

УДК 553.41:553.261

ЭПИТЕРМАЛЬНЫЕ Au-Ag и Ag МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОХОТСКОГО СЕКТОРА ОХОТСКО-ЧУКОТСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПОЯСА: МЕТАЛЛОГЕНИЯ, МИНЕРАЛЬНЫЕ ПАРАГЕНЕЗИСЫ, ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ

© 2025 г. А. В. Волков^{а, *}, Н. Е. Савва^б, В. Ю. Прокофьев^а, А. Л. Галямов^а,
А. А. Долманова-Тополь^а

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

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

*E-mail: tma2105@mail.ru

Поступила в редакцию 28.06.2024 г.

После доработки 08.11.2024 г.

Принята к публикации 29.01.2025 г.

Охотский сектор, выделенный в центральной части мелового окраинно-континентального Охотско-Чукотского вулканического пояса (ОЧВП), вытянут вдоль побережья Охотского моря (в границах Магаданской области) на расстояние около 1000 км. К настоящему времени из эпитеpмальных месторождений Охотского сектора добыто около 150 т Au и более 14000 т Ag. Преобладают месторождения Se подтипа; Те-содержащая минерализация редко встречается. Вулканические прогибы, депрессии, кальдеры, купольные поднятия, а также зоны тектономагматической активизации (ТМА) контролируют размещение месторождений. Дана краткая характеристика основных Au-Ag и Ag эпитеpмальных месторождений Охотского сектора. Рудные тела представлены кварц-адуляровыми и кварц-адуляр-карбонатными жилами, иногда собранными кулисообразно в протяженные жильные зоны. Для руд большинства месторождений характерны сложные, комбинационные брекчиево-крустификационные текстуры; широко развиты ритмично- и колломорфно-полосчатая текстуры, обладающие преимущественно тонким и пятнистым характером распределения рудных вкрапленников, нередко с полосчатым их скоплением (гингуро). Самородное золото имеет относительно низкую пробность и дисперсию этого показателя от низкой до высокой. Самородное серебро в значительных количествах присутствует в полисульфидных рудах месторождений Омсукчанской металлогенической зоны (ОМЗ). В рудах широко распространены блеклые руды группы тетраэдрита-фрейбергита, акантит и сульфосоли (Ag, Sb, As, Sn). Максимальные величины температур и соленостей характерны для флюидов, формировавших месторождения ОМЗ, а минимальные – для флюидов восточной (Эвенская группа) и центральной части сектора. Результаты текстурного анализа, минералогических исследований и физико-химических параметры минералообразующих флюидов позволяют большинство Au-Ag месторождений Охотского сектора отнести к низкосульфидизированному классу эпитеpмальных месторождений, а Ag-содержащие месторождения ОМЗ – к промежуточно-сульфидизированному классу. На месторождениях Дукаг, Нявленга, Джульетта и других отмечен термальный метаморфизм руд, реювенация гидротермальной системы и образование экзотических минеральных парагенезисов. Полученные результаты могут быть использованы в региональных прогнозно-металлогенических построениях, поисках и оценке эпитеpмальных месторождений. Учитывая фрагментарную изученность территории Охотского сектора ОЧВП, а также опережающих зон ТМА, весьма реальны перспективы открытия новых эпитеpмальных месторождений.

Ключевые слова: Северо-Восток России, ОЧВП, Охотский сектор, металлогения, эпитеpмальные месторождения, золото, серебро, текстуры руд, минеральные парагенезисы, флюидные включения, прогнозно-поисковые модели

DOI: 10.31857/S0016777025050071

ВВЕДЕНИЕ

Вулканизм сопровождается мощной гидротермальной деятельностью с мобилизацией и концентрацией химических элементов в породах и рудах на самых различных глубинах земной коры. История формирования палеовулканогенных месторождений Северо-Востока России и термальных полей областей современного вулканизма имеет много общих черт. Изучение гидротермальных образований в крупнейших рудных районах показало, что их развитие унаследовано от ранних, иногда даже довулканогенных эпох (Сидоров и др., 2015).

Под термином “эпитермальные” со времен именитого американского геолога В. Линдгрена (Lindgren, 1953), понимают близповерхностные (<1 км) и низкотемпературные (<200 °C) гидротермальные проявления благородных металлов, в основном, связанных с субаэральным щелочным вулканизмом и иногда с его продуктами.

В настоящее время принята классификация, в которой эпитермальные месторождения разделены по нескольким структурным и химическим категориям, отражающим основные генетические рудоконтролирующие факторы. Выделяются три класса этих месторождений: низкосульфидизированный (НС), высокосульфидизированный (ВС) и промежуточный (ПС) (Richards, 2013). Месторождения ВС – приповерхностные образования, НС месторождения формировались на субвулканическом уровне, а ПС месторождения – самые глубинные (Сидоров и др., 2015).

В настоящее время признана связь Au-Ag эпитермальных месторождений с островодужными и постаккреционными вулканогенными поясами, пологими зонами субдукции, постколлизийным задуговым растяжением и рифтогенными структурами (Richards, 2013). В этих обстановках вместе с ними формировались колчеданные (Cu-Pb-Zn-Au-Ag-Cd-In) месторождения типа “Куроко” и “жильного Куроко”, а также месторождения Sn-Ag-порфировых, Cu-Mo-Au-Ag-порфировых и Au-As-Sb-Ag вкрапленных руд (постколлизийное задуговое растяжение) – “базовые” в металлогении рудных районов (Сидоров и др., 2011).

В своей знаменитой статье “О Тихоокеанском рудном поясе” академик С.С. Смирнов (1946) отметил элементы его металлогенической однородности, выделил внешнюю (“Sn-W”) и внутреннюю (“Cu”) зоны и охарактеризовал особенности их металлогении. С.С. Смирнов подчеркивал, что в целом “очертания пояса прекрасно фиксируются бонанцевыми Au-Ag месторождениями, тесно

ассоциированными в пространстве и во времени с третичными вулканитами”. Позднее представления С.С. Смирнова “О Тихоокеанском рудном поясе” получили развитие в многочисленных трудах дальневосточных геологов. Глобальная металлогеническая однородность и зональность ТРП позволила предположить широкое распространение аналогов американских месторождений в его азиатской половине, в том числе и на Дальнем Востоке России. В вулканических поясах российского сегмента Тихоокеанского рудного пояса были выявлены новые рудные районы и крупные эпитермальные Au-Ag, оловорудные, меднопорфировые, скарново-полиметаллические и другие месторождения.

Большая часть эпитермальных Au-Ag и Ag месторождений в Охотском секторе Охотско-Чукотского вулканического пояса (ОЧВП) была открыта в 1960–70-х гг. прошлого века: 1964 – Карамкен, 1967 – Дукат, 1979 – Ороч, Сопка Кварцевая, 1989 – Джульетта. Кроме того, в этом секторе ОЧВП было выявлено несколько десятков рудопроявлений и несколько сотен геохимических аномалий, практически не изученных.

В 1976 г. первое золото и серебро получено из руд месторождения Карамкен, где (до 1993 г.) было добыто 34.4 т Au, при среднем содержании в рудах 11.89 г/т и около 120 т Ag (40 г/т). В 1980 г. введен в строй Дукатский ГОК, который к настоящему времени произвел более 14 тыс. т Ag и 40 т Au из месторождений: Дукат, Арылах, Лунное, Гольцовое, Перевальное.

В 2001 г. началась эксплуатация месторождения Джульетта, суммарная добыча из руд которого и соседних объектов Энгтери и Тихое составила 35 т Au и 437 т Ag¹. Кроме перечисленных выше месторождений, Au и Ag извлекалось из руд месторождений: Сопка Кварцевая, Ороч, Дальнее, Ветвистое, Тидит; продолжается эксплуатация Нявленги и Агатовского. По экспертной оценке, суммарная добыча из этих объектов составила: Au ~ 40 т и Ag ~ 500 т.

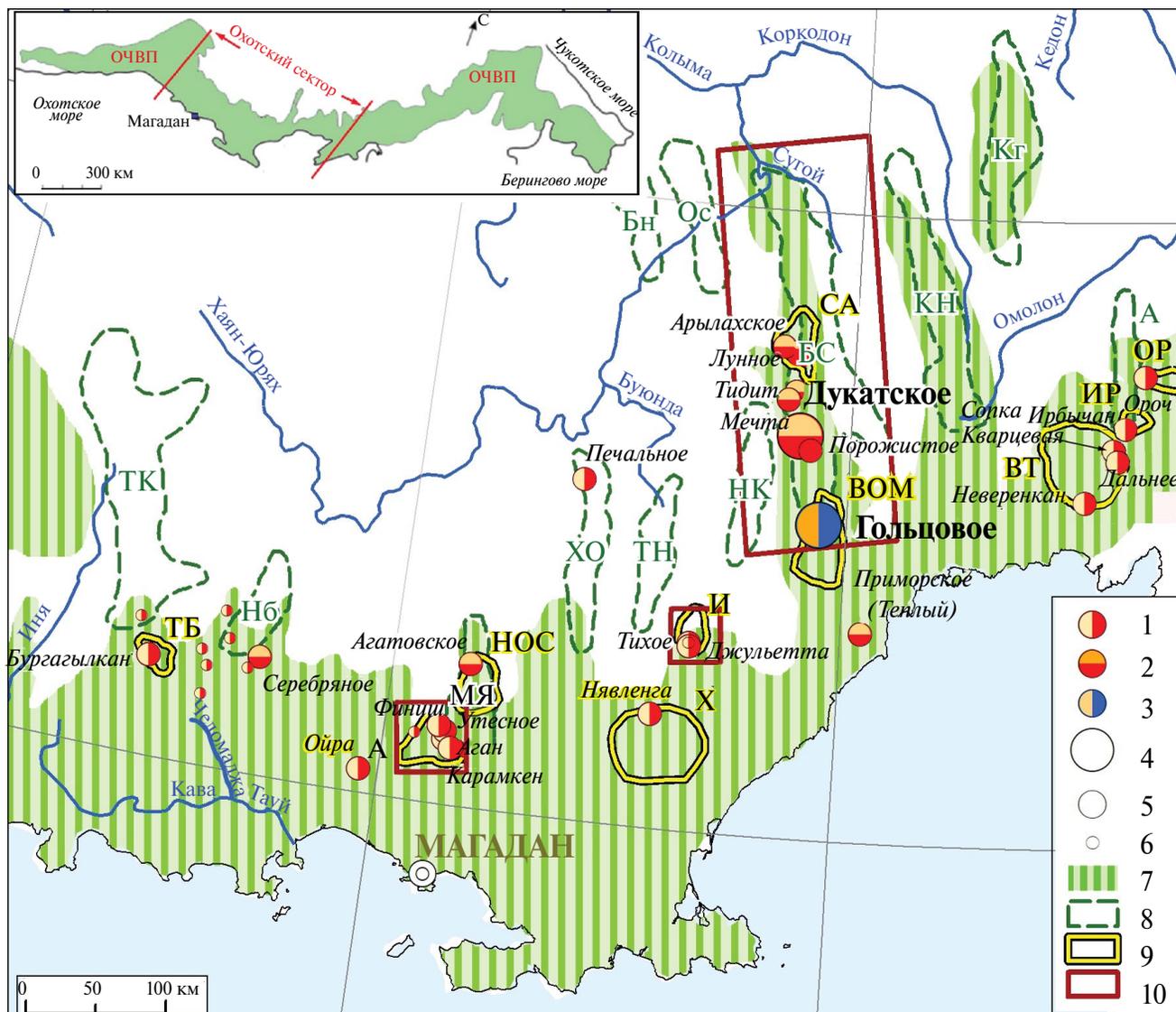
Таким образом, к настоящему времени из месторождений Охотского сектора было получено более 150 т Au и 14000 т Ag. В 2023 г. добыча золота в секторе составила ~3.0 т, серебра – 500 т. Большая часть разведанных запасов драгоценных металлов на упомянутых выше месторождениях к настоящему времени уже отработана, поэтому остро стоит вопрос открытия и ввода в эксплуатацию новых объектов.

