



Доброшевский Константин Николаевич

**ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И
МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАЛИНОВСКОГО
ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЦЕНТРАЛЬНОЕ ПРИМОРЬЕ)**

**Специальность 25.00.11 – геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых, минерагения**

Автореферат

диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Дальневосточном геологическом институте Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Научный руководитель:

член-корреспондент РАН,
Горячев Николай Анатольевич

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук,
главный научный сотрудник,
ФГБУН Институт природных ресурсов, экологии и
криологии СО РАН, г. Чита,
Юргенсон Георгий Александрович

кандидат геолого-минералогических наук,
и.о. заведующего лабораторией,
ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО
РАН, г. Иркутск,
Будяк Александр Евгеньевич

Ведущая организация:

ФГБУН Геологический институт СО РАН,
г. Улан-Удэ

Защита диссертации состоится 25 октября 2019 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 005.006.01 при Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН по адресу: 690022, г. Владивосток, пр-т 100 лет Владивостоку, 159.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке ДВО РАН и на сайте <http://www.fegi.ru>

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета к.г.-м.н. Перевозниковой Елене Валериевне по адресу: 690022, г. Владивосток, пр-т 100 лет Владивостоку, 159, ДВГИ ДВО РАН.
E-mail: elena_valper@yandex.ru

Автореферат разослан « » августа 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,

кандидат геолого-минералогических наук



Е.В. Перевозникова

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Горнодобывающая отрасль является одной из важнейших составляющих экономики современной России. Добыча и производство золота - это наиболее перспективное направление развития горнорудной промышленности. В последние годы в России существенно возросла золотодобыча, что ставит перед геологоразведочной службой задачи по восполнению его сырьевой базы, в том числе и в Приморье. Основными проблемами обеспечения горнодобывающих предприятий Приморья запасами золота являются отработанность ранее эксплуатируемых россыпей и слабая изученность известных наиболее перспективных коренных золоторудных проявлений. Одним из таких золоторудных объектов является Малиновское месторождение, расположенное в Центральном Приморье на территории Дальнереченского муниципального района. Месторождение относится к золото-сульфидно-кварцевой формации и характеризуется сложным поликомпонентным составом руд, где основную промышленную ценность имеют золото, серебро и медь.

Цель и задачи исследований. Целью работы является изучение геолого-структурных и геохимических особенностей Малиновского месторождения для оценки перспектив его освоения.

Основные задачи:

1. Изучить геолого-структурные особенности рудного поля месторождения и установить связь с морфологией рудно-минерализованных зон и жил.

2. Изучить вещественный состав руд, окологорудных метасоматитов и типоморфные особенности отдельных минералов.

3. Построить ряд вертикальной геохимической зональности, выявить корреляцию и линейную продуктивность основных элементов на разных гипсометрических уровнях. Определить уровень эрозионного среза месторождения и дать его перспективную оценку.

4. На основе полученных данных построить модель формирования месторождения.

Фактический материал и методы исследования. В основу работы положен фактический материал, собранный непосредственно автором с 2010 по 2016 гг. во время выполнения поисково-оценочных и разведочных работ на месторождении Малиновском в качестве главного геолога. Автором лично были составлены карты, схемы и разрезы месторождения, произведена документация полотна канав и керн скважин. Диссертация базируется на детальном анализе первичной геологической информации (5868 пог.м. полотна канав и 10083.6 пог.м. скважин колонкового бурения) и значительной аналитической базе. В процессе работ спектральным анализом на 22 элемента и химико-спектральным анализом на золото было проанализировано 12028 проб, пробирным анализом на золото и серебро 2090 пробы, химическим анализом на медь, висмут, свинец, цинк, кобальт и триоксид вольфрама 879 проб, атомно-адсорбционным анализом на золото и серебро 730 проб. Анализы были выполнены в Центральной лаборатории ФГУП «Дальгеофизика» и Центральной лаборатории АО «Приморгеология». Вещественный состав руд был изучен в Аналитическом центре ДВГИ Дальневосточного отделения РАН на основании более 50 аншлифа и 40 прозрачных шлифов. Состав сульфидных, в том числе редких минералов и самородного золота был заверен на рентгено-спектральном микроанализаторе JXA-8100. Петрография вмещающих пород изучалась на основании 118 прозрачных шлифов в лаборатории АО «Приморгеология». Определение изотопного возраста пород было выполнено в Центре изотопных исследований (ЦИИ) ВСЕГПИ и в Лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН (г. Москва). Обработка материалов осуществлялась с помощью компьютерных программ Word, Excel, CorelDraw X5, AutoCAD, Surfer, Stereo 2.46, SigmaPlot 12.0.

Научная новизна. Впервые в пределах Сихотэ-Алиньского орогенного пояса выявлено благородно-метальное оруденение золото-турмалинового типа, подобное месторождениям Монголо-Охотского пояса. Показано, что оно, как и для аналогов Монголо-Охотского пояса связано с геодинамической обстановкой скольжения крупных литосферных блоков.

Установлено, что рудные тела представлены линейными штокверковыми зонами и жилами, приуроченными к зонам растяжения, образовавшимися в результате левосдвиговых дислокаций вдоль ССВ разломов. Наиболее продуктивные участки - это места сочленения или смены направления разрывов. Выявлены наиболее благоприятные для рудоотложения направления. Впервые получены возрастные датировки вмещающих оруденение монцитов (105 млн. лет) и прорывающих их риолитов (66 млн лет), а также время рудообразования - 77-93 млн лет. Определен возраст гранитов массива Горного (86 млн лет).

Доказано, что продуктивной на месторождении является золото-висмутовая (с серебром, медью, мышьяком, цинком и кобальтом) ассоциация. Установлен геохимический фон пород, вертикальная зональность рудоотложения, выраженная в смене (снизу – вверх) ассоциаций элементов, которая имеет вид W-Be-Sn-Au-Bi-Cu-Ag-Mo-Mn-Ni-Pb-Cr-Co-As-Zn-Sb. Уровень эрозионного среза месторождения определен как верхнерудный.

Практическая значимость.

Материалы, положенные в основу диссертации вошли в производственные отчеты с подсчетом ресурсов и запасов месторождения как самостоятельные главы и разделы.

Защищаемые положения.

1. Малиновское месторождение представляет собой нетрадиционный для Сихотэ-Алиньской металлогенической провинции турмалин-кварц-сульфидный тип золотого оруденения. Оно характеризуется приуроченностью к зоне растяжения, образовавшейся в результате левосдвиговых дислокаций. По геологическому строению и минеральному составу руд оно сопоставимо с золоторудными объектами золото-турмалинового типа восточного Забайкалья, формирование которых сопряжено с позднемезозойским гранитоидным магматизмом

2. Жильно-прожилковые руды Малиновского месторождения представлены разностадийными кварц-сульфидными, кварц-карбонат-сульфидными и сульфидными образованиями с последовательной сменой (от ранних к поздним) шеелит-кварцевой, турмалин-арсенопирит-кварцевой, турмалин-пирит-халькопирит-пирротин-кварцевой и халькопирит-пирротиновой ассоциаций, каждая из которых сопровождается проявлениями золотой и сопутствующей висмутовой минерализацией. Основные концентрации Au в рудах сосредоточены в арсенопирите и халькопирите, которые содержат микровыделения самородного золота, (редко – мальдонита и аурустибита), а также самородного висмута, висмутина и и Pb-Sb-Bi сульфосолей.

3. Геохимические особенности золотого оруденения определяются наличием в жильно-метасоматических телах пространственно совмещенных золото-вольфрамовой (W-Au-Ag-Cu-Bi-As) и золото-висмутовой (Au-Ag-Bi-Cu-As-Co) геохимических ассоциаций, отражающие многостадийный процесс рудоотложения и металлогеническую специфику рудного объекта. Для рудных тел месторождения установлен геохимический ряд вертикальной зональности элементов, позволяющий, оценить уровень эрозионного среза золотого оруденения как верхнерудный.

4. Геолого-геодинамические условия формирования рудных тел Малиновского месторождения и их минералого-геохимические особенности определены возникновением оруденения в период смены геодинамической обстановки скольжения плит на субдукционную активной континентальной окраины, что зафиксировано в структурно-

динамических особенностях рудных тел и характеристиках позднемеловых гранитоидов рудного поля.

Апробация работы.

По теме диссертации опубликовано четыре статьи в журналах, входящих в список ВАК, а также производственный отчет. Основные положения диссертации были представлены и докладывались на четырех конференциях: Третья российская молодежная школа с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования» (Москва 2013); Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит. Материалы Второй Всероссийской конференции с международным участием, (Владивосток 2014), IV Российская молодежная научно-практическая школа с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования» (Москва 2014), Золото Монголо-Охотского орогена: геология, геохимия, минералогия, генезис. Материалы рабочего совещания, (Иркутск 2016), а также на НТС «Приморнедра» и АО «Приморзолото».

Объем и структура диссертации. Объем рукописи 169 страницы машинописного текста и состоит из Введения, 6-и глав, Заключения и Списка литературы, содержит 37 таблиц, 68 рисунков.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность моим научным руководителям: чл.-корр. РАН Н.А. Горячеву, д.г.-м.н. Гвоздеву, к.г.-м.н. А.С. Ваху, за понимание, помощь и поддержку в разработке данной диссертации. Автор глубоко признателен сотрудникам ДВГИ ДВО РАН чл.-корр. РАН В.Г. Сахно, д.г.-м.н. В.Г. Хомичу, д.г.-м.н. В.А. Степанову, д.г.-м.н. В.Т. Казаченко, д.г.-м.н. В.Г. Гоневчуку, д.г.-м.н. В.М. Ненахову, д.г.-м.н. В.В. Голозубову, к.г.-м.н. С.А. Касаткину, генеральному директору МИФ «Экоцентр» С.А. Шлыкову, чьи советы и рекомендации были учтены при подготовке диссертационной работы. Автор благодарит сотрудников ДВГИ ДВО РАН к.г.-м.н. В.А. Пахомову, к.г.-м.н. Б.И. Семеняк, к.г.-м.н. А.Н. Митрохина, к.г.-м.н. А.В. Гребенникова, к.г.-м.н. П.Л. Неволлина, Г.Р. Саядян, А.А. Орехова, специалистов АО «Приморгеология» заслуженного геолога РФ А.Н. Родионова, Г.С. Белянского, А.Н. Найдено, А.Е. Шелехова, Л.А. Пезенину за общение и беседы, которые способствовали формированию взглядов автора на геологию района и генезис Малиновского месторождения.

Автор признателен геологу ООО «Малиновская золоторудная компания» Л.Г. Филипась за поддержку и ценные советы при компьютерной обработке графических материалов.

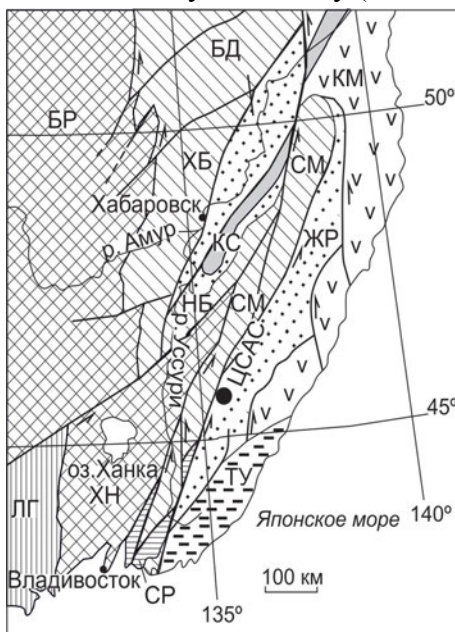
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МАЛИНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Малиновское золоторудное месторождение расположено в верховьях р. Малиновка, в бассейнах кл. Малая Чертова Лапа, Маячный, Лагерный, Топографический, Намов. Первые сведения о золотоносности этой территории были получены в результате геологосъемочных работ (Максименко, 1970 ф), когда была установлена знаковая золотоносность аллювия правых притоков реки Малиновка. В восьмидесятые годы прошлого века специалистами Геологосъемочной экспедицией ППГО «Приморгеология» на данной площади были проведены поисковые работы, по результатам которых было выявлено перспективное Малиновское рудопроявление (Родионов, Зенин 1983 ф; Родионов 1988 ф). В 2010-2012 г.г. ООО «Малиновская золоторудная компания» провела поисково-оценочные работы на месторождении, по результатам которых был посчитаны ресурсы по категории P_1 , а также рекомендовано проведение дальнейших разведочных работ с целью оценки промышленной значимости этого рудного объекта (Доброшевский, и др. 2012 ф).

В геолого-структурном плане месторождение расположено в переходной зоне между Евразийским континентом и Тихоокеанской плитой (Ханчук и др., 1988; Кемкин, 2003; Голозубов, 2006) и приурочено к Центрально-Сихотэ-Алинскому сдвигу (ЦСАС), который является тектонической границей между Самаркинским и Журавлевским террейнами

(Ханчук, 2000). В металлогеническом плане месторождение находится в центральной части Сихотэ-Алинской золотоносной провинции и входит в состав западного ареала Краевой золото-редкометалльной зоны Приморья (Эйриш, 2003). На Государственной карте полезных ископаемых Приморского края масштаба 1:1000000 месторождение Малиновское расположено на территории Скрытого золото-вольфрамового узла Малиновской рудной площади (Углова, Рязанцева, 2007 ф), в пределах которой находятся скарновые шеелит-сульфидные месторождения (Скрытое и Кордонное), а также ряд гидротермальных рудопроявлений с вольфрам-молибденовой и олово-полиметаллической минерализацией.

