

УДК 553.411:553.21/24

ЭПИТЕРМАЛЬНОЕ Ag-Au МЕСТОРОЖДЕНИЕ ПРИМОРСКОЕ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ): ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И УСЛОВИЯ РУДООБРАЗОВАНИЯ

© 2019 г. Н. Е. Савва¹, А. В. Волков^{2,*}, А. А. Сидоров²,
Е. Е. Колова¹, К. Ю. Мурашов²

¹Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН
Россия, 685010, Магадан, ул. Портовая, 16

²Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН
Россия, 119017, Москва, Старомонетный пер., 35.

*E-mail: tma2105@mail.ru

Поступила в редакцию 11.09.2017 г.

После доработки 29.05.2018

Принята к публикации 07.07.2018

Потенциально крупное Ag-Au эпитеpмальное месторождение Приморское представлено тремя участками Холодный, Спиридоныч и Теплый. Оно расположено в Омсукчанском округе Магаданской области, где разрабатываются во многом аналогичные месторождения: Дукап, Лунное, Гольцовое, Арылах, Тидит, Перевальное и др. Месторождение приурочено к Калалагинской вулкано-тектонической депрессии и локализовано в пологозалегающей толще позднемеловых игнимбритов и риолитов мощностью более 700 м, которая прорвана многочисленными дайками среднего и основного состава. Массив лейкократовых гранитов, по данным бурения, находится под месторождением на глубине 400–500 м и выходит на поверхность в северо-восточной части рудного поля. Присутствие Вi-содержащего галенита и матильдита, наличие средне-высокотемпературных фаций метасоматитов (эпидот, актинолит) и специфические физико-химические условия образования эпитеpмальных Ag-Au руд свидетельствуют о надинтрузивном положении и роли гранитоидов, как генераторов высокотемпературных магматических флюидов, осуществивших привнос Вi и прогрев вмещающих оруденение пород. Геохимические особенности руд хорошо согласуются с их минеральным составом. Установлены высокие концентрации Mn и Ag, повышенные — Au, низкие — Cu, Pb, Zn, Sb, As, Вi и Те, низкая сумма РЗЭ, отрицательные Eu- и положительные Се-аномалии. Высокие значения показателей Те/Se, Sr/Ba, Y/Но и U/Th в рудах связаны с положением месторождения в зоне влияния гранитоидного массива. Физико-химические параметры образования руд участка Тёплый необычны — характеризуются высокими температурами, низкими концентрациями солей и плотности флюида, что характерно для “сухого пара”. Полученные результаты позволяют отнести эпитеpмальное месторождение Приморское к промежуточному классу. Приведенная в статье информация имеет практическое значение для региональных прогнозно-металлогенических построений, поисков и оценки эпитеpмальных Ag-Au месторождений.

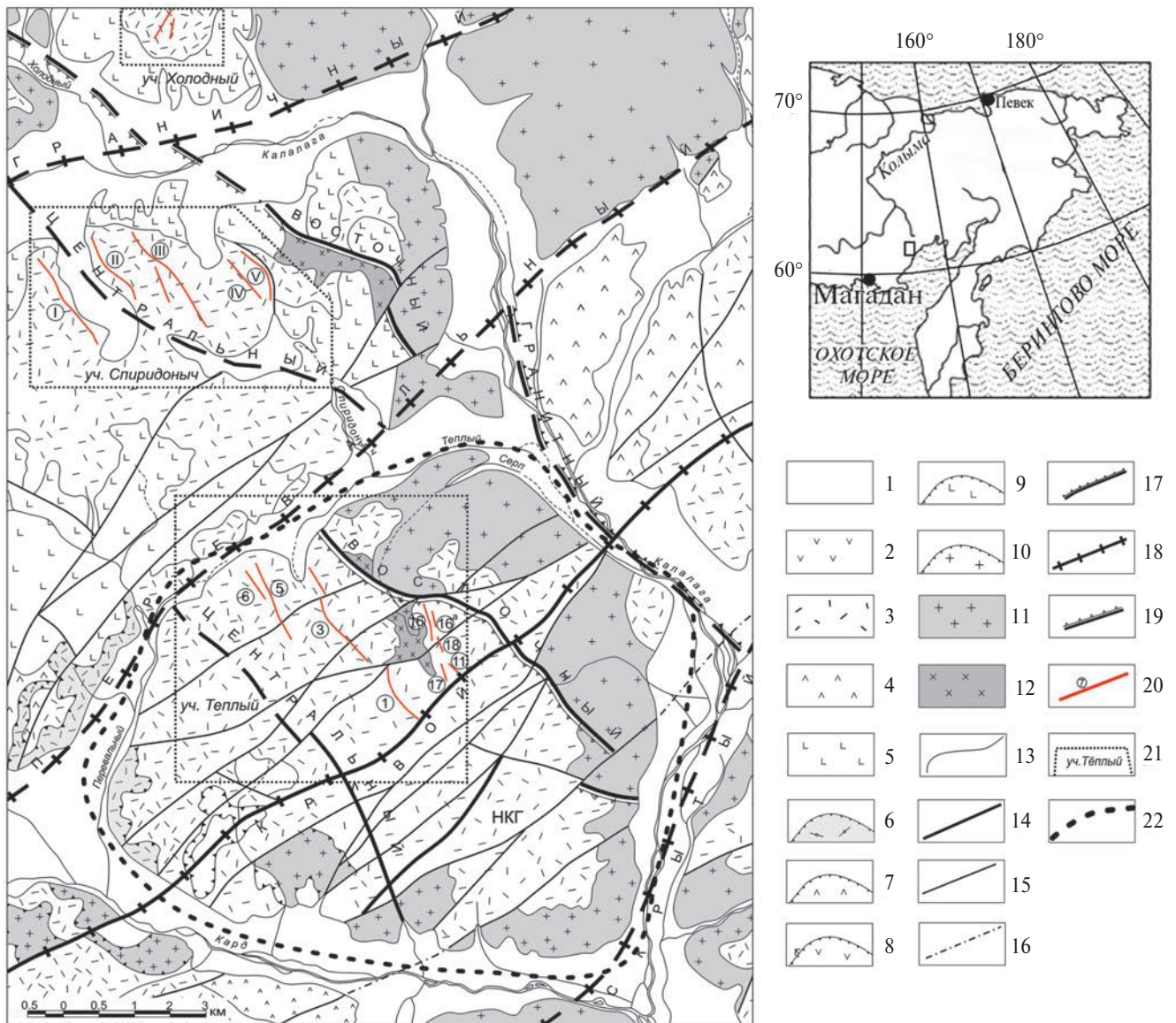
Ключевые слова: Северо-Восток России, Омсукчанская зона, Приморское, эпитеpмальное, месторождение, серебро, золото, пирролюзит, структура, минералогия руд, геохимические особенности, флюидные включения, генезис.

DOI: 10.31857/S0016-777061152-74

ВВЕДЕНИЕ

Эпитеpмальные Au-Ag месторождения во многих случаях представляют собой вулканоплутонические системы, образуя сложную комбинацию доинтрузивных и послеинтрузивных групп — допорфировых и послепорфировых месторождений в ряду вулканогенных рудных формаций (Сидоров и др., 2011). В этом отношении месторождение Приморское — специфический объект исследования, позволяющий рассматривать проблемные генетические вопросы эпитеpмального рудообразования.

Месторождение Приморское, представленное тремя участками (Холодный, Спиридоныч и Те-



Фиг. 1. Геолого-структурная схема месторождения Приморское (по материалам ФГУП “Магадангеология” с дополнениями).

1 — четвертичные отложения; 2 — андезитовая толща; 3 — риолитовая толща; 4 — дацитовая толща; 5 — андези-базальтовая толща. *Вулканические тела*: 6 — риолитов; 7 — дацитов; 8 — андезитов; 9 — базальтов; 10 — гранит-порфиров. *Интрузии*: 11 — гранитов; 12 — диоритов; 13 — геологические границы. *Разрывные нарушения и их названия*: 14 — главные; 15 — второстепенные; 16 — скрытые под четвертичными отложениями; 17 — внешний кальдерный разлом; 18 — радиальные разломы кальдеры; 19 — краевые сбросы Неоколчан-Калалагинского района (НКГ); 20 — жильные зоны и жилы, их номера; 21 — контуры участков и их названия; 22 — контур ядра Калалагинской вулканической структуры.

плой), находится на юге Омсукчанского округа Магаданской области, в 22 км от побережья Охотского моря и в 360 км к северо-востоку от г. Магадана (фиг. 1, врезка). Расстояние от месторождения до действующей обогатительной фабрики в пос. Омсукчан — 215 км.

Месторождение открыто в 1978 году геологами Хасынской геологоразведочной экспедиции (ГРЭ) в результате заверки геохимических аномалий литохимической съемки по потокам рассеяния масштаба 1:200 000. Геологораз-

ведочные работы (ГРР) продолжались с 1981 по 1987 г. Дукатской ГРЭ. Затем лицензию на разведку и освоение месторождения приобрела (2006 г.) компания ФГУП “Магадангеология”, которая в 2008–2009 гг. продолжила разведку богатого участка Теплый. В июле 2015 года лицензия перешла компании ОАО “Полиметалл УК”. На 2017 год по результатам ГРР, выполненных этой компанией, суммарные ресурсы только двух рудных тел месторождения Приморское составили около 2 т золота (среднее содержание 4 г/т) и

600 т серебра (1216 г/т). Суммарный ресурсный потенциал всех трех участков месторождения, по данным ФГУП “Магадангеология”, 21 т золота и 5000 т серебра.

Геологическое строение и вещественный состав руд месторождения с момента его открытия изучались ЦНИГРИ (Стружков, Константинов, 2005), а позднее ФГУП “Магадангеология”. В 2014–2016 гг. проводились минералого-геохимические и термобарогеохимические исследования руд участка Теплый в СВКНИИ ДВО РАН и ИГЕМ РАН, в рамках выполнения проекта по гранту Российского научного фонда (№ 14–17–00170). В настоящей статье подводятся итоги комплексного изучения месторождения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В ИГЕМ РАН на основе обобщения фондовых и опубликованных материалов и авторских построений подготовлен раздел “Особенности геологического строения месторождения”. В СВКНИИ ДВО РАН выполнено исследование околорудных метасоматитов, текстурных особенностей и вещественного состава руд (изучены многочисленные аншлифы на микроскопе AxioPlan Imaging) и проведены микротермометрические исследования флюидных включений (ФВ). Составы рудных минералов определялись с помощью рентгеновского электронно-зондового микроанализатора Camebax с приставкой INCA Oxford Instruments (аналитики Е.М. Горячева, Т.В. Субботникова, СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан и И.А. Брызгалов, МГУ им. М.В. Ломоносова).

Микротермометрические исследования ФВ выполнены при помощи измерительного комплекса, созданного на основе микротермокамеры THMSG-600 фирмы Linkam (Англия), микроскопа Motic, снабженного длиннофокусным объективом 50X фирмы Olimpus, видеокамеры Moticam solution 3 M.px и управляющего компьютера. Концентрация солей для включений рассчитывалась по температуре плавления льда ($T_{пл. льда}$) с использованием данных из работы (Bodnar, Vityk, 1994). Солевой состав растворов определялся как по температурам эвтектики (Борисенко, 1977), так и в водных вытяжках (ВВ), приготовленных по методике (Кряжев и др., 2006) и проанализированных на атомно-эмиссионном спектрометре Agilent4100 MP-AES в СВКНИИ ДВО РАН. КР-спектроскопия проведена в ДВГИ ДВО РАН на дисперсионном Раман-микроскопе Lab Ram HR в широком спектральном диапазоне 150–3800 см⁻¹, с возбуждающей линией 514 нм He-Ne лазера и спектральной шириной щели 2 см⁻¹ (аналитик Е.Е. Колова). Разложение сложных контуров проведено с помощью про-

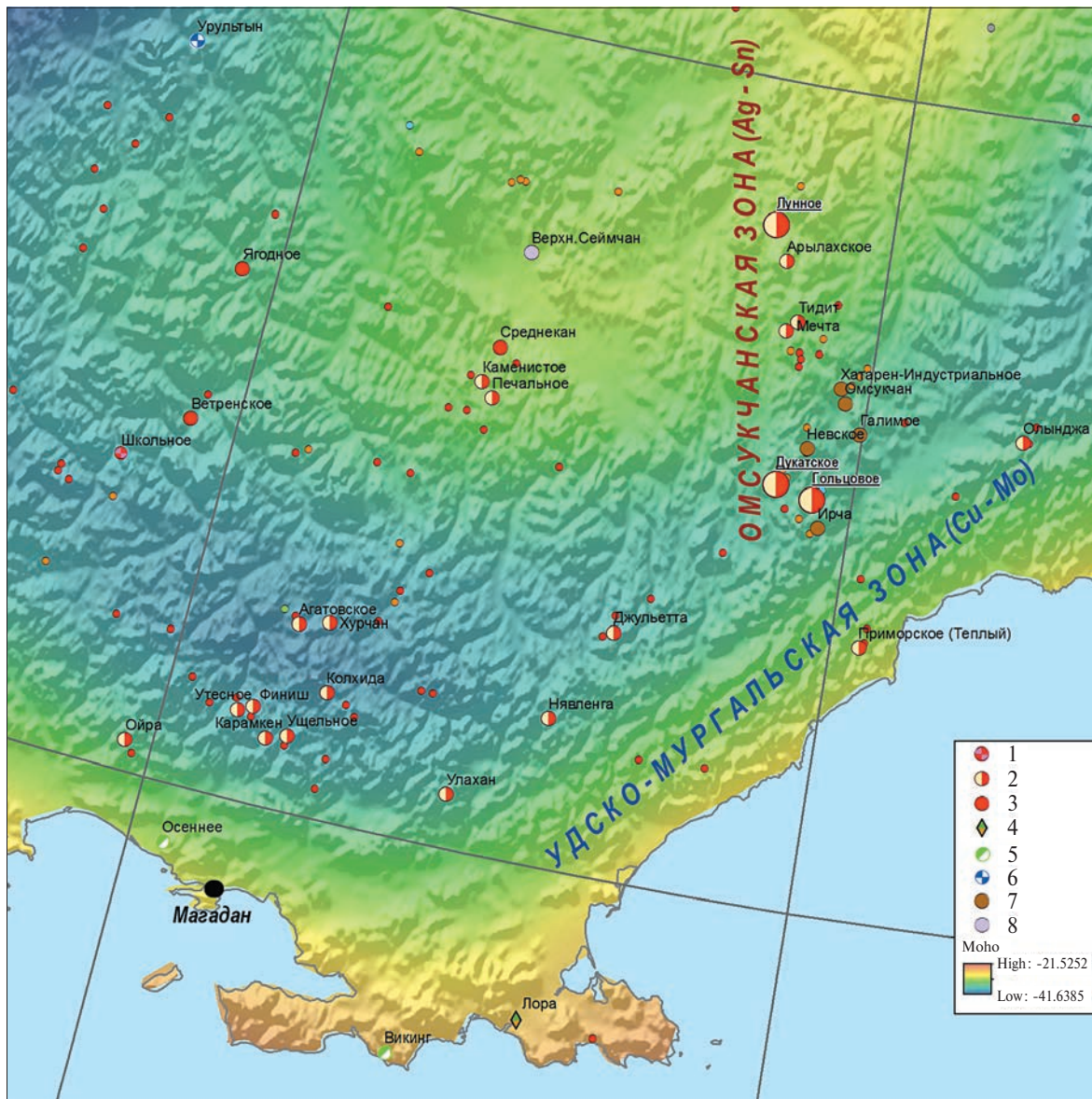
граммы Origin 7.5. Оценки концентраций солей и давлений водяного пара проводились с использованием программы FLINCOR (Brown, 1989).

