

УДК 553.412.411(571.65)

## Ag–Pb–Zn-МЕСТОРОЖДЕНИЕ ГОЛЬЦОВОЕ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ): ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, МИНЕРАЛОГОО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ, УСЛОВИЯ РУДООБРАЗОВАНИЯ

© 2021 г. Н. Е. Савва<sup>а</sup>, А. В. Волков<sup>б, \*</sup>, Н. Г. Любимцева<sup>б</sup>, В. Ю. Прокофьев<sup>б</sup>,  
А. А. Сидоров<sup>б</sup>, К. Ю. Мурашов<sup>б</sup>, Н. В. Сидорова<sup>б</sup>

<sup>а</sup>Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН,  
ул. Портовая, 16, Магадан, 685000 Россия

<sup>б</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,  
Старомонетный пер., 35, Москва, 119017 Россия

\*e-mail: tma2105@mail.ru

Поступила в редакцию 06.10.2020 г.

После доработки 16.11.2020 г.

Принята к публикации 08.12.2020 г.

Ag–Pb–Zn-месторождение Гольцовое (1600 т Ag при среднем содержании – 1025 г/т) находится на юго-восточном фланге Дукатского рудного района и приурочено к сочленению Балыгычано-Сугойского рифтогенного прогиба с Охотско-Чукотским вулканическим поясом (ОЧВП). Дукатский район – крупнейший производитель серебра в России. Месторождение Гольцовое локализовано в 2 км севернее Пестринского гранитоидного интрузива, в сложно построенной зоне тектонического контакта верхнетриасовых терригенно-осадочных и поздне меловых вулканических пород, представленного серией сместителей в полосе 0.5–1 км, по которым западный блок, сложенный кислыми вулканитами, опущен более чем на 1 км. Вмещающие породы – верхнемеловые игнимбриты риолитов и риодацитов – прорваны субвулканическими интрузиями невадитов. Характерная особенность месторождения – кулисообразное развитие на верхних горизонтах рудных тел галенитовых жил и прожилков с высокими содержаниями Ag. Преобладают массивные, грубополосчатые и пятнистые текстуры руд. Геохимические особенности руд хорошо согласуются с минеральным составом. Руды обогащены широким спектром элементов: Ag, Sb, Pb, Cd, As, Zn, Bi, In, W, Sn, Mn, Cu, Li, Tl, Cs. Для них характерна низкая сумма РЗЭ (33.34–50.69) и отрицательный тип распределения лантаноидов. В качестве попутных компонентов промышленный интерес могут представлять Cd, In и Bi. Галенит – основной минерал-концентратор Ag, высокие содержания которого связаны с наличием мелких включений большой группы самостоятельных минералов, в основном аргентотетраэдрита и пираргирита, и незначительного количества – миаргирита, полибазита и др. Аргентит и самородное Ag имеют ограниченное развитие. Минералы олова представлены станнином, канфильдитом и реже касситеритом. Зона окисления прослеживается на всю глубину минерализации, имеет ярко выраженный линейный характер. В окисленных рудах преобладают сульфаты Zn, Pb, Fe, Ca, Ba; в меньшей степени развиты оксиды Fe, Mn и Zn; в подчиненном количестве находятся карбонаты и глины; сульфиды и самородные элементы (Cu, Ag) не превышают 2%. Степень окисления руд – 40.3%. Сульфидно-кварц-хлоритовые жилы месторождения Гольцовое формировались в условиях средних температур (276–138°C) из слабо концентрированных хлоридных гидротерм (4.2–0.2 мас.%-экв. NaCl), насыщенных Na и K при подчиненном количестве Mg. Полученные данные позволяют отнести Гольцовое месторождение к эпитермальномu промежуточно-сульфидизированному типу. Предложена модель двухэтапного образования минерализации. На первом этапе – отложение Ag–Pb–Zn-руд в связи с функционированием приповерхностной вулканогенной гидротермальной системы. На втором этапе – наложение Sn-минерализации на Ag–Pb–Zn-жилы, в результате поступления оловоносного магматогенного флюида на нижние горизонты месторождения.

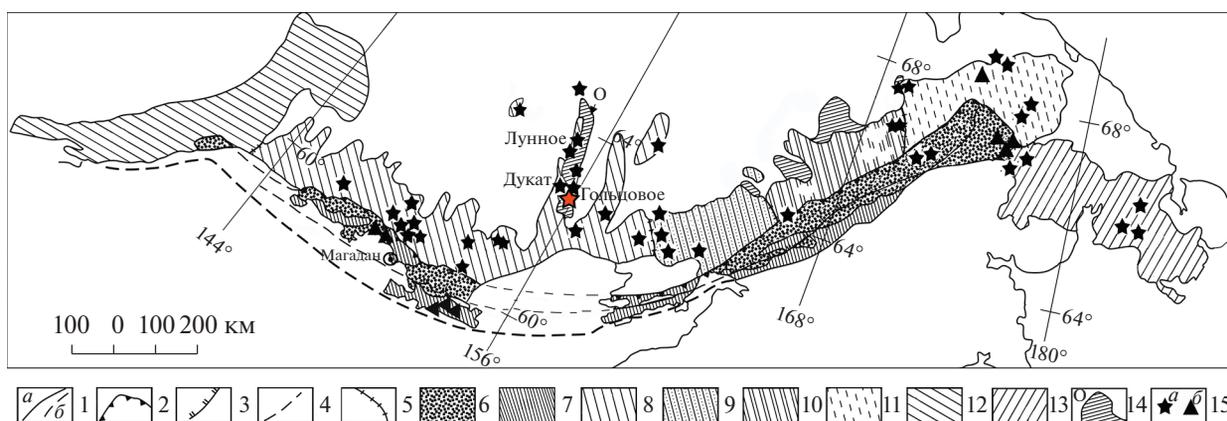
**Ключевые слова:** Ag–Pb–Zn-эпитермальное месторождение, месторождение Гольцовое, серебро, галенит, аргентотетраэдрит-(Fe), флюидные включения, геолого-генетическая модель, Северо-Восток России, Балыгычано-Сугойский прогиб

DOI: 10.31857/S0016777021030060

### ВВЕДЕНИЕ

Гольцовое – одно из крупных месторождений Ag на Северо-Востоке России, расположено в 84 км

к югу от известного рудника Дукат в Омсукчанском районе Магаданской области в 600 км на север–северо-восток от г. Магадан (фиг. 1). Пло-



**Фиг. 1.** Схема районирования ОЧВП и положение месторождения Гольцовое.

1 – обобщенная граница распространения магматических образований ОЧВП, альб–сантон: на суше (а), в акватории (б); 2 – граница внешней и внутренней зон ОЧВП; 3 – граница подзон грабен–прогибов и магматогенных поднятий (штрихи ориентированы в сторону подзоны грабен–прогибов); 4 – продолжение границ в акватории; 5 – границы секторов внешней зоны и фланговых зон; 6 – вулканиты внутренней зоны; 7 – магматогенные поднятия ОЧВП; 8–11 – внешняя зона ОЧВП, секторы: 8 – Охотский, 9 – Пенжинский, 10 – Анадырский, 11 – Центрально–Чукотский; 12, 13 – фланговые зоны: 12 – Западно–Охотская, 13 – Восточно–Чукотская; 14 – позднеорогенные (конец баррема–начало альба) структуры мезозойд: О – Омсукчанский грабен; 15 – Au–Ag–эпитермальные (а) и Cu–Mo–Au–порфировые (б) месторождения.

щадь месторождения около 4 км<sup>2</sup>. Кроме Ag, промышленное значение имеет также Pb. Попутные компоненты – Zn и Cu. Золото в рудах практически отсутствует. В непромышленных количествах присутствует Sn.

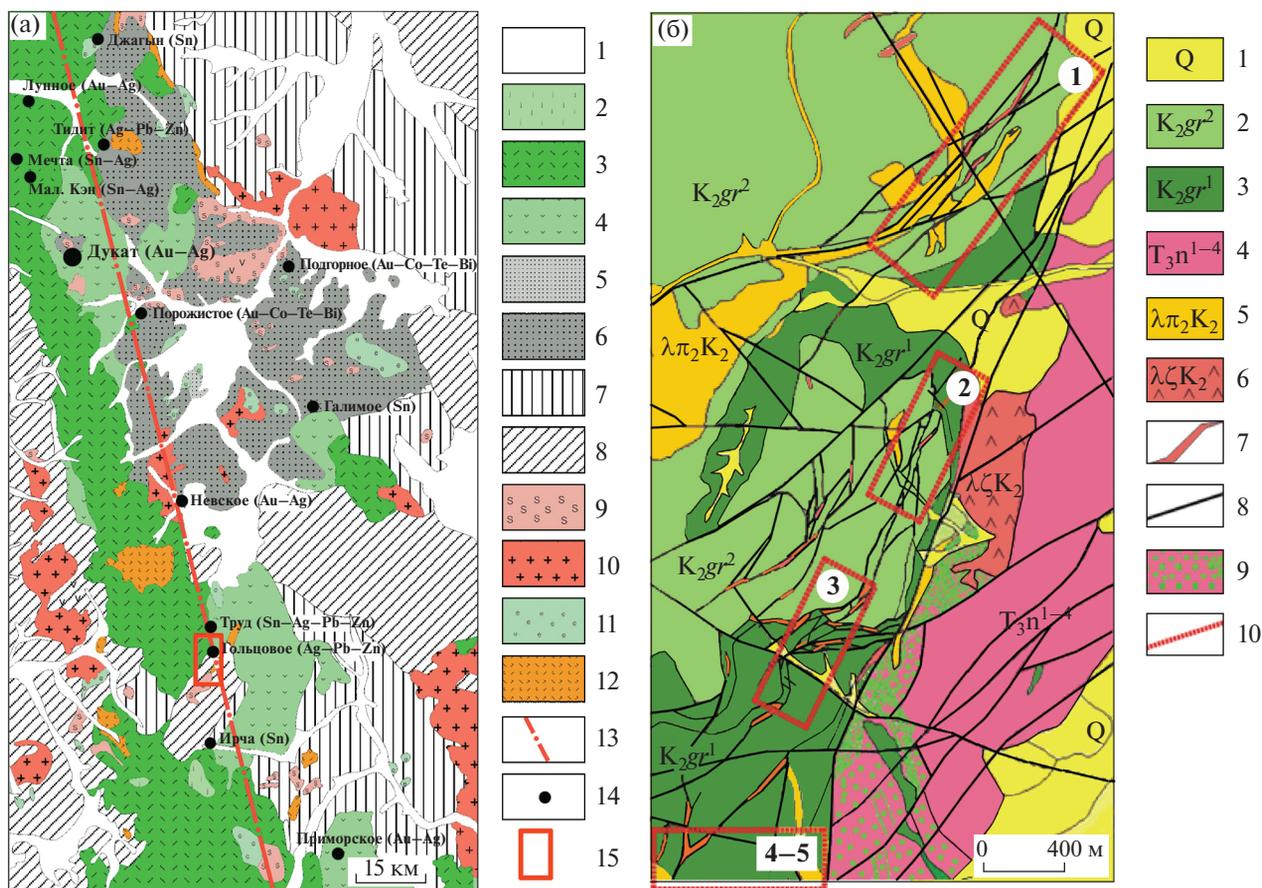
Месторождение Гольцовое открыто в 1979 г. Дукатской ГРЭ ПГО “Севостгеология” при изучении геохимических аномалий. Поисковые работы проводились в 1979–1982 гг., а предварительная и детальная разведка в 1982–1987 гг. В 2006–2007 гг. ЗАО “Артель старателей “Аякс”, “дочка” ирландской компании “Ovoca Gold”, выполнила дополнительную разведку месторождения и утвердила запасы в ГКЗ РФ, которые по категориям А+В+С<sub>1</sub> составили Ag – 939.6 т, С<sub>2</sub> – 660.5 т, забалансовые – 29.5 т; Pb – С<sub>1</sub> – 32.4 тыс. т, С<sub>2</sub> – 32.2 тыс. т, забалансовые – 2.2 тыс. т; Zn – С<sub>1</sub> – 6.3 тыс. т, С<sub>2</sub> – 5.7 тыс. т, забалансовые – 2.5 тыс. т (Кузнецов и др., 2008). Попутная добыча руды при проходке горных выработок на руднике “Гольцовый” началась в 2009 г. В этом же году месторождение приобрело ЗАО “Серебро Магадана” – дочернее предприятие ПАО “Полиметалл” – крупнейшего в России производителя Ag. В 2013 г. на месторождении было добыто 168 тыс. т руды (113 т Ag). К настоящему времени богатые руды месторождения полностью отработаны.

Месторождение Гольцовое представлено Ag–полиметаллическими жилами, залегающими в игнимбритах риолитов. Как и другие серебряные месторождения Дукатского рудного района, оно расположено в осевой части Балыгычано–Сугойского рифтогенного прогиба. Вулканиты здесь слагают узкое ответвление ОЧВП, поперечное к

его основному направлению и ориентированное вдоль прогиба (фиг. 1). По тектоническому положению и геологическому строению Гольцовое обладает большим сходством с эпитермальными месторождениями промежуточно–сульфидизированного типа, которые образуются в обстановке растяжения окраинно–континентальной дуги (Sillitoe, Hedenquist, 2003). Именно в такой тектонической обстановке расположена крупнейшая по запасам серебра в мире провинция Западная Сьерра–Мадре (Мексика), которая включает несколько месторождений мирового класса (Фреснило, Пачука, Гуанохуато, Тайолита) и многочисленные средние и мелкие по масштабу объекты (Albinson et al., 2001). В аналогичных условиях локализованы крупные Ag–Pb–Zn–месторождения Адрасмамно–Канимансурского рудного поля (Сафонов и др., 2000).

По минеральному составу руд (галенит–сфалеритовые жилы, широкое развитие карбоната и Ag–содержащей блеклой руды, очень высокие содержания серебра, отсутствие золота, низкое содержание олова) Гольцовое сходно с Ag–Pb–Zn–жильными месторождениями Западного Верхоянья (Мангазейское, Прогноз и др.), однако существенно отличается от них по геологическому строению (Аникина и др., 2016; Гамянин и др., 1998).

Следует отметить, что в Омсукчанском районе, кроме Гольцового, эксплуатируются Ag–Au–эпитермальные месторождения – Дукат, Лунное, Арылах, Ag–Pb–Zn – Перевальное, Тидит. Они характеризуются устойчивым отношением Ag/Au 500–550, достигая 10000 (Константинов и др., 2003). Разведаны и оценены Sn–месторождения –



**Фиг. 2.** Геологическое строение Балыгычано–Сугойского прогиба (а) и месторождения Гольцовое (б) (по материалам Дукатской ГРЭ ПГО “Севостгеология”, модифицированы).

(а): 1 – четвертичные отложения; 2–6 – меловая система: 2–3 верхний отдел: 2 – базальты андезиты и их туфы, 3 – риолиты, их туфы и игнимбриты (шороховская свита); 4 – нижний–верхний отделы, андезиты, дациты и их туфы (каховская свита); 5–6 – нижний отдел (омсукчанская серия): 5 – конгломераты, песчаники (зоринская свита), 6 – песчаники, аргиллиты, каменные угли (улинская, айгурская, галимовская свиты); 7 – юрская система: песчаники, алевролиты, известняки, глинистые сланцы; 8 – триасовая система: алевролиты, песчано-глинистые сланцы с прослоями ракушечников, туффигов, туфов андезитов; 9–12 – магматические породы: 9 – позднемеловые биотитовые граниты и лейкограниты (омсукчанский комплекс), 10 – ранне-позднемеловые биотитово-роговообманковые гранодиориты (быстринский комплекс), 11 – позднемеловые диориты, 12 – позднемеловые субвулканические образования (невадиты, андезиты); 13 – ось Балыгычано–Сугойской рифтогенной структуры; 14 – месторождения цветных и благородных металлов; 15 – врезка фиг. 2б.

(б): 1 – четвертичные отложения; 2–3 – герамынская толща: 2 – верхняя пачка: игнимбриты риолитов, 3 – нижняя пачка: риодациты и их туфы; 4 – триасовая система: алевролиты, песчано-глинистые сланцы с прослоями ракушечников, туффигов, туфов андезитов; 5 – позднемеловые силлы и штоки невадитов; 6 – позднемеловой шток риолито-дацитов; 7 – рудные зоны; 8 – тектонические разломы; 9 – зоны катаклазитов; 10 – границы рудных зон.

Ирча (отработано), Невское, Галимовское, Труденское, Джагын, Ag–Au – Приморское, Au–Ag – Роговик, Ag–Pb–Zn – Мечта. Кроме того, известны проявления Cu–Mo–порфирировых руд – Порфирировое и Оттох. Наиболее близко к месторождению Гольцовое расположены рудопроявления Кальян (Sn–W) и Пестрое (W–Mo–As–Bi), пространственно тяготеющие к Пестринскому массиву гранитоидов, а в 5 км к северу – Труденское (Sn–Ag–полиметаллическое) (фиг. 2а).

Геологоразведочные работы на месторождении Гольцовое сопровождались научными исследованиями: вещественный состав руд изучался сотруд-

никами ЦКТЭ ПГО “Севостгеология” (Епифанова, 1994), СВКНИИ ДВО РАН (Пляшкевич, 2002) и ЦНИГРИ (Двуреченская, 2001; Кряжев, Двуреченская, 2001), геохимические особенности Пестринского рудного поля и вмещающих пород месторождения – ИГХ СО РАН (Кравцова и др., 1998; Кравцова, Коркина, 2001), минералого-геохимические индикаторы, геохронология и изотопная геохимия – ВСЕГЕИ (Шатков, 1997; Петров и др., 2006). Краткие сведения по геологии месторождения приведены в монографиях (Шило и др., 1992; Стружков, Константинов, 2005; Кравцова, 2010; Савва, 2018).