Рудное поле месторождения локализовано в пределах Журавлевского террейна, непосредственно в зоне влияния Центрального Сихотэ-Алинского сдвига (рис. 1). Образования Журавлевского террейна представлены нижнемеловыми вулканогенно-осадочными и осадочными породами Журавлевской (алевролиты, песчаники, аргиллиты, туфы кислого состава) и Ключевской (песчаники, алевролиты) свит (Белянский, 2011 ф). На терригенных отложениях нижнего мела несогласно залегают верхнемеловые вулканогенные и вулканогенно-осадочные отложения Дорофеевской и Богопольской свит. Породы Дорофеевской свиты, распространённые непосредственно в зоне Центрального Сихотэ-Алинского сдвига, представлены туфоконгломератами, туфопесчаниками, а также туфами андезитов и дацитов (Белянский 2011 ф). Отложения Богопольской свиты трахориолитовой формации, представленные мелкими экструзиями и сопровождающими их покровными образованиями, слагают в южной части рудного поля Ороченско-Малиновскую вулканотектоническую впадину (Белянский 2011 ф).



- 1 – Докембрийские-раннепалеозойские террейны (ХН – Ханкайский, БР – Буреинский);
- 2– палеозойские террейны ЛГ – Ляозин-Гродековский);
- 3 – фрагменты аккреционных призм (СМ – Самаркинский, НБ – Наданьхада-Бикинский, ХБ – Хабаровский, БД – Баджалский);
- 4 – фрагменты докембрийского-раннепалеозойского континента (СР – Окраинско-Сергеевский);
- 5-7 раннемеловые террейны (ТУ – Таухинский, ЖР – Журавлевский, КМ – Кемский);
- 8 – фрагмент альбской аккреционной призмы (КС – Киселевско-Маноминский);
- 9 – левые сдвиги (ЦСАС – Центрально Сихотэ-Алинский сдвиг; 10 – Малиновское золоторудное месторождение.

Рис. 1 Положение золоторудного месторождения Малиновское (Центральное Приморье) на геодинамической схеме террейнов Сихотэ-Алинского орогенного пояса и прилегающих территорий (Голозубов, 2006; Ханчук и др., 2006).

Магматические образования имеют широкое распространение по площади Малиновского месторождения. Они представлены раннемеловыми интрузивными образованиями Татибинского и позднемеловыми Дальнегорского комплексов, а также мелкими интрузивными телами и дайками Дорофеевского и Богопольского комплексов позднемелового и позднемелового-палеогенового возрастов соответственно (Белянский, 2011 ф). Интрузивные породы Татибинского комплекса слагают Водораздельный массив, сложенный габбромонцонитами, габбромонцодиоритами, монцонитами, который прорывает осадочные породы Журавлевской и Ключевской свит, образуя на площади месторождения интрузивно-купольную структуру, полого погружающуюся в юго-восточном направлении

(Доброшевский и др., 2012 ф; Степанов и др., 2013). Интрузивные породы Татибинского комплекса прорываются многочисленными дайками трахибазальтов, трахиандезибазальтов, риодацитов и риолитов Дорофеевского и Богопольского комплексов.

Структурные особенности месторождения определяются особенностями тектонического развития территории, которые связаны с формированием Центрально-Сихотэ-Алинского сдвига (ЦСАС) (Уткин, 1989). Зона ЦСАС проявлена серией разрывов нескольких порядков, сопровождаемых зонами дробления, трещиноватости и милонитизации с реликтами первичной породы (Иванов, 1961, 1972).

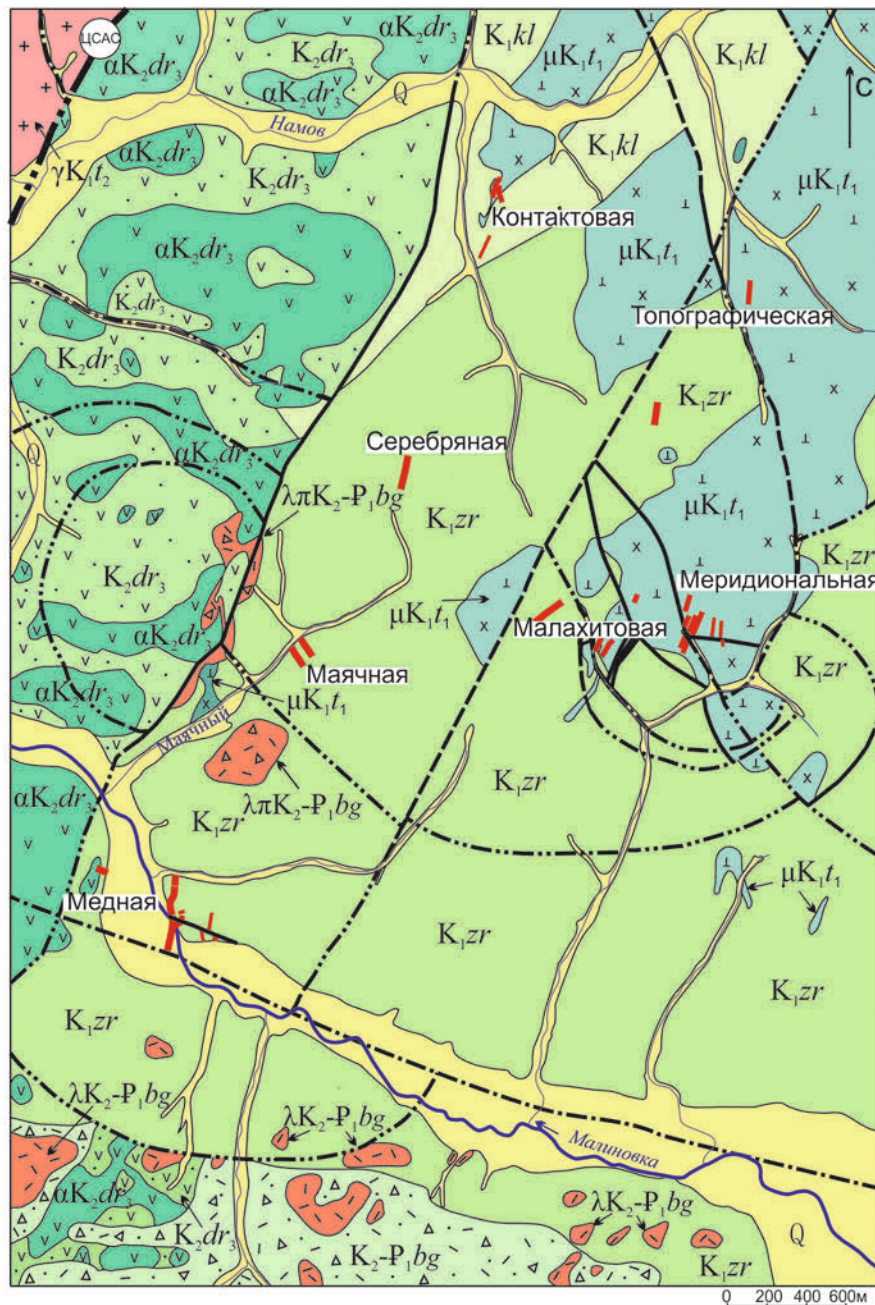
По данным структурно-тектонических исследований, Малиновское месторождение примыкает к ЦСАС, и находится в юго-западной части крупной складчатого сооружения, основу которого составляет (в качестве структуры 1-го порядка) Колумбинский свод (Неволин и др., 2016). Последний представляет собой асимметричное антиформное сооружение. Сводовая его часть осложнена многочисленными разломами и обладает значительным уровнем проницаемости и весьма благоприятна для флюидно-магматических инъекций. В пределах этой структуры расположены несколько месторождений: Глухое, Встречное, Мельничное (Неволин и др., 2016).

По результатам поисково-оценочных работ на площади месторождения выделено семь рудных зон (Меридиональная, Малахитовая, Топографическая, Контактная, Маячная, Серебряная, Медная), которые локализованы непосредственно в интрузивных породах Водораздельного массива, а также в его экзоконтакте, в осадочных породах Журавлевской свиты (Родионов, 1988 ф; Доброшевский и др., 2012 ф) (рис. 2). Наиболее изученной является зона Меридиональная, которая на данный момент является наиболее перспективным рудным объектом месторождения.

Рудные тела месторождения имеют преимущественно субмеридиональное, северо-восточное простирание. Они представлены линейными жильными зонами и отдельными жилами сульфидно-кварцевого, сульфидно-карбонат-кварцевого и сульфидного составов. Жильные зоны представляют собой линейные штокверки, состоящие из одной или нескольких сближенных субпараллельных жил, которые сопровождаются зонами околожильных метасоматитов с прожилково-вкрапленной и вкрапленной сульфидной минерализацией. В составе метасоматитов отмечается широкое развитие хлорита, мусковита и турмалина. Протяженность рудных тел месторождения составляет 100-250 м при мощности от 1 до 20 метров (Доброшевский и др. 2012 ф; Степанов и др., 2013).

Рудные тела месторождения сложены преимущественно кварцем, карбонатом, хлоритом и турмалином, реже в их составе встречаются полевые шпаты, мусковит, эпидот, флюорит, апатит. Сульфидная минерализация в рудных телах распределена крайне неравномерно. Количество сульфидов в рудах изменяется в широких пределах – от 5-7 до 80 %, в среднем составляя 10-15 %. Основными сульфидными минералами являются арсенопирит, пирит, халькопирит и пирротин. Гораздо реже в составе руд отмечается шеелит, молибденит, магнетит, сфалерит, галенит, блеклая руда (тетраэдрит), самородное золото, самородный висмут, сульфотеллуриды висмута (группа жозеитов), теллуриды висмута (хедлейит), висмутин, икунолит, сложные сульфосоли систем Pb-Bi-Sb-S (Sb-козалит, кобеллит), Pb-Bi-Sb-S (бурнонит) и Pb-Bi-Ag-S (лиллианит-густовитовая серия) и др. Содержания основных полезных компонентов в рудах месторождения крайне неравномерное и колеблется в широком интервале: Au – 0.1-231.1 г/т, Ag – 1-159.9 г/т, Cu – 0.1-12.0 %, Bi – 0.001-1.06%, WO₃ – 0.01-9.01%.

В распределении рудной минерализации на месторождении отмечаются определенные черты горизонтальной зональности. Рудные тела зон Медная, Малахитовая и Меридиональная, с Au-Bi минерализацией, содержат в своем составе наиболее высокие

























	Четвертичные отложения. Галечники, валуны, пески, глины и суглинки (Q).		Граниты.
	Ключевская свита. Песчаники, алевролиты, их переслаивание (K,kl).		Габбро, габбро-диориты.
	Журавлевская свита. Алевроаргиллиты, алевролиты, песчаники (K ₁ zr).		Диориты.
	Богопольская свита. Туфы, туфолавы, риолитов, туфопесчаники (K ₂ -P ₁ bg).		Андезиты.
	Богопольский комплекс. Дайки риолитов и риодацитов (λK ₂ -P ₁ bg).		Туфы среднего состава.
	Дорофеевская свита. Андезиты, андезибазальты, реже их туфы (K ₂ dr ₃).		Риолиты массивные.
	Дорофеевский комплекс. Дайки андезитов, андезибазальтов (αK ₂ dr ₃).		Туфы риолитов псефитовые и агломератовые.
	Татибинский комплекс. Вторая фаза. Граниты, гранит-порфиры (γK ₂ O ₂).		Эксплозивные брекчии кислого состава.
	Татибинский комплекс. Первая фаза. Монцодиориты, монцогаббродиориты (μK ₁ t ₁).		Минерализованные зоны и жилы.
			Тектонические нарушения:
			1 - установленные; 2 - предполагаемые,
			3-перекрытые аллювием, 4 - выделенные по дешифрированию аэрофотоснимков по геофизическим данным.
			Центральный Сихотэ-Алинский сдвиг (ЦСАС)

Рис. 2. Геологопоисковая карта месторождения Малиновское. Составлена Доброшевским К.Н. (2012 ф) с использованием материалов Родионова А.Н. (1988 ф).

концентрации WO_3 и Cu . Просматривается тенденция падения содержаний WO_3 и Cu в рудах в направлении с юго-запада на северо-восток месторождения.

Таким образом, Малиновское золоторудное месторождение Центрального Приморья, локализованное в зоне влияния Центрального Сихотэ-Алинского разлома, является представителем гидротермального жильного кварц-турмалин-сульфидного оруденения $Au-Vi$ типа в пределах Сихотэ-Алинской золотоносной провинции.

ПЕРВОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Малиновского месторождения представляет собой нетрадиционный для Сихотэ-Алинской золотоносной провинции турмалин-кварц-сульфидный тип золотого оруденения. Оно характеризуется приуроченностью к зоне растяжения, образовавшейся в результате левосдвиговых дислокаций. По геологическому строению и минеральному составу руд оно сопоставимо с золоторудными объектами золото-турмалинового типа Восточного Забайкалья, формирование которых связано позднемезозойским гранитоидным магматизмом.

Рассматриваемое месторождение расположено в Дальнереченском муниципальном районе Приморского края, который достаточно хорошо освоен и имеет развитую инфраструктуру. Месторождение имеет значительные сходства с крупным по запасам месторождением Дарасунским в Забайкальском крае, которое эксплуатируется уже долгие годы (Тимофеевский, 1972).

Формирование обоих месторождений связано с геодинамической обстановкой скольжения крупных литосферных блоков, что, вероятно и явилось благоприятным фактором для формирования сети рудоподводящих каналов и, как следствие, поступлению рудоносных растворов (Ханчук, 2000; Спиридонов, 2003; Горячев и др., 2013, 2014).

В обоих случаях, важными аспектами является:

1. Наличие крупных трансформных сдвигов, вдоль границы скольжения литосферных плит, пространственно совпадающих с крупными интрузивно-купольными или очагово-депрессивными структурами (Ханчук, 2000; Спиридонов, 2003; Горячев и др., 2013, 2014).

2. Наличие монзонитоидного магматического комплекса, имеющего мантийные корни (Горячев, Бердников, 2006; Сахно и др., 2013).

Подобные структуры типичны для Монголо-Охотского региона как раз там, где расположены комплексные золото-турмалиновые месторождения (Прокофьев и др., 2000; Горячев и др., 2013, 2014, 2016).

В метасоматических породах и рудах широко распространены минералы обогащенные калием, летучими элементами (F , B , Cl , CO_2 и др.), элементами семейства железа (Ni , Co и др.) и литофильными (W , Mo , Pb и др.), что указывает их на близкую характеристику обоих объектов (Спиридонов и др., 2006; Гвоздев и др., 2014; Степанов и др., 2014).