¹ https://nmines.com/ru/operations/operations_map/juliette_deposit/

Основная цель данной статьи – обобщить металлогенические, минералогические и термобарогеохимические данные, полученные в результате изучения эпитермальной Au-Ag минерализации Охотского сектора ОЧВП, выполнить сравнительный анализ, рассмотреть причины сходства и различия между месторождениями, которые могут в дальнейшем найти применение в региональных прогнозно-металлогенических построениях.

МЕТАЛЛОГЕНИЯ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА ОХОТСКОГО СЕКТОРА ОЧВП

ОЧВП – золото-сереброносный пояс мирового значения, ничем, кроме изученности, не уступает Андийскому и Балкано-Карпатскому поясам (Сидоров и др., 2009). Протяженность пояса с северо-востока на юго-запад составляет около 3250 км, при варьирующей ширине от 100 до 350 км (фиг. 1, врезка).



Фиг. 1. Au-Ag, Ag-Au и Ag-полиметаллические эпитермальные месторождения Охотского сектора ОЧВП. Схема составлена с использованием материалов (Белый, 1994; Кузнецов, 2006).

1–3 – месторождения и проявления: 1 – Au-Ag, 2 – Ag-Au, 3 – Ag-полиметаллические; 4–6 – масштаб месторождения: 4 – крупные, 5 – средние, 6 – мелкие; 7 – ОЧВП, 8 – зоны ТМА: Тас-Кыстабытская (ТК), Нелькобинская (Нб), Малтанская (Мт), Хурчан-Оротуканская (ХО), Танья-Нурская (ТН), Нельгасиг-Кырчанская (НК), Балыгычано-Сукойская (БС), Коркодон-Наяханская (КН), Конгинская (Кг), Авлондинская (А), Белоноченская (Бн), Оссалинская (Ос); 9 – вулканотектонические структуры: Верхне-Туромчанская (ВТ), Ирбичанская (ИР), Орчанская (ОР), Сарманская (СА), Верхне-Омсуцканская (ВОМ), Иваньинская (И), Хакандинская (Х), Арманская (А), Носэнганская (НОС), Тас-Бургагылканская (ТБ); 10 – контуры фиг. 2, 4, 5.

Формирование ОЧВП было вызвано субдукцией палеотихоокеанской плиты под коллаж террейнов, аккретированных к Сибирскому континенту (Tikhomirov et al., 2012). Весьма вероятно, что основные источники кислой магмы были расположены в континентальной коре, вероятно, неопротерозойского возраста. ОЧВП формировался на границе континентального Верхояно-Чукотского и Корьякско-Камчатского коллажа террейнов. Магматизм в ОЧВП развивался от среднего альба до середины кампана (106–78 млн лет) (Акинин, Миллер, 2011). Резкое различие вулканизма во внешней зоне ОЧВП обусловлено глубокими различиями строения и развития их фундамента (Белый и др., 2008).

Охотский сектор – наиболее крупный сегмент ОЧВП (см. фиг. 1, врезка), который вытянут вдоль побережья Охотского моря (Магаданская область России) на расстояние около 1000 км. В металлогеническом плане в Охотском секторе наиболее изучены кольцевые вулканотектонические депрессии (ВТД), главные черты геологического строения которых: размеры от 33 × 44 до 65 × 70 км в поперечнике; хорошо выраженная сложно построенная внутренняя депрессия, заполненная вулканитами и внешнее интрузивное и/или интрузивно-метаморфическое обрамление; относительно длительное многостадийное развитие. Кроме кольцевых структур, в Охотском секторе большое металлогеническое значение имеют субмеридиональная Омсукчанская (ОМЗ) и субширотная Бургагылкан-Детринская (БДМЗ) металлогенические зоны, а также перивулканические зоны тектономагматической активизации (ТМА).

Восточная часть Охотского сектора

В восточной части Охотского сектора ОЧВП, на границе с Пенжинским сектором, (см. фиг. 1) расположены **Верхне-Туромчинская, Ирбычанская и Орчанская ВТД**, с которыми связаны эпитеpmальные Au-Ag месторождения и рудопроявления Эвенского рудного района (Сопка Кварцевая, Дальнее, Старт, Альгидыч, Ирбычан, Ороч, Невренкан), их магматические образования относятся к позднему мелу (табл. 1). Раннемеловой интрузивный магматизм на этой территории отсутствует. Кроме того, в Эвенском рудном районе широко распространены слабоизученные Ag-Pb-Zn рудопроявления. С позднемеловыми гранитоидами гармандинского комплекса парагенетически связано Au-Vi штокверковое месторождение золота Перекатное и несколько олово-грейзеновых проявлений (Приеменко

и др., 2022). В фундаменте ВТД залегают палеозойские и мезозойские терригенные тощи.

Золото-серебряные месторождения Сопка Кварцевая, Дальнее, Старт и Альгидыч, контролируются субинтрузивными телами риолитов и дацитов, которые расположены вдоль восточной окраины Туромчинской ВТД, а месторождение Ирбычан приурочено к локальной Хивачской вулканической просадке, осложняющей юго-западный фланг одноименной ВТД.

Месторождение Сопка Кварцевая (см. фиг. 1, табл. 1) сложено вулканитами средне-кислого состава, которые полого погружаются на северо-запад и прорваны многочисленными субвулканическими штоками, дайками дацитов, гранодиоритов и базальтов и жильными телами эксплозивных брекчий. Промышленная минерализация установлена в мощной (до 60 м) и протяженной (до 4500 м) жильной зоне (№ 15) северо-восточного простирания с пологим падением (от 15°–20° до 35°–55°) на северо-запад. В обрамлении жильной зоны вмещающие вулканисты пропилитизированы. Протяженность рудных тел в зоне № 15 – от 100 до 580 м при вертикальном размахе до 150 м и мощности 3–10 м. В продуктивных жилах преобладает вкрапленный тип руд с массивными, ритмично-полосчатыми, каркасными и брекчиевыми текстурами. Основные запасы сосредоточены в рудных телах 4 и 5 (см. табл. 1). Рудные тела характеризуются гнездово-столбовым распределением золота и серебра. Руды убого-сульфидные (сульфидов до 0.2%). Средние содержания в рудных телах составляют: золота 8.2–14.5 г/т, серебра 243–566 г/т.

Месторождение Дальнее (см. фиг. 1, табл. 1) расположено в 10 км к югу от месторождения Сопка Кварцевая и локализовано среди вулканитов, прорванных интрузивными и субвулканическими телами умеренно кислого и кислого составов. Рудные тела представлены жильными зонами 1, 2, 3, 5 северо-западного простирания с падением на юго-запад под углом 70°–85°. Расстояние между жильными зонами 800–1600 м, они представлены стержневыми линзовидными адуляр-кварцевыми жилами с многочисленными апофизами и зонами прожилков. С глубиной жилы приобретают плитообразную форму, мощность и густота прожилкования падает. Протяженность зон 600–620 м, мощность от 2–35 м, мощность осевых жил 1–6.5 м. Промышленная минерализация установлена в жильных зонах 1, 3, 5. Основная часть золота и серебра приурочена к стержневым жилам, при этом характерно неравномерное их распределение.

Таблица 1. Характеристика основных Au-Ag эпitherмальных месторождений и перспективных рудопроявлений Охотского сектора ОЧВП

Месторождение	Локальная структура, магматические породы	Вмещающие породы	Изотопный возраст млн лет	Запасы, т (ресурсы P1+P2)		Содержание, г/т		Ag/Au	Подтип	Минеральные парагенезисы
				Au	Ag	Au	Ag			
Восточная часть Охотского сектора										
Сопка* Кварцевая	Верхне-Туромчинская ВТД монцодиориты, андезиты	Игнимбриты риодацитов, дациты	80.4 ± 0.2 Ag/ ³⁹ Ag	21.4	670	7	199	31	Se	Кварц-адуляр-пирит- Se-стефанит- Se- полибазит-самородное Au (ютенбогаардтит, Au- содержащий полибазит – Au до 10.0 мас.%)
Дальнее*	Верхне-Туромчинская ВТД Вулкано-купольное поднятие, дациты, риолиты монцодиориты, андезиты	Игнимбриты риодацитов, андезиты, дациты их туфы	78.6 ± 0.2 ⁴⁰ Ag/ ³⁹ Ag	7.1	175	5.0	250	25	Se, Te	Кварц-адуляр-пирит- Se-стефанит, гессит, жозеит, Se-полибазит- самородное Au (Au- содержащий полибазит – Au до 5.5 мас.%)
Ороч*	Орчанская ВТД, риодациты	туфы дацитов, андезидацитов, андезитов	78.6 ± 0.2 ⁴⁰ Ag/ ³⁹ Ag	6.2	325	3.3	167	52	Se	Кварц-адуляр-пирит- пираргирит-стефанит- полибазит-самородное Au-самородное Ag (евгенит, ртутистое Ag)
Невренкан*	Невенреканская кальдера, габбро-гранодиориты	Туфы и игнимбриты дацитов, риолитов и андезитов	79.4 ± 1.0 ⁴⁰ Ag/ ³⁹ Ag	2.0 (4)	25 (50)	16.3	203	12.5	Se	Кварц-адуляр- пирит-арсенопирит -Se стефанит- Se канфильтит-фрейбергит- самородное Au (самородный Pb, кёстерит)
Ирбычан*	Ирбычанская ВТД Хингичанская кальдера, дайки андезитов и дацитов	Покровы ультракалевых риолитов подстилают андезиты и дациты	82.5 ± 0.2 ⁴⁰ Ag/ ³⁹ Ag	3.2	134	11.2	101	42	Se	Кварц-адуляр-пирит- арсенопирит -Se стефанит- фрейбергит- самородное Au (ютенбогаардтит)

Таблица 1. Продолжение

Месторождение	Локальная структура, магматические породы	Вещающие породы	Изотопный возраст млн лет	Запасы, т (ресурсы P1+P2)		Содержание, г/т		Ag/Au	Подтип	Минеральные парагенезисы
				Au	Ag	Au	Ag			
Омсукчанская металлогеническая зона										
Дукаг**	Каховский вулканоплутонический центр, дайки риолитов и риодацитов	Игнимбриды риолитов, риолиты	Этап 1 – 84 ± 1 Этап 2 – 74 ± 1 Rb-Sr	40	12427	1.2	491.3	311	Se, Te	1) Квартц-хлорит-адуляр-галенит-сфалерит-пираргирит-акантит 2) Магнетит-гельвин-гранат-родонит-бустамит-адуляр-арсенопирит-галенит-акантит-самородное Au-самородное Ag (гельвин, штромсерит, алларгентум) Квартц-адуляр-флюорит-пирит-арсенопирит-прустит-пираргирит-полибазит-самородное Au (канфилдит, аргиродит)
Арылах**	Сарманская ВТД, Арылахская ИКС гранодиориты	Угленосная моласса Андезиты и их туфы,	86 ± 1 Rb-Sr	2	965	0.9	521	482	Se	Адуляр-родонит-бустамит-квартц-карбонат-пирит-арсенопирит-галенит-сфалерит-акантит-самородное Au-самородное Ag (жеффуаит, ленаит, яллаит)
Лунное**	Сарманская ВТД, Арылахская ИКС гранодиориты	Андезиты и их туфы, песчаники, алевролиты	87 ± 2 Rb-Sr	15.3	3010	1.8	381	196	Se	Квартц-галенит-булан-жерит-аргентотетра-эдриг-пираргирит (станнин, канфилдит, касситерит, фрейслебенит, самородные Bi Sb)
Гольцовое**	Верхне-Омсукчанская ВТД, дайки невадитов	Игнимбриды риолитов и риодацитов	81.7 ± 1 Rb-Sr	–	1600	–	1025	–	Se	Пиролозит-адуляр-квартц-родонит-эпидот-Си пираргирит-маккинстриит- Cu-акантит- Au-самородное (матильдит, Си- ютенбогаардит)
Приморское*	Калагагинская ВТД, гранодиориты, габбро	Игнимбриды риолитов, риолиты, их базальты и их туфы	72 ± 6 Rb-Sr	3.0 (15.6)	550 (4438)	5.8	985	183	Se	

