила Двойная, гор. X, штр. 110 зап., инт. 161 м от устья).

Названия минералов на рисунке: Kas – касситерит, Q – кварц, Chl – хлорит.

В широтных рудоносных структурах Арсеньевского месторождения рудные тела локализируются в зонах, имеющих крутое южное падение. Наиболее изученной является северная рудоносная структура шириной до 400 м. В ней выделяются несколько зон (с севера на юг): Широкая, Старушка, Турмалиновая, Новая, Третья и другие, из которых на горизонтах IV, VI, VIII и X вскрыта и достаточно хорошо изучена зона Турмалиновая. Протяженность зоны по простиранию – около 1000 м, по падению – 500 м (с учетом данных по редким скважинам – 1000 м). Зону мощностью до 15 м слагают кварцевые турмалиниты (турмалиновые обособления в кварц-турмалиновом агрегате) среди интенсивно ороговикованных осадочных (преимущественно алевролитов) пород. В этих метасоматитах сульфидная минерализация образует линзовидные тела с рудами массивной, брекчиевой, жильно-прожилковой текстуры. Минеральный состав оловянно-сульфидных руд сложный, образование их происходило метасоматическим путем, возрастные взаимоотношения минералов разных парагенезисов противоречивы, что связано с преобразованием их в процессе метаморфизма. В сложении массивных олово-сульфидных руд участвуют арсенопирит, пирротин, станнин, сфалерит, галенит, разнообразные сульфосоли и самородные элементы. Брекчиевый облик руд создают обломки турмалинитов, катаклазированного арсенопирита и кварца в пирротин-халькопиритовом агрегате. Этот “рисунок” руд дополняется присутствием около обломков тонкой каймы, состоящей из шестоватых (игольчатых) кристаллов турмалина. В брекчиевых рудах находятся участки массивных руд магнетит-

пиритового состава при “струйчатом” распределении сфалерита и галенита. Признаки метаморфизма руд с разложением и переотложением сульфидных минералов наблюдаются повсеместно. Этим объясняется разложение пирротина, станнина, других сульфостаннатов с образованием характерных структур распада.

Над слепыми широтными турмалиновыми зонами на участках их пересечения структурами, контролирующими жильную серию месторождения, проявлена наложенная (молодая) жильно-прожилковая серебро-свинцово-цинковая минерализация (рис. 8). Сульфидно-сульфосольные жилы на верхних горизонтах слагают флюорит, кварц, карбонаты; хлорит присутствует в околожильном пространстве, но его принадлежность к поздним жилам не всегда бесспорна. Флюорит по своей представительности в жилах является ведущим минералом, и по обогащенности этим минералом жилы с поздним оруденением не сопоставимы с кварцевыми жилами более раннего рудного этапа. Главными рудными минералами являются сфалерит, галенит, местами халькопирит и минералы сульфосольной минерализации (висмутин, конфельдит, икунолит, самородный висмут, золото). Флюоритовые жилы с галенитом и сфалеритом, сульфосольной минерализацией по минералого-геохимическим характеристикам не сопоставимы с многокомпонентными рудами промышленных жил и, тем более, с колчеданными рудами широтных турмалиновых зон.

Минерализация сульфидно-сульфосольного типа Арсеньевского месторождения с глубиной, по

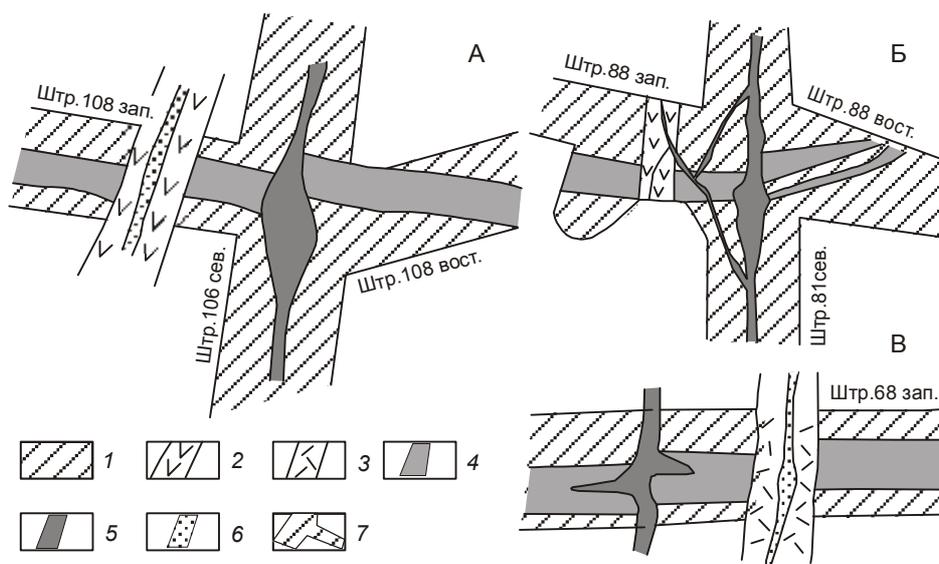


Рис. 8. Взаимоотношение даек, рудных зон и жил Арсеньевского месторождения.

А – Турмалиновая зона (I этап) пересекается жилой Подружка (II этап) и дайкой, вмещающей жилу Безымянную (III этап). Б – Турмалиновая зона (I этап) пересекается жилой Южной (II этап) и дайкой с минерализацией II этапа. В – Турмалиновая зона (I этап) пересекается рудной жилой Надежда (II этап) и дайкой с Безымянной рудной жилой (III этап).

1 – осадочные породы; 2 – дайка роговообманкового порфири- тов; 3 – дайка риолитов; 4 – зона Турмалиновая; 5 – жила Южная; 6 – жила Безымянная; 7 – гор- ные выработки.