Рудные тела на Малиновского и Дарасунского месторождений сформированы в условиях левосдвиговых дислокаций и представлены жилами и линейными жильными зонами с крутым падением и сложной морфологией. Они выполняют трещины, оперяющие основной сдвиг.

Важной особенностью формирования Малиновского месторождения является локализация его в пределах зоны соседвигового растяжения, сформированной за счет левоступенчатого перекрытия несоосных левых сдвигов ЦСАС. Экспериментальные данные Риделя (Riedel, 1929) и других исследователей (Стоянов, 1977; Sylvester, 1988) иллюстрируют процесс формирования подобных зон (рис. 2). Специальных структурно-тектонических исследований на месторождении не проводилось, однако при документации

горных выработок проводились замеры разрывных нарушений, контактов даек, рудных жил и прожилков (всего 1165 замеров). Анализ пространственного распределения тектонических

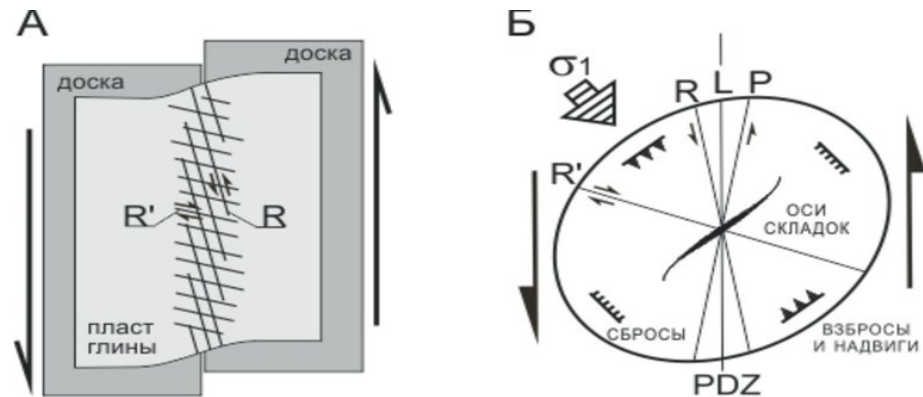


Рис. 2. Схема эксперимента Риделя (Riedel, 1929) (А) и парагенезис структурных элементов в условиях левосдвиговых дислокаций (Б) (Стоянов, 1977, Sylvester, 1988).

R и 'R– сопряженные сколы Риделя, P – сколы, L – сколы; PDZ – генеральное направление сдвиговой зоны; стрелки направление смещения вдоль сдвигов; σ_1 – ориентировка сжатия. нарушений позволил выявить доминирующие системы разрывов на площади Малиновского месторождения. На диаграмме ориентировки разрывов (рис. 3) отчетливо выделяются три основных системы разрывов.

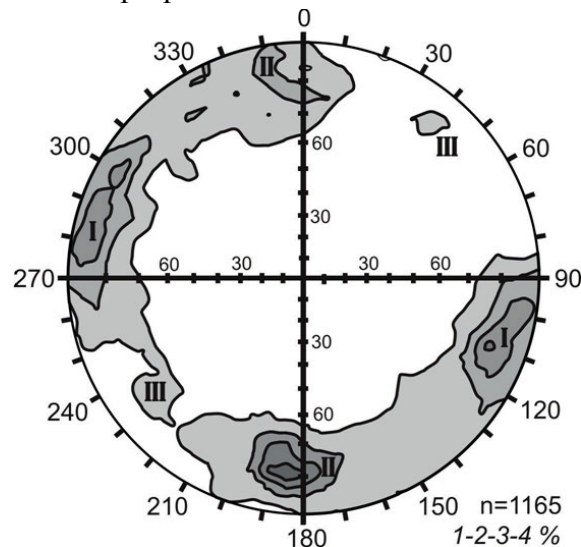


Рис. 3. Суммарная диаграмма ориентировки разрывов зоны Меридиональной.

В проекции на верхнюю полусферу сетки Вульфа, изображены изолинии плотности в процентах; n = количество замеров.

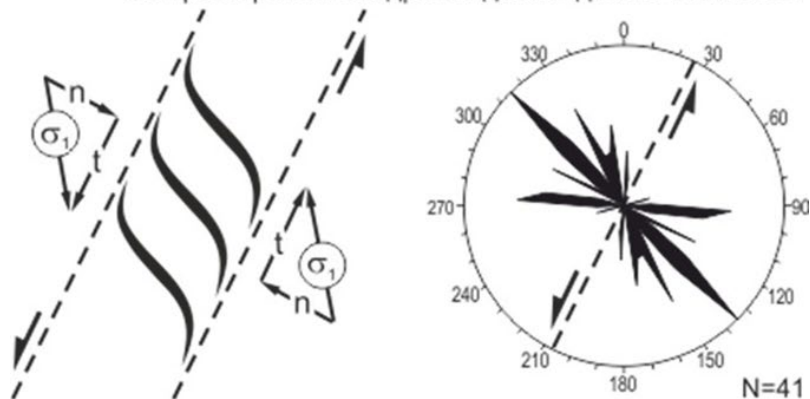
Первая система – рудные прожилки, жилы, трещины и зоны расланцевания, которые нередко сопровождают рудные тела.

Вторая система представлена разрывами близширотного простирания, карбонатными прожилками, зонами флюорит-сульфидно-кварц-карбонатных брекчий и дайками риолитов, которые разрывают со смещением рудные тела.

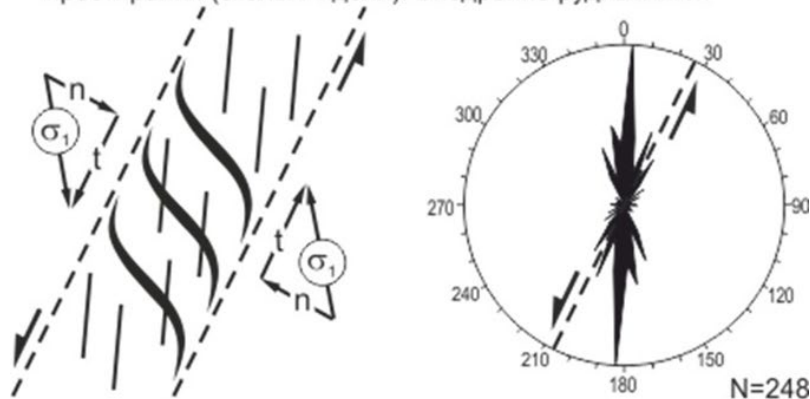
Третья система характеризует многочисленные дайки андезитов и андезибазальтов Дорофеевского комплекса, разрывы северо-западного простирания.

Для исследования эволюции развития сдвиговых дислокаций на месторождении были построены розы-диаграммы простираний для различных по возрасту и составу инъекционных структур (даек) рудно-магматической системы. Основные этапы развития сдвиговых дислокаций показаны на рис. 4.

1 этап. Формирование кулисообразных структур растяжения СЗ простирания. Внедрение даек андезито-базальтов.



2 этап. Формирование разрывов субмеридионального простирания (сколы Риделя). Внедрение рудных жил.



3 этап. Формирования трещин отрыва ЗСЗ простирания. Внедрение даек риолитов.

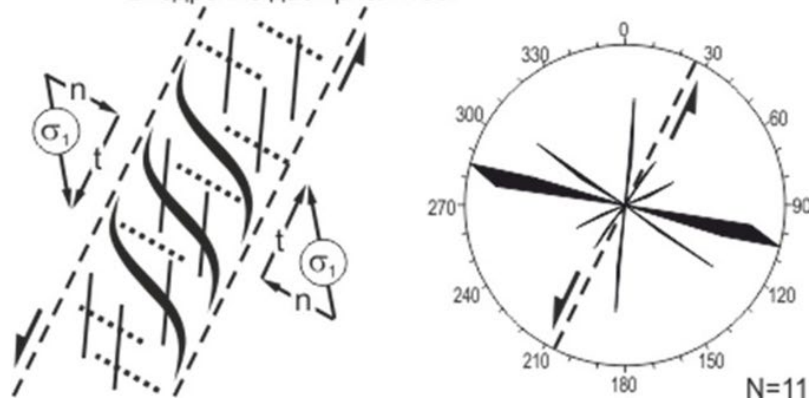


Рис. 4. Основные этапы развития инъекционных структур на площади Малиновского месторождения (зона Меридиональная).

σ_1 – генеральная ориентировка сжатия и ее составляющие, реализующиеся в сдвиговых зонах: нормальная – n и тангенциальная (сдвиговая) – t ; пунктир – границы сдвиговой зоны, стрелки – направления смещения вдоль нее. N – количество замеров.

На первом этапе с развитием левосдвиговых дислокаций под действием ССЗ сжатия формировались эшелонированные структуры сосдвигового растяжения, которые позднее были выполнены дайками андезибазальтов и базальтов Дорофеевского комплекса.

На втором этапе продолжающиеся развитие левосдвиговых дислокаций способствовало образованию ССЗ-ССВ разрывов, которые оказались благоприятными для поступления рудоносных растворов и формирования продуктивных сульфидных, сульфидно-кварцевых и сульфидно-карбонатно-кварцевых прожилков и жил.

На третьем, завершающем этапе, образовавшиеся ЗСЗ разрывы выполнялись риолитами, отнесенными к Богопольскому комплексу. К этому же этапу можно отнести субширотные трещины и разрывы, а также зоны флюорит-сульфидно-кварц-карбонатных брекчий секущие с небольшой амплитудой смещения продуктивные рудные тела и отдельные прожилки.

Процесс формирования руд и их вещественный состав на обоих месторождениях имеет значительные сходства. На Дарасунском месторождении известны жилы кварц-молибденового состава. Ввиду незначительного их количества Д.А. Тимофеевский не выделял их в отдельную стадию, но относил к наиболее ранним минеральным образованиям (Тимофеевский, 1972). На Малиновском месторождении молибденит встречается только на ранней стадии, в шеелит-кварцевой ассоциации (Гвоздев и др., 2016). Для ранних этапов рудообразования характерно наличие в околожильных метасоматитах наряду с кварцем и хлоритом – турмалина (шерл). В дальнейшем, на обоих объектах турмалинизация сменяется хлоритизацией и серицитизацией вмещающих пород, которые нередко корродируют более ранние минеральные образования.

Несмотря на то, что самородное золото присутствует практически на всех стадиях минералообразования, наиболее продуктивными на обоих месторождениях являются минеральные ассоциации, характеризующиеся обилием сложных сульфосолей Pb и Cu, теллуридов, сульфотеллуридов висмута, висмутовых минералов. Для Дарасунского месторождения это пирротин-тетраэдрит-бурнонит-халькопиритовая ассоциация, для Малиновского – турмалин-пирит-халькопирит-кварцевая (Тимофеевский, 1972; Доброшевский и др., 2012 ф). Самородное золото, как правило, тонкодисперсное и не представлено крупными выделениями.

Важной составляющей процесса формирования руд на Дарасунском месторождении являются галенит-сфалеритовая и кварц-сульфоантимонитовая минеральные ассоциации (Тимофеевский, 1972; Спиридонов и др., 2006). На Малиновском месторождении таких самостоятельных ассоциаций нет, однако минералы этих ассоциаций широко представлены. Галенит относится к редким минералам и встречается в шеелит-кварцевой, турмалин-арсенопирит-кварцевой и турмалин-пирит-халькопирит-пирротин-кварцевой ассоциациях в виде единичных кристаллов. Сфалерит достаточно распространенный минерал. Характерен для всех продуктивных минеральных ассоциаций месторождения, где нередко встречается в виде эмульсионной вкрапленности (структура распада твердого раствора) в халькопирите. В сфалерите также часто наблюдается эмульсионная вкрапленность халькопирита. Следует отметить, что на Дарасунском месторождении в сфалерите установлена эмульсионная вкрапленность халькопирита (Тимофеевский, 1972; Спиридонов и др., 2006). Сульфоантимониды свинца на Малиновском месторождении представлены бурнонитом и буланжеритом, которые формировались преимущественно в турмалин-пирит-халькопирит-пирротин-кварцевую ассоциацию.

Краткая сравнительная геологическая характеристика обоих объектов приведена в таблице 1.

Таким образом, важным фактором формирования Малиновского месторождения является наличие крупного трансформного сдвига, вдоль границы скольжения плит, а также наличие монзонитоидного магматического комплекса, имеющего мантийные корни. Подобные геолого-структуры типичны для Монголо-Охотского региона как раз там, где расположены комплексные золото-турмалиновые месторождения (Дарасунское, Талатуйское, Ключевское и др.) (Прокофьев и др., 2000; Спиридонов, 2003; Горячев, Бердников, 2006). Для Малиновского месторождения этими условиями обусловлено проявление кварц-турмалин-сульфидной минерализации с золотом.