Определение концентрации порообразующих и отдельных примесных элементов в рудах выполнено методом рентгенфлуоресцентного анализа в аналитической лаборатории ИГЕМ РАН на вакуумном спектрометре последовательного действия (с дисперсией по длине волны), модель Axios-mAX производства компании PANalytical. При калибровке спектрометра использованы отраслевые и государственные стандартные образцы химического состава горных пород. Анализ выполнен по методике 439-РС НСАМ ВИМС, обеспечивающей получение результатов по ОСТ РФ 41-08-205-04 (аналитик А.И. Якушев). Измерения микроэлементов (ICP-MS) проводили на масс-спектрометре с ионизацией в индуктивно-связанной плазме X-Series II (аналитик Я.В. Бычкова). Пределы обнаружения элементов составляли от 0.1 нг/г для тяжелых и средних по массе элементов с возрастанием до 1 нг/г для легких элементов. Погрешность анализа составляла 1–3 отн.%. Золото в пробах определялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией на спектрометре Spectr AA220Z (аналитик В.А. Сычкова). Для оценки условий формирования руд определены индикаторные геохимические показатели. Полученные значения сведены в таблицы, по которым построены графики распределения РЗЭ и других микроэлементов в рудах месторождений.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Месторождение Приморское расположено в месте наложения Омукучанского вулканогриба Охотско-Чукотского вулканического пояса (ОЧВП) на структуры Удско-Мургальского островодужного пояса (УМП). По простираанию указанные геологические структуры совпадают с двумя крупными металлогеническими зонами — Омукучанской, меридиональной, специализированной на Sn, Ag, Pb, Zn, и Удско-Мургальской, северо-восточной — на Cu и Mo (фиг. 2).

В геологическом строении района Приморского месторождения принимают участие терригенные морские отложения юрской системы, субэральные вулканогенные и вулканогенно-осадочные отложения верхнего мела и рыхлые четвертичные образования небольшой мощности. Наиболее древние породы (J) обнажаются в сводовой части Аликского интрузивно-купольного поднятия в северной части района. Они представлены монотонной толщей темно-серых ороговикованных “немых” олигомиктовых и



Фиг. 2. Положение месторождения Приморское по отношению к Удско-Мургальской (Cu-Mo) и Омсукчанской (Sn-Ag) металлогеническим зонам. Карта глубины залегания поверхности Мохо (Panet I. *et al.*, 2014).

Минеральные типы месторождений: 1 — Au-Vi, связанный с интрузивами гранитоидов; 2 — Au-Ag и Ag-Au эпитеpмальный (низкосульфидизированный и промежуточный); 3 — орогенный золоторудный; 4 — Cu-Mo-Au-порфировый; 5 — Cu-Pb-Zn-колчеданный; 6 — Pb-Zn-стратиформный в карбонатных породах; 7 — оловорудный; 8 — Co-REE.

полимиктовых алевролитов, смятых в мелкие складки сложной конфигурации.

Верхнемеловые (K_2) вулканогенные, вулканогенно-осадочные образования, несогласно перекрывающие юрские морские отложения, пользуются в районе преимущественным распространением среди стратифицированных образований и принадлежат ОЧВП, слагают депрессии, просадки в пределах вулканических грабенов. Они включают различные по условиям формирования и формам залегания фации — эффузивную и субвулканическую. Собственно эффузивные фации объединяют лавовые, пи-

рокластические потоки и синхронные им вулканогенно-осадочные отложения. Покровные вулканы района по вещественному составу разделены на четыре толщи — андезибазальтовую, дацитовую, андезитовую и риолитовую.

Разнообразные по составу интрузивные образования позднемелового интрузивного комплекса развиты чрезвычайно широко на территории района, занимая около 30% его площади. Они включают субвулканические, интрузивные и дайковые комплексы пород, интрузирующие стратифицированные отложения юры и верхнего мела.

Субвулканические и жерловые образования рассматриваются как возрастные аналоги покровов, имеющих с ними тождественный состав и постепенные переходы, интрузивные — объединяют полнокристаллические породы от габбро до гранитов, слагают крупные полигенные массивы: Аликский, Тикский, Калалагинский, Вилигинский и ряд мелких штокообразных тел, являющихся, вероятно, куполообразными выступами или сателлитами не вскрытых эрозией крупных массивов. Массивы многофазные, выделяются — габбро-диоритовая, гранодиоритовая, гранитная и базальтовая фазы. Кроме того, интрузивный комплекс включает “свиты” или серии разнообразных по составу дайковых образований, размещающихся как в самих массивах, так и в их ближайших экзоконтактах. Дайкообразные тела характеризуются мощностями от 1–2 до 80–100 м и протяженностью от 100 до 2500 м.

Калалагинская вулcano-тектоническая депрессия, вмещающая Приморское месторождение, — овальная структура (17×20 км) с интрузивным обрамлением. Длинная ось депрессии ориентирована в северо-восточном (20°–30°) направлении. Внутреннее строение депрессии асимметричное. Неоколчан-Калалагинским грабеном депрессия разделена на три части. В восточной ее части обнажаются граниты Калалагинского массива, слагающие кольцевой выступ, вытянутый на этом участке в северо-западном направлении. Падение контактов массива (40°–60°) к центру структуры.

В пределах самого грабена расположено ядро структуры (внутренняя просадка), изометричной формы, диаметром около 7 км. В ядре обнажаются субгоризонтально залегающие вулканы риолитовой толщи.

По южному и юго-западному обрамлению центральной просадки установлены выходы субвулканических тел полифировых риолитов (невадитов) — корневых частей покровов риолитовой толщи. В центральной части ядро разбито Кривым разломом на два блока — Теплый и Молот, в пределах которых расположены одноименные участки Приморского месторождения. В северной части Калалагинской вулканотектонической структуры расположены участки Холодный и Спиридонич (фиг. 1).

Вытянутость рудного поля в северо-западном направлении — отражение главной рудоконтролирующей структуры — центральной ветви Омсукчанского глубинного разлома. В этом же направлении ориентированы и основные рудные тела (фиг. 1). В целом для месторождения положение как рудоносных прожилково-жильных тел, так и рудоносных блоков контролируется разрывами трех систем — северо-западной, северо-восточной и субширотной ориентировки.

Рудные участки, образуя единую рудную зону, разделены на блоки северо-восточными разломами, вдоль которых отмечается правостороннее смещение (фиг. 1).

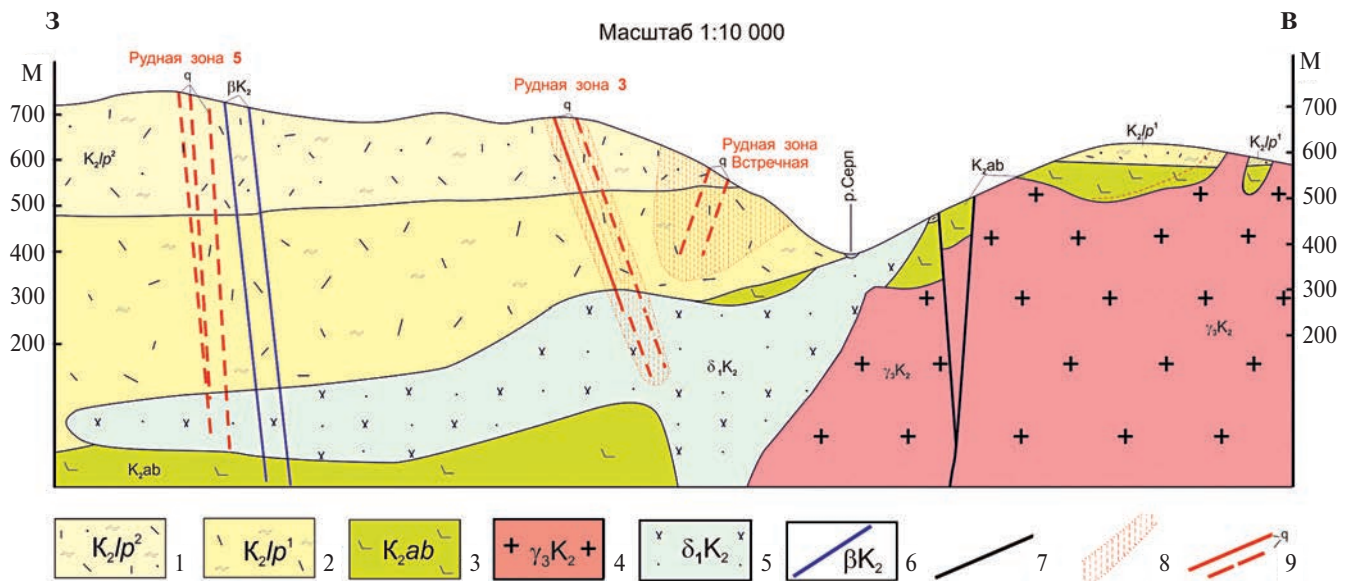
При проведении поисково-разведочных работ на *участке Спиридонич* выделено 5 жильно-прожилковых зон карбонат-кварцевого состава, прослеженных на 1–2.5 км при мощности от 5–7 до 35–40 м. Выходящие на дневную поверхность части зон характеризуются невысокими содержаниями полезных компонентов.

На *участке Холодный* присутствуют как минимум два рудоносных тела северо-восточного простирания, субвертикального падения. Рудные тела размещаются в ороговикованных игнимбригах и сопровождают дайки андезитов. Содержание золота по результатам штучного опробования достигают 10.6 г/т, серебра 2276.3 г/т.

К настоящему времени детальными ГРП охвачен *участок Теплый*, площадью 10 км² (фиг. 1). В геологическом строении участка принимают участие покровные вулканы позднего мела, прорванные разнообразными по составу, морфологии и условиям формирования интрузивными телами. В основании разреза залегают вулканогенно-осадочные отложения андезибазальтовой толщи (фиг. 3), представленные базальтами, субщелочными базальтами и андезитами, их туфами с прослоями туфов дацитов, риолитов и вулканогенно-осадочных пород. Рудовмещающая риолитовая толща в пределах участка распространена повсеместно (фиг. 1) и сложена псаммитовыми и псефитовыми игнимбригами риолитов с прослоями туфов риолитов, базальтов, трахиандезитов и их туфов. Мощность толщи более 700 м, залегание пологое центриклинальное (фиг. 3).

Наиболее масштабное интрузивное тело участка слагают субщелочные лейкократовые амфибол-биотитовые граниты главной фазы Калалагинского массива, обнажающиеся вдоль северо-восточной и юго-западной границ участка (фиг. 1, фиг. 3). Тела диоритов прорывают все покровные вулканы (фиг. 3), а на контакте с гранитами метаморфизуются.

Для участка характерна высокая насыщенность дайками различного состава. Субщелочные базальты, в меньшей степени диориты, диорит-порфириты, образуют пояса даек северо-восточного (45°–60°) простирания. К наиболее ранним (дорудным) относятся дайки субщелочных базальтов, андезибазальтов и дайки ранних риолитов, трахириодацитов северо-западного направления. Пострудные дайки представлены в основном субщелочными базальтами и гранит-порфирами северо-восточной ориентировки. Больших смещений рудных тел по этим дайкам не установлено, за исключением северной части рудного тела №3, где вдоль мощной линейной



Фиг. 3. Геологический разрез участка Теплый (3-В). Масштаб 1: 10000 (по материалам ФГУП «Магадангеология»).

1 — Верхняя пачка. Игнимбриты риолитов с прослоями и линзами туфов андезитов и туфопесчаников; 2 — Нижняя пачка. Игнимбриты риолитов псаммитовые; 3 — Андезибазальтовая толща. Андезибазальты, базальты, их кластолавы; 4 — граниты; 5 — диоритовые порфириты; 6 — дайки базальтов; 7 — разрывные нарушения; 8 — гидрослюдисто-кварцевые метасоматиты; 9 — Ag-Au кварц-родонитовые жилы.

дайки гранит-порфиров зафиксировано смещение тела к северо-востоку на 40–50 м.

Структуру участка определяют две взаимно перпендикулярные системы нарушений северо-восточного и северо-западного направлений. Разрывы северо-западного простирания представлены разломами регионального масштаба, протяженностью около 3.0–3.5 км. Расстояние между ними 500–600 м. Один из них вмещает рудные зоны 1 и 3, другой — рудную зону 16, третий — рудные зоны 5 и 6. Разломы характеризуются крутым падением на северо-восток. Рудные зоны сопровождаются геохимическими аномалиями серебра, свинца, цинка и марганца. По данным Rb/Sr изотопного метода, возраст оруденения позднемеловой (72 ± 6 млн лет) (Стружков, Константинов, 2005).