нашему мнению, должна сменяться оруденением грейзенового типа, связанным со скрытыми “слепыми” массивами гранитоидов. Именно такие соотношения типов оруденения и магматических пород установлены на Ивановском месторождении, находящемся на площади Арсеньевского рудного поля [5]. Здесь в апикальной части крупного штока калиевых риолитов–мелкозернистых гранитов на глубине около 1000 м от поверхности выявлены зоны кварц-мусковитовых грейзенов.

МИНЕРАЛОГИЯ РУД

Наиболее полно на месторождении изучены руды главной жильной серии, к настоящему времени отработанной до глубины 400 м.

Оловянные жилы главной жильной серии месторождения по минеральному составу во многом обнаруживают сходство с другими месторождениями района [18]. В сложении оловоносных жил в основном участвуют четыре жильных минерала: кварц, флюорит, карбонат и хлорит (околожилные метасоматиты). Каждый из них представлен несколькими последовательными генерациями, связанными постепенными переходами и различающимися по составу, габитусу кристаллов, окраске. Другие жильные минералы – серицит (мусковит), полевой шпат, топаз, турмалин, аксинит, эпидот, цеолиты – относятся к подчиненным. Ряд рудных минералов в составе жил включает касситерит, сульфиды (арсенопирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит, станнин, пирит), сульфосоли, самородные элементы, гюбнерит, перечисленные в возрастной последовательности.

Касситерит содержит почти все олово в рудах (на долю растворимых форм приходится 2–3 %). Главным в рудах является касситерит первой (ранней) генерации, который в жилах концентрируется в их призальбандовой части, а в брекчиевых рудах – около обломков кварц-хлоритовых метасоматитов в кварце (рис. 7). Поздние повторные генерации касситерита, в том числе колломорфной разновидности, имеют подчиненное развитие и обычно проявляются в виде повторных кайм в кварцевых кристаллах. Касситерит обычно развивается в виде зернистых агрегатов, в гнездах образует кристаллы столбчатого, призматического, реже пирамидально-призматического, копьевидного облика. В наибольших количествах наблюдается “игольчатый и волосовидный” касситерит, развивающийся около крупных агрегатов или разделяющий зоны роста кварцевых кристаллов. Окраска касситерита коричневая разной интенсивности. По химическому составу касситерит Арсеньевского месторождения мало отлича-

ется от касситерита других месторождений района (табл. 1). В колломорфной его разновидности концентрация индия на порядок выше, в рудных телах среди риолитов отмечена обогащенность касситерита ниобием. С глубиной наблюдается незначительное повышение содержания индия, скандия и ниобия в составе касситерита (рис. 9).

В сульфидных рудах жильной серии парагенетический ряд минералов включает: арсенопирит, пирротит, халькопирит, сфалерит, галенит, станнин, пирит и минералы серебро-свинцово-висмутовой ассоциации. Главными сульфидными минералами являются сфалерит, халькопирит, галенит, которые по суммарному содержанию цинка, меди, свинца и концентрации в них серебра, индия и других попутных компонентов ставят Арсеньевское месторождение в разряд крупных собственно полиметаллических объектов. По концентрации серебра (порядка 400 г/т) крупные блоки сульфидных руд месторождения имеют самостоятельное промышленное значение. Сульфосоли в парагенетическом ряду сульфидных минералов также заслуживают внимания, так как подчеркивают своеобразие Арсеньевского месторождения (табл. 1).

Оловосульфидные руды в широтных зонах кварц-турмалиновых метасоматитов представляют продукты раннего (первого) этапа развития рудно-магматической системы месторождения. Минеральный состав турмалиновых метасоматитов определяют кварц и турмалин шерл-дравитового ряда. В турмалиновой зоне выделяются участки развития скарноидов, в составе которых основную роль играют родонит и гранат. Скарноиды среди кварц-турмалиновых метасоматитов являются дорудными, соотношение их с турмалинитами не изучено, условно возраст их считается послетурмалиновым [1, 14, 18]. Руды в турмалиновых зонах характеризуются сложным минеральным составом с не менее сложными взаимоотношениями минеральных парагенезисов. Преобладают пирротин-халькопиритовые с пиритом, арсенопиритом руды с крайне неравномерным распределением минералов. Местами в рудах преобладают арсенопирит в ассоциации с халькопиритом, станнином, сульфосолями висмута и самородным висмутом. Среди массивных руд спорадически выделяются пирротин-магнетитовые разности с графическими структурами взаимопрорастания. Участки рудных тел, обогащенные халькопиритом, наиболее интересны в минералогическом отношении. Здесь присутствуют сульфосоли висмута и сурьмы, развиты станнин и сульфостаннаты, подвергшиеся частичному гипогенному распаду. В сульфидных рудах нередко в