Краткая геологическая характеристика месторождений Малиновского и Дарасунского

Геологическая ситуация	Малиновское месторождение	Дарасунское месторождение (Тимовеевский, 1972)
Генетический тип	Гидротермальный (плутоногенный) среднетемпературный	Гидротермальный (плутоногенный) среднетемпературный
Минеральная формация	Золото-кварц-сульфидная	Золото-кварц-сульфидная
Крупные тектонические структуры	Центральный Сихотэ-Алинский сдвиг (ЦСАС)	Оперяющий разлом Монголо-Охотского шва
Рудогенерирующие магматические образования	Татибинский диорит-гранитовый комплекс (K ₁)	Амуджиканский монзонит-гранитовый комплекс (J ₂ -J ₃)
Рудовмещающие породы	Монцогаббро-диориты, монцодиориты, алевролиты, песчаники	Амфиболиты, габбро-амфиболиты, кварцевые диориты, гранодиориты, граносиениты
Минеральные ассоциации	1. Шеелит-кварцевая 2. Турмалин-арсенопирит-кварцевая 3. Турмалин-пирит-халькопирит-пирротин-кварцевая 4. Халькопирит-пирротин-кварцевая 5. Флюорит-сульфидно-карбонат-кварцевая	1. Кварц-турмалиновая 2. Кварц-пиритовая (с турмалином) 3. Пирит-арсенопиритовая 4. Галенит-сфалеритовая 5. Пирротин-тетраэдрит-бурнонит-халькопиритовая 6. Кварц-сульфоантимонитовая 7. Карбонатная
Метасоматические изменения	Серицит-карбонат-хлоритный метасоматоз, пропицитизация, березитизация, турмалинизация, аргиллизация	Березитизация, хлоритизация, серицитизация, карбонатизация, лиственизация, турмалинизация

ВТОРОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Жильно-прожилковые руды Малиновского месторождения представлены разностадийными сульфидно-кварцевыми, сульфидно-карбонат-кварцевыми и сульфидными образованиями с последовательной сменой (от ранних к поздним) шеелит-кварцевой, турмалин-арсенопирит-кварцевой, турмалин-пирит-халькопирит-пирротин-кварцевой и халькопирит-пирротин-кварцевой ассоциаций, каждая из которых сопровождается проявлением золотой и сопутствующей висмутовой минерализацией, сформированной в рамках единого рудного процесса. Основные концентрации Au в рудах сосредоточены в арсенопирите и халькопирите, которые содержат микровыделения самородного золота, (редко – мальдонита и аурустибита), а также самородного висмута, висмутина и Pb-Sb-Bi сульфосолей.

Руды Малиновского месторождения (Гвоздев и др., 2016; Доброшевский и др., 2017) относятся золото-сульфидно-кварцевому промышленному типу, в котором по текстурным признакам можно выделить два подтипа руд: прожилково-вкрапленные и массивные. Прожилково-вкрапленные руды составляют около 90% от общего количества всех руд. Массивные руды встречаются довольно редко, как правило, в раздувах или в местах сочленения нескольких жил. Изучение технологических свойств руд позволило установить, что они являются многокомпонентными и содержат наряду с Au высокие содержания Ag, Cu, Bi, Zn, WO₃, однако рентабельно извлекать только Au, Ag и Cu.

Основной особенностью минерального состава руд является практически полное отсутствие собственно серебряных минералов при сравнительно высоких концентрациях серебра в рудах. В процессе исследований установлены лишь редкие находки густавита. В то

же время, ряд минералов содержит в своем составе в значительных количествах примеси серебра: самородное золото, тетраэдрит; буланжерит; Sb-козалиит; лиллианит, галеновисмутит, висмутин и в ряде случаев – галенит. Однако, основным источником серебра в рудах является самородное золото, которое по данным автора, содержит в себе значительные концентрации (до 38 мас.% Ag) (Гвоздев и др., 2016; Доброшевский и др., 2017).

Наиболее распространенными рудными минералами являются пирит, арсенопирит, халькопирит, реже встречаются пирротин, сфалерит, висмутин. К редким относятся самородное золото и висмут, тетраэдрит, шеелит, флюорит, кобеллит, козалиит, жозеит, галенит, галеновисмутин, буланжерит, бурноит, марказит, лиллианит, густавит, кобальтин, глаукоdot, молибденит, аурустибит, мальдонит, хедлейит, икунолит, бурсаит и другие.

Самородное золото. Встречается в самородном виде, редко минеральных ассоциаций с висмутом (мальдонит) и сурьмой (аурустибит). В рудных прожилках оно ассоциируется с сульфидными минералами, реже кварцем, однако пространственно тяготеет к вкрапленникам висмутовых минералов, максимальные скопления которых отмечаются в арсенопирите, халькопирите, пирротине и пирите (рис. 5). Наблюдались сростки золота с висмутином, галенитом, сульфотеллуридами висмута. Следует отметить, что максимальные концентрации самородного золота в рудах приурочены к участкам развития арсенопирита со значительной примесью кобальта.

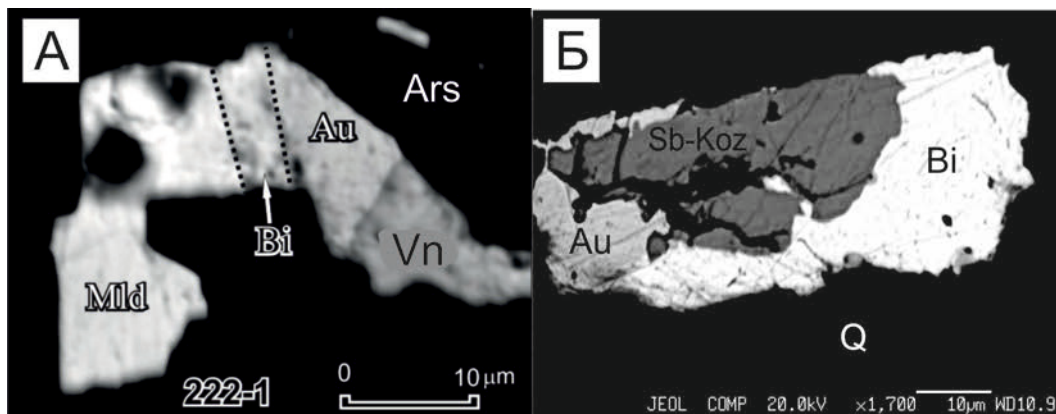


Рис. 5. Формы самородного золота в сульфидных рудах, анш.К-222. (Б – Гвоздев и др., 2016), А – микровыделения самородного золота (Au), самородного висмута (Bi), мальдонита (Mld) и висмутина (Vn) в арсенопирите (Ars). Б – выделения самородного золота (Au) в кварце (Q) в сростках с самородным висмутом (Bi) и Sb-козалиитом (Sb-koz). Снимки в отраженных электронах.

Агрегаты самородного золота часто имеют изометричную, реже дендритовидную, пластинчатую, амёбовидную форму. Цвет тускло-бело-желтый, золотисто-желтый, реже соломенно-желтый, красновато-желтый. Исследования гранулометрического состава, проведенные в ЦЛ АО «ИРГИРЕДМЕТ», показали, что золото в руде в основном мелкое. Массовая доля золотин, определенных как крупные (класс + 0,074 мм), незначительна и составляет 1,9 % от общего содержания, а мелкие крупностью минус 0,074 мм – 98,1 %. Мелкое золото в большинстве своем имеет чешуйчатую форму.

Химический состав золота приведен в таблице 2. В составе золота, как и в самородном висмуте, присутствуют примеси минерала-матрицы: Cu, As. Содержания Ag в составе самородного золота варьируют от 4.04 до 38.32 мас.%, кроме того, отмечаются примеси Fe и Bi. Наиболее низкая проба золота (26-38 мас.% Ag) наблюдается в сростках с кобеллитом и пирротинном; более высокая проба (16-20 мас.% Ag) – со Sb-козалиитом, висмутином, сульфотеллуридами висмута и самородным висмутом; самая высокая проба с аурустибитом (8 мас.% Ag) и мальдонитом (4 мас.% Ag).

Таблица 2

Химический состав самородного золота Малиновского месторождения, (мас.%)

№ п.п	№ обр.	Bi	Pb	Ag	Au	As	Fe	Cu	Te	Sb	S	Сумма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Ст-4-2	-	-	31.17	70.24	-	-	-	-	-	-	101.41
2	Ст-4-2	-	-	27.92	69.47	-	0.91	0.79	-	-	-	99.09
3	Ст-4-2	-	-	15.43	82.6	0.28	1.28	-	-	-	-	99.59
4	Ст-4-2	-	-	28.46	71.20	-	-	-	-	-	0.55	100.29
5	Ск-15-2	1.86	-	19.76	71.77	2.86	1.61	-	-	-	1.72	99.58
6	Ск-15-2	1.5	-	19.24	72.21	-	1.60	-	-	-	1.0	99.09
7	К-15	-	-	23.64	68.28	2.69	3.75	-	-	-	-	98.36
8	К-15-4	-	-	25.86	69.35	1.92	2.99	-	-	-	-	100.12
9	Скв.8-52	-	-	24.3	74.07	-	-	-	-	-	-	98.37
10	К-222	-	-	17.77	83.63	-	-	-	-	-	-	101.4
11	К-222	-	-	16.10	80.55	1.75	0.59	0.45	-	-	-	99.44
12	К-222	-	-	16.01	83.07	-	-	-	-	-	-	99.07
13	К-222	-	-	19.69	79.98	-	-	-	-	-	-	99.66
14	К-222	-	-	16.13	84.8	-	-	-	-	-	-	100.94
15	К-222	-	-	8.37	90.39	-	1.78	-	-	-	-	100.55
16	К-222	-	-	4.07	94.26	-	-	-	-	-	-	98.33
17	С-30Г	-	-	15.78	83.24	-	-	-	-	-	-	99.02
18	С-30Г	-	-	15.78	84.04	-	-	-	-	-	-	99.82
19	С-30Г	-	-	19.98	78.29	-	-	-	-	-	-	98.27
20	С-30Г	-	-	17.54	83.35	-	-	-	-	-	-	100.89
21	С-30Г	-	-	20.36	77.49	-	0.58	-	-	-	-	98.43
22	С-35	-	-	38.32	62.5	-	-	-	-	-	-	100.82
23	С-35	-	-	31.29	67.72	-	-	-	-	-	-	99.63
24	С-35	-	-	34.67	66.44	-	-	-	-	-	-	101.11
25	С-35	-	-	27.18	72.45	-	-	-	-	-	-	99.63
26	С-35	-	-	26.3	74.12	-	-	-	-	-	-	100.42
27	Скв.8-52	-	-	24.34	74.94	-	-	-	-	-	-	99.28
28	Скв.8-52	-	-	20.98	77.69	-	-	-	-	-	-	98.67
29	Скв.8-52	-	-	23.78	75.65	-	-	-	-	-	-	99.43
30	Скв.8-52	-	-	24.29	74.18	-	-	-	-	-	-	98.47

Проба самородного золота меняется в широких пределах и колеблется от 620-960‰. На гистограмме частоты встречаемости самородного золота различной пробы месторождения, отчетливо выделяются две генерации самородного золота с пробой 750-775‰ и 825-850‰ (рис 6). Средняя проба самородного золота месторождения, по данным 30 рентгеноспектральных определений, составляет 777‰. Согласно классификации Петровской, ее можно охарактеризовать как относительно низкой пробыности (Петровская, 1973).

Мальдонит и ауростибит. Очень редкие минералы, выявленные в единичных количествах в сульфидных рудах месторождения (зона Меридиональная, рудное тело № 1). Мальдонит выявлен в виде микровключений в арсенипирите, где он образует тесные сростания с самородным золотом (4.07 мас.% Ag), самородным висмутом и висмутином (рис. 5). Размеры вкрапленников ксеноморфного облика не превышают 15 микрон в поперечнике. Состав минерала близок к теоретическому; в отдельных анализах отмечаются примеси серебра и свинца. Ауростибит отмечался в рудах в сростании с самородным золотом, сульфотеллуридами висмута (жозеит-В), тетраэдритом, сфалеритом и халькопиритом.

Все перечисленные минералы выполняют микротрещины в арсенипирите, реже развиваются по зонам роста. Наиболее часто ауростибит образует вкрапленники (до 10-12

микрон) изометричной формы по контакту высокопробного (до 8.37 мас. % Ag) самородного золота с тетраэдритом. Интересно отметить, что в составе изученного минерала присутствует значительное количество висмута до 9.26%.

Детальное изучение руд Малиновского месторождения показало, что их формирование происходило в три продуктивные и одну пострудную стадии, которые соответствуют трем этапам формирования месторождения, описанным ниже. Первая стадия соответствует первому этапу, вторая и третья – второму этапу, а пострудная стадия – третьему этапу. Внедрение минерализованных растворов трех продуктивных стадий происходило по одним и тем же рудоподводящим каналам, которые подновлялись в процессе формирования месторождения.

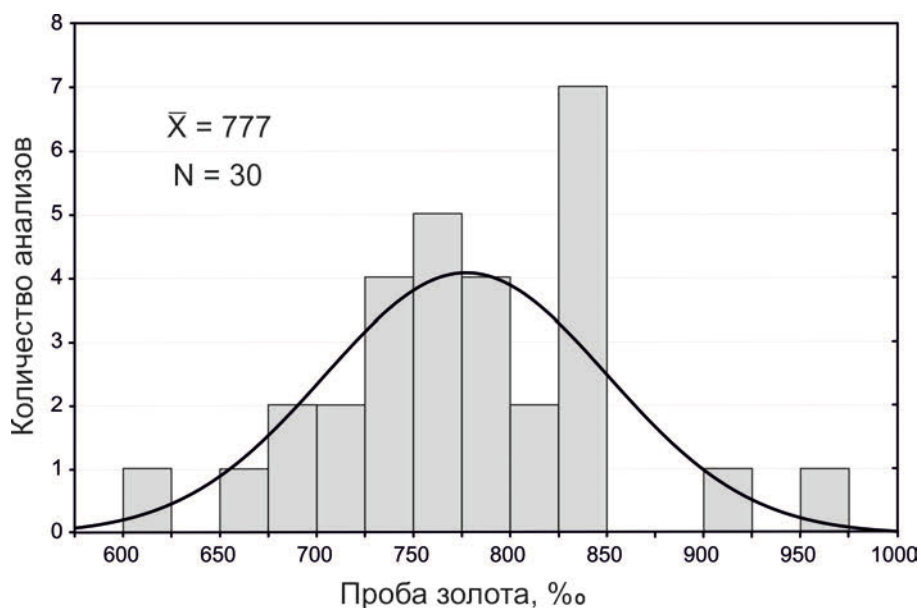


Рис. 6. Гистограмма частоты встречаемости самородного золота различной пробы Малиновского месторождения.

Следует отметить, что во всех изученных прожилках последовательность кристаллизации сульфидных минералов одинаковая. Одним из первых кристаллизуются арсенопирит (реже пирит), халькопирит со «звездочками» сфалерита (структура распада твердого раствора) и пирротин; чуть позднее – тетраэдрит и сложные Pb-Bi-Sb (кобеллит), Pb-Cu-Sb (бурнонит) сульфосоли; еще позднее выполняют микротрещины в арсенопирите – пирит, сфалерит (с эмульсионной вкрапленностью халькопирита), Pb-Bi (Sb-козалит) и Pb-Bi-Ag (Sb-лиллианит, густавит) сульфосоли, галенит, висмутин, иконолит, сульфотеллуриды и теллуриды висмута, самородный висмут и золото, мальдонит, ауростибит (Гвоздев и др., 2016).