На участке Теплый выделено более 30 жильных тел и зон прожилкования. При всей многочисленности жилы обладают выдержанным набором безрудных и рудных компонентов, различаясь лишь текстурными особенностями и соотношением золота и серебра. Стержневые жилы (мощностью порядка 1–2 м) сопровождаются сереброносными зонами прожилкования, за счет которых значительно увеличивается мощность рудных тел. Жилы имеют крутое (50° – 80°) падение (фиг. 3), небольшую мощность (от 1 до 3 м) при протяженности от 100–200 до 1000 м.

Наиболее богатое оруденение отмечается на северо-западном фланге рудного тела №1, где горными и буровыми работами на горизонте

600 выявлен рудный столб. Траншеей 1 вскрыт раздвиг жилы мощностью до 7.4 м. Здесь же, по данным бурения, на глубине 26.2 м установлена наибольшая мощность жильной зоны. По пересечениям в скважинах содержание серебра колеблется от первых сотен г/т до 80567.8 г/т, содержание золота достигает 655.0 г/т.

Второй рудный столб приурочен к центральной части рудного тела №3. Содержание серебра в штольне до 17122.4 г/т, золота — до 108.4 г/т. Максимальные содержания серебра, установленные по скважинам, — до 7791.4 г/т, золота — до 58.7 г/т.

Главная роль в контроле рудной минерализации, по геологоразведочным данным, принадлежит тектонике, с которой тесно связана история многоэтапного развития месторождения. Основное влияние на формирование рудных тел оказывают дорудные северо-западные и северо-восточные разрывы. К началу основного этапа рудоотложения в основных вмещающих структурах северо-западного направления был сформирован каркас трещин северо-западной, северо-восточной и субмеридиональной ориентировок. Наибольшее влияние на изменение морфологии, условий залегания и уровней содержания рудных тел оказывают трещины двух последних систем, выступая в роли структурных экранов, где происходит уменьшение или увеличение мощности жил, изменение углов падения, образование апофиз и оперяющих зон прожилкования. Как правило, в таких местах

формируются рудные столбы. Исключительно сложная тектоника рудного поля, как основной рудоконтролирующий фактор, требует дальнейшего тщательного изучения для определения наиболее оптимального направления дальнейших разведочных работ на месторождении.

МЕТАСОМАТИТЫ

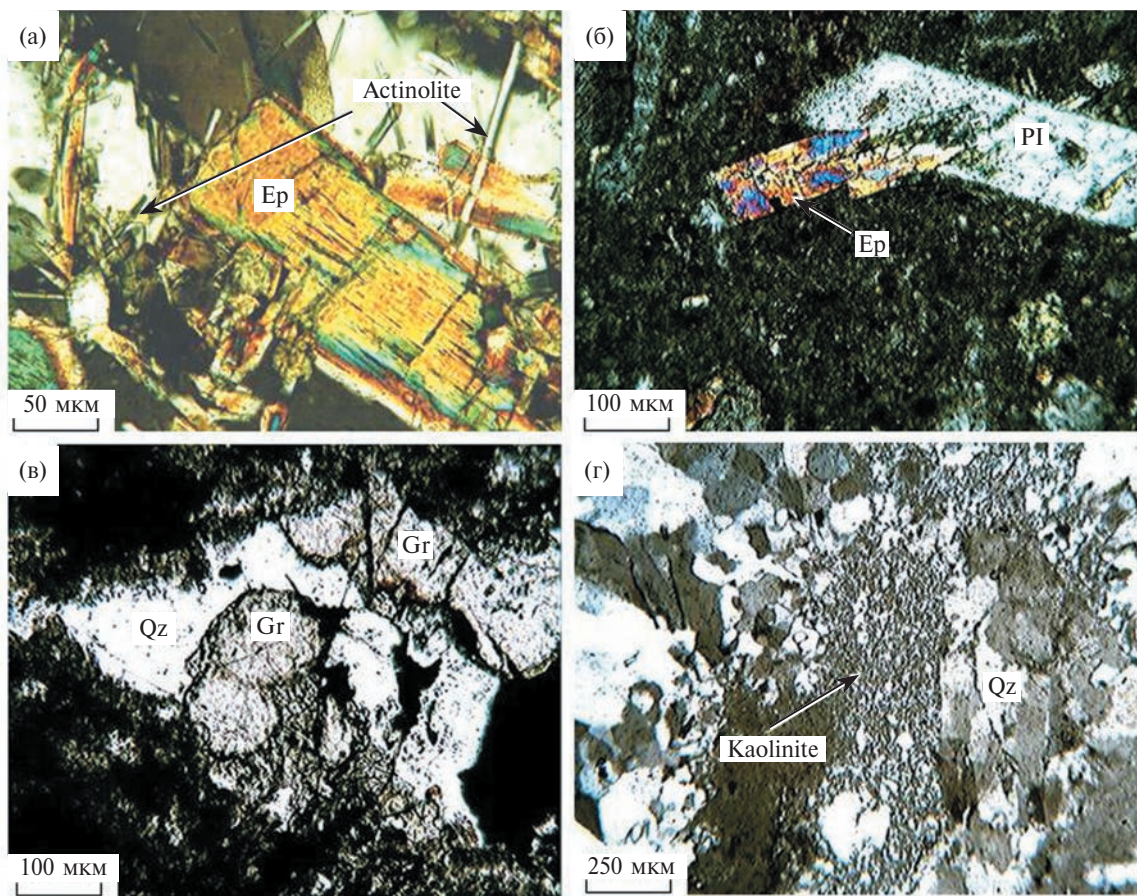
Рудное поле приурочено к вулканокупольной структуре, что предопределяет разнообразные метасоматические изменения в толще вмещающих вулканических пород — каолинит-кварцевые, кварц-хлорит-серицитовые, хлорит-эпидотовые и актинолитовые, располагающиеся зонально. Контактново-метаморфизованные породы — роговики кварц-биотит-амфиболового состава — отмечаются в непосредственной близости от выходов на поверхность гранитоидов Калалагинского массива.

Рудные тела участка Теплый локализируются в пропиловом ореоле. Бедные и рядовые руды локализованы в пропилах низкотемпературной

хлоритовой фации, рядовые руды — средне-температурной эпидотовой фации, а богатые руды — высокотемпературной актинолитовой фации (фиг. 4а–в). Околорудные изменения мощностью 1–10 м представлены гидрослюдистыми березитами, аргиллизитами (фиг. 4г) и фельдшпатолитами.

В пределах участка Теплый наиболее распространены хлорит-эпидотовые метасоматиты. Поля их развития охватывают практически все покровные вулканиты независимо от состава. Помимо эпидота и хлорита в метасоматитах обязательно присутствуют щелочные полевые шпаты, среди которых преобладает альбит, очень редко отмечается калиевый полевой шпат. Кроме того, на участке отмечаются зоны повышенной пиритизации пород.

Аргиллизиты и вторичные кварциты образуют либо узкие зоны вдоль отдельных локальных нарушений или жил, либо довольно широкие поля, в местах их сгущения или пересечения. Окологильные изменения вмещающих пород рудных тел 1 и 3 выражены, в основном, в окварцевании,



Фиг. 4. Метасоматиты месторождения Теплое: а — высокотемпературные эпидот-актинолитовые; б — коррозия плагиоклаза эпидотом в метасоматически измененном андезите; в — метасоматический (наложенный) гранат в кварците; г — низкотемпературные кварц-каолинитовые метасоматиты (на периферии вулкано-интрузивного купола).



Фиг. 5. Интенсивно окварцованные до вторичных кварцитов игнимбриты на контакте с рудоносной жилой. Рудное тело 1 (кern Скв. 32-1, инт. 76.2–79.8 м).

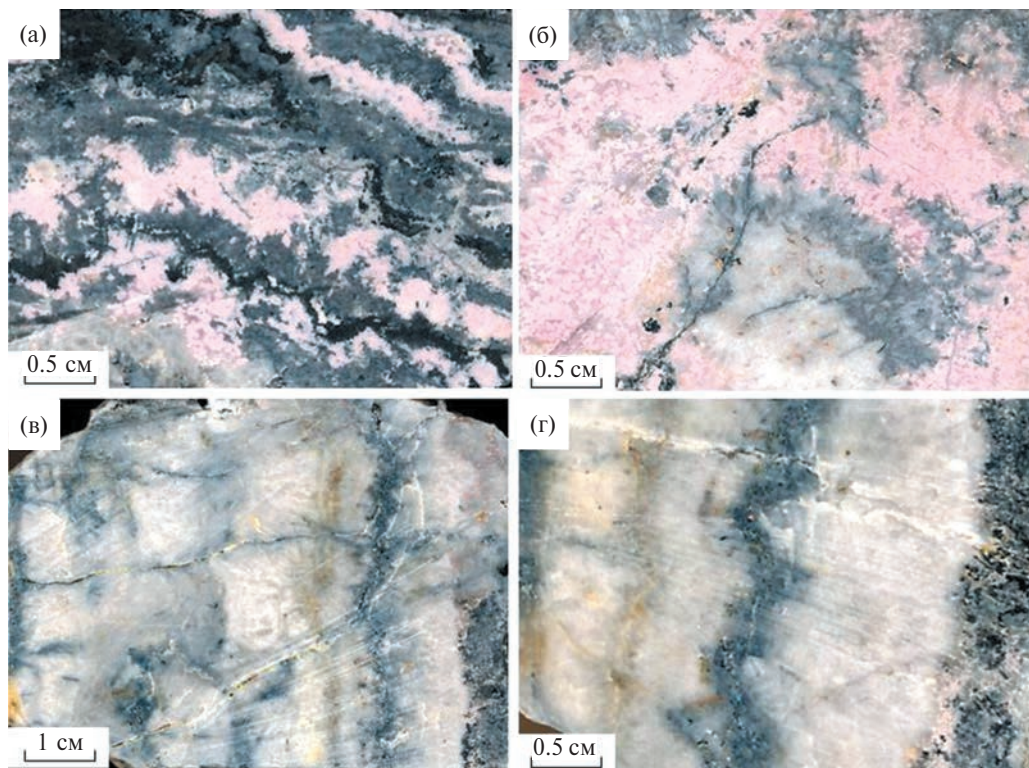
ожеlezнении и омарганцевании (фиг. 5). Интенсивно-насыщенные гидроокислами марганца (пирролизитом) породы обычно сопровождают богатые руды (фиг. 5).

ТЕКСТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РУД

Текстуры жильных образований на месторождении массивные, брекчиевые в монокварцевых участках; массивные, брекчиевые и кавернозные — в кварц-пирролизитовых; соче-

тание полосчатых, колломорфно-полосчатых, брекчиевых, кокардовых текстур наблюдается в жилах кварц-пирролизит-родонитового состава (фиг. 6а, б). Для рудоносных участков жил характерны, в основном, три типа текстур: коллоидная, брекчиевая и прожилковая.

Текстуры руд участка Теплый однозначно указывают на эпитеpмальный характер оруденения. В неизмененных жилах преобладают колломорфно-полосчатые текстуры с халцедоновидным кварцем, адуляром и приуроченно-



Фиг. 6. Колломорфно-полосчатые текстуры руд месторождения Теплое.

а–б — термометаморфизованные кварц-родонит-пирролизитовые руды, обогащенные акантитом; в–г — кварц-халцедон-адуляр-гидрослюдистые руды, не затронутые процессом термометаморфизма, со скоплениями тонко-вкрапленных сульфидов: галенита, акантита и полибазита в темных прослоях.

стью тонко-вкрапленных рудных компонентов к гидрослюдистым прослоям (фиг. 6в, г).

В термометаморфизованных рудах, испытавших влияние лежащей на глубине интрузии, появляются ассоциации с широко распространенными родонитом, бустамитом, гранатом, магнетитом, которые обнаруживают сходство с поздними жилами месторождения Дукат (фиг. 6б). При этом они также сохраняют колломорфно-полосчатое строение, подчеркиваемое пиролюзитом, имеющим черную окраску. Родонит развивается по первичному родохрозиту, реликты которого иногда сохраняются.

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД

Приморское месторождение представлено гидротермальными кварцевыми жильными телами, локализованными в вулканогенной толще. Минеральный состав руд месторождения приведен в табл. 1. По минеральному составу руда существенно кварцевая (75%), с небольшим количеством полевых шпатов и слюдисто-глинистых минералов (5%), родонита (15%), родохрозита (менее 1%), оксидов и гидроксидов Mn (5%) и Fe, сульфидов. Содержание рудных минералов (халькопирит, сфалерит, галенит, пирит, магнетит) составляет 1%. Количество Ag-содержащих минералов в рудах варьирует в широких пределах от тысячных долей процента до 2% и более, составляя в среднем 0.05–0.06%. Суммарное количество сульфидов цветных металлов составляет около 1%. Среди минералов Ag основная часть (до 90%) присутствует в руде в форме акантита, образующего зерна размером от 0.001–0.005 до 0.3–0.6 мм. Содержание акантита в руде со-

ставляет около 0.1%. Небольшое количество Ag входит в состав Cu-Ag сульфидов и присутствует в самородной форме. По данным рационального анализа руд, около половины Ag (51.3%) и четверти Au (23.5%) находится среди минералов Mn в виде тонких включений и невидимой минерализации (фиг. 7). Особенность вещественного состава руды — высокое содержание Mn, который представлен в основном тремя минеральными разновидностями: родонит-бустамитом, родохрозитом и оксидами марганца.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ МИНЕРАЛОВ

Жильные минералы. В целом, количество жильных минералов в руде не превышает 95–98%. На отдельных участках жил родонит и карбонат составляют более 50% жильного выполнения (фиг. 6б).

Кварц — образует три генерации. *Кварц-1* — тонкозернистый и халцедоновидный, развивается по вмещающим породам на флангах месторождения на удалении от центральной части купольной структуры совместно с каолинитом и гидрослюдой, а также слагает ритмы колломорфно-полосчатых жил, не затронутых интенсивным термометаморфизмом (фиг. 6в, г). *Кварц-2* — слагает центральные части родонит-пиролюзитовых жил. Образует сравнительно крупные, до 8 мм в поперечнике, зачастую зональные, шестоватые и гребенчатые агрегаты. *Кварц-3* — халцедоновидный до халцедона, слагает прожилки 1–4 мм, секущие кварц-1 и кварц-2, а также родонитовые скопления.