В 2015 г. сотрудники СВКНИИ провели полевые работы на месторождении Гольцовое, где была собрана представительная коллекция образцов руд. В 2016–2017 гг. в ИГЕМ РАН и СВКНИИ ДВО РАН выполнены минералого-геохимические исследования руд в рамках проекта РНФ (№ 14-17-00170), а в 2018–2019 гг. – в рамках темы Госзадания ИГЕМ РАН. В 2020 г. в рудах месторождения были изучены концентрации высокотехнологичных металлов в рамках проекта № 13.1902.21.0018 “Фундаментальные проблемы развития минерально-сырьевой базы высокотехнологичной промышленности и энергетики России” (научный руководитель акад. Н.С. Бортников).

Несмотря на длительную историю изучения месторождения Гольцовое, минералого-геохимические особенности руд, состав минералообразующего флюида и его природа не были исследованы современными аналитическими методами. Модель образования и возраст месторождения до сих пор остаются дискуссионными. Одни исследователи полагают, что рудообразующие растворы и рудные компоненты поступали из мантийного источника (Петров и др., 2006). Другой вариант предусматривает возможность образования Ag-полиметаллической минерализации за счет мобилизации металлов из вмещающих риолитов (Шатков, 1997).

В настоящей работе кратко обобщена геологическая информация, полученная в ходе многолетних исследований, приведены новые данные по минералогии и химическому составу руд, параметрам и составу рудообразующих флюидов, сделаны выводы об условиях формирования месторождения. Отметим, что изучение состава и параметров рудообразующих флюидов с целью установления их природы на протяжении многих десятков лет остается одной из центральных проблем в теории эндогенного рудообразования (Бортников, 2006 и др.). Приведенная в статье информация имеет практическое значение для региональных прогнозно-металлогенических построений, поисков и оценки Ag–Pb–Zn-месторождений.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В ИГЕМ РАН на основе обобщения фондовых и опубликованных материалов и авторских построений подготовлены разделы “Положение в региональных структурах” и “Геологическое строение месторождения”.

В СВКНИИ ДВО РАН исследован вещественный состав руд (изучены многочисленные аншлифы на микроскопе AxioPlan Imaging). Составы рудных минералов определялись с помощью рентгеновского электронно-зондового микроанализатора Camebax с приставкой INCA Oxford Instruments (аналитик О.Т. Соцкая).

В аналитической лаборатории ИГЕМ РАН концентрации порообразующих и отдельных примесных элементов в пробах определены методом рентгенофлуоресцентного анализа на вакуумном спектрометре Axios mAX производства компании PANalytical (Нидерланды 2012 г. www.panalytical.com). Анализ выполнен по методике 439-PC HСAM ВИМС, обеспечивающей получение результатов по ОСТ РФ 41-08-205-04 (аналитик А.И. Якушев). Измерение содержаний микроэлементов (ICP-MS) проведено на масс-спектрометре X-Series II (аналитик Я.В. Бычкова). Минимальные 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.%. Содержания Au и Ag в пробах определялись методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией на спектрометре Spectr AA220Z (аналитик В.А. Сычкова).

В лаборатории геохимии ИГЕМ РАН проведено изучение индивидуальных флюидных включений с использованием измерительного комплекса, состоящего из камеры THMSG 600 фирмы Linkam (Англия), установленной на микроскопе Olympus BX51 (Япония), видеокамеры и управляющего компьютера. Солевой состав флюида, захваченного во включениях, оценивался по температурам фазовых переходов и превращений, происходивших при нагревании и охлаждении препаратов. Точность измерений температуры составляет  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  в интервале температур от  $-20$  до  $+20^\circ\text{C}$  и понижается при более высоких и низких температурах. Состав солей, преобладающих в водных растворах флюидных включений, оценивался по результатам измерения температур плавления эвтектики (Борисенко, 1977). Суммарная концентрация солей в двухфазовых флюидных включениях оценивалась по температурам плавления льда на основе экспериментальных данных для системы NaCl–H<sub>2</sub>O (Bodnar, Vityk, 1994). Оценки концентраций солей, плотностей и давлений флюида проводились с использованием программы FLINCOR (Brown, 1989).

Валовый анализ состава флюидов включений был выполнен из навесок 0.5 г класса  $-0.5 + 0.25$  мм мономинеральных фракций кварца в ЦНИГРИ (аналитик – Ю.В. Васюта) по методике, опубликованной в работе (Кряжев и др., 2006). Включения в кварце вскрывали термически при  $500^\circ\text{C}$ . Методом газовой хроматографии (хроматограф ЦВЕТ-100) определяли количество воды для расчета концентраций элементов в гидротермальном растворе. Проводилось определение углекислоты, метана и углеводородов. После приготовления водных вытяжек в растворе методом ионной хроматографии (хроматограф ЦВЕТ-3006, чувствительность 0.01 мг/л) определяли Cl, SO<sub>4</sub> и F,

методом ICP MS (масс-спектрометр Elan-6100) – K, Na, Ca, Mg и другие элементы.

### ПОЛОЖЕНИЕ В РЕГИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ

Ag–Pb–Zn-месторождение Гольцовое приурочено к сочленению Балыгычано-Сугойского прогиба с Охотско-Чукотским вулканическим поясом (ОЧВП). Балыгычано-Сугойский вулканический грабен-прогиб – уникальная геологическая структура, выделенная Р.Б. Умитбаевым (1986) в качестве континентального рифта. Эта поперечная к простиранию ОЧВП линейная структура, шириной до 60 км, вытянута в северо-западном направлении вглубь континента почти на 300 км (фиг. 1).

Металлогеническая специализация магматических формаций района характеризуется широким спектром типов минерализации, включающим месторождения редкоземельных элементов, Ag, Sn, W, Pb, Zn, Au и редких металлов (Савва, 2005).

Балыгычано-Сугойский прогиб контролируется Омсукчанским трансрегиональным глубинным разломом (Умитбаев, 1986) и сложен мощными нижнемеловыми континентальными вулканогенно-осадочными угленосными молассовыми толщами, несогласно перекрытыми верхнемеловыми вулканическими покровами ОЧВП (Геодинамика..., 2006). Общая мощность отложений в прогибе достигает 6 км. В их основании располагаются дислоцированные триасово-юрские терригенные толщи (фиг. 2). С западной стороны прогиб отделен меридиональным глубинным разломом, хорошо выраженным в рельефе и четко фиксируемым по геофизическим и геологическим данным.

Рифтогенная природа прогиба подтверждается контрастностью раннемеловых магматических пород, преимущественно риолит-базальтового состава с резко выраженным ультракалиевым составом кислых представителей, которые выходят на поверхность в виде протяженных поясов (фиг. 2).

По данным глубинной геофизики земная кора под Балыгычано-Сугойским прогибом имеет аномальное строение. Отчетливые сейсмические отражения установлены только в интервале 0–7 км от поверхности, далее следует зона сейсмической “прозрачности” с редкими участками, не связанными между собой, которая прослеживается до мантии с разрывом сплошности границы Мохо не менее чем на 30 км (Структура..., 2007). Такая зона “сейсмической прозрачности” под уникальной по рудоносному потенциалу структурой свидетельствует о переработке материала земной коры в результате корово-мантийного флюидного взаимодействия.

Вдоль западного борта прогиба протягивается Кэнская лавовая полоса, сложенная крупными

трещинными экструзивно-эффузивными комплексами пород кислого состава (Кузнецов, Ливач, 2005). Пермско-мезозойские формации резко погружаются в восточном направлении под молассовые толщи прогиба и вулканогенные породы ОЧВП (фиг. 2а). Омсукчанский глубинный разлом и оперяющие его разрывы контролируют расположение основных рудоносных и магматических зон. Вдоль разлома происходили левосторонние сдвиговые движения, в результате которых образовались зоны растяжения, служившие проводниками минералообразующего флюида.

Металлогеническая специализация магматических формаций района характеризуется широким спектром типов руд и минерализованных зон, включающих месторождения редкоземельных элементов, Ag, Sn, W, Pb, Zn, Au и редких металлов.

Ag–Au и сопровождающие их Sn–Ag- и Ag-полиметаллические месторождения Дукатского рудного района сосредоточены в центральной зоне прогиба, где развиты покровные эффузивные отложения, а гранитные интрузивы обычно скрыты на глубинах 1–2 км (фиг. 2а). Sn- и Mo-минерализованные зоны тяготеют к гранитным интрузивам, обнаженным эрозией или залегающим вблизи дневной поверхности.

Территория располагается в Омсукчанском металлогеническом поясе (Геодинамика..., 2006), где широко развиты эпitherмальные Au–Ag-, Ag–Au- и Ag-месторождения раннемелового возраста, а также позднемеловые плутоногенные Sn-, W-, Cu–Mo- и вулканогенно-плутоногенные Au–Te-, Au–Bi-, Sn–Ag-, Ag–Pb–Zn-месторождения. Считается, что Ag–Au-месторождения образовались в два этапа (Серебро..., 1989; Савва, 2005), по данным Rb/Sr изотопного метода – в интервале времени 112–110 и 90–86 млн лет (Котляр и др., 2001). Sn–Ag- и Ag–Pb–Zn-месторождения образовались в узком возрастном диапазоне – 90–86 млн лет (Котляр и др., 2001).

### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РУДНОГО ПОЛЯ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Рудное поле, в котором находится Гольцовое месторождение, расположено на юго-восточном фланге Верхне-Омчикчанской вулканотектонической депрессии, выполненной вулканическими породами среднего и кислого состава позднемелового возраста. Рудное поле ограничено площадью выходов риолитов. Оно локализовано во внешней экзоконтактной зоне Пестринского гранитоидного интрузива (в 2 км севернее контакта), при приближении к которому наблюдается последовательная смена Ag-полиметаллической на Sn- и W–Mo-минерализацию в виде мелких рудопроявлений (Пляшкевич, 2002; Кравцова и др.,

1998). Депрессия имеет форму эллипса размером  $14 \times 30$  км, ориентированного длинной осью в субмеридиональном направлении (фиг. 2а). Вулканические породы прорываются субвулканическими штокообразными телами невадитов и интрузивными телами гранитов и гранит-порфиоров.

Месторождение Гольцовое приурочено к сложной построенной зоне тектонического контакта верхнетриасовых терригенно-осадочных и поздне-меловых вулканических пород (фиг. 2б).

#### *Вмещающие породы*

В основании разреза залегает мощная толща дислоцированных терригенных отложений Верхоянского комплекса ( $T_3-J_{2-3}$ ), перекрытая с несогласием вулканитами среднего состава тавадумской свиты ( $K_2tv$ ), представленной переслаиванием дацитов, андезитов и их туфов мощностью 1130–1200 м (фиг. 2а). Выше без видимого несогласия лежат кислые вулканиты наяханской свиты ( $K_2nh$ ).

Рудовмещающая толща сложена верхнемеловыми кислыми вулканитами (игнимбритами риолитов) герамрынской толщи (фиг. 2б, 3), которая по литологическим особенностям разделяется на две пачки.

*Нижняя пачка* характеризуется пестротой окраски, которая обусловлена неравномерной аргиллизацией и гематитизацией отдельных потоков. Мощность пачки по разведочным профилям варьирует от 200 до 350 м. Среди игнимбритов риолитов в основании разреза встречаются непротяженные линзы и маломощные выклинивающиеся и распадающиеся кулисообразно прослой пепловых туфов и туфоалевролитов. Мощность линз и прослоев не превышает 3 м. Игнимбриты риолитов – породы светло-серого, зеленовато-серого, белесого, буровато-серого цвета массивной и псевдофлюидальной текстуры. Структура пород кристаллокластическая псаммитовая.

*Верхняя пачка* сложена исключительно однородным по составу покровом игнимбритов риолитов темно-серого цвета умеренной и сильной степени сваренности, которые залегают согласно на отложениях нижней пачки. Главным макроскопическим отличием пород верхней пачки от нижней служат более темно-серый цвет и “свежий” облик однородной основной массы.

Игнимбриты риолитов – средне- и крупнопорфировые породы. Количество вкрапленников 30–40%. Основная масса состоит из ксеноморфных зерен кварца 0.03–0.2 мм, калишпата размером 0.05–0.15 мм и обломков стекловатых частиц. Размеры порфировых вкрапленников от 0.5 до 5 мм. Структура породы бластопорфировая, основной массы – микролепидогранобластовая. Отмечается интенсивная серицитизация плагиоклаза, а ар-

гиллизация основной массы распространена неравномерно. Порфировые вкрапленники калишпата аргиллизированы на 5–15% (Кравцова и др., 1998).

Для рудовмещающих пород герамрынской толщи типичен субщелочной уклон и близость кислым вулканитам центральной зоны ОЧВП (Кравцова и др., 1998).

#### *Тектоника*

Существенное значение в геологическом строении месторождения имеют широко развитые разрывные нарушения. Рудовмещающие породы разбиты разломами различной ориентировки на ряд блоков. В поле герамрынских вулканитов доминируют разломы северо-восточной ориентировки, северо-западные, меридиональные проявлены незначительно и имеют подчиненное значение.

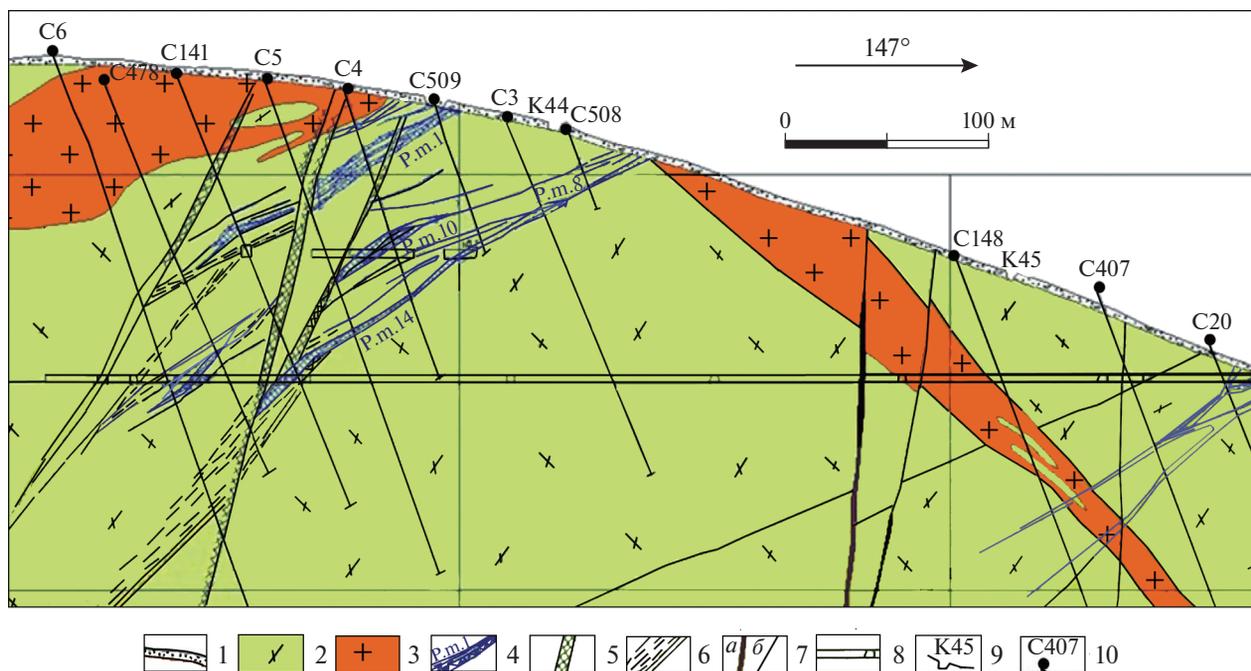
Среди разрывных нарушений основная роль принадлежит Верхнетапскому разлому глубинного заложения субмеридиональной ориентировки. Он представлен серией сместителей в полосе 0.5–1 км, по которым западный блок, сложенный кислыми вулканитами, опущен не менее чем на 1.2 км (Кузнецов и др., 2008). В восточном блоке обнажаются терригенные образования верхнего триаса, прорванные Пестринским лейкогранитным интрузивом.

К Верхнетапскому разлому под острыми углами примыкают круто- и пологопадающие (от  $20^\circ$  до  $45^\circ$ ) на северо-запад рудоконтролирующие разрывы (фиг. 3). Они характеризуются кулисообразным и субпараллельным расположением друг к другу, сопряжением близких по ориентировке трещин, отличающихся углами падения (фиг. 4).