На ранней стадии рудного процесса формировались преимущественно прожилки сульфидно-кварцевого состава, представленные молибденит-кварцевой, шеелит-кварцевой, арсенопирит-турмалин-кварцевой и пирит-халькопирит-кварцевой минеральными ассоциациями (рис. 7). Кристаллизация минералов начиналась с молибденит-кварцевой и шеелит-кварцевой ассоциаций (с мусковитом) из растворов повышенной фосфорноности (часто встречается фторопатит, содержащий более 3 мас.% F), при температурах более 350°C и вариациями pH от 6.3 до 7.7 (присутствие шеелита) (Брызгалин, 1958). Чуть 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). Арсенопирит этой ассоциации обычно не содержит примеси кобальта, а в висмутовых минералах фиксируются низкие концентрации сурьмы (не более 0.5 мас.% Sb). Еще позднее кристаллизуется пирит-халькопирит-кварцевая ассоциация с хлоритом. В халькопиритах этой ассоциации наблюдаются включения сфалерита и

идiomорфные зерна кобальтсодержащих минералов (глаукодота, кобальтина) (Гвоздев и др., 2016). По перечисленным выше показателям эти ассоциации очень похожи на ассоциации, наблюдаемые на скарновых шеелит-сульфидных месторождениях Приморского края (Лермонтовском, Восток-2, Скрытое), где Cu, Au и Bi являются сопутствующими компонентами руд (Гвоздев, 2010).

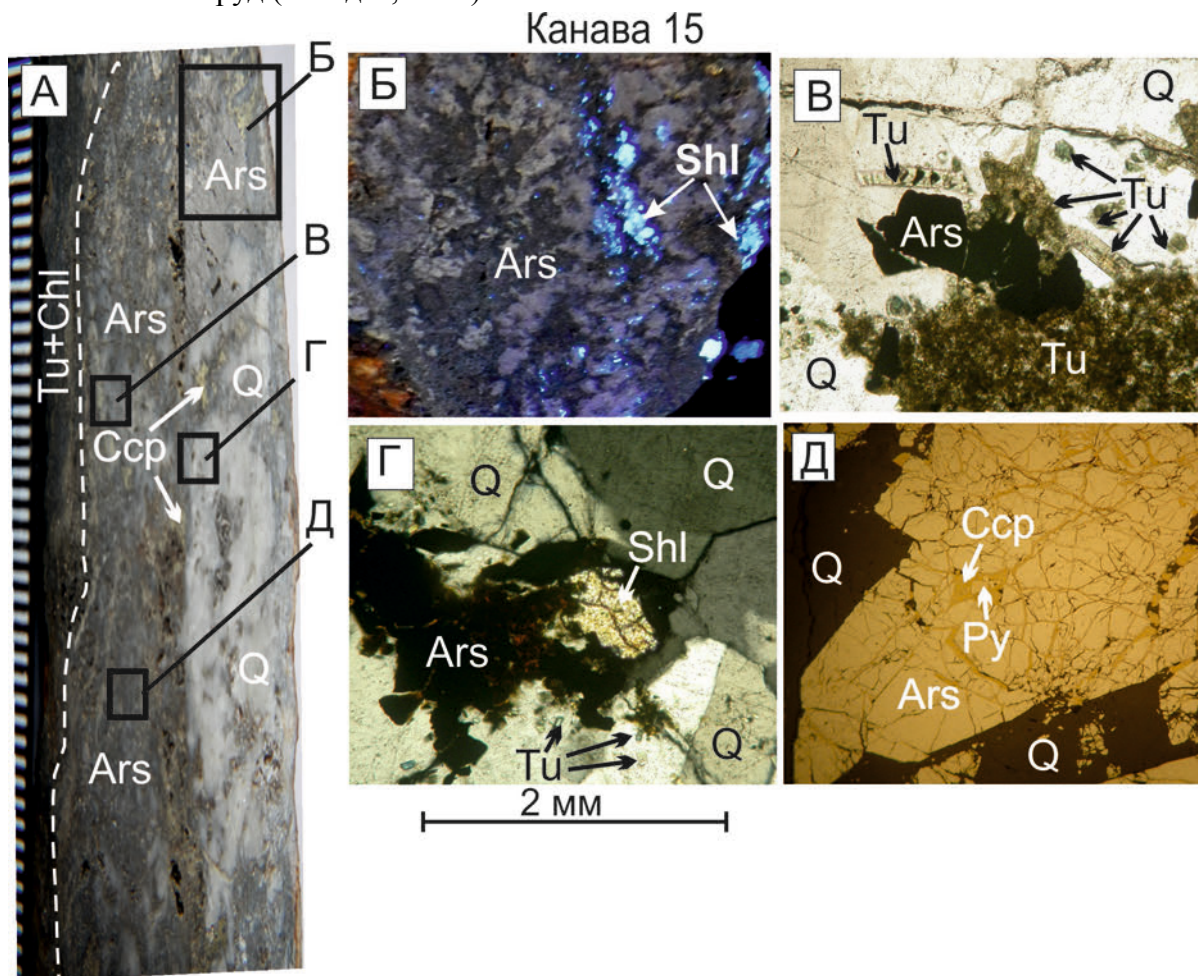


Рис. 7. Строение сульфидно-кварцевых прожилков и характерные взаимоотношения минералов (Гвоздев и др., 2016, с дополнениями автора).

А – прожилок арсенопирит-кварцевого состава с околожилковым турмалин-хлоритовым метасоматитом (контакт показан пунктиром, рудное тело Дайковое); Б – распределение шеелита (белое) (Shl) в арсенопирит-кварцевом прожилке (в лучах люминесцентной лампы); B – идиоморфные зерна арсенопирита (Ars) и турмалина (Tu) среди кварца (Q) (вблизи контакта прожилка); Г – шеелит (Shl) корродируется арсенопиритом (Ars); Д – микротрещины в арсенопирите (Ars) выполняются пиритом (Py) и халькопиритом (Ccp).

Во вторую стадию формировались преимущественно сульфидно-карбонатно-кварцевые жилы, в околожилковых метасоматитах которых часто преобладает турмалин, а хлорит и кварц имеют подчиненное распространение (рис. 8). Здесь шеелит-кварцевая ассоциация имеет подчиненное распространение, а преобладает турмалин-арсенопирит-кварцевая и турмалин-пирит-халькопирит-кварцевая ассоциации со сложными Pb-Bi-Sb (кобеллит), Pb-Cu-Sb (бурнонит), Pb-Bi-Ag (лиллианит) сульфосолями, блеклыми рудами, сульфотеллуридами висмута (жозеит), висмутовыми минералами (кобеллитом, Sb-козалитом, висмутином, самородным висмутом и др.) и самородным золотом. В арсенопирите этой стадии постоянно присутствует примесь кобальта (более 1 до 8 мас.%); в халькопирите – вкрапленность сфалерита; в сфалерите – эмульсионная вкрапленность халькопирита (структуры распада твердого раствора) (Гвоздев и др., 2016). Судя по наличию структур распада твердых растворов сфалерита и халькопирита, а так же присутствие в

рудах самородного висмута (кристаллизуется одним из последних) температура кристаллизации минералов на уровне этой стадии – 270-300-400°C (Колонин, 1971; Sugaki, Yamae, 1952).

В третью стадию формировались сульфидные жилы и микропрожилки. В них кристаллизация минералов начиналась с образования околожильных метасоматических пород турмалин-мусковит-кварцевого состава, которые в последствии были практически полностью замещены хлоритовыми метасоматитами (рис. 9). Судя по присутствию большого количеству пирротина, халькопирита (со звездочками сфалерита), самородного висмута, флюорита, присутствию в хедлейите примеси селена такие жилы формировались из высокосернистых фтористых восстановленных растворов при относительно более низких температурах от 200 до 350°C (Колонин, 1971; Sugaki, Yamae, 1952). Для этой стадии характерно наличие низкопробного золота (26 до 38 мас.% Ag) и практически полное отсутствие минералов мышьяка (Гвоздев и др., 2016).

Пострудная стадия характеризуется образованием зон флюорит-карбонат-кварцевых и сульфидно-карбонат-кварцевых брекчий, приуроченных к разрывным нарушениям близширотной ориентировки. Содержания золота в них не превышают 1 г/т. Для этой стадии характерно наличие пустот, выполненных крупными кристаллами кальцита, кварца, реже флюорита (размером до 5 см). Сульфидные минералы: марказит (иногда крупнокристаллический, до 1.5 см), пирит. Кварц нередко опаловидный, скрытокристаллический.

Схема последовательности минералообразования месторождения Малиновского приведена на рисунке 10.

Полученные данные позволяют утверждать, что формирование минеральных комплексов Малиновского месторождения в три продуктивные и одну пострудную стадии, с последовательной сменой минеральных ассоциаций, сформировавшихся в рамках единого рудного процесса (от ранних к поздним): шеелит-кварцевой, турмалин-арсенопирит-кварцевой, турмалин-пирит-халькопирит-пирротин-кварцевой и халькопирит-пирротиновой ассоциаций, каждая из которых сопровождается проявлениями золотой и сопутствующей висмутовой минерализацией.

Руды Малиновского месторождения являются многокомпонентными и содержат наряду с золотом высокие содержания Ag, Cu, Bi, Zn, WO₃.

Основной особенностью является практически полное отсутствие минералов Ag при сравнительно высоких концентрациях его в рудах, где оно содержится во многих минералах в виде примесей.

Золото, как правило, встречается в самородном виде, редко отмечаются минеральные ассоциации с висмутом (мальдонит), сурьмой (ауростибит). Самородное золото относительно низкой пробы (в среднем 777‰). В рудных прожилках оно ассоциируется с сульфидными минералами, пространственно тяготея к вкрапленникам висмутовых минералов, максимальные скопления которых отмечаются в арсенопирите и халькопирите.

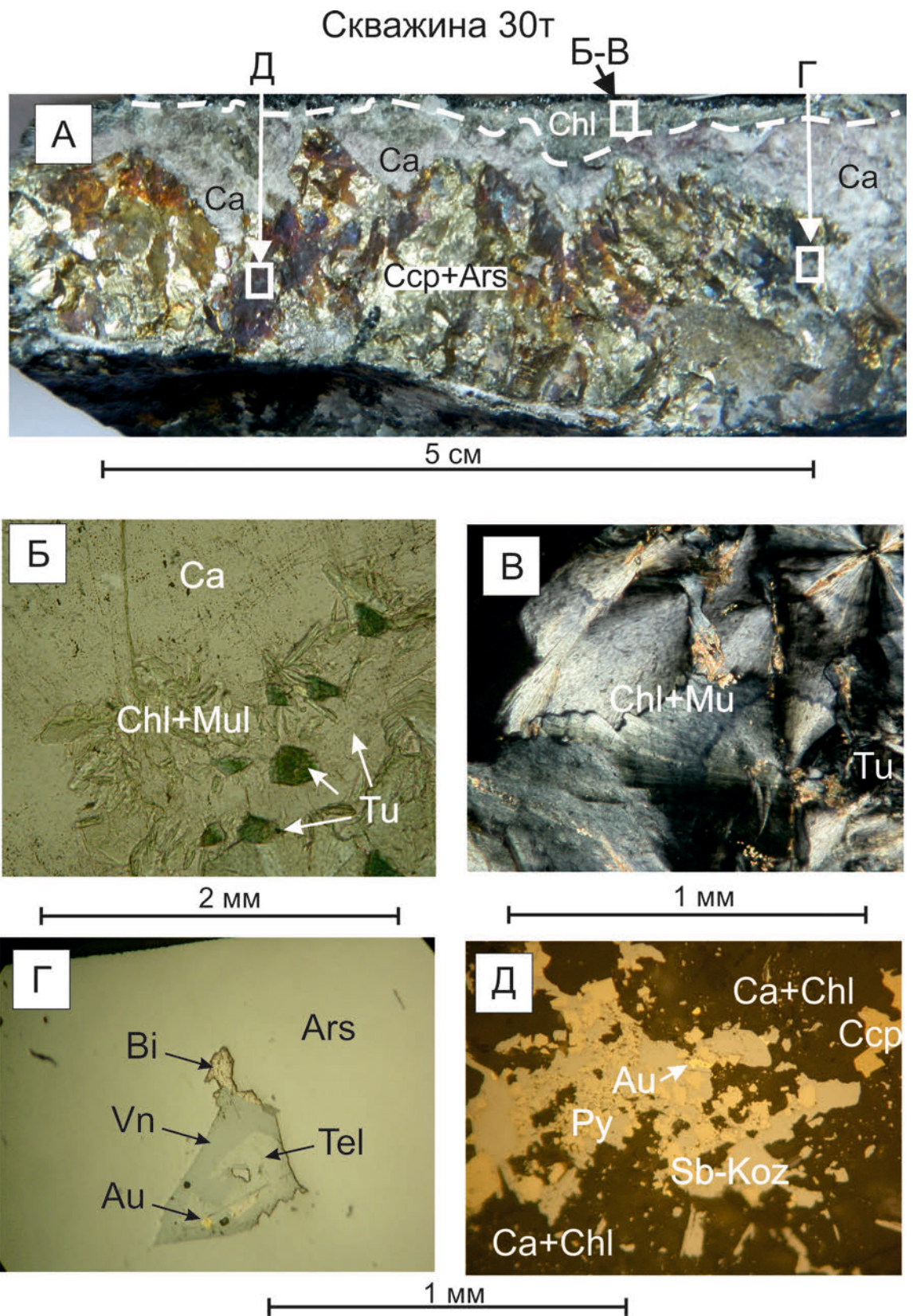


Рис. 8. Строение сульфидно-карбонатно-кварцевых прожилков и характерные взаимоотношения минералов (Гвоздев и др., 2016).