Таблица 1. Продолжение

Месторождение	Локальная структура, магматические породы	Вмещающие породы	Изотопный возраст млн лет	Запасы, т (ресурсы P1+P2)		Содержание, г/т		Ag/Au	Подтип	Минеральные парагенезисы
				Au	Ag	Au	Ag			
Центральная часть Охотского сектора										
Джувельта**, Тихос, Энгтери	Иваньинская ВТД Булагская кальдера, диориты, гранодиориты, граниты, сиениты	Андезитабазальты, базальты, риолиты, дациты	136 ± 3 Rb-Sr	34.7	437	31.2	376.6	12.6	Se	Кварц-адуляр-пирит-арсенопирит-галенит-сфалерит-пирсеит-пираргирит-полибазит-акантит-науманнит (аргиродит, гессит, алларгентум)
Нявенга**	Хакандинская ВТД. Вулкано-купольная структура, шток гранит-порфиров	Андезиты, базальты, риолиты, дациты	93.7 ± 0.2 ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	9.44	460	9.6	462	48	Se	Кварц-адуляр-пирит-арсенопирит-магнетит-штромеерит-полибазит-акантит-самородное Au-самородное Ag (матильдит, аргиродит, канфильдит)
Карамкен**	Арманская ВТД, Хольчанская кальдера.	Андезиты и их туфы	78.9 ± 0.2 ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	34.7	178.6	18.6	27.0	5.1	Se, Te	Кварц-адуляр-пирит-галенит-канфильдит-пираргирит-полибазит-фрейбергит-самородное Au (касситерит, Se канфильдит, гессит)
Агатовское**	Малтано-Ольский вулканический прогиб, Носэнгчанская ВТД, вулканокупольная структура, кварцевые монцититы, риолиты	Андезитабазальты и андезиты	78.9 ± 0.2 ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	2.8	13	11.8	55	4.6	Se, Te	Кварц-адуляр-пирит-галенит-сфалерит-тетраэдрит-стефанит-пираргирит-самородное Au (Гессит)
Печальное**	Оротукан-Хурчанская зона ТМА. Майская вулкано-купольная структура	Щелочные риолиты, дациты, комендиты, эксплуативные брекчи	80 ± 3.0 K-Ar	4	150	4.0	150	37.5	Se	Кварц-адуляр-карбонат-пирит-халькопирит-сфалерит-пираргирит-Se акантит-полибазит-самородное Au-самородное Ag (маккинстрит, аргиродит, гриноскит)

Таблица 1. Окончание

Месторождение	Локальная структура, магматические породы	Вмещающие породы	Изотопный возраст млн лет	Запасы, т (ресурсы P1+P2)		Содержание, г/т		Ag/Au	Подтип	Минеральные парагенезисы
				Au	Ag	Au	Ag			
Бургагылкан***	Тас-Бургагылканская ВТД, вулканокупол, гранодиориты	Андезиты, туфы риолитов и дацитов	76.1 ± 0.2 ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	3.7	168	3.9	163	41		Кварц-адуляр-карбонат-пирит-арсенопирит-акантит-самородное Au-антимонит-тетрадимит (гессит, сильванит, креннерит)
Ойра***	Бургагылканская ВТД, вулканокупольная структура, гранодиориты	Андезиты	76.1 ± 0.2 ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	3.0	4.2	37	51	1.4		Кварц-адуляр-пирит-сфалерит-миаргирит-пираргирит-стефанит-акантит-самородное Au (нагиагит)

Западная часть Охотского сектора

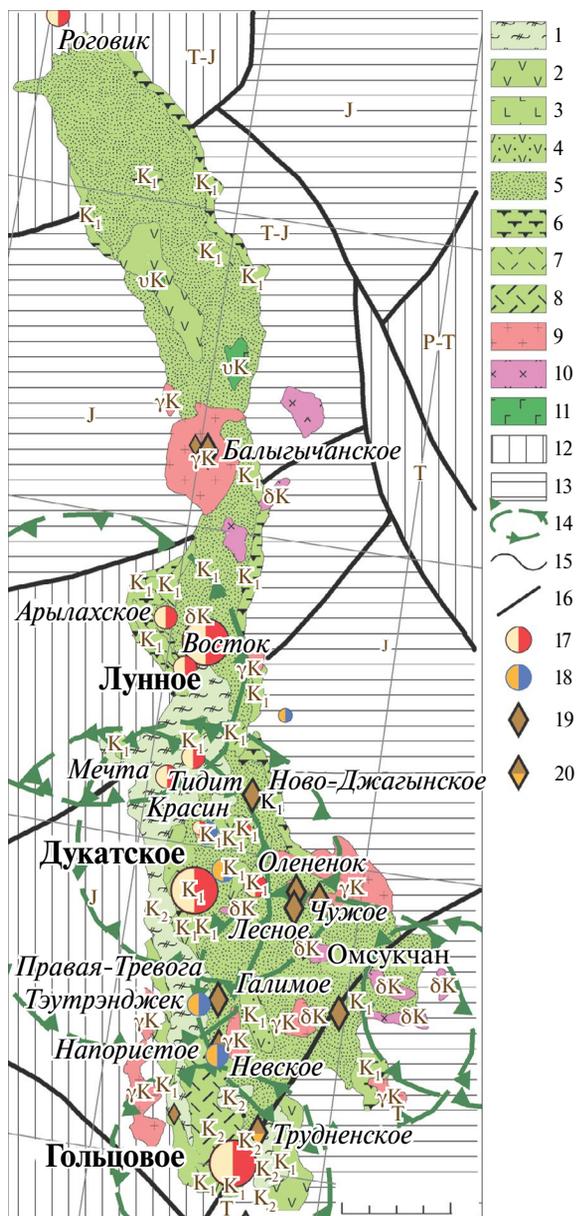
Примечание. ОЧВП – Охотско-Чукотский вулканический пояс; ТМА – тектономагматическая активизация; ВТД – вулканотектоническая структура; Ag/Au – запасы Ag/ запасы Au; * запасы, ресурсы, изотопный возраст даны по (Кузнецов и др., 2022); **запасы, ресурсы, изотопный возраст даны по (Кузнецов и др., 2008); ***запасы, ресурсы, изотопный возраст даны по (Шпикерман и др., 2016); *** запасы месторождения Джульетта, суммированы с соседними объектами, по данным отработки одноименного рудника ООО “Северное золото”.

По простиранию жил отмечаются рудные столбы размером от 10 до 75 м и от 35 до 95 м по падению (зона 1). Максимальные содержания полезных компонентов отмечаются в жильной зоне 1, где они достигают значений (г/т): для золота 301.7, серебра 2589.42. Средние содержания по месторождению (г/т): золота – 5, серебра – 250 (Кузнецов и др., 2022). Продуктивная рудная минерализация месторождений Кварцевая Сопка и Дальнее формируется преимущественно в одну золото-акантитовую стадию (Кравцова и др., 2023).

Месторождение Ирбычан (см. фиг. 1, табл. 1) расположено в 20 км к северу от месторождения Сопка Кварцевая. Рудовмещающие вулканиты представлены игнимбритами риолитов и дацитов, туфами андезитов раннего и позднего мела, прорванных позднемеловыми дайками андезитов, дацитов и эксплозивными брекчиями. В пределах рудного поля вмещающие породы пропильтизированы. Рудные тела локализируются в эксплозивном теле риолитов (форма вытянутой в северо-восточном направлении трубки диаметром около 1 км), где породы интенсивно аргиллизированы и адуляризированы (Кузнецов и др., 2022). Установлено три рудных зоны субширотного простирания – Восточная, Центральная и Северная, вмещающих серии кварц-адуляровых жил. Жилы образуют линзообразные кулисы, протяженностью 20–50 и более метров. Мощность рудных тел составляет от первых метров до 6–7 м. Текстуры руд – типично эпитермальные: кокардовая, каркасно-пластинчатая, брекчиевидная, колломорфно-полосчатая. Протяженность рудных тел до 400 м (по падению – до 200 м), угол падения – 50°–75°. Содержание золота и серебра крайне неравномерное, колеблется в широких пределах, достигая максимально 1.6 кг/т золота и 38 кг/т серебра. Содержание селена в руде достигает 0.3%. Средние содержания по месторождению – 11.2 г/т (1.5–68.7 г/т) золота и 299.3 г/т (23–1658.9 г/т) серебра (Кузнецов и др., 2022).

Омсукчанская металлогеническая зона

Омсукчанская металлогеническая зона (ОМЗ) разделяет восточную и центральную части Охотского сектора ОЧВП (находится в 200 км юго-западнее от Верхне-Туромчинской ВТД) и наследует Балыгычано-Сугойский рифтогенный вулканопрогиб, вытянутый на 300 км в субмеридиональном направлении (см. фиг. 1), имеет в плане слабо изогнутую асимметричную коленообразную расширяющуюся к югу форму (фиг. 2).



Фиг. 2. Au-Ag, Ag-Au и Ag-полиметаллические эпипермальные месторождения Омсукчанской металлогенической зоны. Схема составлена по (Ливач, Третьякова, 2022).