#### *Интрузивные породы*

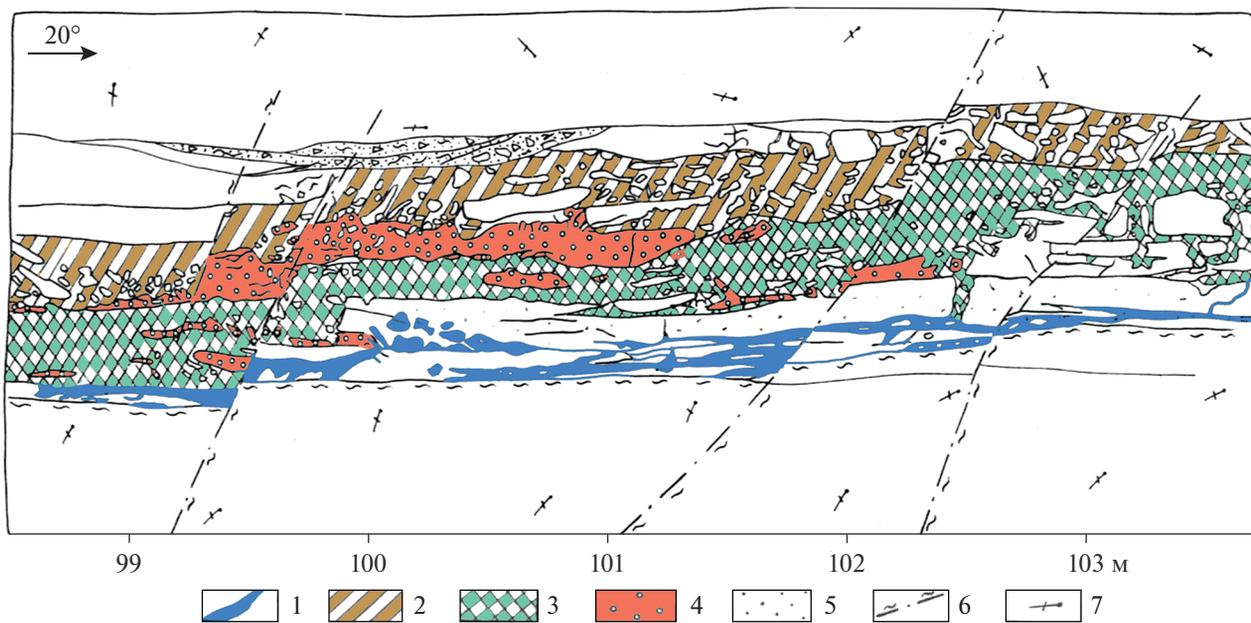
На месторождении наиболее широко распространены субвулканические тела и дайки невадитов. Последние образуют крупную силлообразную залежь, прослеживающуюся через центральную часть месторождения в северо-восточном направлении (фиг. 2б) и полого падающую на северо-запад под углами от  $10^\circ$  до  $15^\circ$ . От этой залежи отходят более мелкие апофизы и крутопадающие дайки различной протяженности.

Структура невадитов порфировая с гранулитовой основной массой, сложенной микрозернистым стекловатым полевошпат-кварцевым агрегатом. Вкрапленники составляют не менее 30–40% объема породы. Представлены они преимущественно кварцем (до 20%), калиевым полевым шпатом (КПШ) (до 40%), плагиоклазом (до 30%), реже биотитом (0–4.3%). Вкрапленники кварца размером от 0.2 до 0.8 см имеют дымчатый цвет и овоидную форму. Вкрапленники КПШ пред-



**Фиг. 3.** Геологический разрез по профилю 17 месторождения Гольцовое (по материалам Дукатской ГРЭ ПГО “Севост-геология”, модифицирован).

1 – делювиальные отложения; 2 – игнимбриты риолитов и риодациты; 3 – штоки и дайки невадитов; 4 – рудные тела; 5 – зоны брекчирования; 6 – зоны прожилкования; 7 – разломы: *a* – основные, *b* – второстепенные; 8 – подземные горные выработки; 9 – каналы; 10 – колонковые скважины.



**Фиг. 4.** Зарисовка фрагмента рудного тела 1 (шт. 1, стр. 6, левая стенка, масштаб 1 : 50).

1–3 – минеральные агрегаты: 1 – галенит с Ag-содержащей блеклой рудой и пираргиритом; 2 – сфалерит, кварц, карбонат с пиритом, станнином, халькопиритом; 3 – сфалерит, кварц с халькопиритом и Ag-содержащей блеклой рудой; 4 – окварцевание; 5 – аргиллизация; 6 – тектонические трещины с глиной; 7 – игнимбриты риолитов.

ставлены ортоклазом, чаще в форме розовых табличек со средним размером 1 см. На отдельных участках отмечены микропертитовые вроски альбита. Вкрапленники плагиоклаза (№ 10–18) имеют форму правильных табличек размером 0.2–0.4 мм с характерным полисинтетическим двойникованием. Биотит встречается в ассоциации с ильменитом, магнетитом и лейкоксеном (Кравцова и др., 1998).

Изотопное Ag–Ag и K–Ag датирование риодацитов и игнимбритов, вмещающих Ag-полиметаллическое месторождение Гольцовое, установило позднемеловой возраст (82–86 млн лет) (Петров и др., 2006). Такой же возраст получен для Пестринского и других интрузивных массивов оловоносных гранитоидов Омсукчанского комплекса (Петров и др., 2006)

#### *Метасоматические изменения*

Дорудные и околорудные изменения вмещающих пород месторождения Гольцовое были детально изучены ранее (Кравцова и др., 1998).

На месторождении было установлено четыре типа дорудных метасоматических ассоциаций: эпидот-хлоритовый, карбонат-хлоритовый, кварц-альбит-серицит-хлоритовый и кварц-альбит-серицитовый. В них обнаружены рудные минералы: магнетит, реже пирит. Эпидотовые и хлоритовые метасоматиты наблюдаются лишь на флангах месторождения. Более широко они проявлены за пределами рудного поля; эпидотовые метасоматиты тяготеют к выходам гранитных массивов, на удалении они сменяются хлоритовыми.

Околорудные метасоматиты на месторождении образуют широкие внешние зоны слабой аргиллизации, представленные альбит-хлорит-серицит-кварцевыми породами на подрудных и периферических участках, которые сменяются по восстанию рудоносных структур более локальными, но интенсивно измененными аргиллизитами внутренних зон: гидрослюдисто-серицит-ортоклаз-кварцевыми, затем гидрослюдисто-серицит-кварцевыми и гидрослюдисто-кварцевыми породами, вплоть до монокварцевых жил. Околорудные аргиллизиты внутренних зон сложены гидрослюдисто-серицит-ортоклаз-кварцевыми (нижнерудный уровень) и гидрослюдисто-кварцевыми (средне-верхнерудный уровень) ассоциациями.

Рудные тела пространственно тяготеют к аргиллизированным породам, а некоторые минералы аргиллизитов обнаружены в составе руды.

#### *Рудные тела*

Основные рудные тела месторождения локализованы в западном блоке Верхнетапского раз-

лома, в кислых игнимбритах (фиг. 2б). Они приурочены к кулисам регионального разлома и опеорящим их трещинам. Прослежено пять круто- и пологозалегающих зон, несущих жильную и прожилково-вкрапленную сульфидную минерализацию (фиг. 2б).

Наибольшее промышленное значение имеет рудная зона I северо-восточного простирания – протяженностью 1.3 км. Падение зоны северо-западное под углом 40°–45°, по падению она прослежена на 200–400 м (фиг. 3). В зонах выявлены редкие столбообразные залежи, образовавшиеся на пересечении разно-ориентированных разломов. Пологопадающие Ag-галенит-сфалеритовые жилы имеют переменную мощность, осложнены зонами прожилкования, апофизами и пережимами, в которых развита вкрапленная минерализация (фиг. 4).

На месторождении выявлено 16 сульфидно-хлорит-кварцевых рудных тел, 13 из которых в рудной зоне I. Они вытянуты на 560 м по простиранию и 100–150 м по падению, мощность – 1–5 м. Распределение Ag и морфология рудных тел – крайне невыдержанные. Средние содержания Ag в рудных телах более 900 г/т; присутствуют (%): Pb – 0.1–3, Zn – 0.1–0.4, Cu – до 0.35, Sb – 0.05–0.7, Sn – до 0.15.

В разрезе рудные тела имеют древовидное строение (фиг. 3), а их мощность и содержание серебра достигают максимума на поверхности, где они в 2–4 раза выше, чем на глубине. Так, на поверхности (высота 1010 м) мощность рудного тела I в среднем – 7–10 м, достигает 25 м, а на горизонте 960 м (штольня 4) она не превышает 2.5 м, на горизонте 900 м (штольня 1) уменьшается до 1 м; далее вниз по разрезу – выклинивается.

### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РУД

В химическом составе руд месторождения Гольцовое существенную роль играет (в мас. %) SiO<sub>2</sub> (43.63–68.92), присутствуют заметные концентрации CaO (0.10–28.08), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3.41–12.74), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4.86–10.04), K<sub>2</sub>O (0.43–3.32), а также MnO (0.35–2.17) (табл. 1). Характерны низкие и очень низкие значения Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (табл. 1). Содержание S<sub>общ.</sub> в изученных рудах – высокое (до 3.48%), что не типично для серебряной минерализации Дукацкого рудного района (Савва, 2018). Химический состав изученных образцов практически аналогичен составу малой технологической пробы (МПП №101, 50 кг), отобранной из рудной зоны № 4 (табл. 1). В МПП № 101, кроме того, были установлены содержания (%): S<sub>сульф.</sub> – 0.89, Cu – 0.067, Pb – 1.57, Zn – 0.44, Sb – 0.003, C<sub>общ.</sub> – 0.13, Au – 0.08 г/т, Ag – 714 г/т (Шумилова, Костикова, 2015).

**Таблица 1.** Химический состав руд (в мас. %) месторождения Гольцовое

№ пробы	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe общ.	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S общ.	ППП	Σ
ГЦ-1/15	68.92	0.20	12.74	10.04	0.358	0.40	1.54	0.12	3.32	0.03	<0.02	2.19	99.86
ГЦ-2/15	43.63	0.03	3.41	5.24	2.176	0.22	28.08	<0.10	0.43	0.02	0.09	15.94	99.27
ГЦ-3/15	62.43	0.15	10.03	4.86	0.670	0.16	0.14	0.16	2.42	0.03	0.99	5.88	87.92
ГЦ-7/15	60.77	0.15	8.62	8.58	0.584	0.15	<0.10	0.64	1.43	0.03	3.48	5.63	90.06
ГЦ-4/15	60.52	0.15	9.74	7.52	1.044	0.18	0.14	0.23	2.17	0.03	0.82	7.08	89.62
ГЦ-5/15	57.46	0.14	8.35	6.94	0.520	0.19	1.33	0.14	1.28	0.02	1.35	4.21	81.93
C <sub>C</sub>	58.95	0.14	8.81	7.20	0.89	0.25	6.25	0.26	1.84	0.027	1.35	6.82	92.78
МПТ № 101	67.0	0.20	11.2	5.88	0.28	0.17	0.33	0.27	3.11	0.02	0.93	3.97	93.36

Примечание. C<sub>C</sub> – среднее содержание; ППП – потери при прокаливании; МПТ № 101 – малая технологическая проба (50 кг), рудная зона № 4 (Шумилова, Костикова, 2015).

Руды обогащены достаточно широким спектром элементов (Ag, Sb, Pb, Cd, As, Zn, Bi, In, W, Sn, Mn, Cu, Li, Tl, Cs) (табл. 2, фиг. 5), по сравнению со средними значениями верхней коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988). Выполненные исследования показали, что в Ag-полиметаллических рудах промышленный интерес в качестве попутных компонентов могут представлять ряд высокотехнологических металлов: Cd, In, Bi и Ga (табл. 2).

Коэффициенты обогащения варьируют от нескольких (Li, Tl, Cs) до десятков (Mn, Sn, W, Cu), сотен (As, Bi, In, Zn), тысяч (Cd, Pb, Sb) и десятков тысяч (Ag) раз (фиг. 5), что свидетельствует о геохимическом родстве микроэлементов и их синхронном участии в рудообразовании.

В пробах обогащенных Ag-галенит-кварцевых жил (ГЦ-3/15–5/15, ГЦ-7/15) обнаружены низкие содержания ΣREE (33.34–50.69) и отрицательный тип распределения лантаноидов, Eu/Sm – 0.12–0.23 (табл. 2, фиг. 6). Отрицательные Eu-аномалии в них такие же, как и в кислых вулканических породах Балагычано-Сугойского прогиба ОЧВП (Кравцова, 2010). В рудах (табл. 2, фиг. 6) преобладают легкие “гидрофильные” РЗЭ цериевой группы (Жариков и др., 1999; Минеев, 1974).

В пробе адуляр-кварцевой жилы (ГЦ-1/15), встреченной за пределами рудного тела, выявлены низкие содержания Au (0.86 г/т), при низких фоновых концентрациях Ag (0.19 г/т), высокие, по сравнению с сульфидными рудами, содержания ΣREE (141.05). Установлен отрицательный тип распределения лантаноидов и Eu/Sm – 0.12 (табл. 2, фиг. 6).

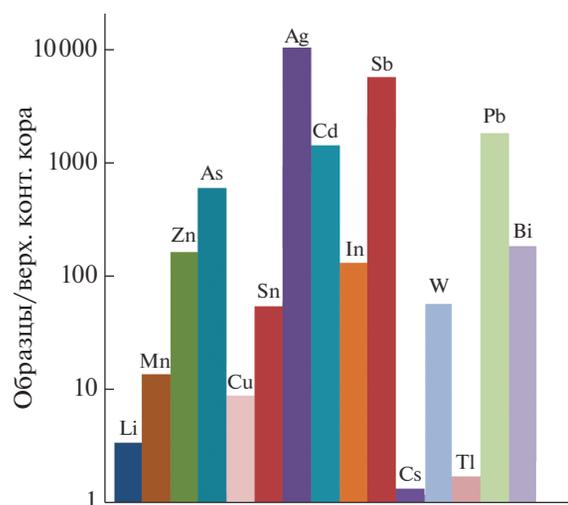
Сходные признаки присущи безрудной сульфидно-карбонат-кварцевой жиле (ГЦ-2/15): в пробе из нее обнаружено низкое содержание Au (0.44 г/т), не определено Ag, выявлены высокие значения ΣREE (141.58) и ΣHREE (46.13), субхондритовое распределение РЗЭ и значение Eu/Sm – 0.38 (фиг. 6, табл. 2).

## ТЕКСТУРЫ И СТРУКТУРЫ РУД

На месторождении Гольцовое развиты массивные, грубополосчатые и пятнистые текстуры руд (фиг. 7а–в).

Массивная текстура широко распространена на месторождении и характерна для уникальных высоко-сереброносных галенитовых жил. Она представлена однородным агрегатом, состоящим из тесно сросшихся крупных кристаллов галенита (фиг. 7а).

Полосчатые текстуры встречаются как в галенитовых, так и в блеклорудно-галенит-сфалеритовых рудах (фиг. 7б) и представляют собой чередование полос, сложенных мелко- и крупнозернистым кварцем, манганосидеритом и агрегатом галенита и сфалерита.



**Фиг. 5.** Распределение основных микроэлементов в эпитермальных рудах Ag-полиметаллического месторождения Гольцовое (среднее по 6 пробам), нормированных по отношению к средним значениям для верхней коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988).

**Таблица 2.** Элементный состав (г/т) изученных образцов эпитермальных руд месторождения Гольцовое и других месторождений Дукагского рудного района (средние значения)

Название	Гольцовое										Дукаг (5)	Лунное (6)	Теплое (10)	Мечта (7)	Невское (6)
	ГЦ-1/15	ГЦ-2/15	ГЦ-3/15	ГЦ-7/15	ГЦ-4/15	ГЦ-5/15	C <sub>c</sub>	ГЦ-1/15	ГЦ-2/15	ГЦ-3/15					
№ пробы	0.86	0.44	<ПО	0.64	<ПО	<ПО	0.34	0.1	0.34	32.1	2.37	8.62	0.46	0.53	
Au	0.19	<ПО	464	1422	437	532	475.86	532	475.86	13180.00	3805.0	1478.80	532.00	108.0	
Ag	4.9	10	73	4760	47	553	908.05	553	908.05	13.33	124.18	4.07	219065.82	116.76	
As	8.2	22	545	1199	456	884	518.86	884	518.86	42.58	38.21	6.16	3061.12	123.96	
Sb	19	<ПО	8.7	889	425	20	227.10	20	227.10	1424.00	1226.61	246.40	13443.49	8569.53	
Cu	106	2188	115522	20310	26322	55703	36691.84	55703	36691.84	3479.00	1661.37	204.77	97547.12	272.44	
Pb	234	121	1513	61542	5301	1740	11741.91	1740	11741.91	3183.00	63965.90	1893.32	259806.11	35.33	
Zn	98	75	26	63	82	67	68.38	67	68.38	67.00	66.42	34.40	118.25	67.40	
Li	2.5	0.91	1.2	0.86	1.5	1.2	1.36	1.2	1.36	525.96	5.52	4.70	3.11	0.17	
Be	1.1	<ПО	<ПО	0.33	3.0	2.4	1.15	2.4	1.15	0.00	0.33	3.20	3.58	7.66	
Sc	905	53	801	807	831	625	670.09	625	670.09	124.20	315.47	586.28	575.61	5391.43	
Ti	7.6	1.4	5.1	9.9	8.0	6.6	6.42	6.6	6.42	0.81	10.12	26.73	22.33	75.70	
V	4.1	3.4	1.9	5.4	6.1	3.3	4.03	3.3	4.03	6.32	16.16	50.58	0.39	30.46	
Cr	2623	15471	7531	5933	11583	6426	8261.07	6426	8261.07	29268.20	42523.02	96368.00	9605.80	175.38	
Mn	1.6	1.3	0.49	29	0.60	2.5	5.91	2.5	5.91	1.04	4.89	2.94	23.04	14.46	
Co	0.52	0.87	<ПО	0.23	<ПО	<ПО	0.27	<ПО	0.27	0.11	7.20	2.65	3.73	6.80	
Ni	0.10	0.19	5.3	126	4.2	9.2	24.08	9.2	24.08	0.17	0.34	5.86	5.85	916.46	
Bi	16	1.3	10	8.6	10	12	9.71	12	9.71	15.60	8.04	4.75	18.85	7.12	
Ga	<ПО	<ПО	<ПО	12	3.2	4.4	3.29	4.4	3.29	55.60	11.15	0.62	16.08	125.89	
Se	143	18	122	69	117	72	90.08	72	90.08	62.80	36.17	23.76	96.36	8.49	
Rb	11	105	2.7	2.3	<0.06	3.8	20.92	3.8	20.92	4.11	89.22	160.19	31.04	35.06	
Sr	25	83	11	9.0	14	28	28.52	28	28.52	6.16	2.99	9.54	33.74	7.85	
Y	64	4.2	52	41	48	41	41.57	41	41.57	11.32	10.64	15.59	78.87	133.60	
Zr	7.3	0.069	5.8	4.5	5.3	3.8	4.48	3.8	4.48	0.69	0.35	0.63	7.45	6.96	
Nb	1.4	2.3	1.7	1.3	1.5	1.3	1.58	1.3	1.58	0.09	0.54	4.56	10.24	2.54	
Mo															