А – гнездо халькопирит-арсенопирит-кварцевого состава в центральной части сульфидно-карбонат-кварцевого прожилка (пунктиром отмечен контакт прожилка с хлоритовым околожильным метасоматитом); Б – гнездо хлорит-мусковитового состава с турмалином (Tu); В – то же самое, увеличенный фрагмент; Г – в арсенопирите (Ars) ксеноморфный вкрапленник висмутовых минералов: висмутит (Bi), сульфотеллурида висмута (Tel), самородного висмута (Vn) с самородным золотом (Au); Д – сростания пирита (Py) со Sb-козалитом (Sb-Koz) и самородным золотом (Au) в карбонат хлоритовом метасоматите.

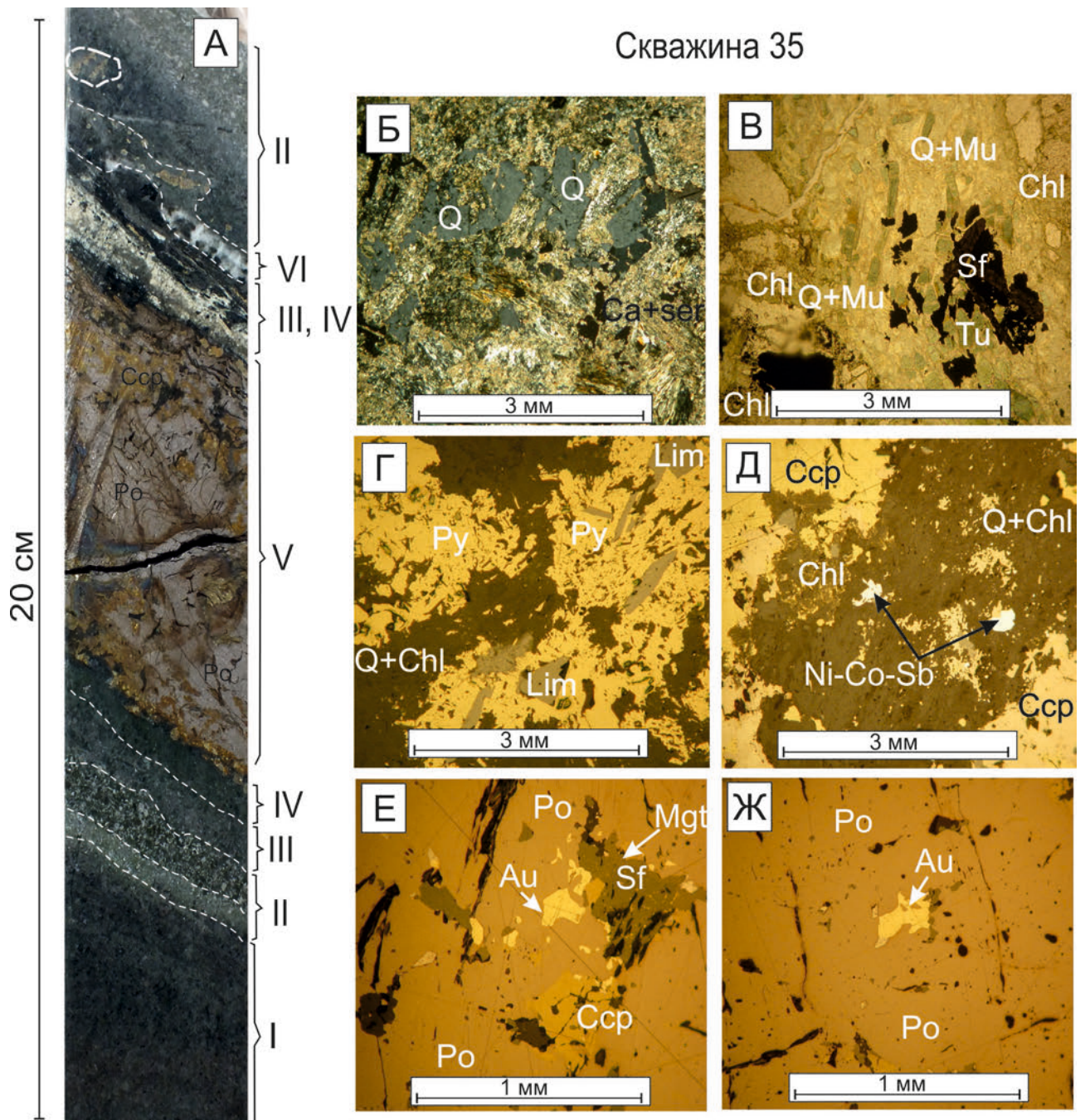


Рис. 9. Строение сульфидной жилы и характерные взаимоотношения минералов (Гвоздев и др., 2016).

А – строение сульфидного прожилка в монцогаббро-диоритах: I – зона слабоизмененных монцогаббро-диоритов, II – зона в разной степени карбонатизированных монцогаббро-диоритов, 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 (Py); 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 (Sf) с эмульсионной вкрапленностью халькопирита (Ccp) по периферии замещаются магнетитом (Mgt); Ж – ксеноморфные вкрапленники самородного золота (Au) в пирротине (Po), центральная часть сульфидного прожилка).

ЭТАП СТАДИЯ АССОЦИАЦИЯ	Меловой						Позднемеловой-палеогеновый			
	Магм-I	Магм-II	Сульфидно-кварцевая		Сульфидно-карбонатно-кварцевая		Сульфидная	Магм-III	Пострудная	Гипергенный
			Mo-Q	Shi-Q	Ars-Q	Py-Cp-Po-Q				
Кварц	Г	X	V	—————		—————		V /	—————	
Пол.шпат			V	—————		—————		\ V	—————	
Мусковит	Г	+	V	—————		—————		\ V	—————	
Карбонат			V	—————		—————		\ V	—————	
Турмалин	Г	X	V	—————		—————		\ V	—————	
Хлорит			V	—————		—————		\ V	—————	
Магнетит	Г	+	V	—————		—————		/ V	—————	
Fe-Ti-минер.			V	—————		—————		/ V	—————	
Апатит	Г	X	V	—————		—————		\ V	—————	
Флюорит	Г	+	V	—————		—————		\ V	—————	
Шеелит	Г	+	V	—————		—————		\ V	—————	
Молибденит	Г	X	V	—————		—————		\ V	—————	
Арсенопирит	Г	+	V	—————		—————		/ V	—————	
Халькопирит	Г	+	V	—————		—————		/ V	—————	
Пирротин	Г	X	V	—————		—————		\ V	—————	
Пирит	Г	+	V	—————		—————		\ V	—————	
Сфалерит	Г	+	V	—————		—————		\ V	—————	
Fe-Sb-Co-минер.	Г	X	V	—————		—————		\ V	—————	
Со-минер.	Г	+	V	—————		—————		\ V	—————	
Галенит	Г	+	V	—————		—————		/ V	—————	
Кобеллит	Г	+	V	—————		—————		/ V	—————	
Sb-козалит	Г	X	V	—————		—————		\ V	—————	
Бурнонит	Г	+	V	—————		—————		\ V	—————	
Блекл. руда	Г	+	V	—————		—————		\ V	—————	
Густавит	Г	X	V	—————		—————		\ V	—————	
Висмутин	Г	+	V	—————		—————		\ V	—————	
Жозеит	Г	+	V	—————		—————		/ V	—————	
Хедлейит	Г	+	V	—————		—————		/ V	—————	
Висмут	Г	X	V	—————		—————		\ V	—————	
Золото	Г	+	V	—————		—————		\ V	—————	
Ауростибит	Г	+	V	—————		—————		\ V	—————	
Мальдонит	Г	X	V	—————		—————		\ V	—————	
Fe-окислы	Г	+	V	—————		—————		\ V	—————	—————
Cu-окислы	Г	+	V	—————		—————		\ V	—————	—————
As-окислы	Г	+	V	—————		—————		\ V	—————	—————
T °C	>700		>350	400-300		<350-270		350-200		<250
Ph			<6	6.3-7.7						
Элементная специализация			P,Mo,W,As,Fe (Cu,Bi,Au)		B,As,Fe,Cu (Sb,Co,Bi,Ag,Au)		B,Fe,Cu (Ni,Sb,Co,Bi,Au)			

1 [Г Г Г] 2 [X + X] 3 [V V V] 4 [V / V] 5 [10% Fe]

Рис. 10. Схема последовательности минералообразования месторождения Малиновского.

ТРЕТЬЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Геохимические особенности золотой минерализации определяются наличием в жильно-метасоматических телах пространственно совмещенных золото-вольфрамовой (W-Au-Ag-Cu-Bi-As) и золото-висмутовой (Au-Ag-Bi-Cu-As-Co) ассоциаций, отражающих многостадийный процесс рудоотложения и металлогеническую специфику рудного объекта. Для рудных тел месторождения установлен геохимический ряд вертикальной зональности элементов, позволяющий, оценить уровень эрозионного среза золотого оруденения как верхнерудный.

Еще при проведении поисково-оценочных работ автор обратил внимание на признаки определенной зональности на месторождении. Просматривается тенденция падения содержаний меди и трехокси вольфрама в рудах с юго-запада на северо-восток месторождения. Рудные тела зон Медная, Малахитовая и Меридиональная содержат высокие содержания меди и трехокси вольфрама, тогда как по зоне Топографической и далее на северо-восток к рудопроявлению Намовскому, содержания этих элементов падают.

Проведенными дальнейшими исследованиями установлены фоновые содержания химических элементов в различных породах на исследуемой площади. Сравнительный анализ кларка содержаний (по Виноградову А.И.) и фоновых значений пород на месторождении позволяет говорить о значительном обогащении основными рудными элементами: Au, Ag, As, W.

Исключения составляют Cu и Co, значения которого несколько ниже кларка. Определить фоновые значения Bi в породах не удалось, ввиду низкого порога чувствительности спектрального анализа.

Расчет парной линейной корреляции элементов на различных гипсометрических уровнях месторождения позволил выделить пять групп элементов, имеющих высокие корреляционные связи (рис. 11).

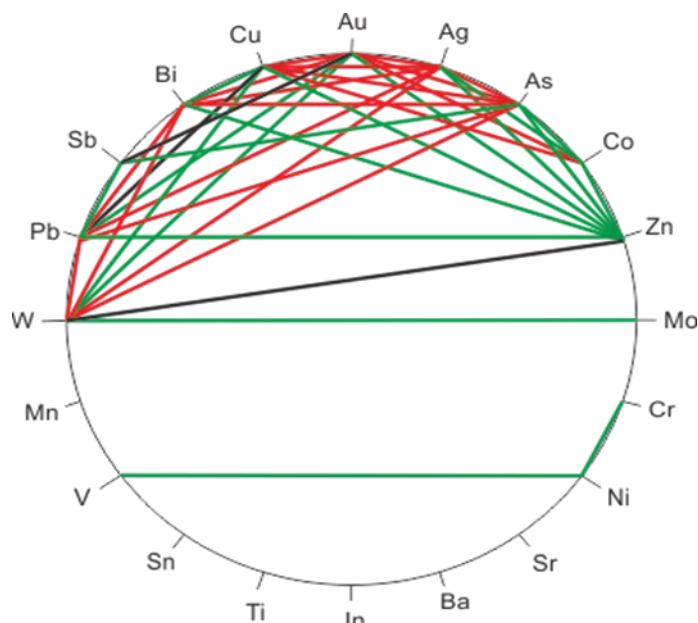


Рис. 11. Схема корреляции химических элементов по первичным ореолам рассеяния (3450 проб).
Примечание*. Красным цветом выделены сильные корреляционные связи (коэффициент >0.7), зеленым цветом средние корреляционные связи (коэффициент 0.5-0.7), черным – слабые (коэффициент 0.4-0.5).

Первая группа: Au, Ag, Bi, Cu. По всей вертикали рудно-магматической системы эта группа элементов имеет между собой сильные устойчивые корреляционные связи. Именно они являются рудообразующими и присутствуют во всех разновидностях руд на месторождении.

Вторая группа: As, Co. Имеют устойчивые корреляционные связи между собой на большинстве горизонтах. Это обусловлено тем, что арсенопирит из турмалин-арсенопирит-кварцевой и турмалин-пирит-халькопирит-пирротин-кварцевой ассоциаций содержит высокие (до 8 %) концентрации кобальта. С первой группой элементов устойчивые корреляционные связи наблюдается на нижних (+ 500-550 м) и верхних (+ 650-750 м) горизонтах.

Третья группа: Pb, Zn. Также образуют, устойчивые корреляционные связи между собой на значительной части гипсометрической колонны. Свинец и цинк с золотом ассоциируется лишь на горизонтах +500-550 и 650-700 метров. На многих гипсометрических уровнях рудно-магматической системы (РМС) они образуют устойчивые корреляционные связи с основными рудообразующими элементами, что обусловлено наличием в рудах значительного количество сложных свинцовых (Pb-Bi-Sb, Pb-Cu-Sb, Pb-Bi-Ag) сульфосолей, тетраэдрита, галенита и сфалерита.

Четвертая группа: Sn, Mo. Элементы этой группы практически не имеют корреляционных связей с другими элементами на месторождении. Исключение составляет горизонт +550-600 м, где молибден ассоциируется с вольфрамом.

Пятая группа: Ba, Ti, Sr, V, Cr, Ni, Mn. Эта группа элементов, в большинстве своем, имеет слабые корреляционные связи между собой на разных горизонтах месторождения. Они не коррелируются с рудоносными элементами и зачастую имеют отрицательные корреляционные связи с элементами первой, второй и третьей групп.

Отдельно следует выделить Sb и W, которые коррелируются только с определенными элементами или имеют высокие корреляционные связи основными рудными элементами на определенных горизонтах.

Сурьма имеет сильные корреляционные связи со Pb и As преимущественно на верхних горизонтах месторождения. Минеральные образования, содержащие сурьму в рудах

месторождения, представлены сложными (Pb-Cu-Sb), сульфосолями свинца и аурустибитом. На горизонте +650-700 м установлены её устойчивые корреляционные связи с золотом.