Хлорит и эпидот широко распространенные минералы в рудоносных жилах, но количество их

Таблица 1. Минеральный состав руд участка Теплый по степени распространенности

Минералы	Главные	Второстепенные	Редкие
Жильно-метасоматические	Кварц Родонит Эпидот Хлорит Гидрослюда	Актинолит Адуляр Гранат Плагиоклаз	Родохрозит Пирофиллит Флюорит Андалузит, волластонит
Рудные	Акантит Галенит Халькопирит Сфалерит Пиролюзит	Электрум Самородное Au Пирит Борнит Ялпаит Ленаит Маккинстриит Полибазит Медистый пираргирит	Магнетит Гематит Штроеерит Медистый ютенбогаардит Медистый акантит Матильдит Самородное серебро
Гипергенные	Пиролюзит Псилоделан Кераргирит	Халькозин Ковеллин Гидроксиды Fe	Англезит Платтнерит PbO ₂ Спертиниит Cu(OH) ₂

всегда незначительно. По отношению к кварцу являются сингенетичными минералами. Размеры выделений колеблются от 0.05 до 1–1.5 мм. Чаще это поликристаллические сростки, реже радиально-лучистые агрегаты. Эпидот отчетливо корродирует вкрапленники плагиоклаза. Хлорит образует чешуйчатые агрегаты размером до 5 мм. По оптическим свойствам он близок к прохлориту.

Актинолит — отмечается как вторичный минерал высокотемпературных метасоматитов в надинтрузивной области вулкано-интрузивного купола совместно с эпидотом (фиг. 4а), но в отдельных случаях проникает в кварц высокотемпературных жил второго этапа.

Родонит — слагает полосы мощностью до 2.5 см и линзы в жильных образованиях второго этапа минерализации, ориентированных субпараллельно контактам. Изучение родонита в шлифах показывает, что он кристаллизуется практически одновременно с жильным кварцем. Наблюдаются взаимные прорастания кварца и родонита, в результате окисления последний замещается псиломеланом и пиролюзитом. В жилах часто встречаются родонитовые сферолиты и тонкоколломорфные текстуры, представленные чередованием кристаллического шестоватого кварца и тонкокристаллического родонита, при этом в ядрах отмечаются как родонит, так и кварц, но последний встречается чаще. В мелко- и тонкозернистом кварце родонит образует мелкую вкрапленность, либо поликристаллические стяжения неправильной формы. По данным локального рентгеноспектрального анализа, в родоните установлена тонкая интерстициальная вкрапленность акантита, размером до 0.2–0.6 мм и тонкие прожилки самородного Ag.

Родохрозит — наиболее поздний минерал жильного выполнения, отмечается в виде реликтов в кварц-родонит-пиролюзитовых жилах, образуя гнездовые скопления до 3–5 мм в поперечнике, выполняет мелкие пустоты и трещины. Срастается с гипогенным пиролюзитом и замещается гипергенным псиломеланом. Наибольшее количество (порядка 50% жильной массы) отмечено на южном фланге рудного тела № 3. В гипергенных условиях активно выщелачивается.

Гранат — в незначительных количествах встречается в жилах повсеместно. За редким исключением, количество его составляет 0.01%. Размеры выделений варьируют от субмикроскопических, до 2–3 мм (фиг. 4в). Характерные формы выделений — вкрапленная, прожилково-вкрапленная. Выделено две генерации гранатов. Гранаты раннего этапа, характеризующиеся аномальным двупреломлением и наличием весьма редких двойников, наблюдаются в виде мелких ксеноморфных выделений, часто образующих

полиагрегатные сростки. Ассоциируют с родонитом, полевым шпатом и магнетитом. Гранаты второй генерации образуют прозрачные кристаллы в виде хорошо выраженных ромбододекаэдров, выполняют трещины и пустоты выщелачивания. Размеры кристаллов до 1.5–2.0 мм. Ассоциируют с эпидотом, актинолитом кварцем.

Адуляр — на месторождении входит в группу мало распространенных жильных минералов и встречается в тесном сростании с кварцем-1 в колломорфно-полосчатых жилах раннего этапа минерализации. Размеры его кристаллов не более 0.5 мм.

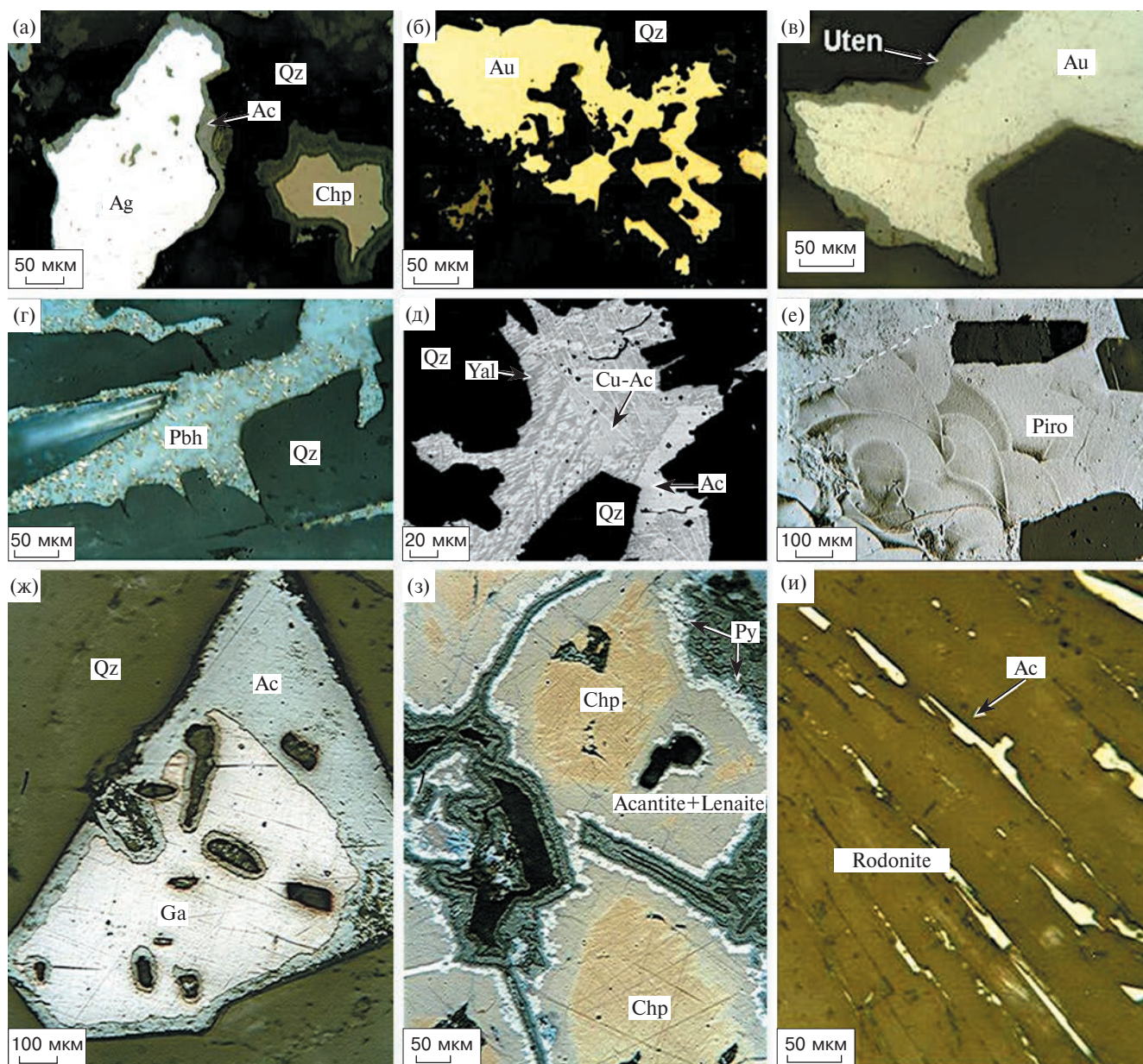
Гидрослюда — развита как по вмещающим породам, так и слагает ритмы (1–3 мм) в жильных колломорфно-полосчатых образованиях. Нередко именно к полосам гидрослюды приурочена тонкая вкрапленность рудных минералов.

Рудные минералы распространены в виде вкрапленности, полос, сгустков, тяготеющих к границам колломорфных образований (фиг. 6в, г), обломков брекчированных жил. Наиболее благоприятны для рудоотложения: кварц в непосредственной близости от массивных родонитовых руд; обломки кварца, включенные в родонит или кварц с мелко- и крупнокристаллического кварца; кварц неоднородной пятнистой текстуры. Главный ценный компонент в рудах — Ag, образует самородную и сульфидную минерализации, приуроченные обычно к участкам развития минералов Mn. Данные рационального анализа Ag приведены на диаграмме (фиг. 7). Состав рудных минералов участка Теплый приведен в табл. 2, 3.

Самородное Ag — отмечается в рудах в виде небольших округлых обособлений размером до 0.8 мм с каймой акантита и ялпаита (фиг. 8а). Результаты микронзондовых анализов всегда с избыточной суммой, но никаких примесей в серебре не установлено, что более характерно для гипергенных образований.



Фиг. 7. Рациональный анализ серебра, технологическая проба, участок Теплый (лаборатория технологии обогащения руд ЦНИГРИ).

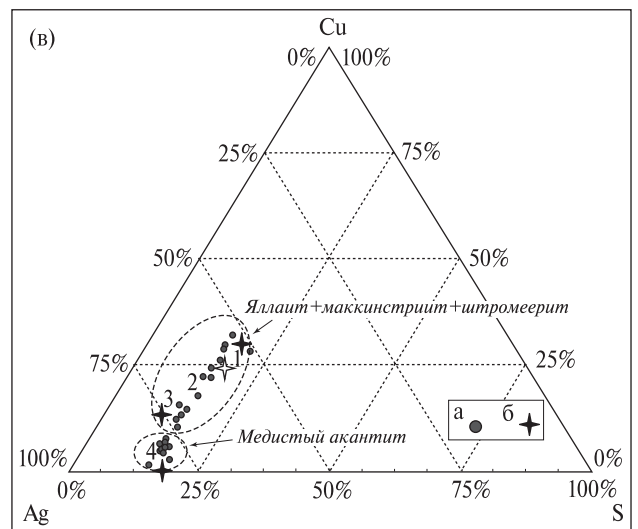
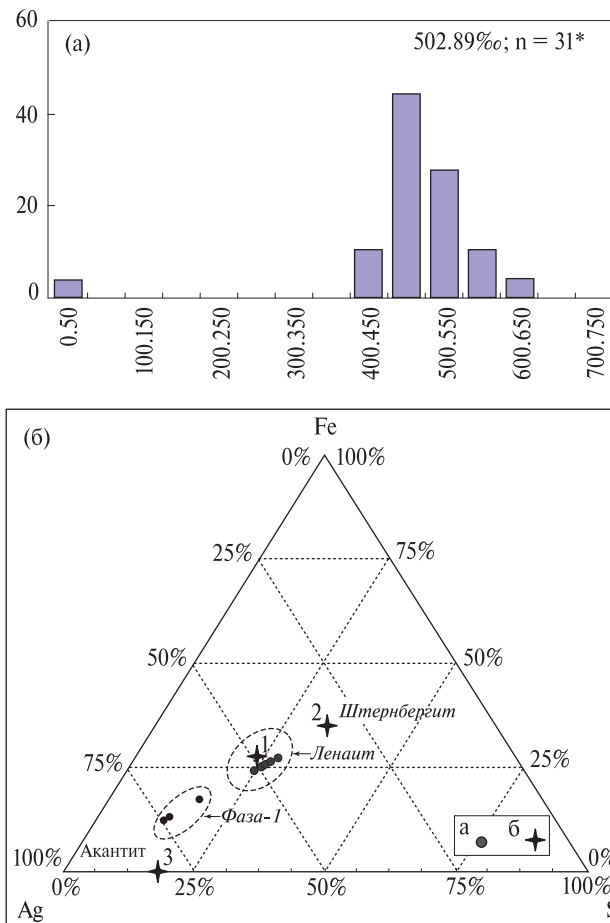


Фиг. 8. Выделения рудных минералов в рудах участка Теплый: а — самородное серебро с каймой медистого акантита; б — выделение самородного золота в кварц-адуляровом агрегате; в — каймы ютенбогардтита на электруме; г — полибазит со структурой светотравления; д — структура распада твердого раствора: акантит-медистый акантит-ялпаит (электронное изображение); е — гипогенные выделения пиррохрита в сростании с кварцем и полевым шпатом; ж — кайма акантита на галените; з — зонально отлагающиеся на халькопирите акантит, ленаит, пирит; и — выделение акантита в родоните.

Самородное Au — низкопробное (443–616‰). Всего сделано 31 микрозондовое определение пробности (фиг. 9а). Размеры обособлений 0.1–1.1 мм. Представлено комковидными зернами с многочисленными ответвлениями, чешуйками, единичными удлиненными кристаллами, пучковидными или линейными сростками кристаллов. По периферии зерен отмечаются нарастания Ag. Самородное золото образует сростания с кварцем, адуляром, родонитом (фиг. 8б). Практически не сростается с сульфидами, что благоприятно для

обогащения. В поверхностных горных выработках окаймляется Cu-ютенбогардтитом (фиг. 8в). На гистограмме значений пробности отмечается лог-нормальное распределение с пиком в интервале 450–500‰ (фиг. 9а). Сюда же включены и два анализа самородного Ag. Среднее значение пробности (без учета самородного Ag) — 502.89‰.