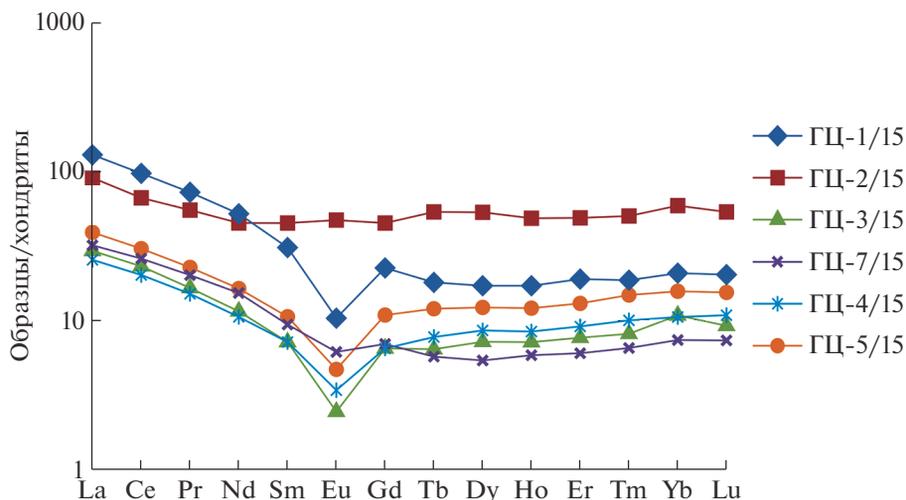
Таблица 2. Продолжение

Название	Гольцовое										Дугак (5)	Лунное (6)	Теплое (10)	Мечта (7)	Невское (6)	
	ГЦ-1/15	ГЦ-2/15	ГЦ-3/15	ГЦ-7/15	ГЦ-4/15	ГЦ-5/15	C <sub>c</sub>									
№ пробы																
Cd	1.38	0.95	51	665	109	23	141.67	12.06	357.15	17.04	879.97	1.03				
In	0.27	3.5	0.26	34	1.2	0.83	6.66	0.00	8.11	0.35	9.37	0.94				
Sn	3.8	0.79	2.4	91	0.61	1223	219.00	0.00	96.17	0.00	183.75	18948.14				
Te	<ПО	<ПО	<ПО	0.094	0.037	0.087	0.04	0.02	0.64	3.34	0.27	1.30				
Cs	10.0	1.6	5.9	3.7	6.2	3.3	5.11	3.14	2.41	1.68	9.31	0.89				
Ba	132	29	82	56	62	135	82.63	160.60	159.09	186.26	175.98	43.93				
La	30	21	6.9	7.5	5.9	9.1	13.42	2.89	2.27	3.95	17.69	31.08				
Ce	59	40	14	16	12	19	26.64	6.59	4.74	7.82	39.05	70.68				
Pr	6.6	5.0	1.5	1.9	1.4	2.1	3.09	0.82	0.58	1.11	4.93	9.08				
Nd	23	20	5.3	6.9	4.8	7.6	11.25	3.44	2.40	5.08	20.55	36.62				
Sm	4.6	6.6	1.1	1.4	1.1	1.6	2.70	0.85	0.59	1.10	5.27	6.97				
Eu	0.53	2.5	0.13	0.32	0.18	0.25	0.65	0.11	0.45	0.30	0.65	4.86				
Gd	4.4	8.9	1.3	1.4	1.3	2.1	3.24	0.89	0.56	1.35	5.04	4.07				
Tb	0.65	1.9	0.23	0.20	0.28	0.43	0.62	0.15	0.08	0.20	0.91	0.42				
Dy	4.2	13.0	1.8	1.3	2.1	3.0	4.22	1.04	0.51	1.34	5.65	1.43				
Ho	0.93	2.6	0.39	0.32	0.46	0.65	0.90	0.20	0.10	0.27	1.16	0.29				
Er	3.0	7.8	1.2	1.0	1.4	2.1	2.75	0.62	0.24	0.85	3.54	0.90				
Tm	0.46	1.22	0.20	0.16	0.25	0.36	0.44	0.08	0.03	0.11	0.53	0.18				
Yb	3.3	9.4	1.7	1.2	1.7	2.5	3.30	0.61	0.23	0.79	3.59	1.30				
Lu	0.50	1.32	0.23	0.18	0.26	0.37	0.48	0.07	0.03	0.10	0.53	0.24				
Hf	2.5	0.15	1.9	1.4	1.7	1.4	1.51	0.31	0.22	0.35	2.55	3.31				
Ta	0.79	<ПО	0.56	0.41	0.55	0.41	0.45	0.03	0.01	0.05	0.58	0.29				
W	37	23	42	570	11	4.9	114.59	0.20	0.23	20.15	4.26	1816.96				
Tl	1.9	0.18	1.9	1.0	1.6	1.3	1.31	1.22	1.24	0.30	2.84	0.17				
Th	19	1.8	16	12	15	12	12.46	1.14	0.49	0.73	6.43	7.95				

Таблица 2. Окончание

Название	Гольцовое										Дугаг (5)	Лунное (6)	Теплое (10)	Мечта (7)	Невское (6)
	ГЦ-1/15	ГЦ-2/15	ГЦ-3/15	ГЦ-7/15	ГЦ-4/15	ГЦ-5/15	С <sub>с</sub>								
№ пробы	5.3	3.6	2.7	2.7	4.4	3.2	3.66	0.47	0.34	0.47	0.47	0.34	0.47	5.56	2.29
ΣREE	141.05	141.58	36.01	39.42	33.34	50.69	73.68	18.355	12.805	24.369	109.110	12.805	24.369	109.110	168.112
ΣLREE	123.57	95.45	28.91	33.71	25.62	39.21	57.74	14.703	11.026	19.355	88.144	11.026	19.355	88.144	159.289
ΣHREE	17.48	46.13	7.10	5.70	7.72	11.48	15.94	3.652	1.779	5.014	20.966	1.779	5.014	20.966	8.823
ΣLREE/ ΣHREE	7.07	2.07	4.07	5.90	3.31	3.41	4.30	3.128	6.390	6.863	5.555	6.390	6.863	5.555	16.711
Rb/Sr	12.523	0.171	45.463	30.291	0.00	19.088	17.92	12.779	0.542	0.110	2.288	0.542	0.110	2.288	0.278
Sr/Ba	0.086	3.676	0.033	0.041	0.00	0.028	0.64	0.044	0.296	2.837	0.252	0.296	2.837	0.252	1.024
Y/Ho	27.198	31.663	28.487	28.381	31.513	43.010	31.71	90.221	33.661	45.895	29.063	33.661	45.895	29.063	27.144
La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	6.123	1.524	2.696	4.254	2.414	2.491	3.25	2.019	5.874	7.598	5.475	5.874	7.598	5.475	15.720
La <sub>N</sub> /Sm <sub>N</sub>	4.101	2.007	4.076	3.372	3.528	3.658	3.45	1.578	2.245	8.332	2.198	2.245	8.332	2.198	2.628
Gd <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	1.073	0.766	0.616	0.939	0.621	0.687	0.78	0.385	1.952	1.876	1.555	1.952	1.876	1.555	2.563
Te/Se	0.00	0.00	0.00	0.008	0.012	0.020	0.01	0.000	0.267	4.245	0.034	0.267	4.245	0.034	0.019
Co/Ni	3.071	1.546	0.00	127.324	0.00	0.00	21.99	0.082	0.298	1.767	2.347	0.298	1.767	2.347	2.153
U/Th	0.281	2.067	0.172	0.226	0.303	0.268	0.55	0.135	1.061	1.797	8.655	1.061	1.797	8.655	0.318
Au/Ag	4.631	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.002	0.001	0.006	0.000	0.001	0.006	0.000	0.001
Eu/Eu*	0.494	1.000	0.466	0.826	0.564	0.533	0.64	0.527	3.162	0.948	0.690	3.162	0.948	0.690	2.330
Ce/Ce*	1.013	0.891	1.040	1.072	1.050	1.042	1.01	1.061	0.829	0.783	1.002	0.829	0.783	1.002	1.118
Eu/Sm	0.117	0.379	0.125	0.235	0.171	0.161	0.2	0.291	1.658	0.364	0.200	1.658	0.364	0.200	0.719
ΣCe	118.475	86.401	27.717	32.011	24.389	37.405	54.40	13.748	9.990	17.959	82.218	9.990	17.959	82.218	147.452
ΣY	15.289	35.472	4.899	4.923	5.335	7.993	12.32	3.236	2.280	4.559	18.699	2.280	4.559	18.699	18.044
ΣSc	7.288	19.714	3.399	2.490	3.624	5.299	6.97	1.371	0.535	1.851	8.193	0.535	1.851	8.193	2.616

Примечание. Метод плазменной масс-спектрометрии (ICP-MS), лаборатория ИГЕМ РАН (аналитик Я.В. Бычкова). Золото в пробах определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией на спектрометре Spectr AA220 Z (аналитик В.А. Сычкова); С<sub>с</sub> – среднее содержание; ПО – предел обнаружения. Eu/Eu\* = Eu<sub>N</sub>/(Sm<sub>N</sub>(Tb<sub>N</sub>Eu<sub>N</sub>)<sup>1/2</sup>)<sup>1/2</sup>; Ce/Ce\* = Ce<sub>N</sub>/((2La<sub>N</sub> + Sm<sub>N</sub>)/3); REE – P3Э; LREE – легкие P3Э; HREE – тяжелые P3Э. В скобках – количество проб.



**Фиг. 6.** Распределение P3Э, нормированных по хондритам (McDonough, Sun, 1995): в эпитермальных рудах Ag-полиметаллического месторождения Гольцовое. Номера проб соответствуют № проб в табл. 1, 2.

Пятнистые текстуры обусловлены развитием жильных минералов (кварца, карбоната, манганосидерита) и сульфидов в виде неправильных пятен и линзочек размером от долей см до 1.5 см (фиг. 7в).

Гипергенные руды месторождения Гольцовое характеризуются большим разнообразием текстур (Двуреченская, 2001). Широко развиты: каркасные, кавернозные, пористые, землистые, брекчиевидные и петельчатые текстуры. На фотографии (фиг. 7г) показана петельчатая текстура сильно окисленной сульфидной руды, которая характеризуется сеткой из тонких белых прожилков госларит-церусситового агрегата. Гипергенные минералы отличаются колломорфными, концентрически-зональными, каемчатыми и корковыми, а также коррозионными колломорфно-метаколлоидными структурами.

### МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД

Руды месторождения Гольцовое характеризуются высоким содержанием сульфидов (на долю рудных минералов приходится от 10 до 30% объема жильной массы) и имеют сложный минеральный состав (фиг. 8). В настоящее время в рудах установлено около 80 гипогенных и гипергенных минералов (табл. 3).

Главные первичные рудные минералы — галенит, сфалерит и блеклая руда. Второстепенные — халькопирит, арсенопирит, пирит и некоторые сульфоантимониты Ag и Pb. Редкие — станин, касситерит и др. (см. табл. 3). Главные нерудные минералы — кварц и манганосидерит, малораспространенные — кальцит, серицит, хлорит, каолинит, калиевый полевой шпат и др. Вторичные минералы, образовавшиеся в процессе гиперген-

ного окисления руд, — главным образом, акантит, ковеллин, гетит, пиролюзит, псиломелан, плюмбо- и аргентоярозит, церуссит, англезит, окисные минералы Cu, Sb и Ag и др. (табл. 3).

Ниже, в порядке распространенности, описаны некоторые жильные и рудные минералы месторождения.

#### *Жильно-метасоматические минералы*

*Кварц* молочно-белого цвета образует мелкозернистые и халцедоновидные агрегаты, прожилки и жилы мощностью до 10 см, в которых сростается с серицитом, карбонатами и сульфидами (фиг. 7в), а также маломощные линзочки совместно с галенитом. Выделения кварца в большинстве случаев приурочены к центральным частям рудных жил.

*Серицит* наблюдался в виде мелких чешуек в сростании с кварцем и рутилом.

*Хлорит* обнаружен в виде пластинчатых агрегатов размером до 1.5 мм (по оптическим свойствам определен как прохлорит) и ассоциирует с кварцем. Хлорит интенсивно развивается во вмещающих породах вблизи зальбандов жил.

*Карбонат* преимущественно представлен *манганосидеритом*, который окрашен в бурые тона, а в зоне окисления по нему развивается черный пиролюзит. Предположительно манганосидерит отлагается раньше кварца и встречается в призальбандовых частях кварцевых жил. Поздние карбонаты — *кальцит* белого цвета, реже — *анкерит* отлагаются в пустотах кварца совместно с сульфидоантимонитами свинца.



**Фиг. 7.** Текстуры руд месторождения Гольцовое.

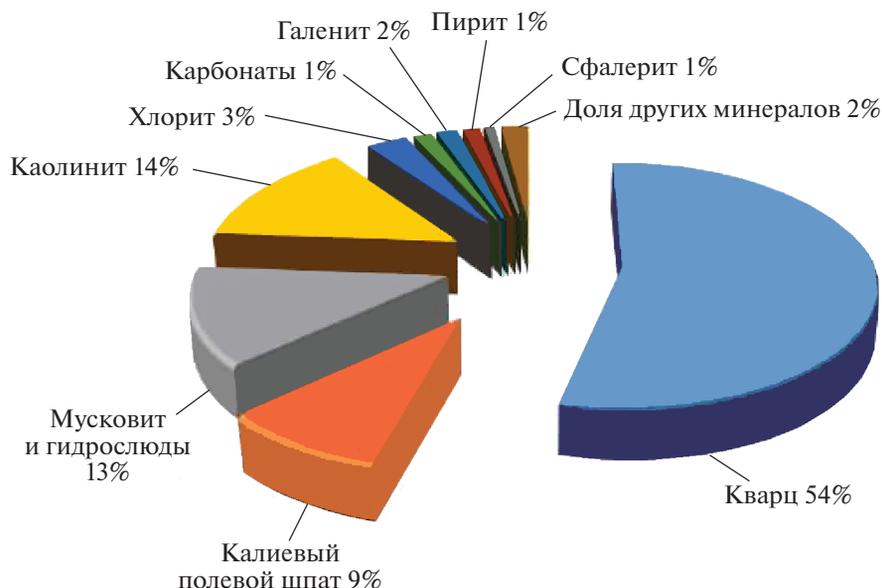
а – массивная текстура галенитовой жилы (рудная зона 3, геологический музей “Магаданнедра”); б – полосчатая текстура кварц-сульфидной жилы; в – пятнистая текстура кварц-сульфидной жилы; г – петельчатая текстура сильно окисленной сульфидной руды (госларит-церусситовый агрегат (белое) по трещинам в галените (темно-серое)). Шт. 1, штр. 6, 101 м.

### *Рудные минералы*

*Галенит* образует массивные (сливные) агрегаты размером до  $20 \times 10 \times 10$  см со средне-крупнокристаллическими структурами (фиг. 7а), а также прожилки, линзы, гнезда и мелкую вкрапленность. Также встречаются струйчатые текстуры смятия, свидетельствующие о динамометаморфизме при внутрирудных подвижках.

Галенит образует сростания со сфалеритом, Ag-содержащей блеклой рудой, халькопиритом,

арсенопиритом, кварцем и манганосидеритом, а также содержит крупные (250–400 мкм) включения этих минералов (фиг. 9а, в–д) и микровключения (до 100 мкм) акантита и сульфоантимонитов Ag (преимущественно пираргирита, в меньшей степени стефанита и полибазита и др.). Обычно мелкие выделения сульфосолей Ag располагаются между зернами галенита или вдоль его спайности, образуя прерывистые цепочки, а иногда и беспорядочно, нередко вкрапленники сгущаются в направлении к более крупным агрегатам.



Фиг. 8. Минеральный состав технологической пробы МТП № 101, рудное тело № 4, месторождение Гольцовое (Шу-милова, Костикова, 2018).

Галенит – главный рудный минерал на месторождении и основной “концентратор серебра”: кроме собственных включений серебряных фаз может содержать до 3.5 мас.% Ag (Радченко, Ваулин, 2007 г.<sup>1</sup>).

*Сфалерит* – второй по распространенности после галенита рудный минерал. Как и галенит, он слагает массивные агрегаты размером  $7 \times 4 \times 5$  см, но также образует и мелкую (1–2 мм) вкрапленность в аргиллизированных игнимбритах риолитов или встречается в ассоциации с наиболее ранними минералами (кварцем, манганосидеритом, пиритом). Сфалерит имеет темно-бурую окраску. Он обнаружен в сростаниях с галенитом, арсенопиритом и халькопиритом и/или содержит включения галенита, аргентотетраэдрита, акантита, пираргирита, а также редкую эмульсионную вкрапленность халькопирита (фиг. 9а, в, ж). Встречены пересечения агрегатов сфалерита прожилками арсенопирита (фиг. 9е). Преобладает сфалерит с содержанием 15.4–20.8 мол. % FeS (табл. 4, ан. 1–4).