Вольфрам образует самостоятельную рудную ассоциацию и имеет сильные корреляционные связи с Au, Cu, Ag, Bi, As, Pb и Zn на горизонте + 500-550 м. На верхних гипсометрических уровнях месторождения вольфрам устойчиво коррелируется с Cu и Au.

Все вышеперечисленные факты позволяют предположить наличие на Малиновском месторождении двух продуктивных геохимических ассоциаций: Au-Ag-Bi-Cu-As-Co и W-Au-Ag-Cu-Bi-As. Наиболее перспективной, по мнению автора, является Au-Ag-Bi-Cu-As-Co ассоциация и основные ресурсы полезных компонентов связаны именно с ней.

Распределение корреляционных связей элементов по вертикали РМС иллюстрирует графики на рисунке 12. Графики средних, сильных корреляционных связей и суммированного количества в общих чертах повторяют форму друг друга. По форме графиков можно выделить три зоны, отвечающие различным уровням гидротермальной колонны: от +500 м до +600 м - прикорневая зона; от +600 м до +650 м - прифронтальная зона; + 650 м до +750 м - фронтальная зона. Прикорневая зона характеризуется интенсивным ростом количества корреляционных связей. Прифронтальная зона характеризуется резким падением количества связей и их умеренным количеством на всем протяжении зоны. Фронтальная часть отмечается заметным ростом и значительным количеством связей. Наибольшее количество положительных корреляционных связей отмечается на горизонтах + 500-550 м.

Определение уровня эрозионного среза является основной задачей при изучении перспектив месторождения на глубину. Изучение изменения линейной продуктивности элементов по вертикали позволило установить, насколько сильно эродированы рудные тела месторождения. Графики значений линейной продуктивности основных рудных элементов приведены на рисунке 13.

Графики основных рудообразующих элементов имеют схожий облик. Они имеют два максимума: один располагается в интервале + 550-650 м, а другой на горизонте + 700-750 м (рис. 13). Предшествующие максимумам горизонты характеризуются максимальным количеством положительных корреляционных связей элементов (рис. 12). Наличие двух максимумов на графиках линейной продуктивности элементов объясняется присутствием на месторождении двух геохимических ассоциаций. Максимум на горизонтах +550-650 м соответствует первой, наиболее продуктивной золото-висмутовой (Au-Ag-Bi-Cu-As-Co) ассоциации. Руды этой ассоциации слабо эродированы, что значительно увеличивает перспективы месторождения. Второй максимум соответствует золото-вольфрамовой (W-Au-Ag-Cu-Bi-As) геохимической ассоциации, руды которой в значительной степени уничтожены более хлоритовым метасоматозом.

По результатам ранжирования максимумов линейной продуктивности, предлагается следующий ряд вертикальной зональности элементов: **W-Be-Sn-Au-Bi-Cu-Ag-Mo-Mn-Ni-Pb-Cr-Co-As-Zn-Sb**. Этот ряд имеет значительное сходство с рядом зональности предложенный Григоряном С.В. для золоторудного типа месторождений средне- и высокотемпературных формаций.

Принятый выше ряд вертикальной зональности и особенности распределения отдельных элементов позволяют использовать следующий коэффициент для оценки уровня эрозионного среза: $K = \frac{As \cdot Zn \cdot Sb \cdot Pb}{W \cdot Be \cdot Sn \cdot Cu}$. В качестве коэффициента зональности принимаются отношения произведений среднегеометрического значения элементов, где в числитель помещаются элементы, концентрирующиеся в надрудных, а в знаменатель – преимущественно в центральных и подрудных частях первичного ореола.

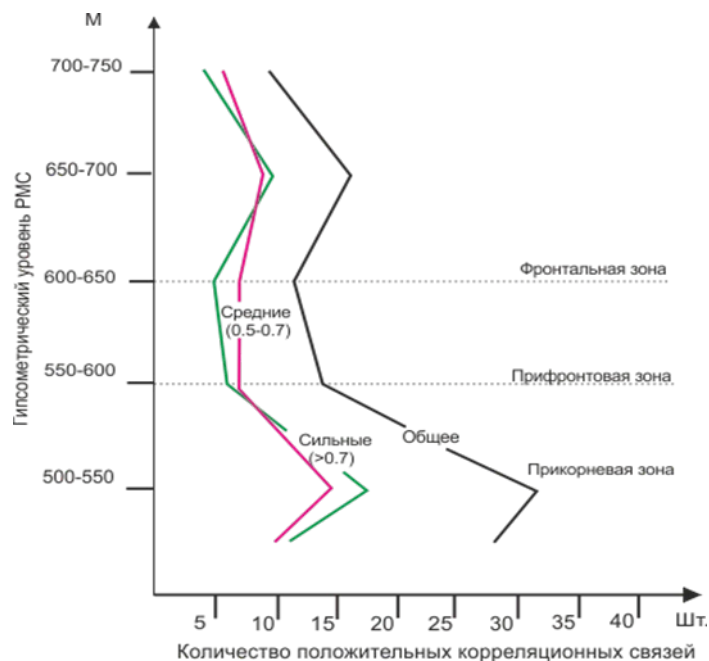


Рис. 12. Распределение корреляционных связей элементов по вертикали PMS.

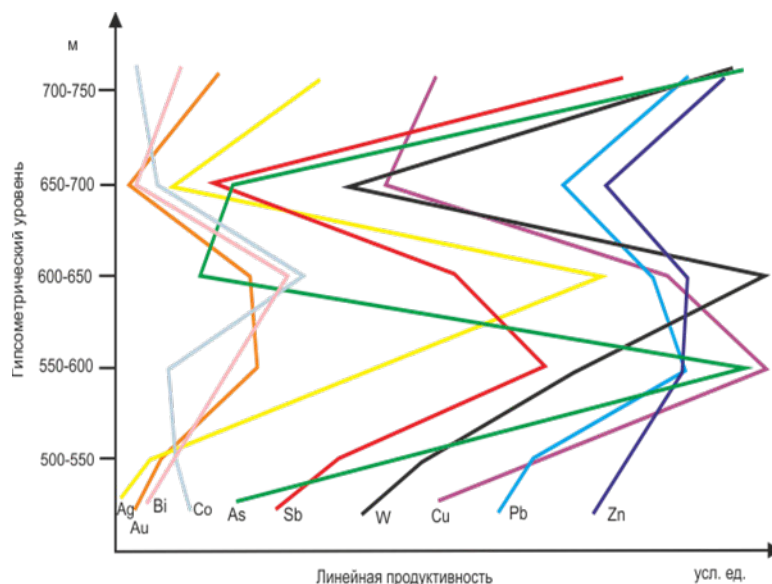


Рис. 13. Совмещенные графики изменения линейной продуктивности основных рудообразующих элементов с глубиной.

Предложенный коэффициент использовался при оценке уровня эрозионного среза зон Меридиональной и Малахитовой, где результаты работ подтверждены разведочным бурением. Предлагаемое соответствие величины показателей коэффициента зональности и уровня эрозионного среза приведены в таблице 3.

Таблица 3

Величины показателей соответствия коэффициента зональности и уровня эрозионного среза

Величина коэффициента зональности	Уровень эрозионного среза
>500	верхнерудный
299-499	среднерудный 1
100-299	среднерудный 2
<100	нижнерудный

На Малиновском месторождении установлено две продуктивных геохимических ассоциаций: золото-висмутовая (Au-Ag-Bi-Cu-As-Co) и золото-вольфрамовая (W-Au-Ag-Cu-Bi-As). Наиболее перспективной является золото-висмутовая (Au-Ag-Bi-Cu-As-Co) ассоциация и основные ресурсы полезных компонентов связаны с ней.

Уровень эрозионного среза установлен как верхнерудный, что хорошо увязывается с результатами бурения. Косвенным геологическим признаком, подтверждающим этот вывод, является отсутствие каких-либо значимых россыпей в аллювии ключа Малая Чертова Лапа и реки Малиновки, дренирующих верхнюю часть золотого оруденения.

ЧЕТВЕРТОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Геолого-геодинамические условия формирования рудных тел Малиновского месторождения и их минералого-геохимические особенности определены возникновением оруденения в период смены геодинамической обстановки скольжения плит на субдукционную активной континентальной окраины, что зафиксировано в структурно-динамических особенностях рудных тел и характеристиках позднемеловых гранитоидов рудного поля.

Возраст процессов рудообразования определялся по совокупности геологических и изотопно-геохимических данных. Анализ полученной в процессе геологоразведочных работ на месторождении новой геологической информации показывает, что золоторудная минерализация наложена на дайки андезибазальтов Дорофеевского комплекса, которые пересекают монзониты Татибинского диорит-гранитового комплекса (возраст 105.3 млн лет \pm 1 млн. лет). Вместе с тем рудные тела рассечены дайками трахириолитов и риолитов, возраст которых установлен 66.67 \pm 0.4 млн лет (таблица 4, рис. 14). Следовательно, формирование золоторудной минерализации происходило в интервале 105.3 \pm 1 – 66.67 \pm 0.4 млн лет. Более узкий возрастной интервал процессов рудообразования был установлен по результатам Re-Os изотопного анализа монофракций сульфидных минералов месторождения, выполненного в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского – 77 - 93 млн лет (табл. 5).

Полученные изотопные данные полностью соответствует U-Pb геохронологическим данным. Учитывая совпадения данных по арсенопириту можно уверенно говорить, что возрастной интервал формирования продуктивной стадии золоторудной минерализации Малиновского месторождения составляет 93 - 90 млн. лет.

Полученные данные показывают, что возраст рудообразования Малиновского месторождения соответствует позднему мелу, что вполне сопоставимо с возрастными датировками формирования золоторудных месторождений золото-висмутового типа Южного Приморья, тесно связанных гранитоидным магматизмом.

Таблица 4

Результаты U-Pb (SHRIMD-II) датирование цирконов из риолитов

Точка анализа	²⁰⁶ Pb _c %	U		Th	²³² Th / ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb* ppm	Возраст, млн. лет	Соотношение изотопов			1σ
		ppm						²⁰⁷ Pb / ²⁰⁶ Pb*	²⁰⁷ Pb / ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb* / ²³⁸ U	
1.1	-	1705	2586		1.57	15.1	66.16 \pm 0.46	0.0453 \pm 7.1	0.0644 \pm 7.1	0.010316 \pm 0.7	0.099
2.1	0.39	1379	1731		1.30	12.4	67.1 \pm 0.49	0.0446 \pm 5.1	0.0643 \pm 5.2	0.010464 \pm 0.73	0.142
3.1	0.95	664	471		0.73	5.93	66.02 \pm 0.75	0.0406 \pm 11	0.0576 \pm 11	0.01029 \pm 1.1	0.100
4.1	-	1487	1438		1.00	13.2	66.51 \pm 0.46	0.0495 \pm 3.6	0.0708 \pm 3.7	0.010371 \pm 0.7	0.189
5.1	0.35	1027	1147		1.15	15.9	66.27 \pm 0.51	0.0472 \pm 4.8	0.0672 \pm 4.8	0.010333 \pm 0.77	0.161
6.1	0.79	328	229		0.72	2.94	66.45 \pm 0.83	0.0498 \pm 8.9	0.0711 \pm 8.9	0.01036 \pm 1.3	0.140
7.1	0.00	816	664		0.84	7.24	66.31 \pm 0.55	0.0495 \pm 3.2	0.0706 \pm 3.3	0.010339 \pm 0.84	0.254
8.1	0.72	654	385		0.61	5.8	65.69 \pm 0.65	0.0404 \pm 9.2	0.057 \pm 9.3	0.01024 \pm 1.0	0.107
9.1	0.62	1317	1432		1.12	11.9	66.75 \pm 0.57	0.0412 \pm 9	0.0591 \pm 9.1	0.010408 \pm 0.86	0.095
10.1	0.54	2253	2025		0.93	20.5	67.52 \pm 0.46	0.046 \pm 4.3	0.0668 \pm 4.4	0.010528 \pm 0.69	0.159

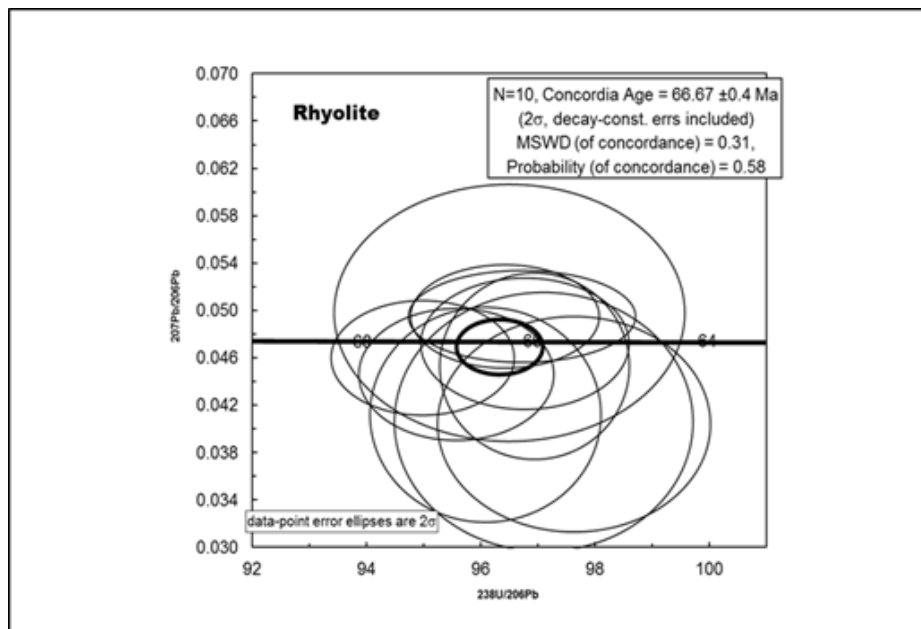


Рис. 14. Диаграмма конкордий цирконов из риолитов.

Таблица 5

Данные Re-Os изотопного анализа монофракций парагенных сульфидных минералов Малиновского месторождения.