Галенит — встречается в виде интерстициальных обособлений (размером 0.1–2.5 мм), распределен крайне неравномерно. По составу стехиометричен (табл. 2), сростается с акантитом,



Фиг. 9. Распределение пробности золота (а) и минеральных фаз переменного состава в группах Fe-Ag (б) и Cu-Ag (в) колчеданов в рудах участка Теплый. а — гистограмма пробности самородного золота в рудах месторождения Теплое: по оси абсцисс — интервалы пробности, ‰; по оси ординат — частота встречаемости, %, n — количество анализов, 502.89‰ — средняя пробность.

б — диаграмма состава (Ag-Fe-S), а — фазы участка Теплый; б — теоретические составы: 1 — ленаит, 2 — штернберgit, 3 — акантит.

в — диаграмма состава (Ag-Cu-S), а — фазы участка Теплый; б — теоретические составы: 1 — яллаит, 2 — маккинстриит, 3 — штроеерит, 4 — акантит.

сфалеритом и халькопиритом. Акантит образует вокруг зерен галенита тонкие (0.008–0.01 мм) каемки (фиг. 8ж). Тесно ассоциирует со сфалеритом, причем характер сростания этих минералов свидетельствует об их близодновременном образовании.

Халькопирит — один из наиболее распространенных рудных минералов, встречается в кварце в виде тонкой вкрапленности (очень редко в виде прожилков), часто в ассоциации с магнетитом и сульфидами Ag. Образует интерстициальные обособления в кварце и родоните. Его включения часты в галените, широко распространена эмульсионная вкрапленность халькопирита в сфалерите. При сростании халькопирита с акантитом образуется ленаит (Ag аналог халькопирита, табл. 2), зонально обрастающий выделения халькопирита (фиг. 8з). Халькопирит нередко содержит примеси Ag от 1 до 10 мас.% (табл. 2). Размеры обособлений халькопирита 0.5–1.5 мм. Часто наблюдается замещение халькопирита борнитом, ковеллином и халькозином.

Ленаит ($AgFeS_2$) — отмечается в сростаниях халькопирита с акантитом, где он образует промежуточные зоны (фиг. 8з). Состав минерала стехиометричен (табл. 2), но имеются фазы, состоящие, предположительно, из смеси акантита

с ленаитом, показанные на диаграмме (фиг. 9б) как фаза-1.

Сфалерит — образует ксеноморфные обособления (размером 0.2–1.3 мм), наблюдается в виде отдельных зерен, как в кварце, так и в его интерстициях. Отмечается его слабый катаклиз, а также обрастание сфалерита акантитом. По составу сфалерит безжелезистый и маложелезистый ($Fe < 1.02$ мас.%) (табл. 2). Часто обрамлен тонкой (0.006–0.008 мм) каймой акантита. При длительном хранении аншлифа на воздухе (2–3 месяца) по кайме акантита развивается новообразованный акантит (отмечено его прорастание сквозь угольное напыление).

Акантит — образует тесные сростания (Cu-акантит–яллаит–маккинстриит–штроеерит), которые отлагаются в интерстициях кварца и родонита (фиг. 8а, д, ж, и). Размеры выделений варьируют в широких пределах: от субмикроскопических до 3–4 мм, преобладают размеры 0.1–0.3 мм, в отдельных участках 0.01–0.1 мм. Очень редко отмечаются кристаллические сростки акантита в выщелоченных пустотах. Распределен в жилах крайне неравномерно, обуславливая наличие в отдельных пробах “ураганных” содержаний. В поздних парагенезисах отмечаются структуры распада твердого раствора (фиг. 8д)

Таблица 2. Состав рудных минералов месторождения Теплое по данным микрорентгеноспектрального анализа (мас.%)

Номера анализов	Концентрации элементов, мас. %					Сумма
	Cu	Fe	S	Ag	Sb	
Акантит						
1	0.8		12.91	86.18		99.89
2			11.6	87.53		99.14
3	0.59		9.41	91.09		101.09
Халькопирит						
1	34.03	29.04	34.55			97.62
2	30.4	27.41	32.33	8.68		98.82
3	28.8	28.9	33.75	10.29		101.74
Полибазит						
	Cu	Sb	S	Ag	Se	
1	2.17	5.98	13.19	75.24	1.65	98.24
2	3.02	7.48	12.95	76.01	0.65	100.11
3	2.87	6.03	13.12	75.22	1.14	98.65
Медистый пираргирит						
1	4.04	19.08	17.51	57.01		97.64
2	3.93	18.55	17.03	56.20		95.71
Ленаит						
	Cu	Ag	S	Fe	Zn	
1	1.18	48.29	26.23	22.05		97.76
2		48.83	28.45	25.08		102.37
3		49.07	28.66	25.12		102.85
Галенит						
	Cu	Ag	S	Pb	Bi	
1			12.89	85.95		98.85
2			13.28	86.91	0.31	100.50
3			13.03	87.52	0.45	101.00
Матильдит						
1		27.81	17.18	1.22	54.17	100.38
2		26.69	17.23		56.01	99.93
Сфалерит						
	Cu	Ag	S	Fe	Zn	
1	0.41	1.04	32.76	1.04	65.06	99.28
2	0.46		33.05		65.93	99.93
3			33.58		67.21	100.8
Медистый ютенбогардит						
	Cu	Fe	S	Ag	Au	
1	5.62		10.52	61.48	20.38	98.95
2	5.95		10.97	60.05	22.03	99.01
Электрум						
1				50.94	49.06	100.00
2				51.00	48.90	99.90
3				48.55	50.42	98.97

Примечание. Анализы выполнены на рентгеновском микроанализаторе Camebax, с приставкой INCA, аналитики: Е.М. Горячева, Т.В. Субботникова (СВКНИИ ДВО РАН), И.А. Брызгалов (МГУ). Аналитические линии, эталоны: TeL_{α} , Bi_2Te_{γ} , Bi_2S_3 (Bi — 52,2; 81,3); CuK_{α} , $CuFeS_2$ (34,5 — Cu; 30,5 — Fe; 34,5 — S); FeK_{α} , FeS_2 (46,55 — Fe); SeK_{α} , $PbSe$ (27,6 — Se); AgL_{α} , сплавы различного состава.

с широким спектром составов Cu-Ag сульфидов (табл. 3 фиг. 9в).

Пирит — относительно малораспространенный рудный минерал. Он встречается преимущественно в метасоматитах кварц-серицитового состава и на флангах рудных тел. Выделения его ксеноморфные и часто разбиты на удлиненные блоки наложенным на него родонитом. Размеры выделений до 1 мм. Отмечается также микрокристаллический поздний пирит, который отлагается как реакционный на краях выделений ленаита и акантита, замещающих халькопирит (фиг. 8з).

Полибазит — достаточно редкий минерал и встречен на западном фланге траншеи 1, где образует интерстициальные обособления в квар-

Таблица 3. Состав минералов ряда ялпаит-маккинстриит-штроемерит.

№ п/п	Концентрации элементов, мас. %				Формульные коэффициенты		
	Ag	S	Cu	Сумма	Ag	S	Cu
Ялпаит Ag_3CuS_2							
1	74.97	8.75	15.43	99.15	3.44	1.35	1.2
2	71.21	10.11	17.92	99.24	3.15	1.5	1.35
3	72.62	11.19	16.48	100.29	3.15	1.63	1.21
4	71.09	10.64	18.67	100.4	3.08	1.55	1.37
5	70.45	11.24	18.07	99.76	3.04	1.63	1.32
Маккинстриит $(Ag, Cu)_2S$							
1	57.83	12.85	27.37	98.05	1.18	0.88	0.94
2	67.67	12.43	20.85	100.95	1.40	0.87	0.73
3	68.38	11.33	19.24	98.95	1.47	0.82	0.70
4	60.12	13.1	27.33	100.55	1.20	0.88	0.92
5	63.22	11.17	23.97	98.36	1.34	0.80	0.86
6	59.21	17.31	23.13	99.65	1.13	1.11	0.75
7	54.04	17.53	27.53	99.10	1.01	1.11	0.88
8	58.29	16.81	25.51	100.61	1.11	1.07	0.82
Штроемерит $Ag CuS$							
1	52.83	15.22	31.2	98.25	1.01	0.98	1.01
2	52.76	15.13	33.33	101.22	0.99	0.95	1.06
3	55.91	14.95	29.36	100.22	1.07	0.97	0.96
4	56.22	13.18	29.09	98.49	1.12	0.89	0.99
5	58.53	12.15	28.36	99.04	1.19	0.83	0.98
6	57.10	15.34	28.53	100.97	1.09	0.99	0.92
7	53.78	15.85	30.80	100.43	1.01	1	0.98
8	52.90	18.34	28.8	100.04	0.97	1.13	0.9

Примечание. Анализы выполнены на рентгеновском микроанализаторе Camebax, аналитики: Горячева Е.М., Субботникова Т.В. (СВКНИИ ДВО РАН), Брызгалов И.А. (МГУ). Аналитические линии, эталоны: TeL_{α} , Bi_2Te_{γ} , Bi_2S_3 (Bi — 52,2; 81,3); CuK_{α} , $CuFeS_2$ (34,5 — Cu; 30,5 — Fe; 34,5 — S); FeK_{α} , FeS_2 (46,55 — Fe); SeK_{α} , $PbSe$ (27,6 — Se); AgL_{α} , сплавы различного состава.

Таблица 4. Схема последовательности минералообразования для руд месторождения Теплое

МИНЕРАЛ	Э т а п				
	ВУЛКАНОГЕННЫЙ		ПЛУТОНОГЕННЫЙ		ГИПЕРГЕННЫЙ
	С т а д и я				
	Кварц-адуляр гидрослюдисто-сульфидно-сульфосольная +Au	Кварц-карбонатная (существенно родохрозитовая)	Эпидот-родонит-бустамит-пиролузитовая с гранатом	Кварц-сульфидная с акантитом и минералами гр.: Ag-Cu-S, Ag-Fe-S +Ag	Существенно-пиролузитовая, и халькозинково-веллиновая
Эпидот			—————		
Актинолит			—————		
Кварц+халцедон	—————	—————	—————	—————	
Родонит			—————		
Хлорит			—————		
Гидрослюда	—————				
Адуляр	—————				
Манганокальцит		—————			
Родохрозит		—————			
Магнетит			—————		
Пирит	—————				
Марказит				—————	
Гематит			-----		
Галенит	—————			—————	
Халькопирит	—————			—————	
Борнит				—————	
Сфалерит	—————			—————	
Полибазит	—————				
Ленаит				—————	
Акантит	—————			—————	
Ялпаит				—————	
Маккинстриит				—————	
Штроеерит				—————	
Югенбогаардит				—————	
Матильдит				—————	
Электрум	—————			—————	
Самородное Au	—————			—————	
Самородное Ag				—————	
Пиролузит			—————		—————
Псиломелан					—————
Кераргирит					—————
Халькозин					—————
Гидроксиды Fe					—————
Англезит					—————
Платтнерит					—————
Спертиниит					—————

це размером 0.5–1.1 мм. Минерал проявляет неустойчивость при оптическом исследовании, подвываясь светотравлению с выделением крупных капель Ag (фиг. 8г). В составе минерала установлена примесь Se до 1.65 мас.% (табл. 2).

Си-пираргирит — встречается в сростании с халькозином, где он образует тонкие каймы

мощностью не более 0.3 мм. По составу отличается от стехиометрического дефицитом Sb (табл. 2).

Борнит — отмечается в сростании с губчатым агрегатом халькозина и ковеллина в виде мелких розовато-серых обособлений размером не более 0.5 мм. Его гипогенное, либо гипергенное про-

исхождение остается под вопросом, так как зона окисления развита слабо, а количество минералов меди в рудах заметно высокое.

Матильдит — редкий минерал, встреченный в образцах из отвалов штольни 1. Тесно сростается с галенитом, анизотропен. Минерал диагностирован микрозондом (табл. 2).

Медистый ютенбогардит (Cu — 5–6 мас.%) — встречается повсеместно в виде каймы на электруме. Диагностирован на микрозонде (табл. 2).

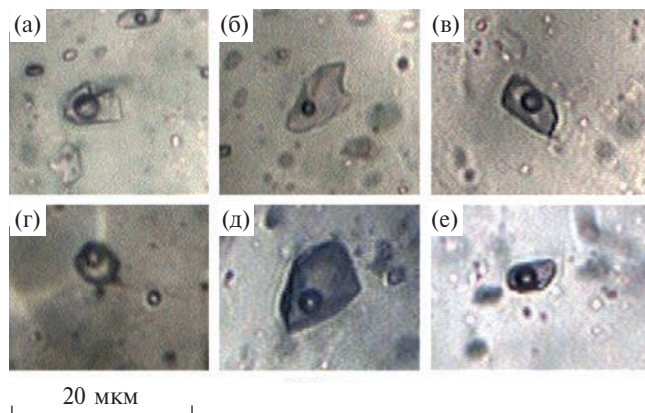
Магнетит — отмечается в сростании с родонитом и пиролюзитом в жильных образованиях. Составляет до 20–35% (до 90–95%) тяжелой фракции шлиха. Образует скопления мелких (0.2–0.5 мм) зерен гипидиоморфных очертаний. Выделено две генерации магнетита. Для ранней характерны сложная морфология выделений, обилие включений и каверн, наличие структур распада. Здесь в качестве включений присутствуют кварц, халькопирит, пирит, галенит, акантит, самородное Fe, хлорит, самородное Ag. Магнетит поздней генерации встречается реже и представлен хорошо выраженными кристаллами и их сростками, часто имеющими зональное строение. Включения в нем других минералов редки.

Пиролюзит — широко распространенный минерал, предположительно, как гипогенного, так и гипергенного происхождения. Образует крупные скопления до 10 см в поперечнике. Часто совместно с натечным псиломеланом (фиг. 8е).