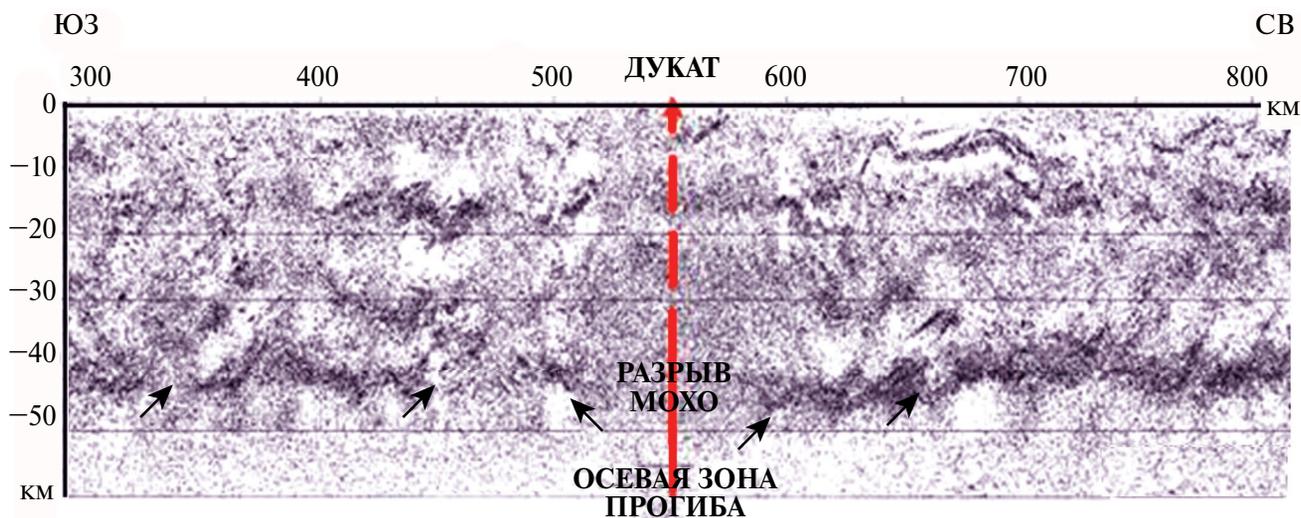
1 – игнибриты риодацитов (шороховская и наяханская свиты); 2 – андезиты, дациты и их пирокласты (каховская и таватумская свиты); 3 – базальты (джагынская толща); 4 – вулканогенная моласса (зоринская свита); 5 – угленосная моласса (омсукчанская свита); 6 – ультракислые риолиты (аскольдинская свита); 7 – субвулканические тела риолитов и риодацитов; 8 – субвулканическое тело невадитов; 9 – лейкограниты, граниты, гранит-порфиры; 10 – гранодиориты, диориты; 11 – габбро; 12, 13 – крупные структурные единицы: поднятия (12) и синклинии (13); 14 – вулканоплутонические центры; 15 – геологические границы; 16 – крупные разрывные нарушения; 17–20 – месторождения: 17 – золото-серебряные; 18 – серебро-полиметаллические; 19 – оловорудные; 20 – олово-серебряные

Заложение прогиба связано с Омсукчанским глубинным разломом складчатого фундамента, трансформным по отношению к Приохотскому поясу разломов, протягивающемуся вдоль ОЧВП (Умитбаев, 1986). Балыгычано-Сугойская структура образовалась в зоне раздвига в результате разворота северного фланга Омолонского микроконтинента к югу и юго-востоку по Омсукчанскому глубинному разлому (Ливач, Третьякова, 2022).

На фрагменте опорного геофизического профиля 2-ДВ видно (фиг. 3), что земная кора в районе ОМЗ 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” прослеживается до мантии с разрывом сплошности границы М не менее чем на 30 км, учитывая ориентировку профиля (Структура..., 2007). Такая “сейсмической прозрачность” под уникальной по рудоносному потенциалу структурой ОЧВП свидетельствует о переработке материала земной коры в результате корово-мантийного флюидного взаимодействия.

Балыгычано-Сугойская структура сложена цепочкой вулканотектонических депрессий (Ливач, Третьякова, 2022), выступами блоков фундамента и ранне-позднемиоценовыми интрузивными массивами, строение которых осложнено позднемиоценовыми вулканокупольными поднятиями (см. фиг. 2) – вулканоплутоническими центрами по (Алексеев и др., 2011). Ag-Au и сопровождающие их Sn-Ag- и Ag-полиметаллические месторождения сосредоточены в осевой зоне Балыгычано-Сугойского вулканопрогиба, где развиты покровные эффузивные образования, а гранитные интрузивы обычно скрыты на глубинах 1–2 км (см. фиг. 2). Sn и Mo проявления тяготеют к гранитным интрузивам, вскрытым эрозией или лежащим неглубоко от дневной поверхности. Эпипермальные месторождения ОМЗ характеризуется высокой сереброносностью и низкой золотоносностью – Au/Ag варьирует в диапазоне 1/300–1/1000 (Стружков, Константинов, 2005).



Фиг. 3. Сейсмический разрез отрезка геофизического профиля 2-ДВ (Структура..., 2007) в районе ОМЗ (Балыгчано-Сургойского рифтогенного прогиба).

Крупнейшее Ag-Au месторождение Дукат (см. табл. 1) локализовано в Каховском вулканоплутоническом центре (см. фиг. 2), сложенном покровами и экструзивными телами риолитов, туфами и игнимбритами риолитов аскольдинской свиты. Буровыми скважинами вскрыты биотитовые граниты, прорывающие аскольдинскую свиту. Возраст гранитов, определенный Rb-Sr изохронным методом, 89.2 ± 2.7 млн лет (Кузнецов и др., 2008). На месторождении разведано более 50 рудных тел общей протяженностью около 20 км. Ведущее промышленное значение имеют рудные зоны северо-западного и субмеридионального простирания, длиной 501–1600 м, содержащие до 70% запасов. Это зоны дробления вулканитов мощностью от 2–3 до 20 м, в которых стволые жилы мощностью 3–5 м сопровождаются прожилково-штокверковыми ореолами. Второй тип рудных тел – жилы выполнения субмеридионального и северо-восточного простирания длиной 160–700 м и мощностью 1–2 м, в раздувах до 7 м. Промышленное значение имеют кварц-хлорит-адуляровые и кварц-родонитовые, рудные тела. Средние содержания в рудных телах (г/т): серебра – 328–510, золота 0.8–1.2. На месторождении выделено два этапа рудообразования. Возраст ранних кварц-сульфидных и кварц-хлорит-адуляровых жил, определенный Rb-Sr изохронным методом, составил 84 ± 1 млн лет, Ar-Ar методом – 80.6–85 млн лет. Возраст (Rb-Sr метод) кварц-родонитовых жил второго этапа – 74 ± 5 млн лет (Кузнецов и др., 2008).

Месторождение Лунное – второе по запасам в ОМЗ (см. табл. 1), контролируется крупноплитудным субширотным сбросом, ограничивающим с севера Сарманскую ВТД. В пропильтизированных андезитах и их туфах выявлено девять рудных зон. Наиболее богатая, заключающая до 80% запасов – зона № 9. Рудные тела представляют собой минерализованные зоны, объединяющие одну или несколько стволовых жил и сопоставимый по мощности ореол прожилково-вкрапленной минерализации. Протяженность жил от первых десятков до 600–800 м, мощность от 0.2 до 25 м. Текстуры руд брекчиевые, крустификационные, каркасно-пластинчатые, кокардовые, полосчатые. Рудная колонна достигает глубины 350 м. Состав жильной минерализации адуляр-родонит-кварцевый, кварц-карбонатный. Содержание золота от долей г/т до 100–130 г/т (среднее 2,5 г/т), серебра – до 5–8 кг/т (среднее 430 г/т) (Кузнецов и др., 2008).

Крупное Ag-полиметаллическое месторождение Гольцовое (см. табл. 1) локализовано на периферии Верхне-Омчикчанской ВТД, расположенной на восточном краю южного фланга Кэнской лавовой полосы (Кузнецов и др., 2008). Месторождение сложено игнимбритами риолитов и андезитами, прорванными субвулканическими телами позднемеловых риолитов, в том числе невадитовых. Прослежено 5 круто- и пологозалегающих зон, несущих жильную и прожилково-вкрапленную сульфидную минерализацию. Наибольшее значение имеет рудная зона № 1 северо-восточного простирания, протяженностью 1.3 км. Падение зоны

северо-западное под углом 40° – 45° , по падению она прослежена на 200–400 м. Местами в зонах присутствуют пологопадающие стержневые серебро-галенит-сфалеритовые жилы мощностью до 10–30 см и столбообразные залежи, образующиеся на пересечении разно-ориентированных разломов. Жилы и залежи осложнены зонами прожилкования, апофизами и пережимами, в которых развито вкрапленное оруденение. Жилы характеризуются высокими содержаниями Ag, местами достигающими 3000 г/т и более. Кроме Ag, промышленное значение имеет также Pb; попутные компоненты – Sn, Zn и Cu, а Au отсутствует (Кузнецов и др., 2008).

Разработана модель двухэтапного формирования месторождений ОМЗ (Савва и др., 2021). На первом вулканогенном этапе происходит отложение Au-Ag эпитептермального и Ag-полиметаллического оруденения в результате функционирования приповерхностной вулканогенной гидротермальной системы. На втором, плутоногенном, этапе – телескопирование Sn минерализации на Au-Ag и Ag-полиметаллическую в результате поступления оловоносного магматогенного флюида на нижние уровни эпитептермальной рудообразующей системы.

Центральная часть Охотского сектора

В центральной части Охотского сектора, приблизительно в 200 км юго-западнее ОМЗ расположены *Хакандинская* и *Иваньинская ВТД* (см. фиг. 1), залегающие на юрских терригенных отложениях верхоянского комплекса Балагычанского антиклинального поднятия Яно-Колымского складчатого пояса. Обе структуры характеризуются достаточно простым строением внутренних депрессий, в которых нижняя часть сложена андезитовой, а верхняя – риолитовой формациями. Их вулканоплутонические комплексы существенно более древние, чем в других ВТД Охотского сектора. Как показывают палеофлористические и Rb-Sr-изотопные данные (Котляр и др., 2004), возраст Хакандинской ВТД, скорее всего, ранний альб (буор-кемюсский горизонт). Возраст месторождения Джульетта (*Иваньинская ВТД*), по данным Ag-Ag и Rb-Sr-изотопного датирования адуляров рудных жил (Стружков, Константинов, 2005), – начало неокома, т.е. начало ранней стадии развития ОЧВП, по В.Ф. Белому (1994). По другим данным (Горячев, 2005), *Иваньинская* и *Нявленгинская ВТД* принадлежат раннемеловому Удско-Мургаальскому вулканоплутоническому

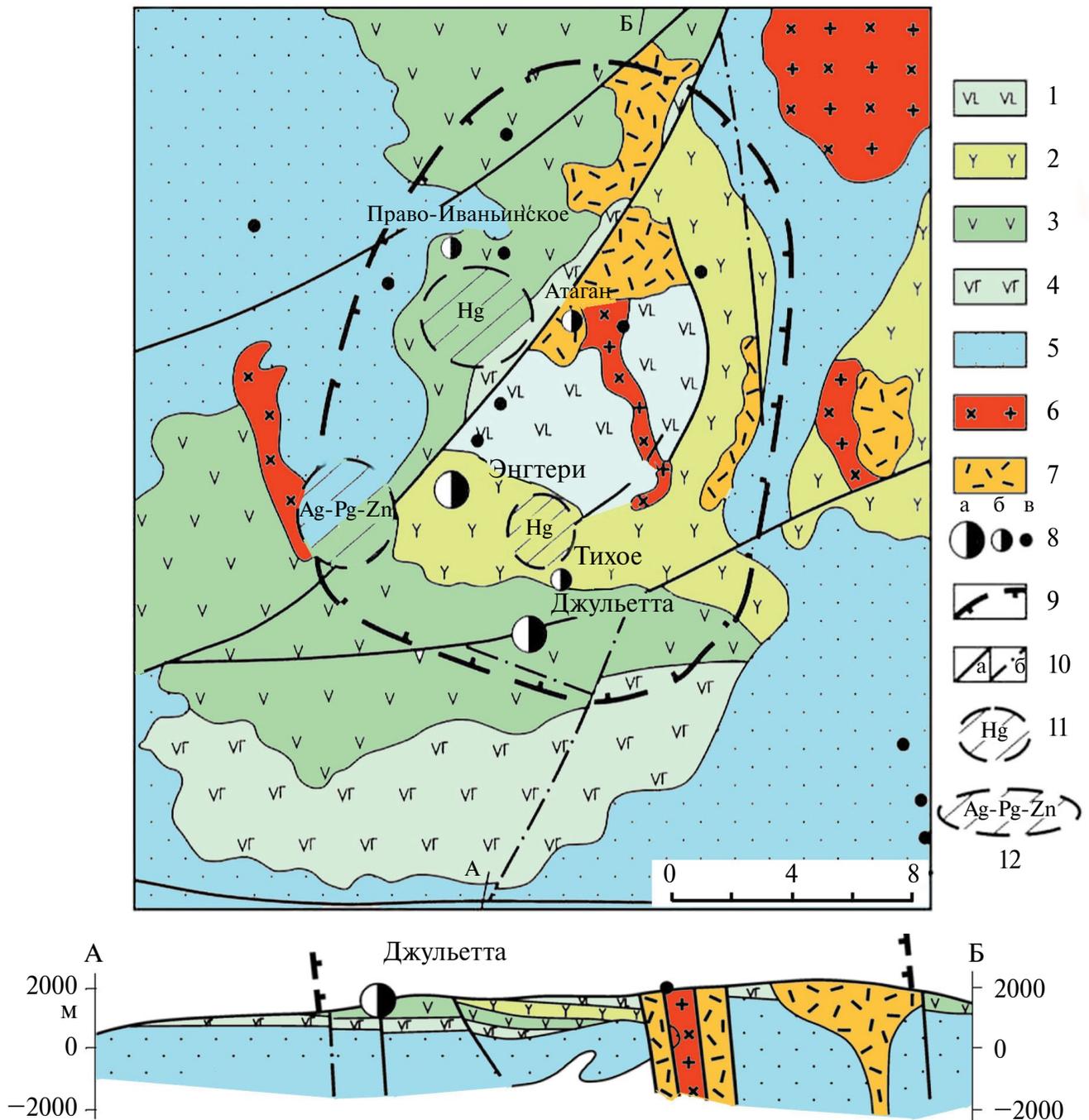
поясу (УМВП), островодужного типа, перекрытого на большей своей части вулканитами ОЧВП.