№	Минерал	m.g	¹⁸⁷ Re, ppb	¹⁸⁷ Os, ppb	¹⁸⁷ Re/ ¹⁸⁷ Os	2σ%	¹⁸⁷ Re/ ¹⁸⁷ Os	2σ%	2σ abs	Tmod.,Ma
1	Пирит	0.18307	0.850	0.0587	70.51	0.856	0.21799	0.587	0.00128	77
2	Арсенопирит	0.35186	1.064	0.0265	200.25	0.644	0.42753	0.568	0.00243	90
3	Арсенопирит	0.49098	1.517	0.0520	158.71	0.337	0.38681	0.863		93

Примечание. Анализы выполнены в ЦИИ ВСЕГЕИ (г. Москва)

Так, для месторождения Криничное, возраст рудообразования составляет 84.2 ± 1.9 млн лет, а для месторождения Аскольд 83.3 ± 0.3 млн лет (Саядян и др., 1996, Иванов и др., 1997). Установленный период рудообразования совпадает по времени со сменой геодинамической обстановки в регионе. Согласно расчетам Д. Энгбретсона (Engebretson et al., 1985), выполненных на основании анализа линейных палеомагнитных аномалий и поведения океанической плиты относительно горячих точек показали, что в течение мелового времени плита Изагаги перемещалась в субмеридиональном ($338-9^\circ$) и северо-западном (294°) направлениях (рис. 15).

Движение в субмеридиональном направлении обусловило развитие левосдвиговых дислокаций вдоль ССВ системы разломов Сихотэ-Алиня, а в сантоне (85 млн лет), направление движения изменилось на северо-западное. Океаническая плита по отношению к континентальной стала двигаться более ортогонально, что послужило широкому развитию надсубдукционно магматизма. Другими словами, в сантоне произошла региональная смена геодинамической обстановки из-за изменения взаимодействия плит от скольжения к субдукции.

Движение в субмеридиональном направлении обусловило развитие левосдвиговых дислокаций вдоль ССВ системы разломов Сихотэ-Алиня. Затем, в сантоне (85 млн лет), направление движения изменилось на северо-западное, то есть океаническая плита по отношению к континентальной стала двигаться более ортогонально, что послужило широкому развитию надсубдукционно магматизма. Другими словами, в сантоне произошла региональная смена геодинамической обстановки из-за изменения взаимодействия плит от скольжения к субдукции.

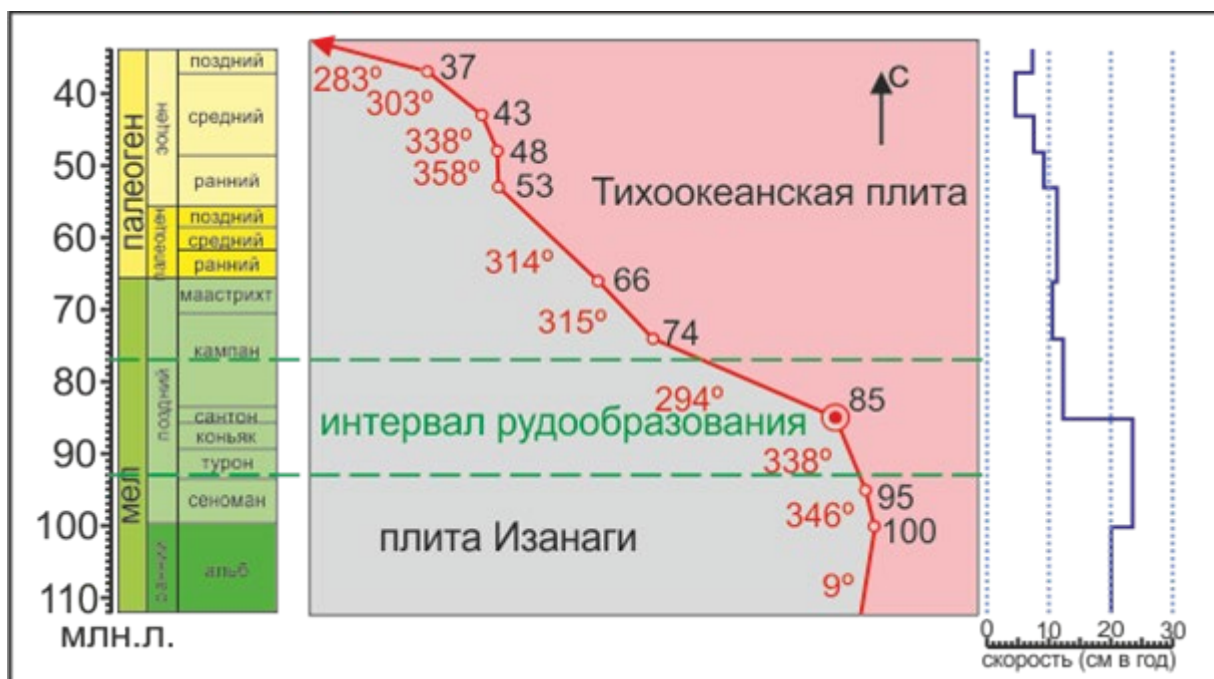


Рис. 15. Схема динамической обстановки региона в период рудообразования (по данным Engebretson et al, 1985).

Модель формирования Малиновского месторождения

Первый этап. Данные, полученной в процессе геологоразведочных работ на месторождении, показывают, что золоторудная минерализация наложена на дайки андезибазальтов Дорофеевского комплекса, которые рассекают монцониты Татибинского диорит-гранитового комплекса (возраст 105.3 млн лет \pm 1 млн. лет). Рудные тела рассечены дайками трахириолитов и риолитов, возраст которых установлен 66.67 ± 0.4 млн лет. Следовательно, начало формирования Малиновского месторождения относится к концу раннемелового периода. В этот период завершается формирование комплексов пород Журавлевского террейна, представляющего собой турбидитовый бассейн трансформной континентальной окраины. (Ханчук, 2000; Голозубов, 2006).

Основным фактором, способствовавшим формированию месторождения, является наличие крупного трансформного сдвига (ЦСАС) вдоль границы скольжения плит. По данным сейсмических исследований, «корни» его «уходят» в мантию, смещая границу "М" (Аргентов и др., 1976). Основные признаки – это пестрота магматизма, ассоциация монцонитоидов и гранитов S типа, комплексный корово-мантийный профиль минерализации сопутствующей магматизму. Анализ петрохимических данных показывает, что все гранитоиды в районе месторождения можно отнести к S-типу магнетитовой серии, а монцониты Татибинского комплекса тяготеют к ильменитовой серии. Графики нормированного по хондриту распределения РЗЭ для гранитоидов Малиновского месторождения характеризуются отчетливо выраженным европейским минимумом, в то время как графики нормированного по хондриту распределения РЗЭ у монцонитов интрузива Водораздельного показывают отсутствие минимума европия (Сахно и др., 2013). Состав околожильных пород (турмалиновые и хлоритовые метасоматиты), присутствие в прожилках молибденита и шеелита, Р-Т параметры минералообразования, позволяют считать руды месторождения производными рудно-магматических систем генетически связанных с гранитоидными магматическими комплексами I-S типа (Горячев, Гамянин, 2006), продуцирующих редкометальную минерализацию.

В этих условиях происходило формирование монцонитоидов (105 млн л) и гранитоидов Татибинской магматической серии и сопровождающую их молибден-вольфрамовую минерализацию первой стадии рудообразования месторождения.

Второй этап. В дальнейшем, смена геодинамической обстановки от скольжения к субдукции привела к максимальной проницаемости коры для мантийных производных. В этот период формируются дайки трахибазальтов и трахиандезибазальтов Дорофеевского риолит-андезитового комплекса, имеющего мантийные изотопно-геохимические характеристики (Сахно и др., 2013). Рудные тела с промышленными содержаниями полезных компонентов, как правило, расположены в монцонитах и сопровождаются дайками трахибазальтов и трахиандезибазальтов Дорофеевского риолит-андезитового комплекса, на которые наложена золоторудная минерализация. Дайки секут интрузив Водораздельный и сами по себе являются дорудными. Анализ полученных петрохимических данных показывает, что монцониты и дайки трахибазальтов имеют определенные отличия по сумме щелочей, отношения K/Na, по магнезиальности, а так же по содержанию кальция. Дайки базальтоидов (трахибазальтов) характеризуются высокими содержаниями щелочей (особенно натрия), железистостью, титанистостью, но они менее известковистые и магнезиальные. Это позволяет рассматривать базальтоиды как остаточные расплавы (Сахно и др., 2013).

Изучение изотопных соотношений гафния для монцонитов Малиновского месторождения по соотношению $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ позволяет предположить, что генерация мантийных расплавов проходила при минимальном участии пород коры (Сахно и др., 2013), с наложением на них продуктов второй (турмалин-пирит-халькопирит-пирротин-кварцевой) и третьей (халькопирит-пирротиновой) стадий минерализации, возраст которых определен 93-90 млн лет.

Третий этап. Характеризуется сменой геодинамической обстановки и переходом к обстановке активной континентальной окраины, который сопровождается внедрением типично субдукционных гранитоидов Дальнегорского комплекса и даек риолитов и трахириолитов (66.7 млн л), которые секут рудные тела. В этот период формируются пострудные флюорит-карбонат-кварцевые и сульфидно-карбонат-кварцевые брекчии, которые завершали процесс формирования Малиновского месторождения.

Заключение

Анализируя полученные результаты и сопоставляя их 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 сдвига), широкое распространение в метасоматических породах и рудах минералов, обогащенных калием, летучими элементами (F, B, Cl, CO₂), элементами семейства железа (Ni, Co и др.) и литофильными (W, Mo, Pb и др.), а также стадийность минералообразования и типоморфные признаки минералов, указывают на то, что изученное Малиновское месторождение имеет сходство с крупными по запасам месторождениями Забайкалья и Амурской области, такими как Дарасунское, Дмитриевское, Ключевское (Прокофьев и др., 2000; Спиридонов и др., 2006; Гвоздев и др., 2014; Степанов и др., 2013);

– геолого-структурными исследованиями установлено, что наиболее благоприятным для рудоотложения являлись трещины северо-восточного простирания, оперяющие главный Сихотэ-Алинский шов и сформировавшиеся в условиях левосдвиговых дислокаций;

– на основании данных U-Pb датирования магматических пород и учитывая данные по другим крупнообъемным рудно-магматическим системам (Восток-2, Лазурное), формирование Малиновского золоторудного месторождения проходило в близком временном интервале (Аленичева и др., 2008; Сахно и др., 2011; Сахно и др., 2013) соответствующего времени проявления монцонитоидного магматизма Татибинской

магматической серии; период рудообразования (93-90 млн л.) совпадает по времени со сменой геодинамической обстановки в регионе (Engelbreton, 1985);

– состав околожильных пород (турмалиновые и хлоритовые метасоматиты), присутствие в прожилках молибденита и шеелита, Р-Т параметры минералообразования позволяют считать руды месторождения производными рудно-магматических систем, генетически связанных с гранитоидными магматическими комплексами (Горячев, Берденников, 2006), продуцирующих редкометальную минерализацию, а комплексность руд (Au Bi W Cu) позволяет относить их к золото-висмутовому типу (Гамянин, Горячев, 1998; Гвоздев, 2010);

– по минералого-технологическим признакам (Спиридонов и др., 2006) руды месторождения относятся к умеренно-сульфидному жильному и комбинированному геолого-промышленным типам;

– рудная минерализация Малиновского месторождения характеризуется закономерным изменением по вертикали геохимических параметров (ряд вертикальной зональности, линейная продуктивность, корреляция элементов), комплексом геохимических исследований установлен геохимический фон вмещающих пород, определен уровень эрозионного среза месторождения как верхнерудный, выделены наиболее продуктивные горизонты;

На основании вышесказанного месторождение Малиновское следует относить к перспективным золоторудным объектам, ранее не известным на территории Приморского края.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Гвоздев В.И., Доброшевский К.Н., Вах А.С., Горячев Н.А., Степанов В.А., Федосеев Д.Г. Малиновское месторождение – новый тип золоторудной минерализации в Приморском крае, Россия (геология, минералогия, генезис). Тихоокеанская геология. 2016. № 1, с. 37-53.
2. Доброшевский К.Н., Гвоздев В.И., Шлыков С.А., Степанов В.А., Федосеев Д.Г. Вещественный состав и геохимические особенности руд Малиновского золоторудного месторождения (Приморский край Россия). Тихоокеанская геология 2017 том 36 № 5 с. 59-74.
3. Сахно В.Г., Степанов В.А., Гвоздев В.И., Доброшевский К.Н. Малиновская золоторудная магматическая система Центрального Сихотэ-Алиня: геохронология, перто-геохимический состав и изотопная характеристика магматических комплексов (Приморье, Россия) // Доклады Академии наук. 2013. Т. 452, № 1. с. 1-8.
4. Степанов В.А., Бельченко Е.Л., Доброшевский К.Н., Гвоздев В.И. Малиновское золоторудное месторождение, Приморский край // Руды и металлы. 2013. № 3. с. 26-34.
5. 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). Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит. Материалы Второй Всероссийской конференции с международным участием, Владивосток 17-20 сентября 2014 г. Владивосток: Дальнаука, 2014. с. 307-309.
6. Доброшевский К.Н. Малиновское золоторудное месторождение: геологическое строение, закономерности размещения, геохимические особенности и вещественный состав рудных тел. Третья Российская молодежная Школа с международным участием, сборник материалов, Москва 2013 с. 99-101.
7. Доброшевский К.Н. Геохимические особенности и вещественный состав руд Малиновского месторождения. Четвертая Российская молодежная научно-практическая Школа с международным участием, сборник материалов, Москва 2014 с. 113-116.
8. Доброшевский К.Н., Гвоздев В.И., Вах А.С., Горячев Н.А., Степанов В.А., Гришин Г.К. Золото-висмутовая минерализация в месторождениях Сихотэ-Алиньского орогенного пояса.

Золото Монголо-Охотского орогена: геология, геохимия, минералогия, генезис. Материалы рабочего совещания Иркутск, 25-28 сентября 2016 г. Иркутск: ИГХ СО РАН, 2016. с. 32-34.