По взаимоотношениям минералов и минеральных парагенезисов с учетом геолого-структурной позиции составлена схема последовательности минералообразования (табл. 4). Выделено три этапа минерализации: *I* вулканогенный, представлен двумя стадиями — кварц-адуляр-гидрослюдистой-сульфидно-сульфосольной с самородным Au и кварц-карбонатной (манганокальцит-родохрозитовой); *II* плутоногенный, условно разделенный на две стадии: наложенный высокотемпературный метасоматоз — эпидот-родонит-бустамит-пиролюзитовая с гранатом и стадия переотложенного рудного вещества — кварц-сульфидная с акантитом, минералами групп Ag-Cu-S и Ag-Fe-S и с самородными Au и Ag; *III* гипергенный — преимущественно гидроксиды Fe и Mn с заметным количеством халькозина.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

С целью выявления условий образования кварц-родонитовых жил участка Теплый были отобраны 6 образцов рудных тел №№ 1 и 3. Методами термобарогеохимии в кварце второй



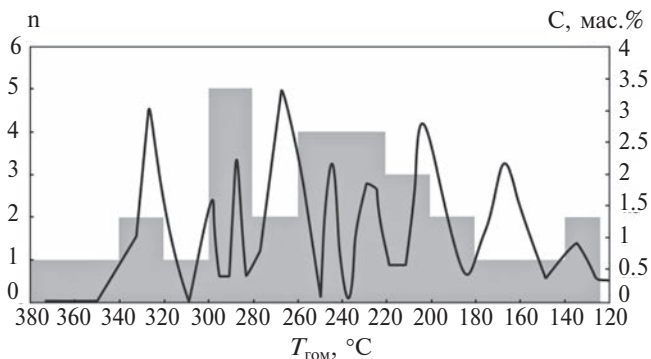
Фиг. 10. Флюидные газопо-жидкие включения (L-тип) в продуктивном кварце участка Теплый.

а — $T_{\text{ГОМ}} = 338^\circ\text{C}$, $T_{\text{ЭВТ}} = -25^\circ\text{C}$, $C = 0.88$ мас.% экв. NaCl; б — $T_{\text{ГОМ}} = 123^\circ\text{C}$, $C = 0.88$ мас.% экв. NaCl; в — $T_{\text{ГОМ}} = 185^\circ\text{C}$, $T_{\text{ЭВТ}} = -24^\circ\text{C}$, $C = 0.35$ мас.% экв. NaCl; г — $T_{\text{ГОМ}} = 278^\circ\text{C}$, $T_{\text{ЭВТ}} = -23.3^\circ\text{C}$, $C = 3.39$ мас.% экв. NaCl; д — $T_{\text{ГОМ}} = 290^\circ\text{C}$, $T_{\text{ЭВТ}} = -23.7^\circ\text{C}$, $C = 0.35$ мас.% экв. NaCl; е — $T_{\text{ГОМ}} = 326^\circ\text{C}$, $C = 3.06$ мас.% экв. NaCl.

генерации было изучено 35 индивидуальных флюидных включений (ФВ), результаты исследований ФВ приведены в табл. 5.

По фазовому составу и при комнатной температуре ФВ — двухфазовые, газопо-жидкие (L-тип), заполнены водно-солевым раствором ($F = 0.3\text{--}0.9$) (фиг. 10). ФВ имеют изометричную, иногда округлую форму, распространены не равномерно, преимущественно по зонам роста, реже группами, их размер колеблется от 1 до 15 мкм, преобладают 1–3 мкм. Для крио- и термометрических исследований отбирались первичные и первично-вторичные ФВ размером 3–15 мкм.

ФВ гомогенизируются в температурном интервале от 365 до 120 °C (табл. 5, фиг. 11), со средним значением 253 °C. Температуры гомогенизации имеют бимодальное распределение, наибольшее количество случаев гомогенизации



Фиг. 11. Гистограмма распределения температур гомогенизации флюидных включений в кварце рудных тел №№ 1 и 3 участка Тёплый и уровень солёности растворов в изученных флюидных включениях.

Таблица 5. Результаты термо- и криометрических исследований индивидуальных флюидных включений в продуктивном кварце участка Тёплый

№ образца	Температуры фазовых переходов, °С			Расчетные показатели:	
	$T_{\text{гом}}$	$T_{\text{эвт}}$	$T_{\text{пл. льда}}$	С солей, мас. %-экв. NaCl	Общая плотность флюида, г/см ³
Теп-1-15	338...275	-25...-24	-0.5...-0.2	0.88...0.35	0.61
	273...260	-23.3	-2...-1.1	3.39...1.91	0.68
	230...220	-28	-1.1...-0.3	1.91...0.53	0.8
	207...199	н	-1.7...-1	2.9...1.74	0.8
	185...120	-24	-0.5...-0.2	0.88...0.35	0.9
Теп-2-15	326...254	-24...-23	-1.8...-0.8	3.06...1.4	0.6
	252...220	н	-0.5...-0.3	0.88...0.53	0.8
Т-2-2	347...320	-23...-15	-1...-0.6	1.74...1.05	0.6
	290...233	н	-0.4	0.7	0.8
	180	-19	-1.2	2.07	0.9
178-1	365	-35	-0.3	0.53	0.6
РТ-3	285	-13	-0.2	0.35	0.6
М-3-1	255	-15	-1	1.74	0.8

Примечание. Каждая строчка в таблице характеризует группу включений (от 3 до 5) с близкими РТХ-параметрами, присутствующих в одном образце; “н” — соответствующий фазовый переход отсутствует или неясно выражен.

ФВ происходит в двух близко расположенных температурных интервалах 297–285 и 260–220 °С (фиг. 11), причем в оба этих периода концентрации солей в растворах значительно понижались. Криометрические исследования показали, что концентрации солей в растворах, оцененные по температурам плавления последнего кристаллика льда, варьируют от 3.39 до 0.35 мас. % экв. NaCl (табл. 5). Судя по температурам эвтектики ($T_{\text{эвт}} = -35 - -15$ °С), в составе растворов преобладают хлориды Na. Анализ состава водных вытяжек (проанализировано 5 проб) подтвердил, что в составе преобладает Na, но и показал, что в растворах, примерно в таких же концентрациях, имеется K, соотношение Na/K в среднем составило 1. При этом в растворах присутствуют Ca, Fe, Mg. В среднем отношение (Na+K)/(Ca+Mg+Fe) составляет 16. КР-спектрометрией в “газовой фазе” ФВ в кварце кварц-родонитовых руд участка Тёплый CO_2 , N_2 и CH_4 не установлено.

Расчитанные давления, существовавшие при рудообразовании, не превышали 100 бар, что больше присуще открытым рудным системам, формирующимся в открытых трещинах в приповерхностных условиях, где общее давление определяется давлением паров воды, а рудообразование происходит на фоне кипения и смешивания минерализованных гидротерм с вадозными водами (Прокофьев, 2000). Расчет глубины формирования при условии наличия только

гидростатического давления в открытой системе позволяет оценить ее на уровне 1.3–1.5 км. (Прокофьев, Пэк, 2015).

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД

В составе изученных руд участка Тёплый преобладает SiO_2 (64.3–96.62%), присутствуют заметные концентрации MnO (0.81–18.39), Al_2O_3 (0.92–11.58), CaO (0.43–8.41), Fe_2O_3 (0.29–5.94), K_2O (0.05–5.08), а также MgO (0.16–3.21) (табл. 6). Это говорит о том, что в составе рудных тел преобладает кварц и минералы марганца, присутствуют адуляр, карбонаты и гидрослюды. Для руд характерны низкие и очень низкие значения Na_2O , TiO_2 , и P_2O_5 (табл. 6). Судя по табл. 6, содержание сульфидов в изученных рудах очень низкое (в среднем $S_{\text{общ}} = 0.05$). Убогосульфидный характер руд, низкие содержания в них Cu, Pb и Zn (табл. 7) — нетипично для месторождений эпитеpмального Ag-Au подтипа (Стружков, Константинов, 2005). Вместе с тем, Au/Ag отношение в рудах участка Тёплый варьирует от 0.003 до 0.02, составляя в среднем — 0.005 (табл. 7), что характерно для месторождений эпитеpмального Ag-Au подтипа (Стружков, Константинов, 2005). Следует отметить высокую сходимость полученных нами данных с результатами изучения укрупненной технологической пробы (табл. 6).

Результаты анализа элементного состава руд участка Тёплый представлены в табл. 7 и фиг. 12.

Таблица 6. Химический состав руд (в мас.%) участка Теплый месторождения Приморское

№ пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ общ.	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S общ.	Σ
Т-2-2	82.22	0.01	1.24	1.32	10.95	0.43	3.39	0.14	0.17	0.02	0.05	99.94
К-19-2	76.19	0.01	0.39	0.62	18.39	0.24	3.95	0.09	0.05	<0.02	0.03	99.96
178-2	83.94	0.09	6.55	0.38	2.99	0.33	2.51	0.49	2.40	0.04	0.06	99.79
178-3*	96.62	0.04	1.05	0.29	0.81	0.16	0.43	0.12	0.12	0.03	0.15	99.82
Шт. 4	64.94	0.94	11.58	5.94	1.78	3.21	6.42	3.32	1.40	0.35	0.04	99.92
М-3-1	82.51	0.01	0.92	1.06	12.00	0.28	2.76	0.14	0.18	0.02	0.02	99.91
177-1*	76.02	0.02	0.42	0.41	14.05	0.43	8.41	0.09	0.05	0.03	0.03	99.96
2925	85.92	0.10	2.73	1.41	6.78	0.39	1.81	0.35	0.27	0.06	0.03	99.86
31205	87.15	0.02	3.34	0.75	3.99	1.19	1.93	0.31	1.02	0.02	0.08	99.81
312	64.30	0.02	11.17	2.59	12.62	0.95	0.68	1.35	5.08	0.03	0.08	98.87
Сс	79.98	0.12	3.93	1.47	8.43	0.76	3.22	0.64	1.07	0.06	0.05	99.79
ТП	80.4	0.08	3.68	2.1	7.48	Не опр.	1.84	0.26	0.84	0.03	0.05	96.76

Примечание. Рентгенофлуоресцентный (силикатный) анализ, лаборатория ИГЕМ РАН, аналитик А.И. Якушев; Сс — среднее содержание; ТП — технологическая проба, химический анализ, лаборатория ЦНИГРИ.

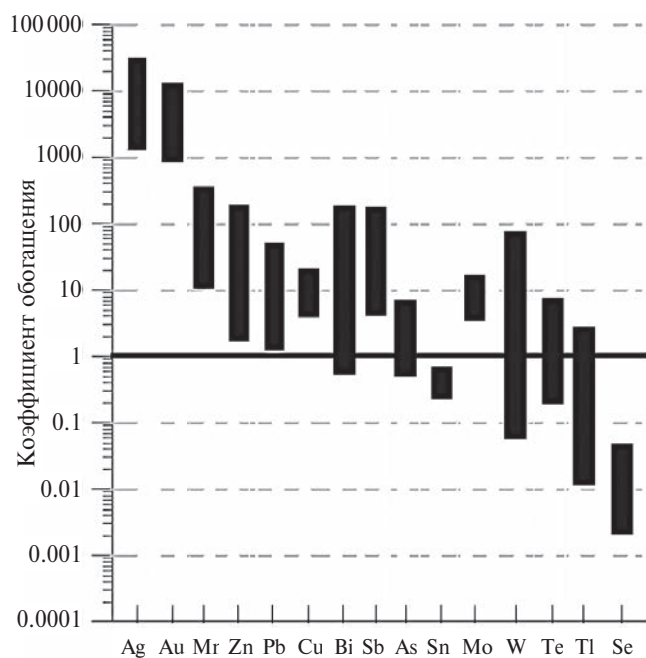
На диаграмме (фиг. 12) они нормированы по отношению к средним значениям для верхней коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988). Спектры РЗЭ в изученных рудах, нормированные по отношению к средним значениям для хондритов показаны на фиг. 13.

Руды участка Тёплый обогащены достаточно широким спектром элементов (Ag, Au, Mn, Cd, Bi, Sb, Zn, Pb, W, Cu, In, As) (табл. 7, фиг. 12),

по сравнению со средними значениями верхней коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988). Коэффициенты обогащения варьируют от нескольких раз (Cu, In, As) — до десятков (Bi, Sb, Zn, Pb, W), сотен (Mn, Cd) и до тысяч (Au), десятков тысяч раз (Ag) (табл. 7, фиг. 12), что свидетельствует о геохимическом родстве некоторых микроэлементов и их синхронном участии в рудообразовании.

Руды явно обогащены легкими и обеднены тяжелыми РЗЭ, имеют значения Hf/Sm, Nb/La и Th/La меньше 1 (табл. 8). Следовательно, рудообразующие флюиды принадлежали NaCl–H₂O гидротермальной системе, обогащенной Cl относительно F (Oreskes, Einaudi, 1990), что коррелирует с результатами изучения флюидных включений в рудном кварце (см. выше). Отношение Y/No изученных руд составляет в среднем 45.89 (табл. 8), что характерно для гидротермальных флюидов задуговых бассейнов (Вау, 1991; Jones, Manning, 1994; Monecke *et al.*, 2002).

Для изученных руд установлены достаточно низкие значения ΣРЗЭ, которые в среднем составляет 24.36 (табл. 8). Такие же низкие суммы концентраций РЗЭ характерны для эпitherмальных руд Омсукчанского и других рудных районов ОЧВП (Кравцова, 2010; Волков и др., 2017) и мира (Кураминского, Узбекистан, Банска-Штьявница, Словакия и др.) (Винокуров и др., 1999). Отметим, что сумма концентраций РЗЭ в изученных рудах (табл. 7) заметно ниже, чем во вмещающих магматических и вулканических породах ОЧВП (Кравцова, 2010). Нормированные на хондрит средние значения РЗЭ в рудах участка Теплый образуют слабо наклонные



Фиг. 12. Геохимические данные 10 рудных проб участка Тёплый.