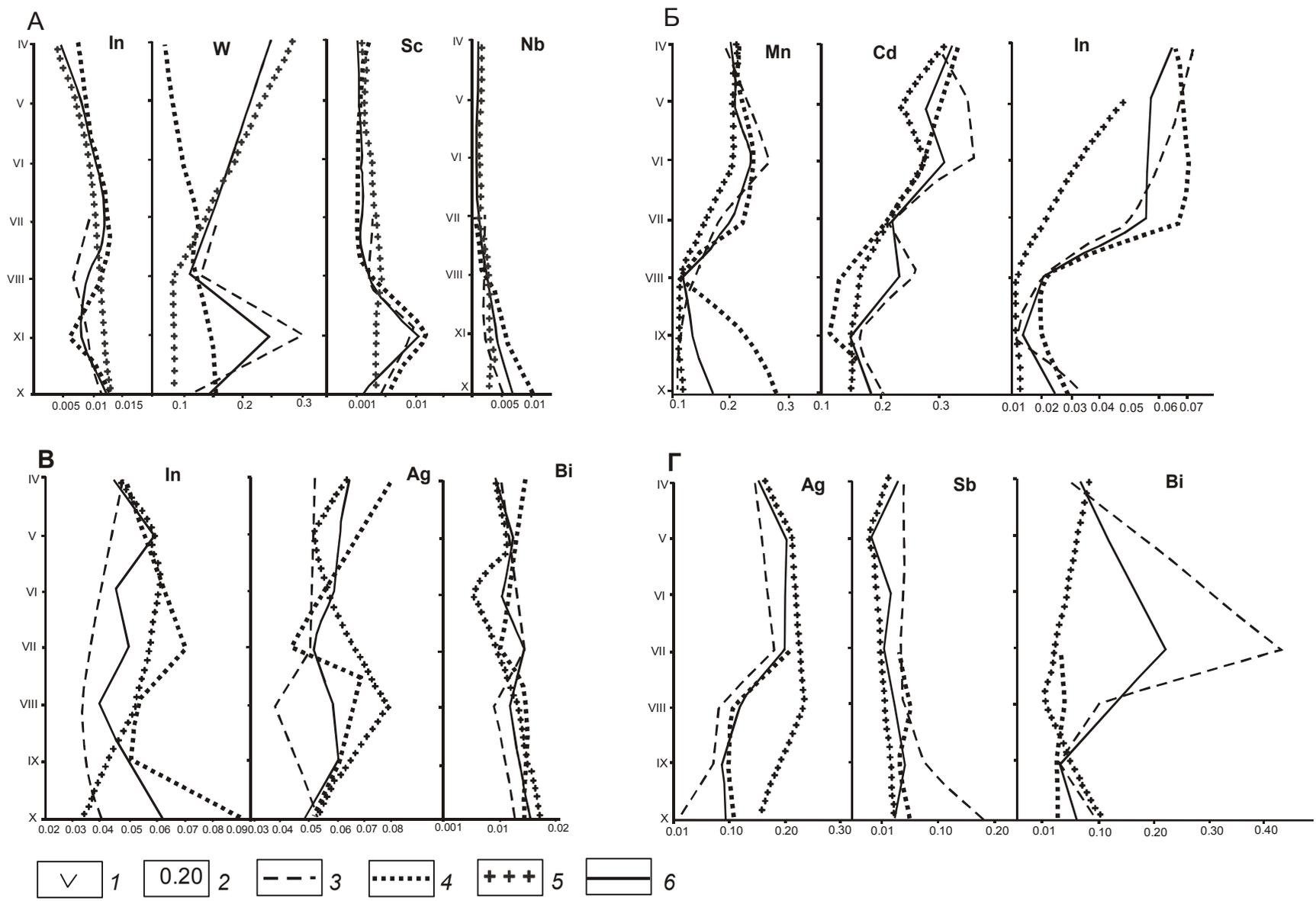


Рис. 9. Изменение содержаний элементов-примесей с глубиной в рудных минералах Арсеньевского месторождения.
 А – касситерит, Б – сфалерит, В – халькопирит, Г – галенит; 1 – горизонт; 2 – среднее содержание (вес. %); 3 – жила Южная; 4 – жила Индукционная; 5 – жила Февральская; 6 – в целом по месторождению. Использовано: 134 анализа касситерита, 165 анализов халькопирита, 287 анализов сфалерита, 106 анализов галенита.

Таблица 1. Геохимические и минералогические особенности руд последовательных рудных этапов Арсеньевского месторождения.

Минерал, элементы-примеси	Этапы, содержание элементов-примесей (вес. %), количество анализов		
	I	II	III
Касситерит			
In		0.0124 (134)	0.0072 (27)
Sc	Олово связано в станнине	0.0026	0.0014
W		0.162	0.200
Nb		0.0018	0.0025
Халькопирит			
In	0.027 (16)	0.044 (71)	0.053 (78)
Ag	0.089	0.063	0.049
Bi	0.026	0.010	0.012
Сфалерит			
Fe	12.59 (18)	13.63 (203)	14.05 (66)
Mn	0.806	0.208	0.197
In	0.052	0.035	0.075
Cd	0.350	0.282	0.303
Галенит			
Ag	0.108 (11)	0.134 (81)	0.148 (14)
Bi	0.345	0.213	0.291
Sb	0.127	0.043	0.028
Состав сульфосолевой минерализации	Серебро-висмут-сурьмяная	Серебро-свинцово-висмутовая	Теллур-серебро-висмутовая
Основные минералы	Менегинит, буланжерит, джемсонит, лиллианит, густавит, андорит, пираргирит, гудмундит	Лиллианит, густавит, козалит, Ag - Bi -содержащий галенит, аллоклазит, самородные висмут и золото	Висмутин, висмут самородный, жозеит А и В, Те-канфильдит, икунолит, золото

значительных количествах присутствует сфалерит в сопровождении галенита. Галенит-сфалеритовые обособления в рудных телах пирротин-халькопиритового состава слагают самостоятельные полосы. Струйчатые текстуры галенит-сфалеритовых обособлений наглядно подчеркивают динамометаморфические преобразования в них. Отличают руды этого состава повышенные содержания серебра, которое связано исключительно в пираргирите, сопровождаемом джемсонитом и буланжеритом (табл. 1). Признаки динамометаморфизма, переотложения и других явлений, происшедших в рудах под воздействием высокой температуры и более поздних гидротермальных растворов, наблюдаются часто. Кроме струйчатого распределения галенита отмечаются участки с “овоидами” сфалерита, катаклаз арсенопирита и пирита, разложение пирротина и сульфостаннатов с образованием магнетита, касситерита в виде бесформенных агрегатов с реликтами станнина, находящихся в тесных сростаниях с халькопиритом и пирротинном.

Сульфидно-сульфосолевые руды северной части месторождения, пространственно совмещенные с оловосульфидными широкими зонами, имеют более простой минеральный состав по сравнению с другими, более ранними типами оруденения. Главным жильным минералом этих руд является флюо-

рит, сопровождаемый кварцем и карбонатом, которые только на некоторых небольших участках образуют значительные скопления. К числу основных сульфидных минералов относятся сфалерит и галенит при постоянном присутствии в небольших количествах касситерита, арсенопирита, халькопирита, пирита и полном отсутствии сульфидных минералов олова. Главные рудные минералы жильно-прожилковых тел по геохимическим показателям значительно отличаются от минералов ранних руд. Сульфосолевая минерализация рассматриваемых руд также имеет свои особенности (табл. 1).

ВОЛЬФРАМОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ

В процессе изучения руд Арсеньевского месторождения нами получены новые материалы по вольфрамовой минерализации. Как оказалось, образцы с прекрасными пластинчатыми кристаллами гюбнерита, украшающие минералогические коллекции, представляют вольфрамовые руды месторождения, запасы которых превышают 10 тыс. т при среднем содержании WO_3 более 0.5 %. Установлено, что гюбнерит находится в поздних кварц-халцедоновых жилах, во времени следует за кварц-карбонатной минерализацией и сопровождается флюоритом, цеолитами, пиритом. Эта ассоциация слагает самостоятельные рудные тела вдоль более ранних рудных жил с кассите-

ритом и сульфидами, многочисленные разноориентированные прожилки, не выходящие за пределы рудоуправляющих нарушений, жильобразные обособления в сульфидных и кварц-карбонатных жилах и гнездах. Гюбнерит в кварц-карбонатных жилах наблюдается не повсеместно, и участки жил, обогащенные этим минералом, чередуются с интервалами, практически стерильными в отношении вольфрама. В целом можно говорить о вольфрамовых столбообразных телах, разделенных между собой “безрудными” участками.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РУДНЫХ ТЕЛ

Температурная обстановка в период формирования основных жил и зон, представляющих разноэтапную минерализацию месторождения, восстанавливается по результатам изучения газовой-жидких включений в жильных минералах (кварц, флюорит, карбонаты) и касситерите.

Образование жилы Южной до глубины 500 м от поверхности происходило при температурах от 430 до 80°C. Минеральные ассоциации, слагающие жилу, имеют температуры формирования: кварц-касситеритовая – 430–350°C, кварц-сульфидная – 350–250°C, кварц-карбонатная – 250–150°C. Завершался процесс минералообразования в жиле при понижении температур до 100–80°C. С глубиной наблюдается повышение температуры от 340 до 425°C на вертикальном интервале около 300 м. В формировании жилы при температурах от 430 до 370°C участвовали растворы переходного гидротермально-пневматолитового (флюидного) состояния и невысокой концентрации. Смена пневматолитово-гидротермальных растворов гидротермальными отвечает периоду отложения касситерита при температурах 425–379°C. На верхних (приповерхностных) горизонтах отложение минералов в жиле при температурах 340–290°C также происходило из гидротермальных растворов в условиях резкого спада давления.

Жила Первая отличается меньшей обогащенностью руд сульфидами. Вторым отличительным признаком руд Первой жилы являются их более высокие (до 450°C) температуры формирования. Отложение минералов в жиле происходило из растворов переходного флюидного (пневматолитово-гидротермального) состояния. Сульфиды в ряду парагенных минералов следуют за касситеритом и кварцем I, имея температуры кристаллизации не выше 350°C.

Жила Индукционная в отличие от других жил содержит руды, имеющие относительно невысокие температуры формирования. На глубоких горизонтах температуры образования кварц-касситеритового па-

рагенезиса не превышают 420°C. Не отмечено также участие в минералообразовании переходных пневматолитово-гидротермальных (флюидных) растворов.

Жила Февральская является “слепой” и наиболее сохранилась при отработке месторождения. Температурный диапазон образования руд составляет 430–90°C, отложение минералов кварц-касситеритовой ассоциации происходило при температуре от 430 до 350°C, кварц-сульфидной стадии – от 350 до 200°C, кварц-карбонатной стадии – от 200 до 100°C. Температуры образования руд по горизонтам равны: IV – 380–100, V – 390–110, VI – 400–90, VIII – 410–170, X – 430–115°C и повышаются с глубиной. На разных по глубине уровнях в жиле оконтуриваются участки высокотемпературных оловянных руд, появление которых можно связывать с нахождением на глубине “флюидорождающих центров”.

Обобщение термобарогеохимической информации показывает, что формирование жильной серии месторождения происходило при температурах от 470 до 80–100°C (табл. 2); на вертикальном интервале 800 м понижение температур составляет 100°C (470° – 800 м от поверхности и 340° – поверхность). Формирование жил – отложение последовательных минеральных ассоциаций совершалось при температурах: кварц-касситеритовой – 470–350°C, кварц-сульфидной – 350–250°C и кварц-карбонатной – 250–150°C. Завершался процесс при циркуляции гидротермальных растворов, имеющих температуры от 150 до 80°C [4, 8].

Температурные условия образования минерализации широтных турмалиновых зон восстанавливаются по результатам анализа включений в кварце из руд и метасоматитов зоны Турмалиновой. На глубине примерно 150 м от поверхности образование головной части тела турмалиновых метасоматитов с сетчатой зоной (прожилки, жилы) сульфидной минерализации пирротин-арсенопиритового состава с примесью кварца, переполненного игольчатым турмалином, происходило при температурах 345–315°C из пневматолитово-гидротермальных растворов. В кварце из секущих меридиональных жил на этом горизонте газовой-жидкие включения имеют температуры гомогенизации 368–329°C, что показывает более высокие температуры образования этого кварца по сравнению с кварцем турмалиновых зон. На глубине около 100 м от головной части зоны в кварц-турмалиновых метасоматитах газовой-жидкие включения показывают $T_{гом.}$ 370–315°C; в кварце из сульфидных жил, сопровождаемом тонкопризматическим турмалином, первичные газовой-жидкие включения имеют температуры гомогенизации 337–300°C,

Таблица 2. Зональность оруденения Арсеньевского месторождения (главная жильная серия, второй рудный этап).