*Халькопирит* встречается в рудах повсеместно, но в меньших количествах, чем галенит и сфалерит. Он сростается с ними и с Ag-содержащей блеклой рудой (фиг. 9в, г), а также образует самостоятельные интерстициальные выделения в кварце.

*Пирит* – малораспространенный в рудах минерал; слагает идиоморфные кристаллы кубического габитуса размером 0.3–0.7 мм, нередко корродируемые галенитом и сфалеритом, что свиде-

тельствует о более ранней кристаллизации пирита относительно галенита и сфалерита (фиг. 9а).

*Арсенопирит* образует ромбовидные кристаллы в сростаниях с галенитом и сфалеритом (фиг. 9д, ж) или отлагается позже, образуя секущие более ранние сульфиды прожилки размером 1–3 мм (фиг. 9е). В агрегатах арсенопирита отмечаются включения самородного висмута (фиг. 9ж, з), касситерита и канфильдита размером 0.01–0.2 мм. Арсенопирит пересекается прожилками и просечками станнина (фиг. 9б). Впервые обнаружен арсенопирит с высоким содержанием Sb до 6.20 мас. % (табл. 4, ан. 12–14).

*Самородный висмут*, выявленный впервые в данном исследовании, присутствует в арсенопирите в виде включений размером до 50 мкм (фиг. 9ж, з). По результатам РСМА этих включений установлено присутствие Bi 97.2–98.3, Fe 1.6–2.4 и As 0.16–0.45 мас. %. Вероятно, Fe и As были захвачены из арсенопирита.

#### Серебросодержащие минералы

Из серебросодержащих минералов наиболее распространены аргентотетраэдрит-(Fe)  $(Ag_6(Cu_4Fe_2)Sb_4S_{13})$  и пираргирит  $(Ag_3SbS_3)$ . Также встречаются сульфиды Ag (акантит –  $Ag_2S$ ), сульфостаннина Ag (миаргирит –  $AgSbS_2$ , полибазит –  $(Ag,Cu)_{16}(Sb,As)_2S_{11}$ , стефанит –  $Ag_5SbS_4$ ) и Ag–Pb (овихиит –  $Ag_{3+x}Pb_{10-2x}Sb_{11+x}S_{28}$  ( $-0.13 < x < 0.20$ )), фрейслебенит –  $AgPbSbS_3$ , рамдорит –  $Pb_{5.9}Fe_{0.1}Mn_{0.1}In_{0.1}Cd_{0.2}Ag_{2.8}Sb_{10.8}S_{24}$ , диафорит –  $Ag_3Pb_2Sb_3S_8$ ) и сульфостаннина Ag (канфильдит –

<sup>1</sup> Отчет в ФБГУ “Росгеолфонд”.

Таблица 3. Распространенность минералов в рудах месторождения Гольцовое

	Гипогенные минералы		Гипергенные минералы (по Двуреченской, 2001)
	рудные	нерудные	
Главные	Галенит, сфалерит, *аргентотетраэдрит-(Fe)	Кварц, манганосидерит	*Акантит, ковеллин, гетит, пирролизит, псиломелан, плюмбо- и *аргентоярозит, яро- зит, церрусит, англезит, госла- рит, ганнингит
Второстепенные	Халькопирит, пирит, марказит, арсенопирит, пирротин, *пираргирит, *миаргирит, бурнонит, браунит, буланжерит,	Кальцит, серицит, гидролюда, каолинит, хлорит, анкерит	*Макинстриит, халькозин, малахит, розентит, купросидеротил, халькантит, брошантит, ссомольнокит, бойлеит, каолинит, сепиолит, гипс, полианит
Редкие	Станнин, <i>касситерит</i> , халькозин, гематит, рутил, магнетит, *канфиль- дит, *акантит, *самородное золото, *самородное серебро, *овихиит, *полибазит, *стефанит, *рамдорит, *фрейслебенит, *диафорит, само- родные <i>Bi</i> и <i>Sb</i>	Барит, родохрозит, эпидот, калиевый полевой шпат	Азурит, гринокит, халькофанит, манганит, вудрафтит, ферригидрит, смитсонит, лепидокрокит, *самородное серебро, скородит

Примечание. Таблица составлена с использованием данных Епифановой (1994), Двуреченской (2001), М.С. Сахаровой в книге (Шило и др., 1992). Курсивом обозначены минералы, установленные другими авторами. Серебросодержащие минералы отмечены \*.

$Ag_8Sn_6$ ). В незначительном количестве в рудах развито самородное серебро. Минералы Ag, главным образом в виде эмульсионной вкрапленности или зерен неправильной формы, связаны с галенитом, в меньшей степени со сфалеритом. Количество минералов Ag от общего объема руды составляет от 0.03 до 0.15%.

Блеклая руда является главным гипогенным минералом Ag и широко развита в рудах месторождения Гольцовое. Она сростается с галенитом и сфалеритом (фиг. 9г, 10а–в). В кварц-галенитовых прожилках блеклая руда встречается в виде линзовидных скоплений мощностью до 3–5 см и длиной от первых см до 15–20 см. В крупных агрегатах блеклой руды постоянно наблюдаются просечки халькопирита.

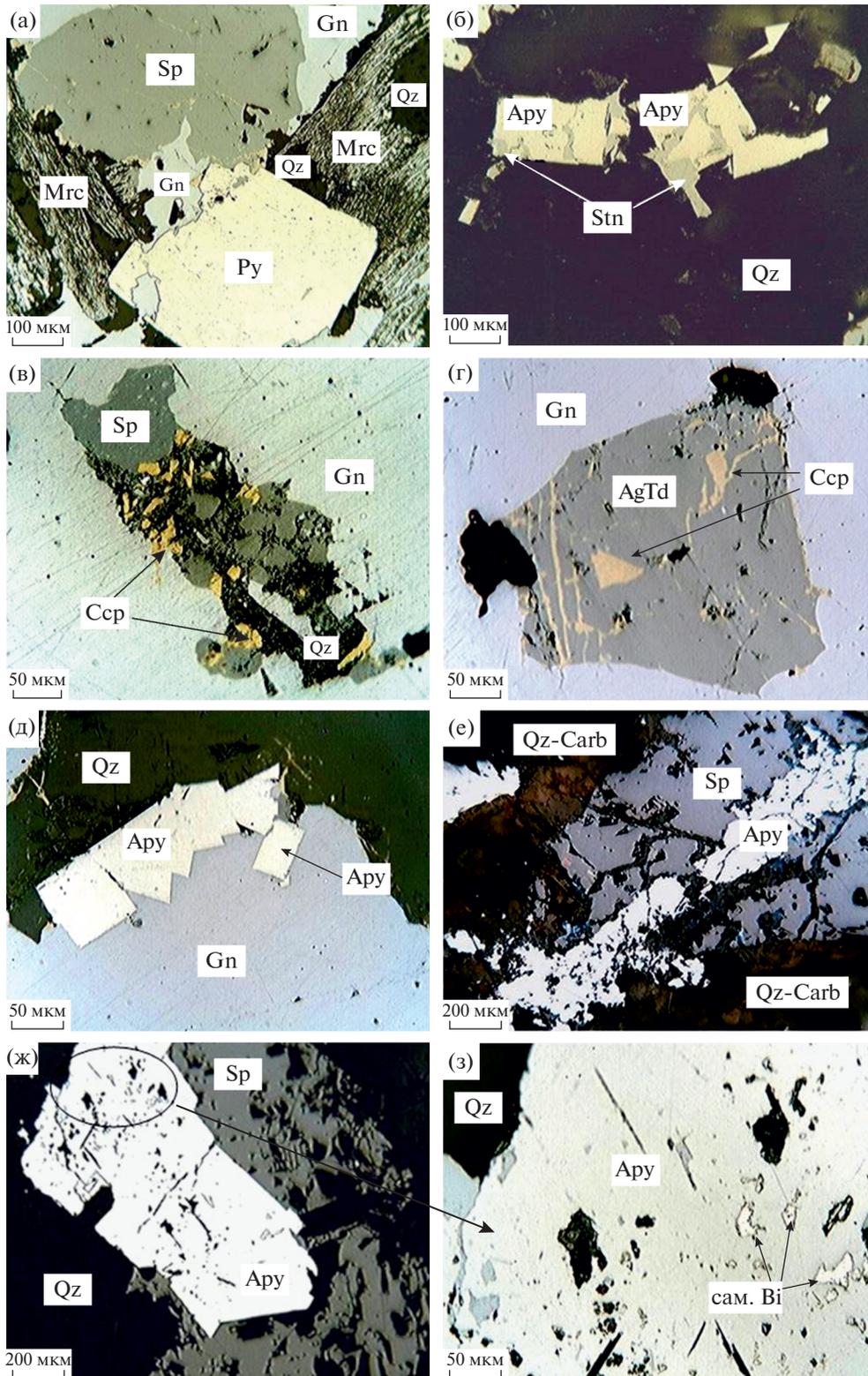
По данным РСМА установлено, что состав блеклой руды месторождения незначительно изменяется (в мас. %): Cu 18.2–21.0, Ag 23.5–28.0, Fe 4.8–5.4, Zn 1.1–1.5, Sb 26.0–26.3, As < 0.1, S 21.4–22.7; обобщенная эмпирическая формула  $(Cu_{5.4-6.1}Ag_{4.0-4.9})_{\Sigma(10.0-10.3)}(Fe_{1.6-1.8}Zn_{0.3-0.4})_{\Sigma(2.0-2.2)}(Sb_{3.9-4.0}As_{0-0.03})_{\Sigma(3.9-4.0)}S_{12.6-12.9}$ ; соотношения Ag/(Ag + Cu) 0.40–0.48, Fe/(Fe + Zn) 0.80–0.84 и Sb/(Sb + As) 0.99–1.00 (табл. 4, ан. 5–11).

В ранних работах блеклая руда по химическому составу была отнесена к фрейбергиту (Шило и др., 1992). Однако в соответствии с новой номенкла-

турой тетраэдритовой группы, утвержденной Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной Минералогической Ассоциации (IMA-CNMNC) (Biagioni et al., 2020), блеклая руда Гольцового месторождения по содержанию серебра относится к фрейбергитовой серии и представлена *аргентотетраэдритом-(Fe)* (табл. 4, ан. 5–11; фиг. 11). Корреляции между содержаниями Fe и Ag не наблюдается (фиг. 11а).

*Пираргирит*, главным образом, рассеян в виде микровключений (0.05–0.1 мм) в галените (фиг. 10г–ж). Кроме того, встречаются редкие интерстициальные выделения до 0.3 мм в сфалерите совместно с Ag-содержащей блеклой рудой (фиг. 10а–в).

Сульфоантимониты Ag – *миаргирит*, *стефанит*, *полибазит*, *канфильдит* – встречаются значительно реже пираргирита в виде мелких (0.01–0.1 мм) включений в галените и сфалерите. Результаты РСМА *полибазита* (в мас. %): Ag 72.1, Cu 2.4, Sb 10.4, As 0.1 и S 14.3. Минерал плохо рассчитывается на стехиометрическую формулу:  $(Ag_{15.65}Cu_{0.88})_{\Sigma 16.53}(Sb_{2.00}As_{0.03})_{\Sigma 2.03}S_{10.44}$ , что, вероятно, связано с погрешностями РСМА из-за мелкого размера проанализированных зерен.



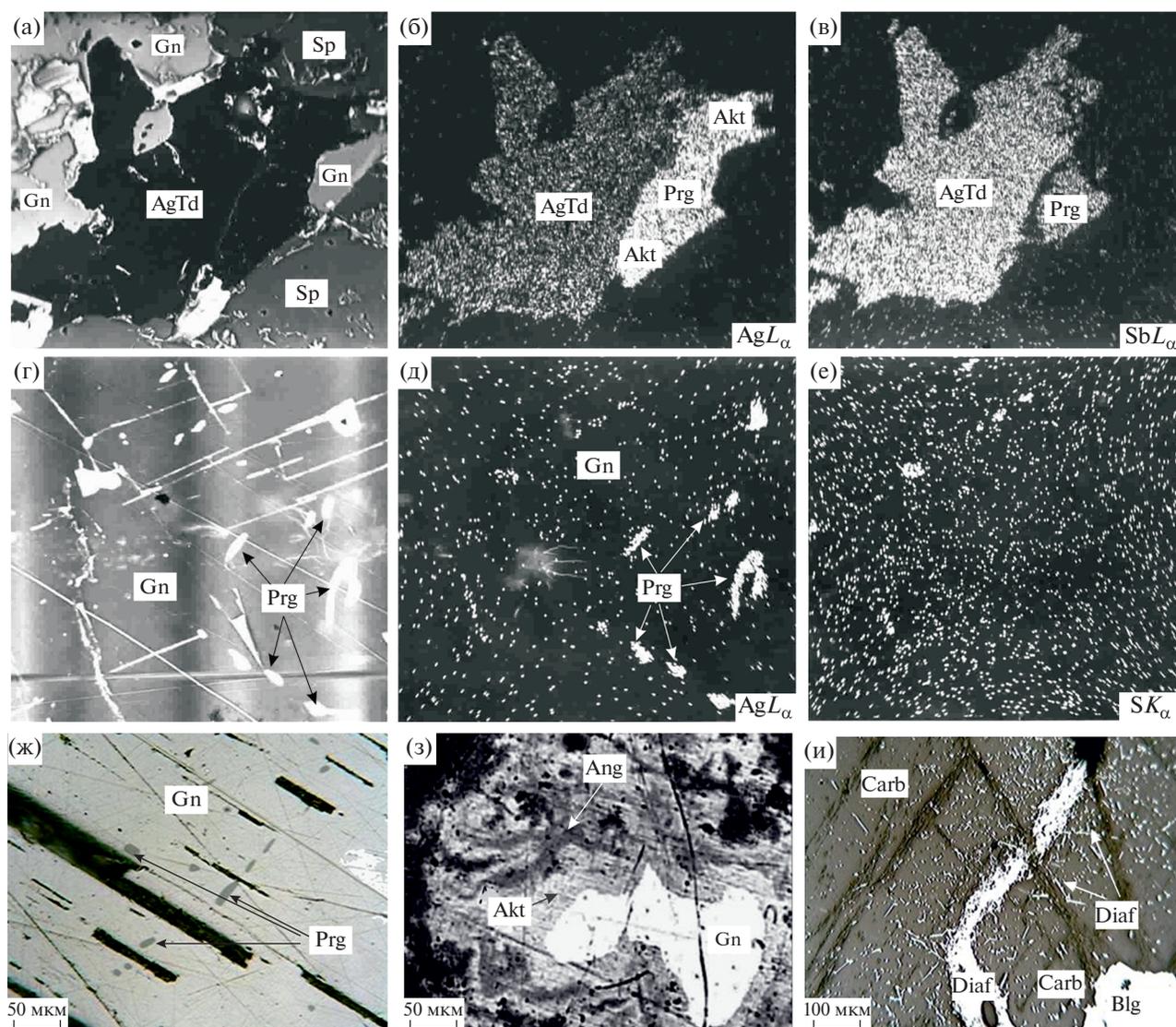
**Фиг. 9.** Срастания главных рудных минералов на месторождении Гольцовое.

а – срастание пирита (Py), сфалерита (Sp), марказита (Mrc), галенита (Gn) и кварца (Qz). Галенит корродирует сфалерит, пирит и марказит и развивается в интерстициях между их зернами; б – станнин (Stn) цементирует и сечет прожилками зерн арсенопирита (Apy) в кварце; в – в галените включение катаклазированного агрегата, состоящего из зерен сфалерита, халькопирита (Ccp) и кварца; г – в галените включение аргентотетраэдрита-(Fe) (AgTd) с просечками халькопирита; д – цепочка идиоморфных зерен арсенопирита развивается по контакту агрегатов галенита и кварца; е – прожилок арсенопирита пересекает крупное выделение сфалерита; ж – срастания сфалерита и арсенопирита с ровными взаимными границами; з – увеличенный фрагмент фиг. 9ж. Арсенопирит содержит ксеноморфные включения самородного висмута (сам. Bi).