Иваньинская ВТД расположена на периферии Охотского сектора (см. фиг. 1), где отложения ОЧВП накладываются на вулканоструктуры УМВП (Горячев, 2005). Депрессия выполнена раннемеловыми вулканогенными и вулканогенно-осадочными отложениями иваньинской толщи, прорванными гипабиссальными и субвулканическими интрузиями иваньинского, энгтеринского, булатского и нявленгинского комплексов, а также позднемеловыми гранитоидами. Основание депрессии сложено смятыми в складки отложениями юрского возраста. Системы тектонических нарушений, образовавшиеся в зоне сопряжения Энгтеринского и Озерного глубинных разломов, контролируют размещение жильных зон с золото-серебряным оруденением месторождений Джульетта, Тихое и Энгтери (фиг. 4, табл. 1).

Месторождение Джульетта – среднее по масштабу (см. фиг. 4, табл. 1) приурочено к южной интенсивно тектонически переработанной части *Иваньинской ВТД*, сложенной нижнемеловыми вулканогенными и вулканогенно-осадочными толщами, прорванными дайками, штоками и субвулканическими телами различного состава ранне-позднемелового возраста. Вмещающие породы изменены до низкотемпературных пропилитов, околорудные изменения – березиты и адуляр-кварцевые метасоматиты. Выявлено 8 субширотных жильных зон, включающих серии сближенных, кулисообразно расположенных жил и прожилков. Преобладают жилы выполнения. Длина рудных зон по простиранию – 200–1800 м, по падению – 150–300 м, мощность их 30–100 м. Падение зон крутое (70° – 85°) на север, северо-восток. Количество жил в зонах варьирует от 1–3 до 7–8, протяженность до 200–500 м, мощность до 2.5 м, в раздувах до 5–6 м. Текстуры руд ритмично-полосчатые, крустификационные, брекчиевые, каркасно-пластинчатые, кокардовые. Основные жильные минералы: кварц (90%), карбонат, адуляр, иногда гидрослюда. Рудные минералы составляют до 10–20% (в среднем 1–3%). За 12 лет работы рудника содержание Au и Ag в добываемой руде снизилось в четыре раза с 41.6 до 9 и 640 до 99 г/т соответственно (Прокофьев и др., 2015).

Хакандинская ВТД имеет форму эллипса размером 30×40 км, ориентированного длинной осью в северо-восточном направлении. Она считается одной из эталонных ВТД

с интрузивным обрамлением (Белый, 1977). Центральная часть ВТД выполнена раннемеловыми вулканогенными отложениями аскольдинского комплекса, а по периферии окружена кольцом гранитоидных интрузий хакандинского комплекса. Вулканиды в краевых частях ВТД наклонены к ее центру под углом 20° – 30° , как и подстилающие верхнеюрские осадочные



Фиг. 4. Региональное положение Au-Ag эпитермальных месторождений в Иваньинской ВТД по (Обушков и др., 2010) с дополнениями.

1–4 – нижнемеловые покровные вулканиды: 1 – андезиты и андезито-базальты, 2 – туфы дацитов, 3 – андезиты и их туфы, 4 – андезито-базальты; 5 – юрские терригенно-морские отложения (алеврито-аргиллитовая формация); 6 – меловые гранитоиды (лейкогранитная и гранодиорит-гранитная формации); 7 – меловые субвулканические дациты (риодацитовая формация); 8 – Au-Ag эпитермальных месторождений (а), рудопоявления (б), точки минерализации (в); 9 – границы рудного узла; 10 – разломы: известные (а), предполагаемые (б); 11 – ореолы рассеянной ртутной минерализации; 12 – ореолы рассеянной серебро-полиметаллической минерализации.

отложения. К вулcano-купольному поднятию (ВКП) в осевой части ВТД приурочено Au-Ag месторождение Нявленга. Многочисленные Mo и полиметаллические рудопоявления выявлены в экзоконтактах гранитоидных массивов интрузивного обрамления вулканоструктуры. К-Ag-возраст кварц-мусковитовой жилы с молибденитом Хакандинского проявления определен в 104 ± 3 млн лет (Котляр и др., 2004).

Месторождение Нявленга (см. фиг. 1, табл. 1) располагается в центральной части Вершининского ВКП, сложенного раннемеловыми андезитами и субвулканическими риолитами ольского комплекса. Рудные тела выполняют северо-восточные трещины отрыва, опоярившие Центральную зону разломов, и представлены крутопадающими плитообразными жилами хлорит-адуляр-кварцевого состава, протяженностью 100–300 м и мощностью 1.5–9.9 м. Вертикальный размах оруденения до 220 м. По данным бурения, непосредственно под рудным телом № 1, на глубине 150 м установлен шток гранитоидов. Рудовмещающие вулканогенные породы интенсивно метасоматически изменены. Развита пропилиты, вторичные кварциты и кварц-адулярные метасоматиты, скарноиды. На Жильном участке разведаны четыре рудных тела (№ 1, 2, 6, 11), в которых сконцентрировано 90% запасов месторождения. На Красном участке установлено два рудных тела (№ 12 и 13). Рудные минералы составляют не более 1.5% объема жил. Для руд характерны брекчиевидная, полосчатая, пятнистая, колломорфно-полосчатая, ритмично-полосчатая текстуры. Средние содержания по месторождению: серебро – 462.1 г/т, золото – 9.6 г/т (Кузнецов и др., 2008). Месторождение Нявленга – типичный представитель вулканогенных месторождений с “прогрессивным стилем” рудообразования (Волков и др., 1991), отличается широким развитием в рудах медно-молибденовой минерализации (Савва, 2018), что свидетельствует о парагенетической связи с медно-порфировым оруденением. Примечательная особенность рудообразования на месторождении – высокотемпературный (выше 500 °С) метаморфизм руд – результат внедрения поздних гранитоидов (Волков и др., 2014б).

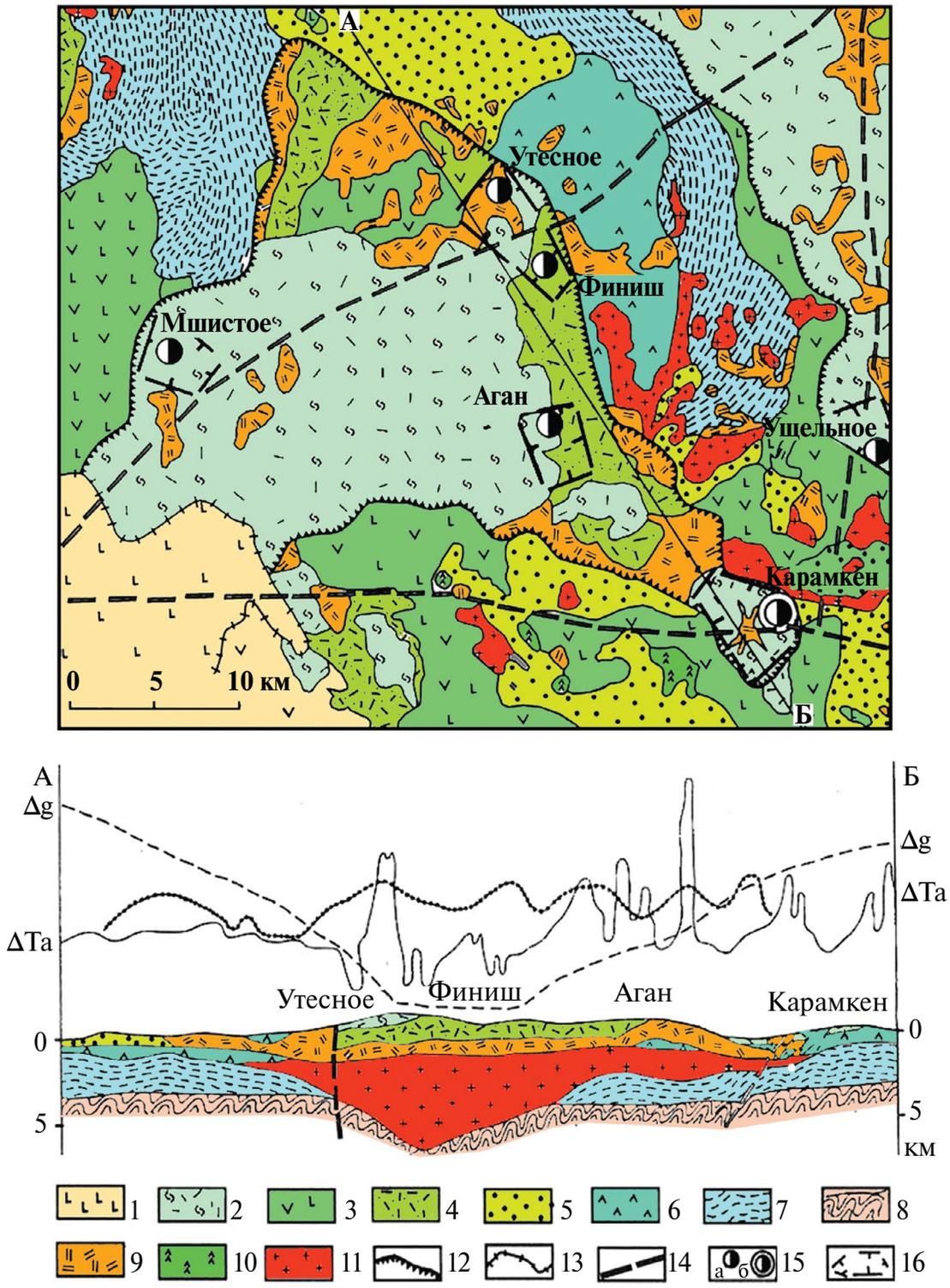
В 200 км юго-западнее Хакандинской ВТД расположена крупная *Арманская ВТД* (см. фиг. 1), фундамент которой также представлен юрскими терригенными толщами верхоянского комплекса. Площадь этой – одной из крупнейших ВТД около 1000 км², а общая мощность разреза вулканических толщ 1–2 км (Акинин, Миллер, 2011).