Горизонты (глубина от поверхности, м)	Структурная	Метасоматическая		Геохимическая околорудных метасоматитов, содержание бора, г/т	Рудная		
		Дорудные метасоматиты	Околорудные метасоматиты		Фации оруденения	Тип минерализации	Тип сульфидной минерализации
Верхние (до 200 м)	Единичные жилы	Пропилитовые	Карбонатно- гидрослюдистые	50	Сульфосольно- сульфидная	Касситерит- сульфидный	Сульфосольный, полиметаллический
Средние (до 600 м)	Жильно- прожилковые зоны	Пропилитовые	Кварц-хлоритовые	200	Сульфидно- оловянная	Касситерит- силикатный	Полиметаллический, колчеданный
Нижние (до 1000 м)	Линейный штокверк с прожилково- вкрапленным оруденением	Кварц- биотитовые	Кварц-турмалин- мусковитовые	500	Олово- молибденовая	Касситерит- кварцевый	Колчеданный, висмут- молибденовый

Горизонты (глубина от поверхности, м.)	Рудно-гео- химическая		Минералого-геохимическая (г/т)													Термобарогеохимическая				
	(г/т)		Касситерит			Халькопирит			Сфалерит			Галенит				Агрегатное состояние, состав растворов	С, вес. %	Т°С		Давление (атм.)
	Mo	Ag	In	Sc	Nb	In	Ag	Bi	Mn	Cd	In	Ag	Bi	Sb	Mo			Руд	Касси- терита	
Верхние (до 200 м)	2	200	60	27	8	441	625	110	4000	3000	610	1500	3000	200	10	Гидротермальн. бикарбонат- хлоридно- натровые	до 10	300–100	350	100–150
Средние (до 600 м)	10	100	90	21	18	475	583	140	2000	2200	130	1100	2000	500	15	Гидротермальн. натрово- хлоридные	до 30	400–200	400	150–300
Нижние (до 1000 м)	20	50	100	25	22	629	480	140	1000	1800	130	800	1300	400	20	Гетерогенные, с преоблада- нием хлорида натрия	до 60	500–300	450	300–450

вторичные – 200–130°C. В кварце из секущих сульфидных (сфалерит-галенитовых) жил присутствуют включения с $T_{\text{ном}}$ до 350°C.

На более глубоких горизонтах (500 и 600 м от поверхности) начальные температуры образования метасоматитов повышаются до 410°, затем – 430°C, температуры отложения олово-сульфидных руд достигают 400°C. По материалам глубоких (800 м и более от поверхности) скважин, минерализация широтных зон и меридиональных жил на глубине пространственно совмещена в крупном штокверке. Здесь также наблюдается совмещение температурных полей разноэтапных руд. По отдельным сохранившимся фрагментам первичных руд раннего этапа, образование их происходило при температурах 430–475°C (кварцевые турмалиниты) и 400–430°C (олово-сульфидные руды) из пневматолитово-гидротермальных растворов с концентрацией солей не менее 20 вес. % (в пересчете на NaCl).

Сульфидно-сульфосольные руды, наиболее молодые по времени образования, по термометрическим параметрам достаточно определенно диагностируются на самых верхних и самых глубоких горизонтах жильных тел. На верхних горизонтах (поверхность, гор. IV, VI) кварцевые жилы с сульфидно-сульфосольной минерализацией имеют максимальные температуры формирования 320, 340, 360°C (соответственно). На более глубоких горизонтах в составе разноэтапных руд выделить молодую минерализацию по газовой-жидким включениям не представляется возможным. К самой глубинной фации сульфидно-сульфосольных руд нами отнесена грейзеновая минерализация приконтактной зоны гранитного массива Ивановского месторождения. Грейзены на этом месторождении пространственно совмещены с ранними олово-сульфидными и касситерит-кварц-хлоритовыми рудами и в апикальной части слепого гранитного штокообразного тела слагают крутопадающие жильные тела (в экзоконтакте) и пологие зоны (в эндоконтакте). В составе грейзенов главными минералами являются кварц и мусковит, рудные минералы представлены касситеритом, арсенопиритом и халькопиритом. В кварце присутствуют многофазные, трехфазные и газовой-жидкие включения с объемом газа от 10–15 до 75 %. Гомогенизация включений происходила при температурах: газовой-жидких – 425–210°C, жидко-газовых – 470–418°C, многофазных – 570–440°C и трехфазных с галитом – 420–280°C. На основании этих данных делается вывод о высоких температурах образования грейзенов. Представляется доказанным заключение о сложном составе и высокой концентрации (в пересчете на NaCl

превышающей 75 вес. %) минералообразующих растворов, находящихся во взаимодействии с газовой-жидкой фазой рудообразующего раствора.

ГЕНЕЗИС МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Анализ материалов по геологии, магматизму и рудной минерализации Арсеньевского месторождения показывает, что, при общих чертах сходства с другими месторождениями района, ему присущи многие генетические особенности.

На Арсеньевском месторождении со сложным магматизмом пространственно совмещена промышленная оловянная, комплексная сульфидная и вольфрамовая минерализация. Многометалльность и высокая продуктивность руд Арсеньевского месторождения связана с проявлением на его площади минерализации четырех рудно-магматических этапов.

Минерализацию первого этапа представляют ранние оловосульфидные руды в составе широтных турмалиновых зон. Комплексные олово-сульфидные руды с оловом, преимущественно в составе станниана, и высокими концентрациями цинка, меди, свинца, серебра в широтных зонах минерализации не получили глубокого изучения и полной оценки. Запасы руд этого состава в пределах рудного поля и рудного района уникальны.

Со вторым этапом развития рудно-магматического процесса на месторождении связаны промышленные оловянные руды хлоритового типа касситерит-силикатной формации, рентабельная отработка которых продолжалась более 30 лет. Касситерит-сульфидные руды с промышленными содержаниями олова и полиметаллов (Pb + Zn + Cu + Ag) локализируются в телах жильной серии близмеридионального простирания.

К продуктам третьего этапа развития рудно-магматической системы месторождения относятся сульфосольно-сульфидные (верхние горизонты месторождения) и грейзеновые (глубокие горизонты месторождения) руды. Минерализация этого типа с высокими (промышленными) концентрациями серебра, впервые на месторождении выделенная авторами, завершает трехэтапный оловорудный процесс на месторождении и предшествует проявлению заключительной вольфрамовой минерализации (четвертый рудный этап).