Таблица 4. РСМА-анализы некоторых рудных минералов месторождения Гольцовое

№ п/п	Минерал	Ag	Cu	Zn	Fe	Pb	Sb	As	S	Сумма	Формула
1			54.90	12.00					33.70	100.60	$(Zn_{0,80}Fe_{0,20})\Sigma_{1,00}S_{1,00}$
2	Sp		54.10	12.20					33.70	100.00	$(Zn_{0,79}Fe_{0,21})\Sigma_{1,00}S_{1,01}$
3			57.10	9.00					33.90	100.00	$(Zn_{0,84}Fe_{0,15})\Sigma_{0,99}S_{1,01}$
4	Sp <sup>AgTl-(Fe)</sup>		55.37	11.07					33.77	100.20	$(Zn_{0,81}Fe_{0,19})\Sigma_{1,00}S_{1,00}$
5		24.20	20.70	1.10	5.10		26.30		22.60	100.00	$(Ag_{4,12}Cu_{5,98})\Sigma_{10,10}(Fe_{1,68}Zn_{0,31})\Sigma_{1,99}Sb_{3,97}S_{12,95}$
6		24.40	21.00	1.40	4.80		26.30	0.10	22.20	100.20	$(Ag_{4,17}Cu_{6,09})\Sigma_{10,26}(Fe_{1,58}Zn_{0,40})\Sigma_{1,98}(Sb_{3,98}As_{0,03})\Sigma_{4,01}S_{12,76}$
7		23.50	20.80	1.50	5.40		26.00		22.70	99.90	$(Ag_{3,98}Cu_{5,98})\Sigma_{9,97}(Fe_{1,77}Zn_{0,42})\Sigma_{2,19}Sb_{3,90}S_{12,94}$
8	AgTl-(Fe)	28.00	18.20	1.40	4.90		26.10		21.40	100.00	$(Ag_{4,90}Cu_{5,40})\Sigma_{10,30}(Fe_{1,66}Zn_{0,40})\Sigma_{2,06}Sb_{4,05}S_{12,59}$
9		24.30	20.80	1.40	5.10		26.10		22.40	100.10	$(Ag_{4,14}Cu_{6,01})\Sigma_{10,15}(Fe_{1,68}Zn_{0,39})\Sigma_{2,07}Sb_{3,94}S_{12,84}$
10		23.90	21.00	1.30	5.30		26.10		22.40	100.00	$(Ag_{4,07}Cu_{6,07})\Sigma_{10,13}(Fe_{1,74}Zn_{0,37})\Sigma_{2,11}Sb_{3,94}S_{12,83}$
11	AgTl-(Fe) <sup>Sp</sup>	24.72	20.42	1.35	5.10		26.15	0.10	22.28	100.02	$(Ag_{4,23}Cu_{5,93})\Sigma_{10,16}(Fe_{1,68}Zn_{0,38})\Sigma_{2,06}Sb_{3,96}S_{12,82}$
12					33.90		6.20	41.10	18.80	100.00	$Fe_{1,02}(As_{50,92}Sb_{0,09})\Sigma_{1,01}S_{0,98}$
13	Ару				34.00		6.20	40.50	19.40	100.10	$Fe_{1,01}(As_{50,90}Sb_{0,09})\Sigma_{0,99}S_{1,01}$
14					34.00		1.90	43.90	20.20	100.00	$Fe_{0,99}(As_{50,96}Sb_{0,03})\Sigma_{0,99}S_{1,03}$
15						53.40	26.50	0.52	19.00	99.68	$Pb_{4,78}(Sb_{4,01}As_{0,13})\Sigma_{4,14}(S_{10,99}Se_{0,06})\Sigma_{11,05}$
16	Blg		0.15			54.40	25.40	0.31	18.60	98.86	$Pb_{4,96}(Sb_{3,94}As_{0,08})\Sigma_{4,02}S_{10,97}$
17						54.70	26.10	0.97	18.60	100.66	$Pb_{4,91}(Sb_{3,99}As_{0,24})\Sigma_{4,23}(S_{10,79}Se_{0,07})\Sigma_{10,86}$

Примечание. Анализ минералов выполнен на Qemscan с приставкой Quantaх, аналитик О.Т. Соцкая СВКНИИ ДВО РАН, г. Маглан. Обозначения минералов: Sp – сфалерит, AgTl-(Fe) – аргентотетраэдриг-(Fe), Ару – арсенопирит, Blg – буланжерит, Sp<sup>AgTl</sup> и AgTl-(Fe)<sup>Sp</sup> – анализы сосуществующих сфалерита и аргентотетраэдриг-(Fe). Концентрации элементов в некоторых анализах приведены к 100%. В анализах 15 и 17 содержание Se 0.26 и 0.29 мас. % соответственно. Формула блеклой руды рассчитана на 29 атомов. Баланс валентностей для представленных анализов блеклой руды находится в интервале 100.3–105.4%.



**Фиг. 10.** Основные серебросодержащие минералы месторождения Гольцовое.

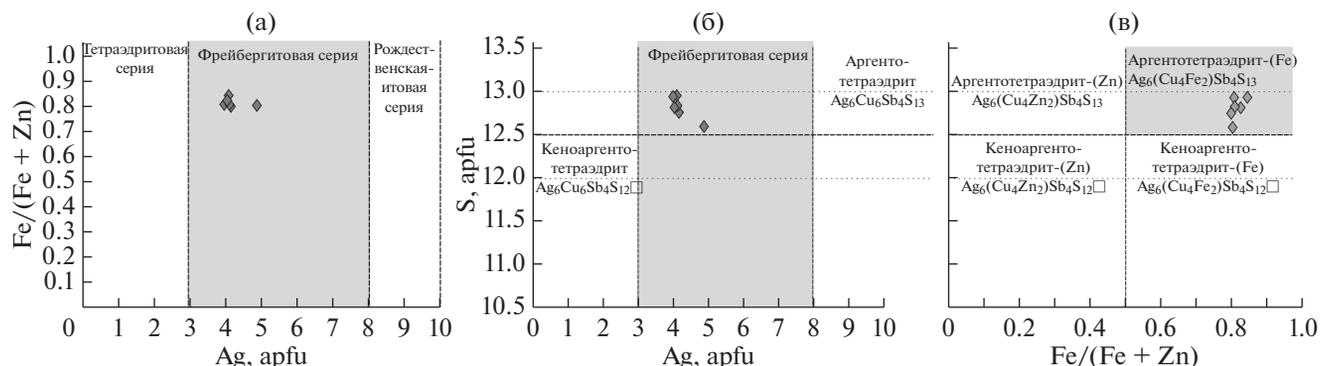
а–в – сростание аргентотетраэдрита-(Fe) (AgTd), пираргирита (Prg) и акантита (Akt) в интерстициях между зернами сфалерита (Sp) и галенита (Gn). Увел. 270. Канавка 118, 270 м; г–е – вкрапленность пираргирита (Prg) в галените. Увел. 400. Канавка 49; ж – мелкие включения пираргирита в галените; з – гипергенные оболочки на галените, состоящие из англезита (Ang) (темно-серый) и акантита (Akt) (светло-серая кайма вокруг галенита); и – выделения сульфоантимонитов Pb и Ag–Pb: диафорита (Diaf) и буланжерита (Blg) в карбонате (Carb). Изображения: в поглощенных электронах (а, г), в рентгеновском излучении  $AgL_{\alpha}$  (б, д),  $SbL_{\alpha}$  (в) и  $SK_{\alpha}$  (е), в отраженном свете (ж–и).

Самородное серебро и самородное золото имеют ограниченное развитие, встречаются в виде единичных выделений.

Из сульфоантимонитов Pb и Ag–Pb в рудах преобладает буланжерит, реже встречаются фрейслебенит, диафорит, рамдорит и др. Они отмечаются в позднем (белом) карбонате. Их выделения приурочены к центральным частям жил и имеют характерный игольчатый и длинно-призматический габитус, также встречаются в виде гнезд (фиг. 10и). Результаты РСМА буланжерита пересчитываются

на формулу  $Pb_{4.8-4.9}(Sb_{3.9-4.0}As_{0.1-0.2})_{\Sigma(4.0-4.2)}(S_{10.8-11.0}Se_{0.1})_{\Sigma(10.9-11.1)}$  (табл. 4, ан. 15–17), близкую к стехиометрической формуле  $Pb_5Sb_4S_{11}$ .

По гипогенным минералам установлена зональность, которая выражается в том, что на верхних горизонтах преимущественно развиты почти мономинеральные агрегаты галенита с незначительной долей жильных минералов (до 20%), представленных отдельными кристаллами кварца и микропрожилками манганосидерита в массе галенита, а ниже по разрезу появляется сфалерит, и



Фиг. 11. Вариации состава блеклой руды Гольцового месторождения.

а – соотношение Fe/(Fe + Zn) и содержания Ag в формульных коэффициентах (apfu) в блеклой руде. б, в – соотношение содержаний S с Ag (б) и с Fe/(Fe + Zn) (в). Пунктирными линиями показаны границы между минеральными видами и сериями из (Biagioni et al., 2020).

встречаются редкие зерна кварца. С глубиной соотношение галенита и сфалерита выравнивается, а затем изменяется в пользу последнего; увеличивается и доля манганосидерита. На нижних горизонтах руды сложены в основном сфалеритом и манганосидеритом. Здесь также в заметных количествах присутствуют арсенопирит и пирротин, есть пирит, халькопирит и буланжерит, отмечаются оловосодержащие минералы. Серебряная минерализация с глубиной качественно не изменяется: Ag-содержащая блеклая руда и сульфосоли Ag – сквозные серебряные минералы, изменяется только частота их встречаемости. Основное их количество сосредоточено на верхних горизонтах, где преобладает галенит, ниже по разрезу содержание Ag падает.

#### Гипергенные минералы

Детальное изучение минералогии гипергенных минералов проводилось С.С. Двуреченской (2001). Среди серебросодержащих минералов гипергенного происхождения основная роль принадлежит акантиту ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ), встречаются также аргентоярозит ( $\text{AgFe}_3^{3+}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ), макинстриит ( $\text{Ag}_{5-x}\text{Cu}_{3+x}\text{S}_4$ ,  $x \approx 0-0.28$ ) и самородное серебро (табл. 3).

*Акантит* образует периферические каемки толщиной 0.01–0.1 мм вокруг галенита совместно с англезитом, церусситом и гетитом (фиг. 10б, з).

*Самородное серебро* образует ветвящиеся прожилки и мелкие включения в гетите, а также тонкие пленки на плюмбоарозите.

*Церуссит* и *англезит* в основном замещают галенит по плоскостям спайности и окаймляют края галенита тонкими пленками (фиг. 10з).

*Ковеллин* и *халькозин* наблюдаются в виде оторочек по краям зерен или тонких прожилков в галените.

*Ярозит*, *аргенто-* и *плюмбоарозит* встречаются повсеместно, образуя рыхлые землистые агрегаты, смеси друг с другом и гетитом. Минералы характеризуются очень высоким содержанием Ag.

С.С. Двуреченской (2001) установлено, что по мере удаления от дневной поверхности степень окисления руд на первых 30–50 м, как правило, резко падает (с 60–80 до 30–40%), а сплошное окисление рудных образований переходит в выборочное замещение гипергенными минералами отдельных сульфидных агрегатов и носит пятнистый характер. Зона окисления на месторождении Гольцовое прослеживается на всю глубину оруденения, имеет ярко выраженный линейный характер и приурочена к тектонически ослабленным зонам – рудным телам.

Основная часть руд относится к категории слабо и умеренно окисленных (Радченко, Ваулин, 2007). Первичные руды встречаются преимущественно в “слепых” рудных телах и на отдельных участках основных рудных тел. Наиболее сильно окисленные руды развиты вблизи дневной поверхности. В окисленных рудах преобладают сульфаты Zn, Pb, Fe, Ca, Ba (до 55%), в меньшей степени – оксиды Fe, Mn и Zn (до 30%). В незначительном количестве – карбонаты Zn, Pb, Cu, Ca – 10%, глины – 3%, сульфиды и самородные элементы (Cu, Ag) – 2%. Степень окисления руд по месторождению варьирует от 10 до 80%; средняя степень окисленности руд оценивается в 40.3%.

Гипергенные минералы вносят большой вклад в сереброносность руд. Атомно-абсорбционным анализом установлены высокие концентрации Ag в гипергенных минералах (табл. 5). Содержания Ag в гетите до 8500 г/т, ярозите – до 850 г/т, англезите – 1500 г/т, церуссите – 1600 г/т. Вероятно, связано с очень тонкими включениями в них самородного серебра и акантита. Оксиды Mn и глины оказались плохими сорбентами Ag. Золото в гипергенных минералах присутствует в незначи-

тельных количествах, на пределе чувствительности анализа (табл. 5).

*Температура и фугитивность серы при образовании сфалерит-блеклорудных парагенезисов*

Данные РСМА-анализов сосуществующих сфалерита и блеклой руды были использованы для расчета температур по сфалерит-блеклорудному геотермометру (Sack, Loucks, 1985 и др.), который основан на распределении Fe и Zn между сосуществующими блеклой рудой и сфалеритом и изменении состава в изоморфной серии тетраэдрит-теннантита. Используя данные о температурах кристаллизации сосуществующих сфалерита и блеклой руды и содержаниях FeS в сфалерите, ассоциирующем с сульфидами железа, по уравнению (Lusk, Calder, 2004) была определена фугитивность серы на основании того, что FeS в сфалерите, который ассоциирует с сульфидами железа, является функцией температуры, давления и активности серы (Barton, Toulmin, 1966 и др.).

Для сосуществующих сфалерита, содержащего 11.07 мас. % Fe или 18.9 мол. % FeS, и аргентотетраэдрита-(Fe) с соотношениями Fe/(Fe + Zn) 0.82 и Ag/(Ag + Cu) 0.42 (табл. 4, ан.4 и 11 соответственно) месторождения Гольцовое получена температура их совместной кристаллизации, равная  $247 \pm 20^\circ\text{C}$  и фугитивность серы –  $10^{-12.9}$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Среди пригодных для микротермометрических исследований флюидных включений, в соответствии с известными критериями (Реддер, 1987), были выделены первичные, первично-вторичные и вторичные. К первичным отнесены флюидные включения, равномерно распределенные в объеме минерала-хозяина или приуроченные к зонам роста. Вторичными считались включения, локализованные в секущих минерал-хозяин трещинах. Первично-вторичные флюидные включения выявлены в трещинах, не достигающих внешних границ кристаллов и зерен, а по фазовому наполнению они аналогичны первичным включениям.

Флюидные включения по фазовому составу относятся к одному типу (фиг. 12а, б): двухфазовые газо-жидкие включения водно-солевых растворов. Для термо- и криометрических исследований выбирались прежде всего флюидные включения, равномерно распределенные по объему отдельных зерен кварца и отнесенные нами к первичным включениям. Однако по первично-вторичным и вторичным включениям также были получены параметры фазовых переходов, аналогичные данным по первичным включениям.

**Таблица 5.** Содержание Au и Ag в гипергенных минералах

Минералы	Содержание, г/т	
	Au	Ag
Гетит	1.32	8500
Ярозит	0.45	850
Псиломелан	0.74	50
Ганнингит	0.6	200
Бойлеит	0.5	980
Госларит	0.5	800
Англезит	1.13	1500
Церуссит	0.9	1600
Гипс	0.4	9.0
Купросидеротил	0.3	20.0
Каолинит	0.06	32.5

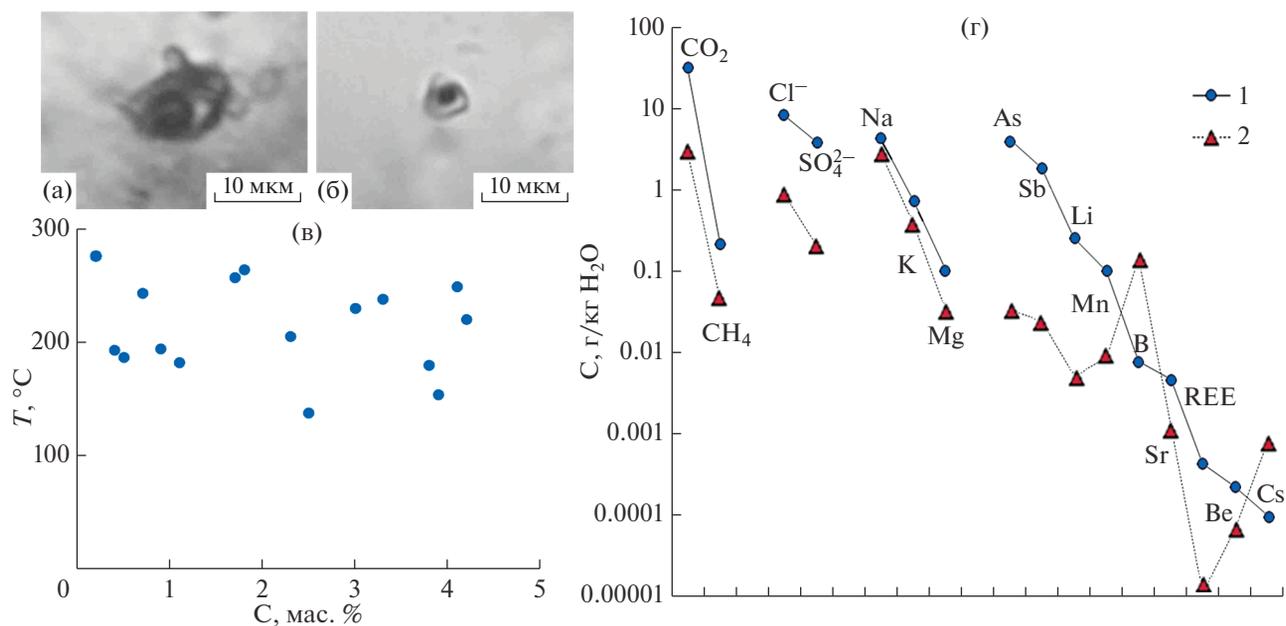
Примечание. Атомно-абсорбционный анализ, ЦНИГРИ.

Данные термо- и криометрических исследований более 70 индивидуальных флюидных включений в кварце рудных жил месторождения Гольцовое приведены в табл. 6 и на фиг. 12в.

Рудообразующий флюид содержал хлориды Na, Mg и K. Об этом свидетельствуют хлоридные эвтектики растворов включений (от  $-30$  до  $-33^\circ\text{C}$ ). Двухфазовые газо-жидкие флюидные включения в кварце гомогенизируются в жидкость при температурах от  $276$  до  $138^\circ\text{C}$ , концентрация солей изменяется от 0.2 до 4.2 мас. %-экв. NaCl, плотность флюида составляет  $0.74-0.95$  г/см<sup>3</sup>.