Таблица 7. Геохимическая характеристика руд месторождения Теплое

Элемент	№№ проб, содержания элементов, в г/т										Сс	Ко
	Т-2-2	К-19-2	178-2	178-3	Шт. 4	М-3-1	177-1	2925	31205	312		
Au	5.1	3.6	1.6	16	4.3	6.7	5.5	23	13	8.4	8.62	4788.97
Ag	1398	281	71	2894	1281	1169	1161	1839	2344	2421	1485.9	28642.4
Cu	120	96	400	246	110	275	140	273	286	518	246.40	9.85
Mo	<0.018	<0.018	7.1	5.4	<0.018	<0.018	<0.018	24	<0.018	9.1	4.55	3.04
Pb	99	30	229	972	44	24	168	83	127	271	204.76	10.23
Zn	305	352	793	492	125	595	171	1987	625	13489	1893.31	26.66
Cd	1.7	0.49	5.7	2.1	0.45	3.5	0.95	2.40	1.5	152	17.04	173.92
In	0.63	0.36	0.29	0.28	0.35	0.42	0.30	0.29	0.28	0.35	0.35	7.08
Bi	22	2.6	2.0	0.069	2.7	14	8.7	2.3	0.22	4.1	5.86	46.16
As	5.3	10	6.2	0.76	3.0	5.9	2.2	2.3	1.6	2.9	4.06	2.71
Sb	4.2	2.0	2.4	3.2	0.86	2.8	2.4	2.0	8.0	34	6.16	30.79
Sn	2.0	2.2	2.0	1.7	1.5	1.9	1.5	1.3	1.7	3.8	1.95	0.35
W	<ПО	<ПО	2.0	<ПО	<ПО	0.13	<ПО	5.7	142	52	20.14	10.07
Tl	<ПО	0.55	0.015	2.0	<ПО	0.009	0.17	<ПО	0.16	0.13	0.30	0.4
Te	3.0	1.6	6.0	0.98	1.2	17	0.75	1.2	0.45	1.6	3.33	1.43
Se	0.11	<ПО	2.2	1.4	<ПО	2.3	0.16	<ПО	<ПО	<ПО	0.61	0.01
Mn	129918	212433	34691	6346	16176	134675	155914	109646	32690	131191	96367.99	160.61
Co	0.25	<ПО	<ПО	<ПО	10	0.087	<ПО	1.6	12	5.0	2.94	0.29
Ni	1.1	1.1	2.5	0.44	12	0.60	1.7	4.8	1.9	0.53	2.64	0.13
Li	27	9.0	21	32	41	16	21	82	34	61	34.40	1.72
Rb	<0.027	<0.027	68	<0.027	27	<0.027	<0.027	<0.027	17	125	23.76	0.21
Be	7.6	6.0	7.1	0.86	2.1	6.1	4.2	4.1	2.4	6.5	4.69	1.56
Sc	1.5	2.5	2.6	4.2	13	1.3	0.81	1.8	4.0	0.50	3.20	0.29
Ti	11	5.0	483	115	4962	9.0	30	191	30	27	586.27	0.19
V	12	9.9	30	4.0	92	12	11	61	7.4	28	26.73	0.44
Cr	5.6	10	5.2	11	34	5.4	9.6	293	92	39	50.58	1.44
Ga	2.7	0.92	7.1	0.65	11	1.6	1.1	2.5	3.5	16	4.74	0.27
Sr	156	4.8	126	15	501	9.2	7.5	312	132	339	160.19	0.45
Y	12	0.09	21	1.4	14	36	0.04	4.1	0.97	4.7	9.54	0.43
Zr	<0.006	<0.006	22	<0.006	130	<0.006	<0.006	3.6	<0.006	<0.006	15.58	0.08
Nb	<0.003	<0.003	2.1	<0.003	4.2	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	0.63	0.02
Ta	<0.001	<0.001	0.28	<0.001	0.16	<0.001	<0.001	<0.001	0.054	<0.001	0.04	0.02
Cs	1.4	0.23	1.8	<0.001	0.92	0.46	0.09	0.02	0.25	12	1.68	0.45
Ba	35	15	311	29	352	63	7.0	17	106	928	186.26	0.33
La	1.7	0.06	11	1.5	16	0.68	<ПО	3.9	0.61	3.9	3.95	0.13
Ce	2.6	0.15	24	3.3	36	2.1	0.063	6.9	0.96	2.5	7.81	0.12
Pr	0.73	<ПО	3.1	0.53	4.7	0.72	<ПО	0.92	0.10	0.33	1.11	0.15
Nd	4.3	0.032	13	2.9	20	5.0	0.004	3.6	0.42	1.3	5.07	0.19
Sm	1.1	0.001	2.7	0.73	3.8	1.7	<ПО	0.65	0.068	0.21	1.10	0.24
Eu	0.25	<ПО	0.48	0.075	1.2	0.34	<ПО	0.16	0.038	0.38	0.29	0.33
Gd	2.0	0.011	3.1	0.71	4.0	2.5	<ПО	0.74	0.10	0.30	1.34	0.35
Tb	0.29	<0.0001	0.50	0.055	0.52	0.52	<0.0001	0.082	<0.0001	0.010	0.19	0.30

Таблица 7. Окончание

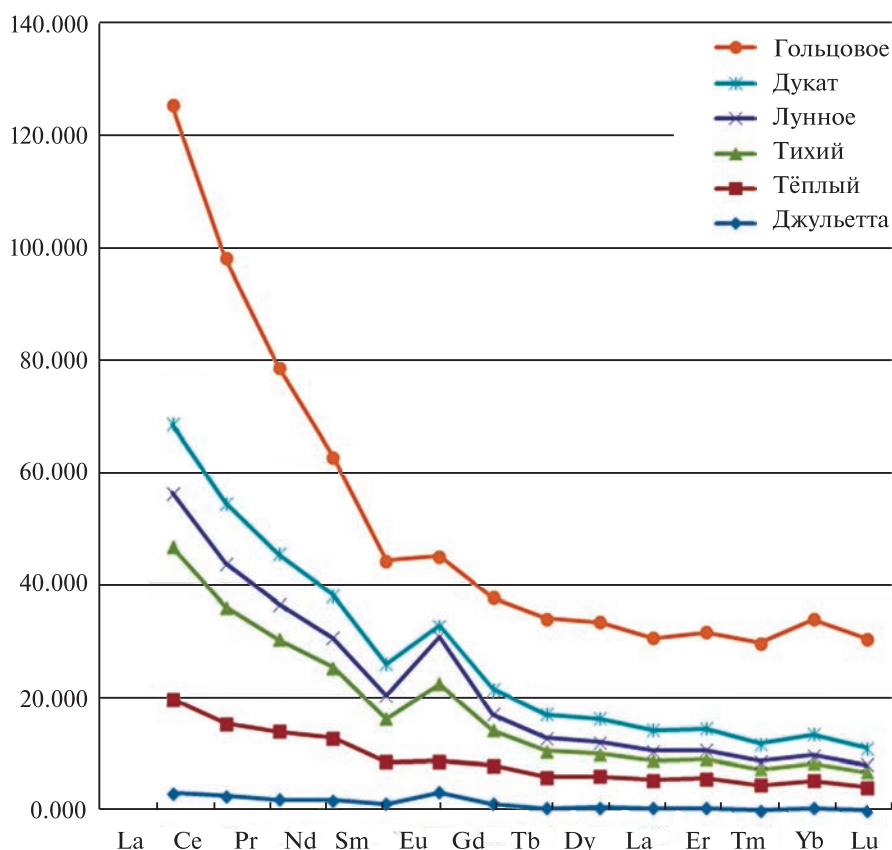
Элемент	№№ проб, содержания элементов, в г/т										Сс	Ко
	Т-2-2	К-19-2	178-2	178-3	Шт. 4	М-3-1	177-1	2925	31205	312		
Dy	2.3	<ПО	3.2	0.35	2.9	3.9	<ПО	0.60	0.084	0.19	1.34	0.38
Ho	0.49	<0.0002	0.66	0.044	0.52	0.89	<0.0002	0.093	0.009	0.031	0.27	0.34
Er	1.5	<0.0001	2.0	0.15	1.5	2.9	<0.0001	0.30	0.051	0.12	0.84	0.36
Tm	0.19	<0.0001	0.29	0.002	0.19	0.40	<0.0001	0.028	<0.0001	<0.0001	0.11	0.33
Yb	1.3	<0.0001	2.2	0.10	1.3	2.7	<0.0001	0.25	0.050	0.080	0.79	0.35
Lu	0.16	<0.0001	0.30	0.003	0.17	0.38	<0.0001	0.022	<0.0001	<0.0001	0.10	0.32
Hf	<0.003	<0.003	0.72	<0.003	2.8	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	0.35	0.06
Th	<0.002	<0.002	4.4	0.01	2.7	<0.002	<0.002	0.13	<0.002	<0.002	0.72	0.06
U	0.026	0.027	1.8	0.15	0.92	0.12	0.002	0.95	0.16	0.50	0.46	0.16

Примечание. ПО — предел обнаружения. Микроэлементы определены методом ICP-MS, лаборатория ИГЕМ РАН, аналитик Я.В. Бычкова; Au — методом атомной абсорбции, аналитик В.А. Сычкова; Ag — методом РФА, аналитик, А.И. Якушев.

близхондритовые спектры (фиг. 13), во многом сходные по конфигурации со спектрами РЗЭ вмещающих пород (Кравцова, 2010).

Eu- и Ce-аномалии обычно рассматриваются как маркеры окислительно-восстановительного потенциала среды рудообразования (Бортников

и др., 2007; Горячев и др., 2008). В пробах из руд месторождения Теплое значения Eu/Eu^* — отрицательные, а Ce/Ce^* — положительные, близкие к 1, за исключением аномальной пробы 312 (табл. 8). Такое сочетание Eu/Eu^* и Ce/Ce^* указывает на слабо окислительные условия, суще-



Фиг. 13. Спайдер-диаграммы РЗЭ в рудах эпипермальных месторождений Омсукчанской металлогенической зоны

Таблица 8. Индикаторные показатели руд участка Тёплого, Приморского месторождения

Индикаторные показатели	№№ проб										С
	Т-2-2	К-19-2	178-2	178-3	Шт. 4	М-3-1	177-1	2925	31205	312	
ΣREE	18.8	0.2	67.0	10.3	92.5	24.7	0.1	18.2	2.5	9.3	24.36
ΣLREE	10.6	0.2	54.8	8.9	81.4	10.6	0.1	16.1	2.2	8.6	19.35
ΣHREE	8.1	0.0	12.3	1.4	11.1	14.1	0.0	2.1	0.3	0.7	5.01
ΣLREE/ ΣHREE	1.31	21.41	4.46	6.35	7.35	0.74	—	7.65	7.46	11.85	6.86
Hf/Sm	—	—	0.26	—	0.72	—	—	—	—	—	0.09
Nb/La	—	—	0.18	—	0.26	—	—	—	—	—	0.04
Th/La	—	—	0.39	0.01	0.16	—	—	0.03	—	—	0.06
Y/Ho	25.30	—	32.54	31.65	27.19	40.89	—	43.91	105.40	152.03	45.89
U/Th	—	—	0.41	10.07	0.34	—	—	7.13	—	—	1.79
Rb/Sr	—	—	0.54	—	0.05	—	—	—	0.12	0.36	0.11
Sr/Ba	4.44	0.32	0.40	0.53	1.42	0.14	1.06	18.42	1.24	0.36	2.83
Zr/Hf	—	—	30.49	—	46.83	—	—	—	—	—	7.73
Nb/Ta	—	—	7.63	—	26.51	—	—	—	—	—	3.41
Co/Ni	0.23	—	—	—	0.86	0.14	—	0.32	6.50	9.60	1.76
Te/Se	27.12	—	2.69	0.72	—	7.21	4.69	—	—	—	4.24
Au/Ag	0.003	0.01	0.02	0.005	0.003	0.005	0.004	0.01	0.005	0.003	0.005
Eu/Eu*	0.71	—	0.63	0.52	1.06	0.60	—	0.87	—	5.06	0.94
Ce/Ce*	0.57	1.51	1.01	0.92	1.10	0.60	—	0.90	0.83	0.34	0.78
LaN/YbN	0.91	—	3.55	10.48	8.54	0.16	—	10.61	8.25	33.43	7.59
LaN/SmN	1.00	54.51	2.58	1.25	2.58	0.24	—	3.70	5.56	11.86	8.33
GdN/YbN	1.22	—	1.17	5.99	2.59	0.74	—	2.41	1.63	2.98	1.87
LaN/LuN	1.13	—	3.93	51.72	9.65	0.18	—	18.48	—	—	8.51
ΣCe	9.31	0.23	51.56	8.12	76.33	8.52	0.06	15.30	2.09	8.01	17.95
ΣY	6.32	0.01	10.68	1.96	13.04	9.83	0	2.32	0.29	1.11	4.55
ΣSc	2.92	—	4.49	0.24	2.90	5.96	—	0.56	0.10	0.19	1.74
Eu/Sm	0.23	—	0.17	0.10	0.32	0.19	—	0.24	0.55	1.81	0.36
Ce/Yb	1.99	—	10.99	34.29	28.50	0.78	—	27.83	19.17	30.62	15.42
Eu/Ce	0.09	—	0.02	0.02	0.03	0.15	—	0.02	0.03	0.15	0.05

Примечание. $Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * (Tb_N * Eu_N)^{1/2})^{1/2}$; $Ce/Ce^* = Ce_N / ((2La_N + Sm_N)/3)$, REE — PЗЭ, LREE — легкие PЗЭ, HREE — тяжелые PЗЭ, суммы содержаний по группам PЗЭ (Минеев, 1974): цериевая — ΣCe, итриевая — ΣY, скандиевая — ΣSc.

ствовавшие при рудоотложении. Низкие Eu/Sm отношения (< 1) в изученных рудах (табл. 8) показывают, что рудообразование протекало на верхнекоровом уровне (Винокуров, 1996).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главная особенность месторождения заключается в том, что в структурном плане оно находится на сочленении двух блоков земной коры.

Это сочленение южного обрамления Омсукчанского континентального рифта с Приохотской вулканической зоной Удско-Мургалского вулканогенного пояса. По простиранию указанных геологических структур протягиваются две крупные металлогенические зоны — Омсукчанская субмеридиональная, специализированная на Sn, Ag, Pb, Zn, и Удско-Мургалская — на Cu и Mo (Сидоров и др., 2009; Волков и др., 2014).

При изучении вещественного состава участка Тёплый установлены все признаки допорфирового вулканогенного месторождения по (Сидоров

и др., 2011). Привнос Cu оказывает существенное влияние на видовой состав минералов Ag поздних парагенезисов. Изучение рудно-метасоматических образований позволило выделить на месторождении два гипогенных этапа рудообразования — вулканогенный и, наложенный, — плутоногенный.