В сложной и длительной истории формирования месторождения выделение трех рудных этапов отложения комплексных оловянных и вольфрамовых руд выполнено на основании детального изучения соотношений руд с магматическими породами, на сравнительном анализе вещественного и минерального со-

става, морфологии рудных тел, стадийности, глубинности и зональности оруденения.

Установленные возрастные взаимоотношения интрузивных пород и разнотипных руд (рис. 8), многочисленные определения абсолютного возраста магматитов и руд, выполненные разными исследователями, показывают, что руды первого этапа связаны с магматитами березовского комплекса, имеющими возраст от 100 до 80 млн лет, руды второго этапа – с

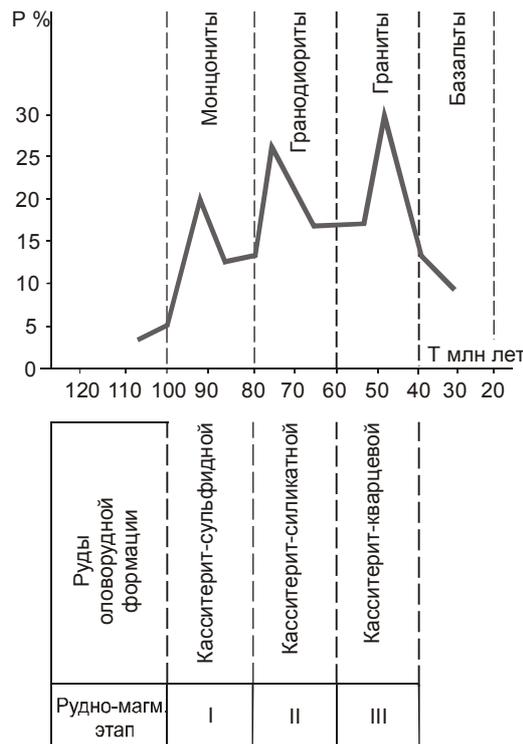


Рис. 10. Гистограмма значений изотопного возраста изверженных пород, руд и околорудных метаседиментов Арсеньевского месторождения.

магматитами новогорско-угловского комплекса (80–60 млн лет), руды третьего этапа – с калиевыми риолитами шумнинского гранитного комплекса, имеющими возраст 60–40 млн лет; поздняя вольфрамовая минерализация на месторождении завершает рудный процесс в период 30–35 млн лет назад до проявления базальтов кузнецовского комплекса (рис. 10).

Для обоснования вывода о принадлежности руд месторождения к четырем рудно-магматическим этапам развития эндогенного процесса привлекаются материалы по вещественному составу рудных тел, их морфологии, условиям образования, стадийности, зональности минерализации [5, 7]. Фактическая информация, раскрывающая особенности эндогенной минерализации и закономерности образования комплексных руд Арсеньевского месторождения, приведена в обобщающих таблицах 1, 2, 3 и суммирована в парагенетической схеме месторождения (рис. 11). Совмещение магматизма и минерализации нескольких рудно-магматических этапов на ограниченной площади приводит к “стиранию” первичных отличительных признаков разнотипных руд, реконструкция которых требует проведения целого комплекса тонких анализов. На данной стадии изучения эндогенной минерализации вывод о формировании Арсеньевского оловорудного месторождения в три рудно-магматических этапа и о проявлении на его площади вольфрамовых руд четвертого этапа можно считать доказанным.

ОЦЕНКА РЕСУРСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Выполненный анализ материалов по геологии Арсеньевского месторождения показывает, что на его площади совмещены комплексные руды четырех рудно-магматических этапов, запасы которых, по предварительным данным, сопоставимы с крупными

Таблица 3. Температуры образования рудных жил Арсеньевского месторождения.

Горизонт	Абсолютная отметка (м)	Морфология рудных тел	Температурный интервал образования жил (°С)	Агрегатное состояние рудообразующих растворов
I	+570		340–80	
II	+530	Жильная	350–90	
III	+490		360–100	Гидротермальное
IV	+450		380–90	
V	+410	Прожилково-жильная	390–110	
VI	+370		420–80	
VII	+330		415–150	Пневматолитово-гидротермальное
VIII	+290		425–70	
IX	+250	Жильно-прожилковая	420–100	
X	+210		430–100	
XVIII	-110		450–130	
XIX	-150	Штокверковая	460–120	Флюидное
XX	-190		470–150	

Рудно-магматический этап	I				II					III				IV	4
	1	Q-Tur	Col	Sulf	2	Q-Ks	Q-Sul			Q-Car	3	Q-Ks	Q-Sul		
Минералы							Col	Pol	Sulf				Pol	Sulf	
Кварц	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Полевой шпат	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Мусковит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Топаз	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Апатит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Спессартин	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Родонит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Турмалин	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Аксинит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Хлорит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Эпидот	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Флюорит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Карбонаты	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Цеолиты	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Касситерит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Вольфрамит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Молибденит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Арсенопирит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Халькопирит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Пирротин	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Пирит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Магнетит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Сфалерит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Галенит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Станнин	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Висмутин	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Блеклая руда	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Буланжерит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Джемсонит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Пираргирит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Гудмундит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Густавит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Аллоклазит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Bi самород.	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Sb самород.	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Au самород.	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Икунолит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Жозеит А и В	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Те-канфильдит	Y	---	---	---	x	---	---	---	---	---	+	---	---	---	---
Возраст (млн л.)	120-85	100-80			100-65	80-60					80-45	60-40		>35	
Температурный диапазон образования руд (°C)		500-100				550-70						600-50		200-100	
Температурный диапазон образования минеральных ассоциаций (стадий)		500-300	400-250	250-100		550-350	350-200	300-150	250-100	200-70		600-300	350-200	250-50	200-100
Состав и концентрация растворов (вес.% в пересчете на NaCl)	Преимущественно хлоридно-натриевый														
		От 35.0 до 10.0				От 45.0 до 5.0						От 60.0 до 3.0		До 10.0	

Рис. 11. Парагенетическая схема Арсеньевского месторождения.