Валовый химический состав флюидов из флюидных включений в кварце приведен на диаграмме (фиг. 12г). Во флюиде среди катионов главную роль играют (г/кг H<sub>2</sub>O): Na (4.3) и K (0.75), а Mg (0.11) находится в подчиненном количестве. Установлены заметные количества таких компонентов, как (г/кг H<sub>2</sub>O): Cl (8.1), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (3.9), CO<sub>2</sub> (31.7) и CH<sub>4</sub> (0.22). Кроме того, в составе флюида выявлены микрокомпоненты (мг/кг H<sub>2</sub>O): As (4071), Li (253.75), B (7.73), Cs (0.1), Sr (4.74), Sb (1862), Zn (205.1), Mn (99.5), V (0.74), Au (0.34), Tl (0.52) и REE (0.43). Основные показатели состава флюида: CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> = 142, Na/K = 5.7. Соленость флюида, оцененная по валовому методу, составляет 1.8 мас. %, что хорошо согласуется с микротермометрическими данными.

Состав минералообразующего флюида месторождения Гольцовое близок к составу флюидов месторождения Дукат (фиг. 12г), хотя в последнем обнаружен более широкий спектр микроэлементов.



**Фиг. 12.** Результаты изучения флюидных включений в рудном кварце месторождения Гольцовое. а, б – микрофотографии первичных двухфазовых флюидных включений; в – диаграмма “температура–концентрация солей” для минералообразующих флюидов; г – сравнение химических составов минералообразующего флюида месторождений Гольцовое (1) и Дукаат (2). Состав флюида месторождения Дукаат взят из работ (Берман и др., 1993; Константинов и др., 1998).

### ОБСУЖДЕНИЕ

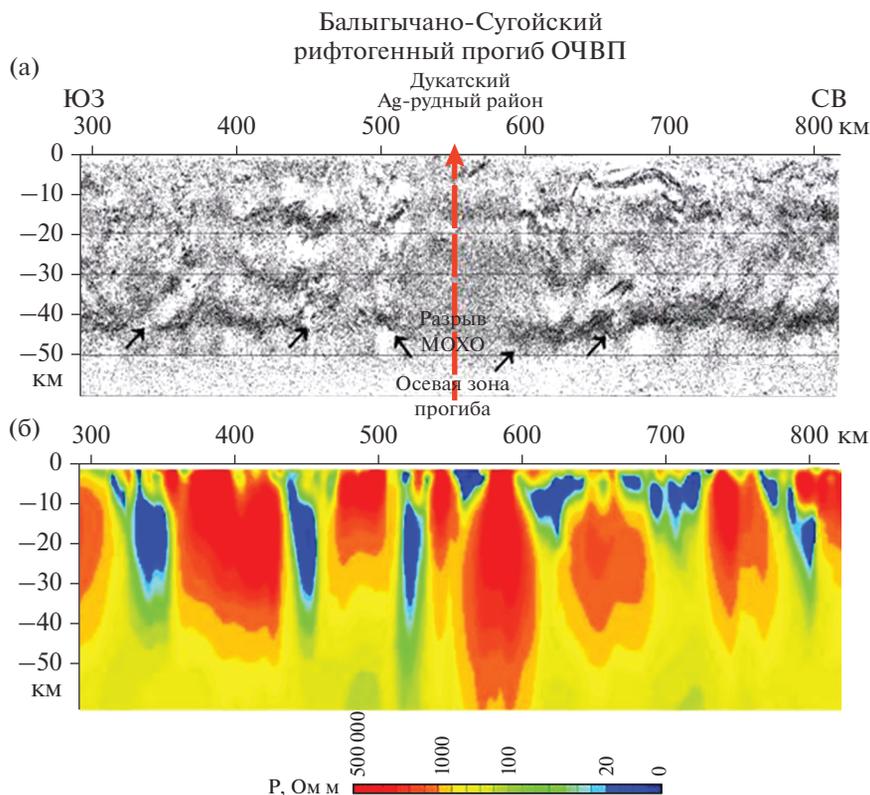
Гольцовое вызывает значительный интерес, так как представляет собой достаточно крупное и богатое Ag–Pb–Zn-месторождение в Дукаатском серебрянорудном районе и в ОЧВП в целом. Одна

из характерных особенностей месторождения – кулисообразное развитие на верхних горизонтах галенитовых жил и прожилков с высокими содержаниями Ag, местами достигающими 3000 г/т и более, и практически полным отсутствием Au.

**Таблица 6.** Результаты термо- и криометрических исследований индивидуальных флюидных включений в кварце месторождения Гольцовое (обр. Гольцовое-3)

Тип включений	<i>n</i>	$T_{\text{гом}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{эвт}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пл. льда}}, ^\circ\text{C}$	<i>C</i> , мас. %-экв. NaCl	<i>d</i> , г/см <sup>3</sup>
1 П	8	276	-33	-0.1	0.2	0.74
1 П	7	264	-31	-1.1	1.8	0.79
1 П	6	257	-31	-1.0	1.7	0.80
1 П	2	249	-30	-2.5	4.1	0.84
1 П	2	243	-31	-0.4	0.7	0.81
1 П	5	238	-30	-2.0	3.3	0.84
1 П	3	230	-31	-1.8	3.0	0.85
1 П-В	7	220	-31	-2.6	4.2	0.88
1 П-В	4	205	-31	-1.4	2.3	0.88
1 П-В	5	194	-30	-0.6	0.9	0.90
1 П-В	4	193	-30	-0.2	0.3	0.88
1 П-В	3	187	-30	-0.3	0.5	0.89
1 П-В	3	182	-30	-0.7	1.1	0.90
1 П-В	3	180	-30	-2.3	3.8	0.92
1 В	6	154	-30	-2.4	3.9	0.94
1 В	6	138	-31	-1.5	2.5	0.95

Примечание. Тип флюидных включений: П – первичные, П-В – первично-вторичные, В – вторичные; 1 – двухфазовые газозо-жидкие включения.



**Фиг. 13.** Сейсмический (а) и геоэлектрический (б) разрезы отрезка геофизического профиля 2-ДВ (Структура..., 2007) в районе Балыгычано-Сугойского рифтогенного прогиба.

Минералы олова появляются в рудах на глубоких горизонтах месторождения. Редкие кварц-адуляровые слабо золотоносные и серебрносные жилы и прожилки выявлены за пределами рудных тел. Следует также отметить высокую степень окисления руд Гольцового по сравнению с другими месторождениями района.

С одной стороны, руды Гольцового обладают сходством с кварц-полиметаллическими жилами, достаточно широко представленными в рудных зонах Ag–Au-эпитермальных месторождений Дукацкого района (суперкрупного – Дукач, крупного – Лунное и среднего – Арылах), с другой стороны – с Ag–Pb–Zn-минерализацией оловорудных месторождений (Шатков, 1997; Пляшкевич, 2002; Стружков, Константинов, 2005).

#### *Тектоническое положение и источники металлов*

Как уже отмечалось выше, на фрагменте опорного геофизического профиля 2-ДВ (фиг. 13) видно, что земная кора под Балыгычано-Сугойским рифтогенным прогибом имеет аномальное строение. Отчетливые сейсмические отражения установлены только в интервале 0–7 км от поверхности, далее следует зона сейсмической “прозрачности” с редкими группами площадок, не увязывающимися

друг с другом. То есть в этой зоне нет четких отражений в земной коре, а главное, граница М, представленная в других частях профиля высокоамплитудным отражением, в этом блоке вовсе не прослежена (размыта). Такая зона “прозрачности” распространена до мантии с разрывом сплошности границы М не менее чем на 30 км, учитывая ориентировку профиля (Структура..., 2007).

Наличие таких участков “сейсмической прозрачности” под уникальной по рудоносному потенциалу структурой предполагает переработку материала земной коры в результате корово-мантийного флюидного взаимодействия. Следовательно, в рифтогенных зонах происходит подъем нагретого мантийного материала, проникающего вглубь коры. Все указанные факторы создают своеобразный металлогенический облик подобных территорий. Именно эти глубинные очаги вулканизма служили поставщиками Cd, Ag, Mn и активно влияли на рассеивание полиметаллических (Fe–Cu–Pb–Zn) залежей, предположительно сформировавшихся в континентальном рифте, за счет диффузии мантийного вещества по типу “черных курильщиков” (Савва, 2005). Диффузия приводит также к насыщенности тонко рассеянными рудными минералами вулканических пород в зоне рифта, впервые выявленными Л.Г. Филимоновой



Осевая зона рифтогенного прогиба  
каньон руч. Трог

**Фиг. 14.** Особенности рельефа, способствующие развитию зоны окисления в районе месторождения Гольцовое (фотография Н.Е. Саввы).

(2002) при изучении подобной вкрапленности рудных минералов в вулканогенных породах Дукатского рудного поля. Пространственное положение высококремнистых риолитов в Омсукчанском рифте указывает на его осевой тип (Ярмолюк, Коваленко, 1991).

Таким образом, положение месторождения Гольцовое в осевой зоне континентального рифта способствовало активному накоплению Ag в ходе рудообразования. Помимо Ag, его руды обогащены типичными рифтогенными элементами – Cd и Mn (Гирдлер и др., 1981).

#### *Особенности рельефа и зона окисления*

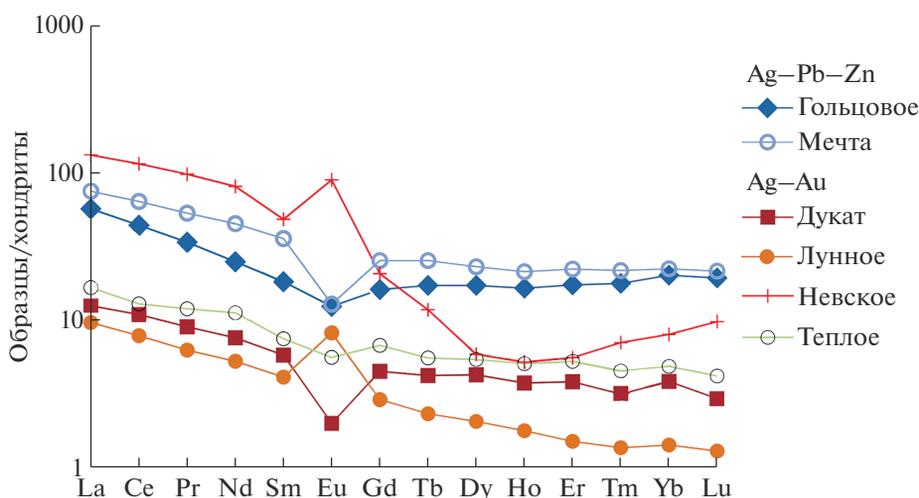
Не менее важным фактором высоких содержания Ag в рудах месторождения Гольцовое можно считать интенсивно развитую зону окисления, приводящую к вторичному обогащению руд серебром. Зона прослеживается на всю глубину оруденения и имеет ярко выраженный линейный характер. Степень окисления руд варьирует от 10 до 80%, в среднем – 40.3% (Двуреченская, 2001). В гипергенных минералах установлены очень высокие содержания Ag: гетит – 8500 г/т, ярозит – 850 г/т, англезит – 1500 г/т, церуссит – 1600 г/т (табл. 5).

Развитие мощной зоны окисления связано с особенностью рельефа в осевой зоне Балыгычано-Сугойского рифта. Долины ручья Тап и его притока Трог представляют собой каньоны, в бортах которых наблюдается высокая трещиноватость и обохренность пород (фиг. 14), связанная с тектонически ослабленными зонами и более всего подверженная процессам выветривания.

#### *Геохимические особенности руд*

В результате сравнительного анализа геохимических данных по рудам месторождения Гольцовое с другими месторождениями Дукатского района были выявлены сходные черты: широкий спектр основных элементов-индикаторов W и Bi; высокие значения Y/No; очень низкое Au/Ag; отрицательные Eu- и положительные Ce-аномалии, близкие по конфигурации спектры распределения РЗЭ (фиг. 15). В последних преобладают легкие “гидрофильные” лантаноиды “цериевой” группы (Жариков и др., 1999; Минеев, 1974). Аналогичный состав РЗЭ характерен и для вмещающих вулканитов Омсукчанского района (Кравцова, 2010).

Отличительные геохимические особенности руд Гольцового: меньшее количество SiO<sub>2</sub> и большее – CaO (см. табл. 1), высокие содержания



Фиг. 15. Распределение РЗЭ в рудах Ag–Pb–Zn- и Ag–Au-эпитермальных месторождений Дукатского рудного района.

$S_{\text{общ.}}$ , Pb, Zn, Sn, W, повышенные Cu и Bi, очень низкие Au; низкие значения отношений Sr/Ba, Te/Se, U/Th и высокие значения – Rb/Sr, Co/Ni (см. табл. 2). Последние свидетельствуют об участии в рудообразовании магматического флюида (Волков и др., 2018).

Выполненные исследования показали, что в рудах месторождения Гольцовое в качестве попутных компонентов промышленный интерес может представлять ряд высокотехнологичных металлов: Cd, In и Bi (см. табл. 2, фиг. 5).

#### Особенности минерального состава руд

Руды месторождения Гольцовое характеризуются следующими минералогическими особенностями: высокой сульфидностью и сложным составом; доля рудных минералов составляет 10–30% от объема жилы; из нерудных минералов, кроме кварца, широко развит манганосидерит; самородное серебро редко встречается; галенит – главный рудный минерал и основной концентратор минералов Ag; главными минералами Ag являются блеклая руда (гипергенный) и акантит (гипогенный). Наиболее высокое содержание Ag приходится на гипергенные минералы.

Для Ag-содержащих минералов эпитермальных месторождений в большинстве случаев характерна нестехиометричность по составу, так как их кристаллизация происходит в резкоградиентных условиях и часто в состоянии вынужденного равновесия (мелкие включения в более крупных выделениях рудных минералов). Опыт работы на 60 серебрянорудных и золото-серебряных вулканогенных месторождениях Северо-Востока России (Савва, 2018) показал, что природные минералы серебра почти всегда не соответствуют классическим формулам, часто содержат

микропримеси. Основная часть минералов серебра на месторождении Гольцовое находится в виде микровключений в галените и сфалерите и имеет размеры 10–100 мкм, что выражается в разбросах значений и отклонений от классических формул.

#### Условия рудообразования

По результатам изучения флюидных включений (ФВ) в кварце установлено, что сульфидно-кварц-хлоритовые жилы месторождения Гольцовое формировались в условиях средних температур (276–138°C) из слабо концентрированных хлоридных гидротерм (4.2–0.2 мас.-%-экв. NaCl), насыщенных катионами Na и K и с меньшим на порядок количеством Mg. Соленость флюида, оцененная по валовому методу, составляет 1.8 мас. %.

Важно отметить, что температура, соленость и состав минералообразующего флюида месторождения Гольцовое близки к таковым для флюида хлорит-полиметаллической стадии месторождения Дукат (Берман и др., 1993; Константинов и др., 1998), хотя в последнем обнаружен более широкий спектр микроэлементов (фиг. 12г).

Оценены температура ( $247 \pm 20^\circ\text{C}$ ) и фугитивность серы ( $10^{-12.9}$ ) при кристаллизации сфалерит-блеклорудных парагенезисов на месторождении Гольцовое. Температуры образования сростаний сфалерита и блеклой руды, рассчитанные с помощью сфалерит-блеклорудного геотермометра, хорошо согласуются с теми, что оценены по температурам гомогенизации флюидных включений в кварце (276–138°C). Кроме того, рассчитанная температура согласуется с температурой (270°C), определенной по распределению изотопа  $^{34}\text{S}$  между сокристаллизующимися галенитом и сфалеритом (Кряжев, Двуреченская, 2001).

Высокие температуры кристаллизации, установленные для рудных минералов на месторождении Гольцовое, предполагают, что руды образовались из глубинных рудообразующих растворов (Wilkinson et al., 2013).

Отметим, что изотопный состав серы сфалерита заключен в узком интервале от  $-4.2$  до  $-4.9\%$ , галенита — от  $-5.9$  до  $-6.8\%$ ; понижение температуры кристаллизации сфалерита сопровождается закономерным понижением его железистости; относительная доля сульфатной серы в исходном растворе оценивается как 10–15 мол. % (Кряжев, Двуреченская, 2001). Аналогичным изотопным составом серы характеризуется сфалерит и на нижних горизонтах месторождения Дукат. Эти величины несколько обогащены легким изотопом  $^{32}\text{S}$  относительно изотопного состава магматогенной серы, для которого типичным считается значение  $\delta^{34}\text{S}$  между  $0 \pm 3\%$  (Ohmoto, 1986). Это позволяет предполагать участие в рудообразовании магматогенной серы, которая поступала из глубинного магматического источника или была заимствована из вмещающих вулканогенных пород.

#### *Сопоставление с аналогичными месторождениями*

Полученные нами геологические, минералогические, геохимические данные по месторождению Гольцовое и результаты изучения флюидных включений согласуются с промежуточно-сульфидизированным (IS) классом эпипермальных месторождений (Simmons et al., 2005; Wang et al., 2019).

Сравнительный анализ показал, что наиболее сходные с Гольцовым Ag-полиметаллические IS-месторождения (Аларкан, Баланос, Топиа и др.) известны в вулканическом поясе Западная Сьерра-Мадре (Мексика), в районах, сближенных с рифтогенной структурой — Центрально-Американским желобом, и контролируются крупным региональным разломом Викториа (Lyons, 1988; Loucks et al., 1988).

Месторождения сереборудного района Баланос локализируются в спекшихся туфах, в одноименном грабене. Руды исключительно богаты Ag, содержания которого достигали 3–9 кг/т при отработке в XVIII веке. Позже подобные руды были установлены на месторождении Аларкан (продолжение рудного района Баланос на северо-восток).