Минеральные образования раннего этапа, слабо затронутые поздним высокотемпературным процессом, сохранились только в поверхностных горных выработках западного фланга участка Тёплый. Они свидетельствуют о том, что в вулканогенный Au-Ag-этап формировались руды с Sb-минерализацией (пираргирит и полибазит) колломорфно-полосчатых текстур, а вмещающие породы были подвержены кварц-серицитовым изменениям.

Поздний этап характеризуется высокотемпературным метаморфизмом ранних эпитермальных жил, привнесением существенного количества Cu, присутствием Bi-содержащего галенита и матильдита в рудах. Температуры гомогенизации ФВ в кварце этого этапа варьируют в широком диапазоне от 120–347 °С до 434 °С по (Стружков, Константинов, 2005). Отмечаются признаки реювенации рудообразующей системы. В результате образуются хлорит-эпидотовые с актинолитом средне-высокотемпературные фации околорудных метасоматитов, а в рудных телах — гранат-магнетит-родонит-эпидотовая минерализация, как и на крупном Ag-Au месторождении Дукач (Серебро ..., 1989); также наблюдается вынос Sb и перераспределение Ag с отложением широкого круга Cu и Fe сульфидов (табл. 2).

Ранее нами было показано (Савва и др., 2016), что особенности состава субстрата вулканоструктур и их металлогеническая специализация влияют на геохимические и минеральные типы месторождений. Преобладание в рудах участка Тёплый минералов группы Cu-Ag сульфидов, таких как ялпаит, штроеерит и маккинстриит, а также Cu-акантита и Сиютенбогардита (табл. 2) — результат влияния Удско-Мургальской палеоостровной дуги, отличающейся Cu-Mo специализацией. Подобные взаимоотношения и парагенезисы установлены нами и на других месторождениях Северо-Востока России — Ольча, Нявленга, Джулетта (Савва, Шахтыров, 2011; Савва и др., 2007; 2016), а также подробно описаны для месторождения Паланката, Перу (Jorge *et al.*, 2013). С металлогеническим влиянием Омсукчанской зоны (с Ag-Sn-полиметаллической специализацией) связаны не только высокие содержания Ag в рудах участка Тёплый (Ag-акантитовый минеральный тип), но и широкое развитие минералов Mn (родонит, манганосидерит, родохрозит).

В результате сравнительного анализа геохимических данных по рудам участка Тёплый с

другими Ag-Au месторождениями Омсукчанской металлогенической зоны (Стружков, Константинов, 2005) были выявлены следующие сходные черты: широкий спектр основных элементов-индикаторов и присутствие в нем Mn; повышенные содержания W; высокие коэффициенты обогащения Mn и Ag; высокие значения Sr/Ba, Y/No; очень низкое Au/Ag отношение; низкая ΣREE ; отрицательные Eu- и положительные Ce-аномалии, близкие по конфигурации спектры распределения РЗЭ (фиг. 13). Были установлены также следующие геохимические особенности руд участка Тёплый: низкие содержания $S_{\text{общ}}$; низкие содержания Pb, Zn, повышенные Cu и Bi; высокие значения Te/Se (табл. 8).

Судя по табл. 8, в спектрах РЗЭ изученных руд преобладают легкие “гидрофильные” лантаноиды “цериевой” группы (Жариков и др., 1999; Минеев, 1974). Аналогичный состав РЗЭ характерен и для вмещающих вулканитов Омсукчанского района (Кравцова, 2010). Отношение U/Th и Co/Ni (табл. 8) в изученных рудах варьирует в широких пределах, что, по-видимому, указывает на термальный метаморфизм руд.

По результатам изучения флюидных включений (ФВ) в кварце установлено, что кварц-родонитовые жилы месторождения Тёплое формировались в условиях высоких и средних температур (347–120 °С) в несколько стадий, из очень слабо концентрированных хлоридных гидротерм (3.38–0.35 мас.% экв. NaCl), насыщенных катионами Na и K. Важно отметить, что по сравнению с другими эпитермальными месторождениями Омсукчанской зоны (Стружков, Константинов, 2005), физико-химические параметры образования руд участка Тёплый необычны (табл. 5). Это высокие температуры, низкие концентрации солей и показатели плотности флюида во включениях, что характерно для “сухого пара”, т. е. на фоне дефицита H₂O, рудная система была **перегрета** (температура превышала критическую для воды). Такие параметры также могли быть обусловлены термальным метаморфизмом руд. Степень метаморфизма руд настолько высока, что происходит растворение и переотложение рудных минералов. Перераспределение Ag приводит к образованию более-менее упорядоченной структуры распада твердых растворов в системе Cu–Ag–S (фиг. 9в), а также к образованию ленаита Ag–Fe–S (структурного аналога халькопирита).

Минералы Cu–Ag-группы — штроеерит, ялпаит, маккинстриит, которые обычно редко встречаются, образуют широкий спектр (фиг. 9в), составляя значительную долю в изученных рудах. Здесь очевидна пространственная и генетическая связь с Cu-порфировой рудообразующей системой Удско-Мургальской металлогенической

зоны. Полученные результаты позволяют отнести эпитермальное месторождение Приморское к промежуточно-сульфидизированному типу (Richards, 2013; Simmons *et al.*, 2005).

Приведенная в статье информация имеет практическое значение для региональных прогнозно-металлогенических построений, поисков и оценки эпитермальных Au-Ag месторождений.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН № 48 “Месторождения стратегических и высокотехнологичных металлов Российской Федерации: закономерности размещения, условия формирования, инновационные технологии прогноза и освоения”, темы Госзадания ИГЕМ РАН “Металлогения рудных районов вулканоплутоногенных и складчатых орогенных поясов Северо-Востока России” и Российского научного фонда (грант № 14–17–00170).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Борисенко А.С.* Изучение солевого состава газожидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.
- Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В. и др.* Состав и происхождение флюидов в гидротермальной системе Нежданинского золоторудного месторождения (Саха-Якутия, Россия) // Геология руд. месторождений. 2007. Т. 49. № 2. С. 99–145.
- Винокуров С.Ф.* Европиевые аномалии в рудных месторождениях и их генетическое значение // ДАН. 1996. Т. 346. № 6. С. 792–795.
- Винокуров С.Ф., Коваленкер В.А., Сафонов Ю.Г. и др.* Лантаноиды в кварцах эпитермальных золоторудных месторождений: распределение и генетическое значение // Геохимия. 1999. № 2. С. 171–180.
- Волков А.В., Сидоров А.А., Старостин В.И.* Металлогения вулканогенных поясов и зон активизации. М.: ООО “МАКС Прес”, 2014.
- Волков А.В., Мурашов К.Ю., Сидоров А.А.* Геохимические особенности эпитермального рудообразования в Охотско-Чукотском вулканоплутоническом поясе (Северо-Восток России) // ДАН. 2017. Т. 474. № 3. С. 351–355.
- Горячев Н.А., Викентьева О.В., Бортников Н.С. и др.* Наталкинское золоторудное месторождение мирового класса: распределение РЗЭ, флюидные включения, стабильные изотопы кислорода и условия формирования руд (Северо-Восток России) // Геология руд. месторождений. 2008. Т. 50. № 5. С. 414–444.
- Жариков В.А., Горбачев Н.С., Латфутт П. и др.* Распределение редкоземельных элементов и иттрия между флюидом и базальтовым расплавом при давлениях 1–12 кбар (по экспериментальным данным) // ДАН. 1999. Т. 366. № 2. С. 239–241.
- Кравцова Р.Г.* Геохимия и условия формирования золотосеребряных рудообразующих систем Северного Приохотья. Новосибирск: Академическое издательство “Гео”, 2010.
- Кряжев С.Г., Прокофьев В.Ю., Васюта Ю.В.* Использование метода ICP-MS при анализе состава рудообразующих флюидов // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2006. № 4. С. 30–36.
- Минеев Д.А.* Лантаноиды в рудах редкоземельных и комплексных месторождений. М.: Наука, 1974.
- Прокофьев В.Ю.* Геохимические особенности рудообразующих флюидов гидротермальных месторождений золота различных генетических типов. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. 192 с.
- Прокофьев В.Ю., Пэк А.А.* Проблемы оценки глубины формирования гидротермальных месторождений по данным о давлении минералообразующих флюидов // Геология руд. месторождений. 2015. Т. 57. № 1. С. 3–24.
- Савва Н.Е., Волков А.В., Сидоров А.А.* Термальный метаморфизм Au-Ag-эпитермальных руд месторождения Нявленга (Северо-Восток России) // ДАН. 2007. Т. 413. № 5. С. 655–660.
- Савва Н.Е., Шахтыров В.Г.* Золото-серебряное месторождение Ольча: тектоническая позиция, структура, вещественная характеристика // Геология руд. месторождений. 2011. Т. 53. № 5. С. 460–484.
- Савва Н.Е., Сидоров А.А., Волков А.В.* Cu-Ag сульфиды — индикаторы допорфировых эпиптермальных Au-Ag месторождений Северо-Востока России // ДАН. 2016. Т. 469. № 4. С. 452–456.
- Серебро. Геология, минералогия, генезис, закономерности размещения месторождений. М.: Наука, 1989.
- Сидоров А.А., Старостин В.И., Волков А.В.* Рудно-формационный анализ. М.: МАКС Пресс, 2011.
- Сидоров А.А., Белый В.Ф., Волков А.В. и др.* Золото-сереброносный Охотско-Чукотский вулканогенный пояс // Геология руд. месторождений. 2009. Т. 51. № 6. С. 512–527.
- Стружков С.Ф., Константинов М.М.* Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Науч. мир, 2005.
- Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988.
- Vau M.* Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and the significance of the oxidation state of europium // Chem. Geol. 1991. Vol. 93. P. 219–230.
- Bodnar R.J., Vityk M.O.* Interpretation of microthermometric data for H₂O–NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications. Pontignano: Siena, 1994. P. 117–130.

Brown P. FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data // *Amer. Mineralogist*. 1989. Vol. 74. P. 1390–1393.

Jones B., Manning D.A.C. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones // *Chem. Geol.* 1994. Vol. 111. P. 111–129.

Jorge E., Ricardo C., Heinz-Jürgen B. Preliminary mineralogy and ore petrology of the intermediate-sulfidation Pallancata deposit, Ayacucho, Peru // *Canadian Mineralogist*. 2013. Vol. 51. P. 67–91.

Monecke T., Kempe U., Gotze J. Genetic significance of the trace element content in metamorphic and hydrothermal quartz: a reconnaissance study // *Earth. Planet. Sci. Lett.* 2002. Vol. 202. P. 709–724.

Panet I. et al. Mapping the mass distribution of Earth's mantle using satellite-derived gravity gradients // *Nature Geoscience*. 2014. T. 7. № 2. C. 131.

Oreskes N., Einaudi M.T. Origin of rare-earth element enriched hematite breccias at the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag deposit, Roxby Downs, South Australia. // *Econ. Geol.* 1990. Vol. 85. № 1. P. 1–28.

Richards J.P. Giant ore deposits formed by optimal alignments and combinations of geological processes // *Nature geoscience*. 2013. Vol. 6. www.nature.com/naturegeoscience

Simmons S.F., White N.C., John D.A. Geological characteristics of epithermal precious metal and base metal deposits // *Econ. Geol.* 2005. Vol. 100. P. 485–522.

PRIMORSKOYE EPITHERMAL Ag-Au DEPOSIT (NORTHEAST OF RUSSIA): GEOLOGIC ASPECTS, MINERALOGIC AND GEOCHEMICAL FEATURES, AND ORE FORMATION CONDITIONS

N. E. Savva¹, A. V. Volkov^{2,*}, A. A. Sidorov², E. E. Kolova¹, K. Yu. Murashov²

¹*North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute of Far East Branch of the Russian Academy of Sciences,
16, Portovaya street, Magadan, 685000, Russia*

²*Institute of the Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences
Staromonetnyy alley, 35, Moscow, 119017, Russia
E-mail: tma2105@mail.ru

Received: 11.09.2017

Accepted: 07.07.2018

As a potentially large Ag-Au epithermal deposit, Primorskoye comprises the following three areas: Kholodny, Spiridonych, and Teply. This deposit is located in the Omsukchan district of the Magadan Region, where similar deposits, including Dukat, Lunnoye, Goltsovoye, Arylakh, Tidit, and Perevalnoye, have developed. The deposit can be attributed to the Kalalagian volcano-tectonic depression and is localized in a flat-lying rock mass in the Late Cretaceous ignimbrites and rhyolites having thicknesses of greater than 700 m, which is cut through by numerous dykes of medium and major composition. According to the drilling data, the solid mass of leucocratic granites is located in deposits at a depth of 400–500 m with outcrops in the northeastern part of the ore field. The presence of Bi-containing galena and matildite, the availability of mid and high temperature facies of metasomatites (epidote and actinolite), and the specific physical and chemical conditions during the formation of the epithermal Ag-Au ores indicate the intrusive position above and the role of granitoids as generators of high temperature magmatic fluids, which introduced Bi and heated the rocks enclosing the mineralization. The geochemical features of the ores are well correlated with their mineral compositions. The high concentrations of Mn and Ag, elevated concentration of Au, low concentrations of Cu, Pb, Zn, Sb, As, Bi, and Te, low sum of REE, and negative Eu- and positive Ce-anomalies were observed. The high values of the Te/Se, Sr/Ba, Y/Ho, and U/Th indicators in the ores are associated with the deposit location in the zone of granitoid massif effect. Further, the physical and chemical parameters of ore formation in the Teply area are unusual and are characterized by high temperatures, low concentrations of salts, and fluid density, which are indicative of the typical “dry steam” conditions. The obtained results allow the Primorskoye epithermal deposit to be attributed to the intermediate class. The information present in the article is practically valuable for the regional forecast and metallogenic developments as well as for searching and assessing the epithermal Ag-Au deposits.

Keywords: North-East of Russia, Omsukchan zone, Primorskoye, epithermal deposit, silver, gold, pyrolusite, structure, ore mineralogy, geochemical features, fluid inclusions, genesis