1–4 – интрузивные породы комплексов: 1 – монцитониты березовско-араратского, 2 – гранодиориты новгородско-угловского, 3 – граниты шумнинско-арсеньевского, 4 – базальты суворовского; стадии минерализации: Q-Tur – кварц-турмалиновая, Col – колчеданная; Sulf – сульфосольная, Q-Ks – кварц-касситеритовая, Q-Sul – кварц-сульфидная, Pol – полиметаллическая, Q-Car – кварц-карбонатная, Q-Wol – кварц-вольфрамитовая (гюбнеритовая). Минералы главные – жирная линия, подчиненные – тонкая линия, редкие – пунктирная линия.

промышленными объектами. В течение 30 лет на олово обрабатывались руды касситерит-силикатно-сульфидной формации, сосредоточенные в меридиональной жильной серии центральной части месторождения, сульфидная составляющая оловянных руд при их переработке безвозвратно терялась. В северной части месторождения обнаружены руды I и III рудных этапов с оловом в станнине (руды первого

этапа) и с низкими содержаниями олова (сульфосольно-сульфидные руды третьего этапа). Эти руды не представляют интереса в отношении олова, но содержат промышленные концентрации полиметаллов и серебра и также не имеют полной оценки. В рудном поле месторождения и прилегающих к нему участках, по предварительным данным, комплексные руды также присутствуют в больших объемах [3].

Таблица 4. Ресурсы попутных металлов в комплексных рудах Арсеньевского месторождения.

Рудные участки	Запасы						Среднее содержание					
	Тыс. т					т	% масс.				г/т	
	Pb	Zn	Cu	WO ₃	Ag	In	Pb	Zn	Cu	WO ₃	Ag	In
Северная часть жильной серии (I)	81.8	231.7	71.9	9.2	605	554	1.22	2.22	0.65	0.5	66	48
Южная часть жильной серии (II)	5.6	15.9	6.0	не опр.	52	36	0.38	1.20	0.44	не опр.	40	25
Безымянные жилы северного блока (III)	78.6	218.3	47.0	-«-	451	322	1.05	3.26	0.69	-«-	68	49
Участок Ново-Арсеньевский (IV)	28.0	85.0	25.0	-«-	145	110	1.57	2.73	0.51	-«-	100	51
Участок зоны Поворотной (V)	60.0	90.0	30.0	-«-	450	105	3.3	4.6	0.48	-«-	380	79
Юго-западный участок зоны Восточной (VI)	60.0	30.0	15.0	-«-	130	167	1.35	1.34	0.71	-«-	80	40
Ивановское месторождение	50.0	75.0	25.0	-«-	300	100	2.0	2.0	0.74	-«-	150	52
По рудному полю в целом	364.0	745.9	219.9	-«-	2233	1122	1.55	2.48	0.60	-«-	126	49

Примечание. Римские цифры в скобках соответствуют номерам блоков на рис. 12.

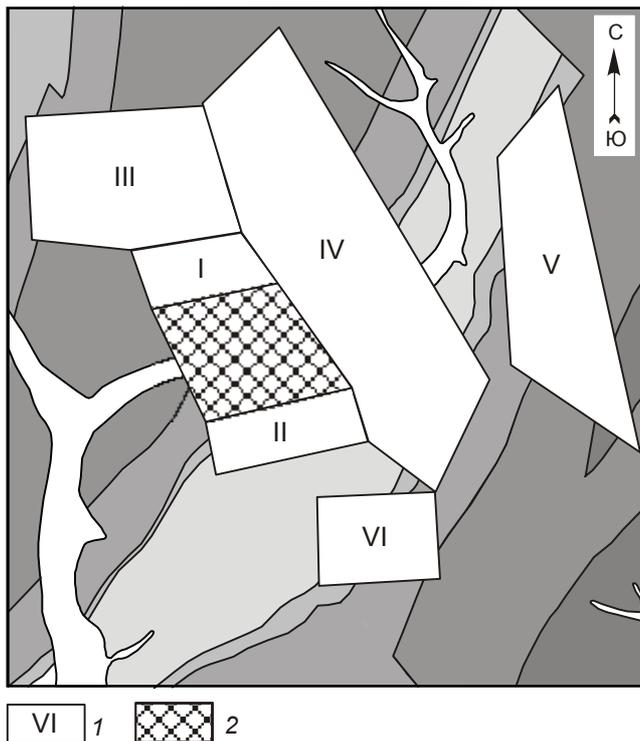


Рис. 12. Схема расположения участков с прогнозными ресурсами руд.

I – участки: I – Северный -1, II – Южный, III – Северный-2, IV – Ново-Арсеньевский, V – Поворотный, VI – Юго-Западный; 2 – оработанный участок. Остальные условные обозначения см. на рис. 2.

Некоторые участки развития сульфидных руд показаны на рис. 12, запасы попутных металлов в рудах этих участков приводятся в табл. 4. В целом по Арсеньевскому рудному полю запасы полиметаллов (Pb + Zn + Cu) в комплексных рудах превышают 1 млн т при среднем содержании суммы металлов около 5 %. Эти руды заключают примерно 2 тыс. т серебра при средней концентрации 120 г/т. Полиметаллические месторождения с эквивалентными запасами сульфидных руд успешно эксплуатируются в мире.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отработка Арсеньевского месторождения как монометалльного оловянного объекта продолжалась около 30 лет. В начале 90-х годов прошлого века по оловянному показателю оно отнесено к нерентабельным и в настоящее время находится на консервации. Полученные материалы в процессе доизучения месторождения свидетельствуют, что принятое решение в период “оптимизации” производства недостаточно обосновано и в полном объеме не учитывает рудный потенциал месторождения.