По времени образования месторождения района Баланос сближены с фазой риолитового вулканизма. Субвулканическое тело гранитоидов Тепек с оловорудной геохимической специализацией относительно более молодое и контролирует зональность серебряной минерализации. Гипогенные минералы Ag представлены включениями аргентотетраэдрита, прустита и пираргирита в га-

ленице. В зоне окисления, обогащенной Ag, установлены англезит, оксиды железа в сочетании с акантитом и самородным серебром.

#### *Возможная генетическая модель*

Проблема образования Ag–Pb–Zn-месторождений имеет в Дукатском рудном районе важнейшее металлогеническое значение. Большинство исследователей поддерживает модель двухэтапного формирования минерализации (Серебро..., 1989; Сидоров, Волков, 2003; Котляр и др., 2004; Кравцова, 2010 и др.).

**Первый** вулканогенный этап — развитие Au–Ag- и Ag-полиметаллического оруденения в результате функционирования приповерхностной вулканогенной гидротермальной системы. По одним данным (Петров и др., 2006), рудное вещество могло иметь как мантийные, так и нижнекоровые источники. По другим (Шатков, 1997) — мобилизовалось при метасоматическом изменении вмещающих пород и переносилось в ослабленные зоны, образуя жильно-вкрапленные рудные тела. Причем количества Ag, извлеченного из областей выноса, было достаточно для образования средних по запасам месторождений.

На **втором** плутоногенном этапе произошло телескопирование Sn-минерализации на Ag-полиметаллическую в результате поступления оловянного магматогенного флюида на нижние уровни приповерхностных интенсивных метасоматических преобразований в риодацитах и игнимбритах.

Такую последовательность подтверждают изотопно-геохронологические данные (Котляр и др., 2004; Петров и др., 2006). Наши данные, приведенные в статье, также свидетельствуют в пользу этой модели.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Крупное Ag–Pb–Zn-месторождение Гольцовое в Дукатском районе относится к промежуточно-сульфидизированному классу эпипермальных месторождений. Оно расположено в осевой части уникального Балыгычано-Сугойского рифтогенного прогиба, в месте его сочленения с ОЧВП. Наличие зоны “сейсмической прозрачности” под уникальной по рудоносному потенциалу структурной предполагает переработку материала земной коры в результате корово-мантийного флюидного взаимодействия. Положение месторождения Гольцовое в осевой зоне континентального рифта способствовало активному накоплению Ag в ходе рудообразования.

Месторождение Гольцовое локализовано в 2 км севернее Пестринского гранитоидного интрузива, в сложно построенной зоне тектонического кон-

такта верхнетриасовых терригенно-осадочных и позднемиловых вулканических пород, который представлен серией сместителей в полосе 0.5–1 км. По этим разломам западный блок, сложенный кислыми вулканитами, опущен более чем на 1 км. Вмещающие породы — верхнемеловые игнимбриты риолитов и риодацитов — прорваны субвулканическими интрузиями невадитов. На верхних горизонтах месторождения в рудных телах развиты кулисообразные галенитовые жилы и прожилки с высокими содержаниями Ag, местами достигающими 3000 г/т и более. Минералы олова появляются в рудах на глубоких горизонтах месторождения. Широко развиты массивные, грубополосчатые и пятнистые текстуры руд.

Развитие мощной зоны окисления на месторождении Гольцовое связано с особенностью рельефа в осевой зоне Балыгычано-Сугойского рифта. Долины ручьев, дренирующих площадь месторождения, представляют собой каньоны, в бортах которых развита высокая трещиноватость, связанная с тектонически ослабленными зонами разломов, которые более всего подвержены процессам выветривания. В зоне окисления происходит вторичное обогащение руд месторождения серебром.

Выполненные исследования позволили установить геохимические особенности руд месторождения Гольцовое: широкий спектр основных элементов-индикаторов и присутствие в нем Mn; высокие содержания  $S_{\text{общ.}}$ , Pb, Zn, Sn, повышенные содержания W, Cu и Bi, очень низкие Au; отрицательные Eu- и положительные Ce-аномалии, низкие значения отношений Au/Ag, Sr/Ba, Te/Se, U/Th и высокие значения — Y/Ho, Rb/Sr, Co/Ni (табл. 2). Последние свидетельствуют об участии в рудообразовании магматического флюида. В качестве попутных компонентов в рудах месторождения промышленный интерес могут представлять ряд высокотехнологичных металлов: Cd, In и Bi.

Результаты минералогических исследований показали, что руды месторождения Гольцовое характеризуются высокой сульфидностью и сложным составом; доля рудных минералов в них составляет 10–30% от объема жилы; из нерудных минералов, кроме кварца, широко развит манганосидерит; галенит — основной минерал-концентратор серебряных фаз; самородное серебро редко встречается; главным гипергенным минералом Ag является блеклая руда, гипогенным — акантит. Минералы олова представлены станнином, канфильдитом, реже касситеритом и встречаются в рудах на глубоких горизонтах месторождения.

Сульфидно-кварц-хлоритовые продуктивные жилы месторождения Гольцовое отложились в условиях средних температур (276–138°C) из слабо концентрированных хлоридных гидротерм (4.2–0.2 мас.%-экв. NaCl), насыщенных Na и K с

подчиненным количеством Mg, типичных для низко- и промежуточно-сульфидизированных эпитептермальных месторождений (Simmons et al., 2005). Слабо концентрированные гидротермальные флюиды могли образоваться в результате нагревания и взаимодействия с вмещающими породами в конвективной ячейке при внедрении гранитной интрузии. Они могут быть также малоплотным магматогенным флюидом, эволюционировавшим в магматогенно-гидротермальной системе.

Наиболее сходные с Гольцовым Ag-полиметаллические месторождения известны в вулканическом поясе Западная Сьерра-Мадре (Мексика), в районах, сближенных с рифтогенной структурой — Центрально-Американским желобом, и приурочены к региональному разлому Виктория. Субвулканическое тело гранитоидов Тепек с оловорудной геохимической специализацией относительно более молодое и контролирует зональность серебряной минерализации в рудном районе Баланос.

Предполагается двухэтапное формирование месторождения. На первом этапе — развитие Ag-полиметаллической минерализации производной приповерхностной вулканогенной гидротермальной системы. На втором этапе — телескопирование на глубоких горизонтах месторождения Sn-минерализации на более ранние Ag-полиметаллические руды, в результате поступления оловоносного магматогенного флюида на нижние уровни рудообразующей системы.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства науки и высшего образования РФ № 13.1902.21.0018. Авторы благодарны руководству и геологам Магаданского филиала АО «Полиметалл» за помощь в проведении полевых работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аникина Е.Ю., Бортников Н.С., Клубник Г.К., Гамянин Г.Н., Прокофьев В.Ю. Мангазейское Ag–Pb–Zn жильное месторождение в осадочных породах (Саха-Якутия, Россия): минеральные ассоциации, флюидные включения, стабильные изотопы (C, O, S) и особенности образования // Геология руд. месторождений. 2016. Т. 58. № 3. С. 206–238.
- Берман Ю.С., Прокофьев В.Ю., Козеренко С.В., Елисева Н.А., Колтакова Н.Н. Реювенация золотосеребряного оруденения вулканогенного месторождения Дукат (по результатам исследования флюидных включений) // Геохимия. 1993. № 4. С. 539–548.
- Борисенко А.С. Изучение солевого состава газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.
- Бортников Н.С. Геохимия и происхождение рудообразующих флюидов в гидротермально-магматических

- системах в тектонически активных зонах // Геология руд. месторождений. 2006. Т. 48. № 1. С. 3–28.
- Волков А.В., Сидоров А.А., Прокофьев В.Ю., Савва Н.Е., Колова Е.Е., Мурашов К.Ю.* Геохимические особенности эпипермальных Au–Ag месторождений Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса (Северо-Восток России) // Вулканология и сейсмология. 2018. № 6. С. 1–20.
- Гамянин Г.Н., Аникина Е.Ю., Бортников Н.С., Алпатов В.В., Борисенко А.С., Носик Л.П.* Серебро-полиметаллическое месторождение Прогноз, Якутия: минералогическая геохимические особенности и генезис // Геология руд. месторождений. 1998. № 5. С. 440–458.
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России в 2 книгах / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. 572 с.
- Гирдлер Р.У., Нейман Э.Р., Рамберг И.Б., Хейер К.С.* Континентальные рифты. М.: Мир, 1981. 484 с.
- Двуреченская С.С.* Гипергенные минералы серебряных месторождений. М.: ЦНИГРИ, 2001. 258 с.
- Епифанова А.П.* Вещественный состав и минералогическая зональность одного из серебряных месторождений Пестринского рудного узла // Проблемы рудно-формационного анализа и поисковой минералогии на Северо-Востоке России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1994. С. 102–112.
- Жариков В.А., Горбачев Н.С., Латфутт П., Дохерти В.* 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.
- Константинов М.М., Наталенко В.Е., Калинин А.И., Стружков С.Ф.* Золото-серебряное месторождение Дукат. М.: Недра, 1998. 202 с.
- Константинов М.М., Костин А.В., Сидоров А.А.* Геология месторождений серебра. Якутск: ГУП НИП “Саха-полиграфиздат”, 2003. 282 с.
- Котляр И.Н., Жуланова И.Л., Русакова Т.Б., Гагиева А.М.* Изотопные системы магматических и метаморфических комплексов Северо-Востока России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. 319 с.
- Котляр И.Н., Русакова Т.Б., Гагиева А.М.* Буюндино-Сугойская рудоконцентрирующая площадь уникальный металлогенический ареал Северо-Востока России // Тихоокеанская геология. 2004. Т. 23. № 1. С. 3–19.
- Кравцова Р.Г.* Геохимия и условия формирования золото-серебряных рудообразующих систем Северного Приохотья. Новосибирск: Академическое изд-во “ГЕО”, 2010.
- Кравцова Р.Г., Захаров М.Н., Шатков Н.Г.* Минералогическая геохимические особенности рудовмещающих пород серебро-полиметаллического месторождения Гольцовое (Северо-Восток России) // Геология руд. месторождений. 1998. Т. 40. № 3. С. 221–235.
- Кряжев С.Г., Двуреченская С.С.* Условия формирования серебро-полиметаллических руд Охотско-Чукотского вулканогенного пояса по изотопным данным // XVI Симпозиум по геохимии изотопов. Тезисы докладов. М.: ИГЕМ РАН, 2001. С. 127–128.
- Кряжев С.Г., Прокофьев В.Ю., Васюта Ю.В.* Использование метода ICP-MS при анализе состава рудообразующих флюидов // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2006. № 4. С. 30–36.
- Кузнецов В.М., Ливач А.Э.* Строение и металлогеническое районирование Балыгычано-Сугойского прогиба // Проблемы металлогении рудных районов Северо-Востока России: сборник научных трудов. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2005. С. 156–176.
- Кузнецов В.М., Жигалов С.В., Ведерникова Т.А., Шпикерман В.И.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1000000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-56 – Сеймчан / Ред. В.И. Шпикерман. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008. 426 с.
- Минеев Д.А.* Лантаноиды в рудах редкоземельных и комплексных месторождений. М.: Наука, 1974.
- Петров О.В., Михайлов Б.К., Шевченко С.С., Розинов М.И., Колесников Д.И., Лохов К.И., Прасолов Э.М., Прилепский Э.Б., Бережная Н.Г., Матуков Д.И., Капитонов И.Н., Быкова Э.В., Сергеев С.А.* Изотопно-геохимические исследования уникального золото-серебряного месторождения Дукат как ключ к пониманию процессов вулканогенного рудообразования // Региональная геология и металлогения. 2006. № 27. С. 60–76.
- Пляшкевич А.А.* Минералогия и геохимия олово-серебро-полиметаллических месторождений Северо-Востока России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. 72 с.
- Реддер Э.* Флюидные включения в минералах. М.: Мир, 1987. Т. 1, 2.
- Савва Н.Е.* Особенности металлогении континентального рифта на примере Дукатского рудного района // Проблемы металлогении рудных районов Северо-Востока России: сборник научных трудов. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2005. С. 196–220.
- Савва Н.Е.* Минералогия серебра Северо-Востока России. М.: Изд-во “Триумф”, 2018. 544 с.
- Сафонов Ю.Г., Бортников Н.С., Злобина Т.М., Чернышев В.Ф., Дзайнуков А.Б., Прокофьев В.Ю.* Многометалльное (Ag, Pb, U, Cu, Bi, Zn, F) Адрасман-Канимансурское рудное поле (Таджикистан) и его рудообразующая система. I: геология, минералогия, структурные условия рудоотложения // Геология руд. месторождений. 2000. Т. 42. № 3. С. 195–2011.
- Серебро* (геология, минералогия, генезис, закономерности размещения месторождений). М.: Наука, 1989. 240 с.
- Сидоров А.А., Волков А.В.* О серебряных гигантах России // ДАН. 2003. Т. 390. № 3. С. 374–378.
- Стружков С.Ф., Константинов М.М.* Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Научный мир, 2005. 320 с.
- Структура и строение земной коры Магаданского сектора России по геолого-геофизическим данным / Отв. ред. А.С. Сальников. Новосибирск: Наука, 2007. 172 с.
- Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
- Умитбаев Р.Б.* Охотско-Чаунская металлогеническая провинция. М.: Наука, 1986. 286 с.
- Филимонова Л.Г.* Постмагматические минералы – индикаторы золото-серебряного оруденения рифтогенного типа (на примере Дукатской вулканоплутонической структуры // Колыма. 2002. № 3. С. 2–12.

- Шатков Н.Г.* Минералого-геохимические индикаторы олово-серебряного оруднения Омсукчанского района (Северо-Восток России). Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. СПб.: ВСЕГЕИ, 1997. 22 с.
- Шило Н.А., Сахарова М.С., Кривицкая Н.Н., Ряховская С.К., Брызгалов И.А.* Минералогия и генетические особенности золото-серебряного оруднения северо-западной части Тихоокеанского обрамления. М.: Наука, 1992. 256 с.
- Шумилова Л.В., Костикова О.С.* Анализ влияния вещественного состава руды серебро-полиметаллического месторождения Гольцовое на показатели обогащения // Вестник ЗабГУ. 2015. № 5 (120). С. 46–55.
- Шумилова Л.В., Костикова О.С.* Сульфидизация серебро-полиметаллических руд месторождения Гольцовое для снижения потерь серебра с хвостами обогащения // Записки Горного института. 2018. Т. 230. С. 160–166.
- Ярмолюк В.В., Коваленко В.И.* Рифтогенный магматизм активных континентальных окраин и его рудоносность. М.: Наука, 1991. 263 с.
- Albinson T., Norman D.I., Cole D., Chomiak B.* Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constraints from fluid inclusion and stable isotope data: Society of Economic Geology, 2001. Special Publication 8. P. 1–32.
- Barton P.B., Toulmin P.* Phase relations involving sphalerite in the Fe–Zn–S system // Econ. Geol. 1966. V. 61. № 5. P. 815–849.
- Biagioni C., George L.L., Cook N.J., Makovicky E., Moëlo Y., Pasero M., Sejkora J., Stanley C.J., Welch M.D., Bosi F.* The tetrahedrite group: Nomenclature and classification // Amer. Miner.: J. Earth and Planetary Materials. 2020. V. 105. № 1. P. 109–122.
- Bodnar R.J., Vityk M.O.* Interpretation of microthermometric data for H<sub>2</sub>O–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. Miner. 1989. V. 74. P. 1390–1393.
- Loucks R., Lemish J., Damon P.E.* Polymetallic epithermal fissure vein mineralization, Topia, Durango // Econ. Geol. 1988. V. 83. № 8. P. 1560–1582.
- Lusk J., Calder B.O.E.* The composition of sphalerite and associated sulfides in reactions of the Cu–Fe–Zn–S, Fe–Zn–S and Cu–Fe–S systems at 1 bar and temperatures between 250 and 535°C // Chem. Geol. 2004. V. 203. № 3–4. P. 319–345.
- Lyons J.I.* Geology and ore deposits of Bolanos silver district, Jalisco Mexico // Econ. Geol. 1988. V. 83. № 8. P. 1499–1528.
- McDonough W.F., Sun S.S.* The Composition of the Earth // Chem. Geol. 1995. V. 120. P. 223–253.
- Ohmoto H.* Stable isotope geochemistry of ore deposits // Rev. Mineral. 1986. V. 16. P. 491–559.
- Sack R.O., Loucks R.R.* Thermodynamic properties of tetrahedrite-tennantite: constraints on the interdependence of the Ag ↔ Cu, Fe ↔ Zn, Cu ↔ Fe, and As ↔ Sb exchange reactions // Amer. Miner. 1985. V. 70. № 11–12. P. 1270–1289.
- Sillitoe R.H., Hedenquist J.W.* Linkages between volcanotectonic settings, ore fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. In: S.F. Simmons, I. Graham (Eds.), Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids: Rulers and Witnesses of Processes within the Earth. Society of Economic Geologists, 2003. Special Publication 10. P. 315–343.
- Simmons F.A., White N.C., John D.A.* Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits // Economic Geology 100th Anniversary Volume. 2005. Society of Economic Geologists, Inc. P. 485–522.
- Wang L., Qin K.Z., Song G.X., Li G.M.* A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification // Ore Geol. Rev. 2019. V. 107. P. 434–456.
- Wilkinson J.J., Simmons S.F., Stoffell B.* How metalliferous brines line Mexican epithermal veins with silver // Sci. Rep. 2013. V. 3. P. 2057. <https://doi.org/10.1038/srep02057>