Au-Ag-минерализация Арманской ВТД связана, главным образом, с Аганской кальдерой (фиг. 5) и контролируется зоной разломов на ее северо-восточном ограничении (месторождения Карамкен, Аганское, Финиш, Утесное, Ущельное). В западной части кальдеры известно только одно Мшистое рудопоявление (см. фиг. 5).

Рудное поле месторождения Карамкен (см. фиг. 5, табл. 1) ограничено кольцевой структурой, обрамляющей просадку в ядре Гайчанского купола. Рудное поле сложено вулканитами хольчанской и улынской свит верхнего мела, прорванными субвулканическими телами и дайками трахиандезитов, риолитов, базальтов. Месторождение представлено адуляр-кварцевым жилам, локализованных в аргиллизитах и предрудных гидротермальных брекчиях северо-восточной окраины кольцевой структуры. На месторождении разведано около 200 жил. Жильные свиты, сконцентрированные на участках Восточный, Центральный и Северо-Западный. Большая часть запасов заключена в жиле Главной (участок Восточный). Жила прослежена на поверхности на 850 м, погружается на юго-запад и переходит в жильную зону сложной морфологии длиной 1000 м, мощность варьирует от 2 до 5.7 м. Вертикальный размах промышленного оруденения достигает 500 м. В жиле выделяются рудные столбы, которые чередуются с бедными рудами. Текстуры ритмично-полосчатые, полосчатые, редко брекчиевые, гребенчатые, массивные. На долю рудных минералов приходится 0.5–1.5%. Среднее содержание по рудным телам (г/т): золота – 10.7–24.9, серебра – 68.7–116.0 (Шпикерман и др., 2016). На глубоких горизонтах месторождения в рудных телах установлена оловянная минерализация (Савва и др., 2005).

Носэнганская ВТД находится в 50 км восточнее Арманской ВТД (см. фиг. 1) и расположена в центральной части Малатано-Ольгского вулканопрогиба ОЧВП, вытянутого в субмеридиональном направлении. В геологическом строении Носэнганской ВТД преобладают раннемеловые андезиты и позднемеловые андезиты-базальты, которые прорваны телами субвулканических крупнопорфировых андезитов. Фундамент структуры сложен нижнеюрскими углеродистыми сланцами верхоянского комплекса.

Месторождение Агатовское приурочено к ВКП, осложняющим периферию Носэнганской ВТД (см. фиг. 1, табл. 1). Месторождение включает 5 продуктивных кварц-карбонат-адулярных жил.



Фиг. 5. Геологическое строение Арманской ВТД по (Многофакторные..., 1992) с изменениями.
 1 – палеогеновые базальты; 2 – верхнемеловые игнимбриты риолитов и риолито-дацитов; 3 – верхнемеловые андезито-базальты; 4 – верхнемеловые туфы риолитового состава; 5 – верхнемеловые мелкогалечные конгломераты; 6 – нижнемеловые андезиты; 7 – юрские песчано-глинистые сланцы (верхоянский комплекс); 8 – кристаллические сланцы фундамента; 9 – поздне-меловые экструзивные и субвулканические тела риолитов; 10 – поздне-меловые субвулканические тела андезитов; 11 – поздне-меловые гранитоиды (гранодиорит-гранитная формация); 12 – контур вулканотектонической депрессии (граница рудного узла); 13 – контур распространения платобазальтов; 14 – осевая зона разломов глубокого заложения; 15 – золото-серебряные месторождения (а) и рудопроявления (б); 16 – границы рудных полей.

Вмещающие породы – окварцованные и аргиллизированные андезиты. Жила Лунная, протяженностью 2 км по простиранию и 120 м – по падению, на флангах представлена единым телом, а в центральной части разветвляется на серию апофиз, образующих жильную зону, мощность до 6.75 м. Простирание жилы северо-западное, падение на юго-запад под углами 75°–80°. Другие жилы месторождения – маломощные (0.02–0.3 м), имеют сходную мофологию. Текстуры жил колломорфно-полосчатая, брекчиевая, друзовая. Содержание золота и серебра крайне неравномерное, в среднем: золото – 3.9–11.8 г/т, серебро – 38–200 г/т. Предсездовская жила отличается от других жил высокой сульфидностью (15–20%) и содержанием золота. Среднее содержание последнего в интервале 56 м – 1395 г/т и при средней мощности 0.14 м (Шпикерман и др., 2016).

Зоны тектономагматической активизации (ТМА)

Верхояно-Чукотские мезозойды испытали наиболее обширную ТМА в конце мела – начале палеогена, синхронную с развитием ОЧВП (Умитбаев, 1989). Линейные зоны ТМА включают цепочки вулканических полей и интрузивов также часто располагаются на продолжении более или менее протяженных выступов покровных образований ОЧВП (см. фиг. 1). Специфика рудообразования в зонах ТМА проявляется в развитии комплексных Au-As-Sb, Sn-Ag-Pb-Zn, Au-Bi-W месторождений; совмещение нескольких структурных типов минерализации (вкрапленного, штокверкового и жильного) в пределах одного объекта, полихронные и многоярусные месторождения (Волков и др., 2014а). Несколько зон ТМА обрамляют центральную часть Охотского сектора ОЧВП (см. фиг. 1).

Хурчан-Оротуканская зона ТМА – одна из наиболее изученных, пересекает складчатые структуры Иньяли-Дебинского синклинория и Балыгычано-Буяндинского антиклинального поднятия на протяжении 300 км (Кузнецов и др., 1993). В северной части зоны выходят на поверхность гранитоиды Верхне-Оротуканского массива позднемелового возраста (Соболев, 1984). В надинтрузивной зоне юго-восточной периферии массива располагаются ВКП, к которым приурочены Au-Ag и Ag-Pb-Zn эпитеpmальные месторождения Печальное и Ветвистое, а также редкометальные рудопроявления в щелочных риолитах (Волков и др., 2023).

Месторождение Печальное вызывает заметный интерес, так как сформировалось в углеродистых

терригенных толщах фундамента ВКП, на удалении около 200 км от границы ОЧВП. Геологическое строение месторождения – двухъярусное: кварц-адуляровые и кварцевые Au-Ag жилы локализованы в ороговикованных терригенных породах нижнего яруса, а кварцевые риолиты и комендиты печальнинской толщи верхнего яруса вмещают потенциально-промышленную РЗЭ-минерализацию. Продуктивные Au-Ag жилы образуют три зоны субширотного простирания, протяженность жил в которых 200–300 м, иногда – 640, 840 м; средняя мощность 0.1–3 м, редко до 6 м, средние содержания: Ag – 266 г/т, Au – 4.4 г/т. Установлены следующие минералогические особенности руд: низкая сульфидность (1–2%); в качестве продуктивных минералов выступают самородное Ag, низкопробное Au, полибазит и высоко селенистый акантит, кроме того, в рудах достаточно широко развиты мышьяковистый пирит, арсенопирит, пирротин, железистый сфалерит, халькопирит и марказит (Кузнецов и др., 2025).

Западная часть Охотского сектора

На западе Охотского сектора находится Бургагылкан-Детринская металлогеническая зона (БДМЗ), вытянутая в субширотном направлении, которая территориально совпадает с одноименным вулканопрогибом (размером 40 × 120 км) с гранитоидным обрамлением. На всем своем протяжении БДМЗ сопровождается эпитеpmальными Au-Ag-месторождениями и рудопроявлениями, приуроченными к относительно небольшому ВТД (диаметром 25–30 км): на западе – Бургалгыкан, Угольное, Хатанджа, в средней части – Вурдалак, Сухое и на восточном фланге – Сенон, Утро, Серебряное (см. фиг. 1). Эти ВТД сложены в основном верхнемеловыми риолитами.

Примерно на половине расстояния между БДМЗ и расположенной восточнее (в 100 км) Арманской ВТД известны небольшое богатое Au-Ag месторождение Ойра и рудопроявление Сентябрьское. Севернее БДМЗ известны Au-Ag-рудопроявления Контас и Пиковое. Южнее БДМЗ, в Хуренской ВТД – Au-Ag-рудопроявление Чайка. Кроме того, в пределах БДМЗ выявлены Cu-Mo-порфировые, сурьмяно-ртутные, а в пределах глубоко эродированных структур скарновое Au-Bi месторождение Тэутеджак.

ТЕКСТУРЫ РУД

В эпитермальных рудах большинства Au-Ag месторождений Охотского сектора ОЧВП до 98% рудной массы приходится на долю жильных минералов – кварца (халцедона, аметиста), карбоната, адуляра, слюдистых минералов, меньше хлорита, каолинита, флюорита. Кварц характеризуется неравномерностью раскристаллизации – от скрытокристаллических и тонкозернистых (с размером зерен 0.002–0.01 мм) до крупнозернистых и крупнокристаллических (до 1.5–3 мм) разностей.

В рудных телах этих месторождений преобладают минеральные агрегаты колломорфно-полосчатой текстуры, обусловленной чередованием полос одного или разного состава, часто различных по окраске, оттенкам или в разной степени раскристаллизованных, обладающих преимущественно тонким характером распределения рудных вкрапленников, нередко с полосчатыми скоплениями рудных минералов (гингуро) (фиг. 6).

Центральные части жил часто представлены каркасно-пластинчатой, брекчиевой и друзовой текстурами. Рудные минералы, как правило, тяготеют к зальбандам жил. Среди колломорфно-полосчатых текстур встречаются следующие разновидности.

Полосчатые текстуры со сноповидным расположением удлиненных индивидов жильных минералов характеризуются присутствием тонко- и мелкозернистых агрегатов удлиненной формы, собранных в пучки у основания ритма, радиально расходящиеся к следующему ритму, и в целом, ориентированных перпендикулярно общей полосчатости. Такие агрегаты характерны для продуктивных минеральных ассоциаций (фиг. 6з, п, ф).

Тонко-полосчатые текстуры выполнены полосами жильных минералов микро- и тонкозернистого строения. Если в жильной массе преобладает кварц, то полосчатость обусловлена либо различными цветовыми оттенками, либо с разной концентрацией включений с минералообразующей средой (чередование прозрачного, полупрозрачного и молочно-белого кварца). Если жильный материал состоит из нескольких минералов, то полосчатость выражена в их чередовании, или в их разном количественном соотношении. Последние сопровождаются обильными выделениями рудных минералов, которые располагаются вдоль полосчатости, и являются наиболее продуктивными на золото (фиг. 6х).

Ритмично-полосчатая текстура образована чередованием полос того или иного минерала. Размер индивидов постепенно возрастает от начала ритма к концу. Каждый новый ритм начинается с тонкозернистого минерала. Подобная текстура характерна для продуктивных минеральных ассоциаций чаще всего кварц-карбонатного состава (фиг. 6к).