Исследованиями последних лет доказано, что руды Арсеньевского месторождения представляют собой продукты четырех рудно-магматических этапов и являются комплексными. В них, наряду с оловом, в промышленных концентрациях присутствуют свинец, цинк, медь при высоких (до 300–400 г/т) содержаниях серебра. Концентрации вольфрама в рудах сопоставимы со средними по запасам вольфрамовыми месторождениями. С позиции полихронности и полигенности эндогенной минерализации Ар-

сенъевского месторождения становится очевидной необходимость переоценки рудоносности Кавалеровского района на комплексные руды, прогнозные ресурсы которых достаточны для организации высоко-рентабельного горнорудного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладков Н.Г., Руб М.Г., Руб А.К., Шершаков Б.И. Два разновозрастных этапа оловянного оруденения и их взаимоотношение с магматизмом в Кавалеровском районе Приморья // Докл. АН СССР. 1981. Т. 258, № 2. С. 442–445.
2. Гоневчук В.Г. Оловоносные системы Дальнего Востока: магматизм и рудогенез. Владивосток: ДВО РАН, 2002. 298 с.
3. Кокорин А.М. “Оловянное” прошлое и будущее Приморья // Вестник ДВО РАН. 2003. № 6. С. 78–85.
4. Кокорин А.М., Кокорина Д.К. Температурные особенности оловорудной минерализации Кавалеровского района // Минералогия и геохимия оловорудных месторождений. Владивосток: ДВО АН СССР, 1978. С. 87–127.
5. Кокорин А.М., Кокорина Д.К., Хилик Б.А. Зональность типовых месторождений олова и локальный прогноз (Кавалеровский рудный район) // Генетические модели месторождений и прогнозирование в оловорудных районах. Владивосток: ДВО РАН, 1989. С. 132–141.
6. Кокорин А.М., Кокорина Д.К., Недашковский А.П. Арсеньевское месторождение – уникальный пример комплексных руд Приморья // Тихоокеан. геология. 1996. № 5. С. 83–97.
7. Кокорин А.М., Гоневчук В.Г., Кокорина Д.К. Арсеньевское месторождение // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока. Владивосток: ДВО РАН, 2006. С. 677–684.
8. Кокорина Д.К., Кокорин А.М. Генетические особенности оловорудных месторождений касситерит-силикатно-сульфидной формации (по данным термобарогеохимии) // Геология и металлогения рудных районов Дальнего Востока. Владивосток: ДВО РАН, 1985. С. 68–82.
9. Матюнин А.П. Магматизм как фактор контроля оловянного оруденения в Кавалеровском рудном районе // Генетические модели месторождений и прогнозирование в оловорудных районах. Владивосток: ДВО РАН, 1989. С. 59–66.
10. Неволин П.Л. Динамика формирования и кинематика разрывных систем Арсеньевского оловорудного месторождения (Приморье) // Структуры рудных полей и месторождений вулканических поясов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. С. 32–40.
11. Поповиченко В.В. Взаимоотношения магматизма и оруденения в Кавалеровском рудном районе // Генетические модели месторождений и прогнозирование в оловорудных районах. Владивосток: ДВО РАН, 1989. С. 45–58.
12. Радкевич Е.А., Кокорин А.М., Анахов В.В. и др. Геология, минералогия и геохимия Кавалеровского района. М.: Наука, 1980. 252 с.
13. Руб М.Г., Гладков Н.Г., Павлов В.А., Шершаков Б.И. Новые данные о возрасте магматических образований западной части Кавалеровского района (Приморье) // Изв. АН СССР. Серия геол. 1974. № 12. С. 36–45.
14. Томсон И.Н., Полохов В.П., Полякова О.П. и др. Новый тип оловорудной минерализации в околоинтрузивных зонах Приморья // Изв. АН СССР. Серия геол. 1983. № 4. С. 91–106.
15. Томсон И.Н., Тананаева Г.А., Полохов В.П. Взаимоотношения различных типов оловянного оруденения в Южном Сихотэ-Алине (Россия) // Геология руд. месторождений. 1996. Т. 38. № 4. С. 357–372.
16. Финашин В.К., Литаврина Р.Ф., Косенко В.И. и др. Об абсолютном возрасте оловянного оруденения Кавалеровского рудного района // Рудоносность Дальнего Востока. Владивосток: ДВО АН СССР, 1978. С. 71–74.
17. Финашин В.К. Оловорудные месторождения Приморья (геология и генезис). Владивосток, 1986. 176 с.
18. Шершаков Б.И. Структурно-генетическая модель Арсеньевского оловорудного месторождения // Генетические модели месторождений и прогнозирование в оловорудных районах. Владивосток: ДВО РАН, 1989. С. 75–79.

Рекомендована к печати Н.А. Горячевым

A.M. Kokorin, D.K. Kokorina, A.A. Orekhov

Multi-metal content and high productivity of local ore-magmatic systems of the Sikhote-Alin (as exemplified by the Arsenyevsk deposit, Kavalerovo district)

The Arsenyevsk deposit with large tin reserves is traditionally considered a standard occurrence of the Kavalerovo tin-ore district. The authors' new material adds new information to the conclusions about its genesis, and hence it is inferred that the deposit combines the products of three tin-ore formations and tungsten mineralization which completes the development of the ore-magmatic process. Ores of different stages related to different magmatic complexes represent the tin-sulfide, cassiterite-sulfide-silicate, and cassiterite-quartz formations and are complex in composition (Sn, Pb, Zn, Cu, and Ag).

Large volumes of multi-metal ores of the Arsenyevsk deposit have been prepared for mining; and their reserves can be doubled given minor additional expenditures. The probable reserves of complex ores of the Arsenyevsk and other ore fields of the Kavalerovo district exceed by an order the known reserves and can provide for highly profitable ore-mining production.

Key words: tin, complexity of ores, zoning, ore-magmatic stage, Arsenyevsk deposit, Sikhote-Alin.