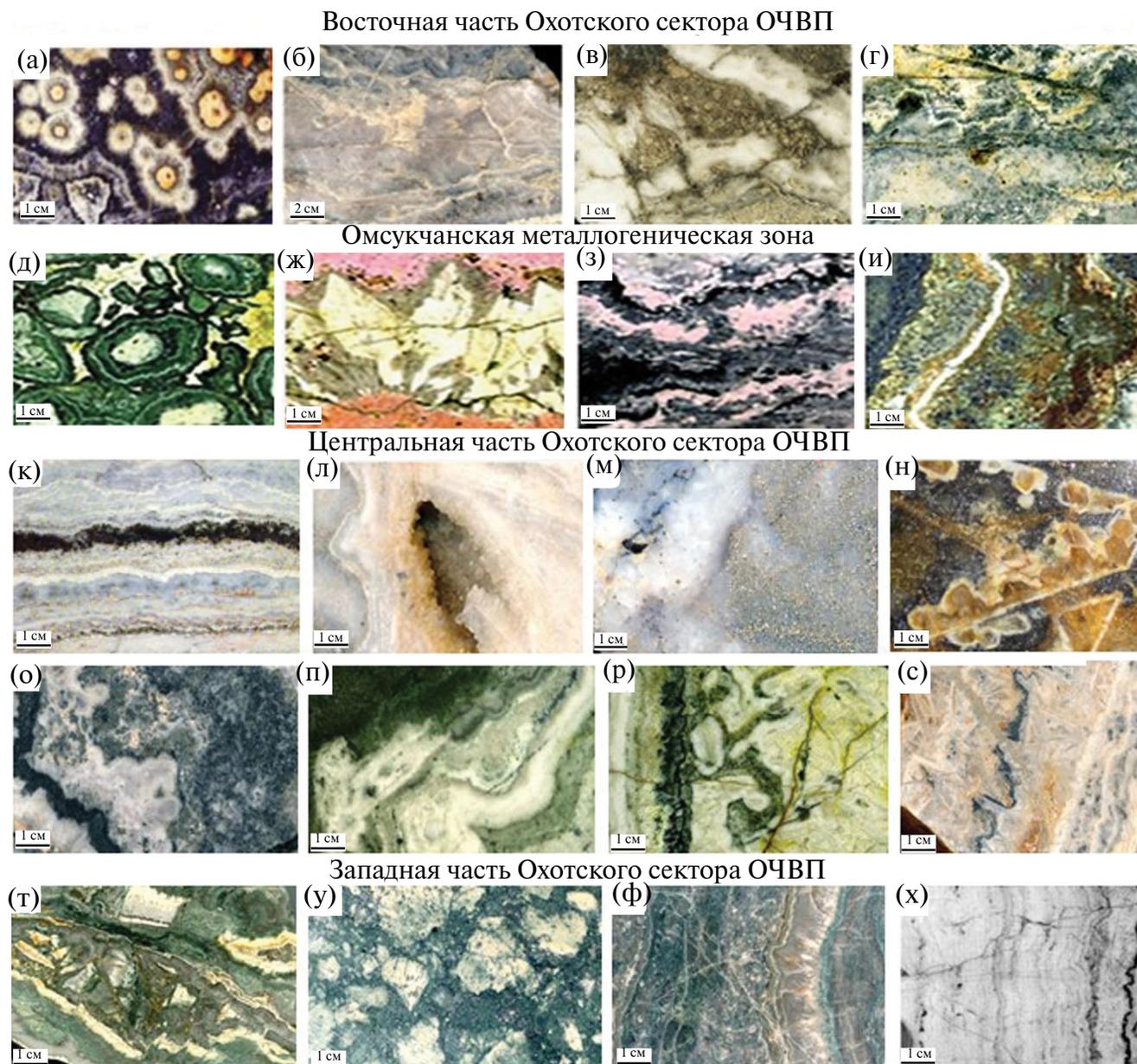
Симметрично-полосчатая текстура характерна для прожилков и маломощных жил. В зальбандах отлагаются тонко- и мелкозернистые жильные минералы полосчатой текстуры. К центру возрастает ширина полос, увеличивается размер минералов, появляются кристаллографические очертания.

Колломорфно-полосчатая текстура связана с пульсационным характером поступления и кипением гидротермальных растворов. Они служат важным поисковым признаком рудных столбов (бананц). Наиболее типичные колломорфно-полосчатые текстуры с черными полосками рудных минералов “гингуро” (фиг. 6к, х) установлены практически на всех эпитермальных месторождениях Охотского сектора.

Фестончато-полосчатая текстура возникает при отложении минералов на предшествующие агрегаты с крупным выпуклым рисунком или при раскристаллизации коллоидных растворов. В центре фестонов часто видны сферолитовые образования кварца и халцедона, содержащие гнездообразные скопления очень мелких рудных минералов (фиг. 6о). Краевые части фестонов обрастают тонкочешуйчатой слюдой или адуляром. В сферолитах Агатовского месторождения наблюдались скопления звездчатых кристаллов арсенопирита.

Кокардово-овоидные текстуры связаны с обрастанием жильными или рудными минералами вокруг ксенолитов вмещающих пород или обломков, ранее сформировавшихся жил. Такие текстуры встречены на месторождениях Дукат, Мечта, Неверенкан и др. (фиг. 6а, д).

Каркасно-пластинчатая текстура обусловлена присутствием ориентированных субпараллельных удлиненных пластинчатых агрегатов кварца, повернутых относительно друг друга под углом 30° и до 60°, которые образуют каркасы с вытянутыми ячейками в форме трех- или четырехугольников (фиг. 6н, с). Ячейки выполнены агрегатами мелкозернистого кварца со следами промежуточной раскристаллизации гелей. Между повернутыми блоками пластин часто имеются полигональные пустоты. Центральные части жил иногда



Фиг. 6. Текстуры руд эпитермальных Au-Ag месторождений Охотского сегмента ОЧВП.

Восточная часть Охотского сектора (а–г): а – кокрадово-овоидная (месторождение Нверенкан), б – неясно-полосчатая (Ороч), в – брекчивая (Дальнее), г – пятнисто-полосчатая (Сопка Кварцевая); Омсукчанская металлогеническая зона (д–и): д – кокрадово-овоидная (Дукат), ж – гребенчатая с крупными кристаллами адюляра (Дукат), з – полосчатая (Приморское), и – массивная сульфидная, полосчатая (Лунное); Центральная часть Охотского сектора (к–с): к – крустификационно-полосчатая, черная сульфидная полоска “гингуро” (Карамкен), л – друзовая (Утесное), м – тонковкрапленная (Агатовское), н – пластинчато-каркасная (Агатовское); о – фестончато-полосчатая (Джультета); п – полосчатая (Нявленга); р – колломорфная и пластинчатая (Нявленга); с – сочетание каркасно-пластинчатой и колломорфно-полосчатой (Печальное); Западная часть Охотского сектора (т–х): т – брекчивая (Ойра), у – брекчивая тневая (Бургагылкан), ф – полосчатая (Ойра), х – крустификационно-полосчатая с “гингуро” (Бургагылкан).

представлены каркасно-пластинчатой текстурой. От стенок каркасов внутрь полигональных пустот нарастают новообразованные кристаллы кварца. В строении каркасов могут принимать участие и другие жильные минералы. Жильный агрегат каркасно-пластинчатой текстуры крайне

редко содержит рудную минерализацию. В каркасно-пластинчатой текстуре Печального месторождения халцедон подчиняет своей структуре карбонат, и он, несмотря на структурированное пространство, начинает образовывать не только линейные, но и фестончатые полосы (фиг. 6с).

Гребенчатая текстура, состоящая из полосчатых агрегатов в зальбанде и шестоватых кристаллов — в центре, обычно встречается в прожилках, штокверках или сопровождает прожилки и маломощные жилы симметрично-полосчатого строения. Гигантозернистые структуры кварца возникают в условиях термометаморфизма руд, при магматической активизации в сформированных эпитемальных жилах или прожилках за счет перекристаллизации (фиг. 6ж).

Друзовые текстуры возникают в незаполненном рудным веществом пространстве жилы или вмещающих пород (фиг. 6л). На заключительных этапах функционирования рудообразующей системы на стенках пустот отлагаются хорошо образованные кристаллы кварца, карбоната, а в продуктивных жилах нередко и рудные минералы (блеклая руда, сульфиды и самородное серебро).

Друзовидная текстура наблюдается среди каркасно-пластинчатого агрегата при заполнении полигональных пустот, в местах сочленения прожилков, в центре симметрично-полосчатых образований.

Брекчиевая текстура чаще встречается в виде сетчатых прожилков тонкозернистых агрегатов гидрослюдисто-кварцевого состава. Брекчиевые текстуры могут быть представлены обломками неизмененных и измененных вмещающих пород и ранними жильными образованиями. Эти образования связаны с проявлением тектонических подвижек, после которых происходит отложение новых минеральных парагенезисов, а сами брекчии являются внутрирудными. Брекчирование может быть как одноактным, так и многократным. В брекчиевой текстуре руд на месторождении Печальное обломки ороговикоманых алевролитов, сцементированы халцедоновидным кварцем и адуляром.

Массивная текстура часто встречается в жильных телах, которые имеют более или менее однородный внешний вид на больших участках и демонстрируют отсутствие полосчатости или других подобных особенностей. Массивные сульфидные руды встречаются в жильных телах месторождения Лунное (фиг. 6и), Дукат и других месторождениях Омсукчанской зоны.

Тонковкрапленная текстура встречена на многих эпитемальных месторождениях. Резко-градиентные условия их формирования препятствуют росту более-менее крупных зерен минералов. Руды месторождения Агатовское служат прекрасным примером тонкого характера

отложения рудных минералов в халцедоновидном кварце (белое — кварц, темное — сфалерит, светло-желтое — самородное золото), размер частиц 0.05–0.1 мм (фиг. 6м).

Комбинационная (композитная) текстура. В этом случае жила представляет собой “композитное” образование, в разных его участках отношение объемов кварца и включений вмещающих пород изменяется от 1 : 10 до 10 : 1 и в более широких пределах. Перечисленные выше “композитные” образования относятся к деформационным, содержат элементы кокардовой, друзовой и гребенчатой текстуры. В ряде жильных тел распространены брекчии, обломки в которых представлены кварцами ранних генераций, а цемент поздним метакolloидным кварцем. Так, сложно построенная текстура руды месторождения Ойра (фиг. 6т), связана с инъекцией вулканитов, разрушивших ранние рудные жилы, и с началом формирования нового колломорфного кварца, содержащего обломки из жил предыдущей стадии. Кроме того, отмечаются пострудные брекчии, в которых обломки вмещающих пород и кварцевых жил сцементированы карбонатом (анкеритом). Для рудоносных жил Печального месторождения характерны переходы от брекчиевой к пластинчато-каркасной и крустификационной текстурам (фиг. 6с).

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД

Минералогия руд изучалась в аншлифах на микроскопе AXIOPLAN Imaging. Химический состав определялся на электронно-зондовых микроанализаторах Camebax (аналитики Е.М. Горячева, Т.В. Субботникова) и QemScan (EVO50) с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа Quantax Esprit СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан, (аналитик О.Т. Соцкая). Статистические расчеты пробности самородного золота выполнены в программе GOLD (автор С.В. Прейс).

Факты, полученные при детальном минералогическом изучении вещества руд, последовательности образования минеральных ассоциаций, служат основой для построения геолого-генетических моделей месторождений, классификации их минеральных типов, выбора технологических схем обогащения руд, способствуют выработке поисковых критериев. Экзотические минералы, формы их выделений, сростания рудных минералов также представляют собой важную генетическую информацию.

Ниже приведен краткий анализ результатов минералогических исследований эпитермальных Au-Ag месторождений Охотского сектора ОЧВП. Характеристика основных минеральных парагенезисов приведена в табл. 1.

Самородное золото в рудах Au-Ag и Ag-Au эпитермальных месторождений Охотского сектора преимущественно тонкозернистое; установлены его сростания с широким кругом сульфидов Cu, Pb, Zn, Fe и сульфосолей и сульфоселенидов Ag. Формы выделений преимущественно ксеноморфные, в кварце – интерстициальные. Чаще других устанавливаются включения самородного золота в пирите (фиг. 7д). Отмечаются случаи идиоморфных выделений в кварце. Как правило, это микрокристаллы размером не более 50 мкм. Судя по сечению в аншлифах, это кубоктаэдры. Также встречаются сростки дендритовидных кристаллов (фиг. 7а), реже структуры, напоминающие распад твердого раствора, с аурустибитом (фиг. 7е).

Внутренние структуры самородного золота эпитермальных месторождений преимущественно зональные и хорошо выявляются структурным травлением. В случае метаморфизма руд появляются пятнистая неоднородность и структуры грануляции (раздвижение межзерновых границ) (фиг. 7б, г). Особенно наглядно это наблюдается в рентгеновских лучах (фиг. 7в).

В составе самородного золота эпитермальных месторождений традиционно устанавливается типоморфный круг микропримесей – Sb, As, Pb, Se, Hg не более десятых долей процента, реже эти содержания превышают 1 мас.%. Самородное золото месторождения Агатовского отличается примесью Zn (до 0.5 мас.%). Интересная особенность высокоселенистого золота (до 2 мас.% Se) – появление у самородного золота розоватого оттенка, подобного цвету нового минерала ауроселенида (AuSe).

Амальгамы как таковые в рудах изученных месторождений не установлены, но примеси Hg от десятых долей процента до 1–2 мас.% в низкопробном золоте отмечаются повсеместно, наряду с примесями Se. По нашим наблюдениям, максимальные примеси Hg устанавливаются в месторождениях с As-Sb геохимической специализацией руд (Эвенское). Высокие концентрации ртути в золоте установлены на месторождениях Роговик и Ороц (Савва, 2018).

Самородное золото в рудах эпитермальных месторождений Охотского сектора, как правило, характеризуется относительно низкой

пробностью и дисперсией этого показателя от средней до высокой (фиг. 8). При этом средние значения пробности редко превышают 700‰, обычные – 650–680‰, что характерно для этого генетического класса месторождений и в других регионах мира (Simmons et al., 2005).

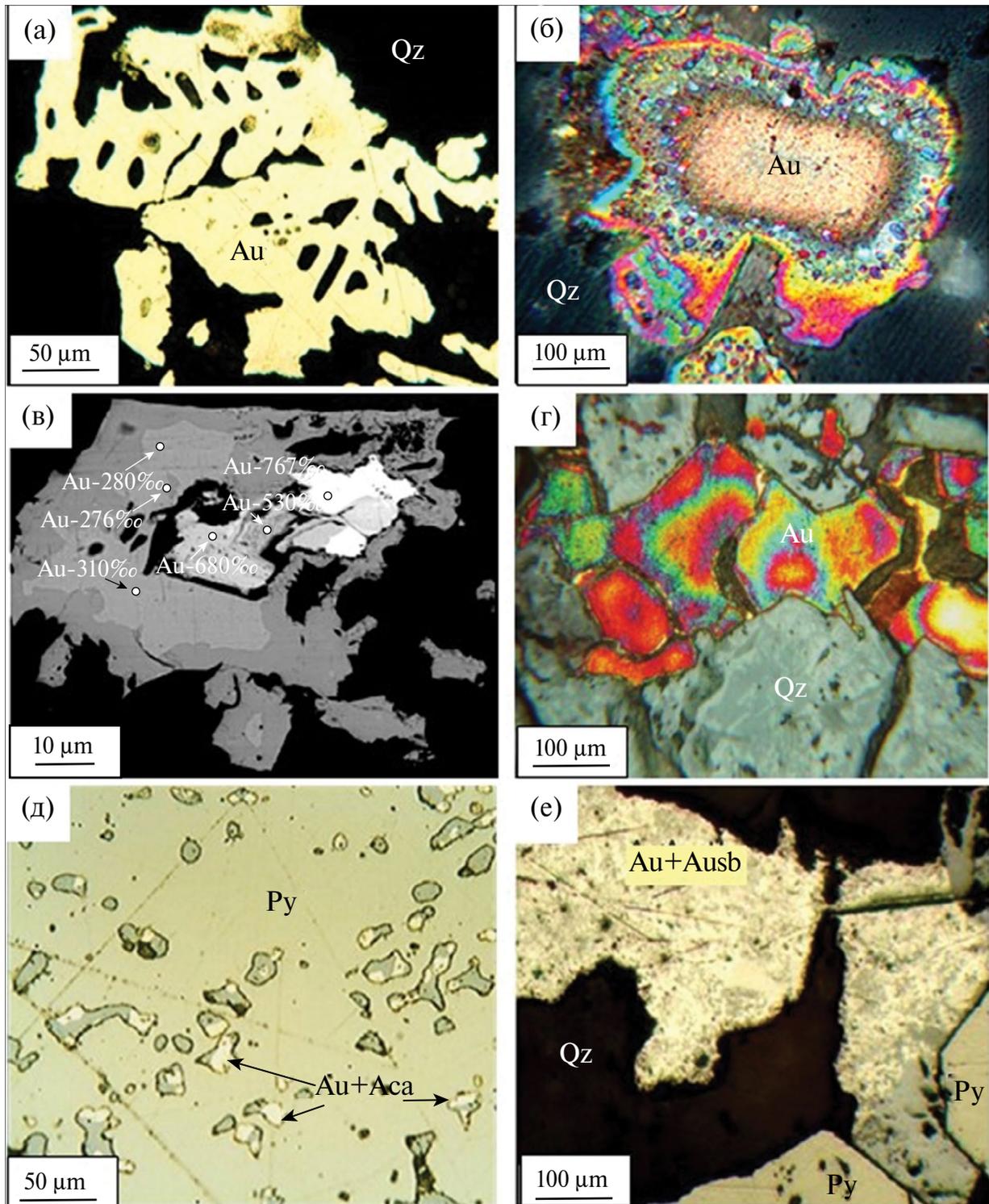
Важная особенность – развитие самородного золота с высокой дисперсией распределения пробности в полистадийных рудах месторождений Сопка Кварцевая, Улахан, Нявленга – от золотистого серебра до высокоробного золота (см. фиг. 8).

Влияние интрузивного магматизма приводит к метаморфизму руд, повышая степень их дифференцированности – месторождения Омсукчанской зоны, Нявленга, Джульетта, что отражается в распределении пробности золота (см. фиг. 8).

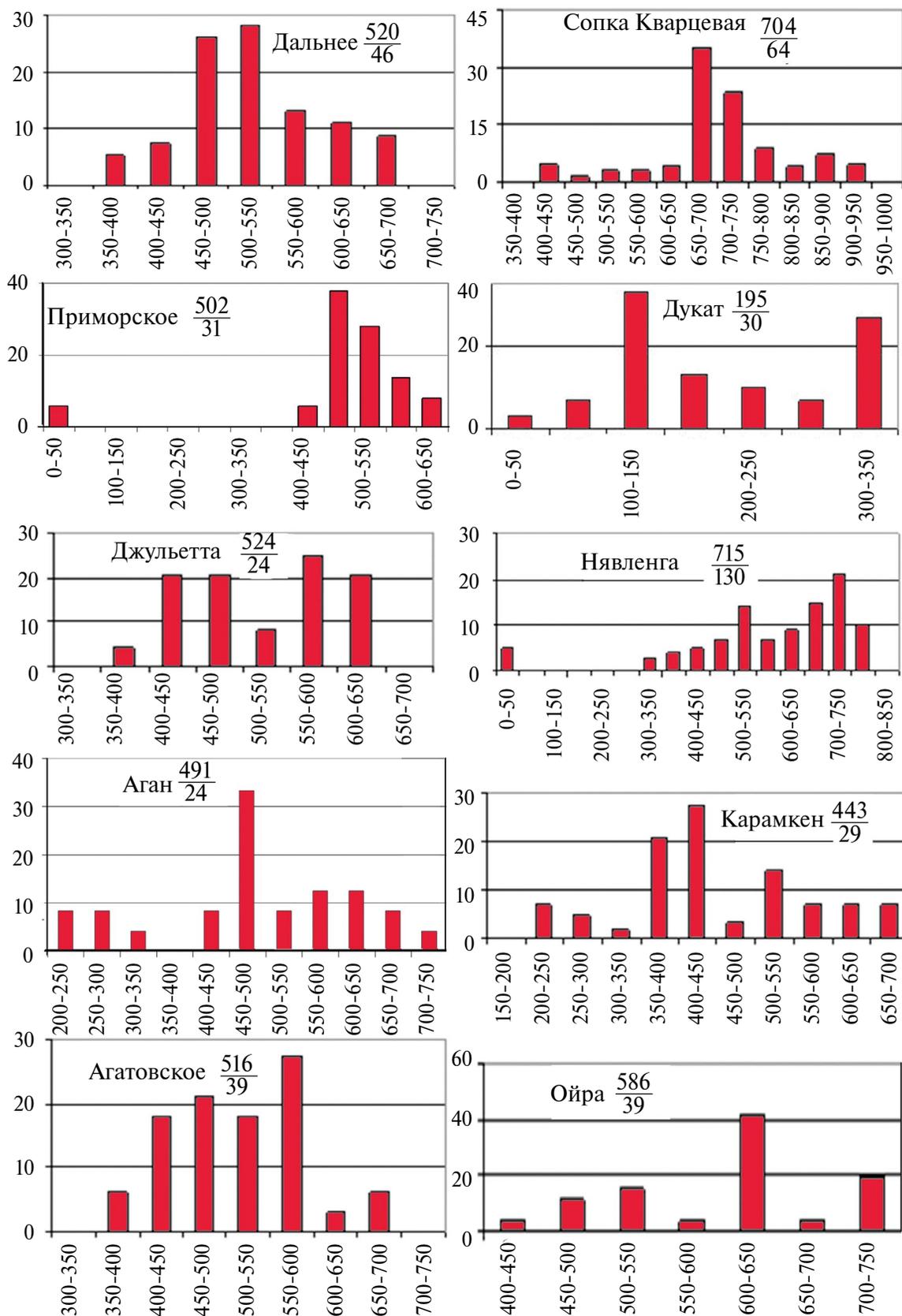
Самородное серебро присутствует в значительных количествах в полисульфидных рудах месторождений (Дукат, Лунное, Колхида, Нявленга, Джульетта), где сростается с кварцем, кальцитом, блеклой рудой, акантитом, галенитом, халькопиритом, сфалеритом, пиритом, серебро-сурьмяными сульфосолями и селенидами серебра. По составу самородное серебро в рудах достаточно редко содержит микропримеси. Обычно они соответствуют элементам тех металлов, с минералами которых сростается серебро – Sb, As, Fe, Au, S, Cu. Количество примесей не превышает 0.1–0.2 мас.%. В самородном серебре ранних парагенезисов постоянно присутствуют примеси Au, Sb, Cu, Fe, S, а регенерированное серебро отличается высокой химической чистотой.

Наиболее широко самородное серебро распространено в рудах гигантского серебряного месторождения Дукат и второго по запасам в ОМЗ – месторождения Лунное и Джульетта. В друзовых пустотах жильных тел этих месторождений встречаются проволоковидные и монокристалльные обособления (фиг. 9а). Вес наиболее крупного самородка серебра Дуката составил 1.2 кг (фиг. 9б).

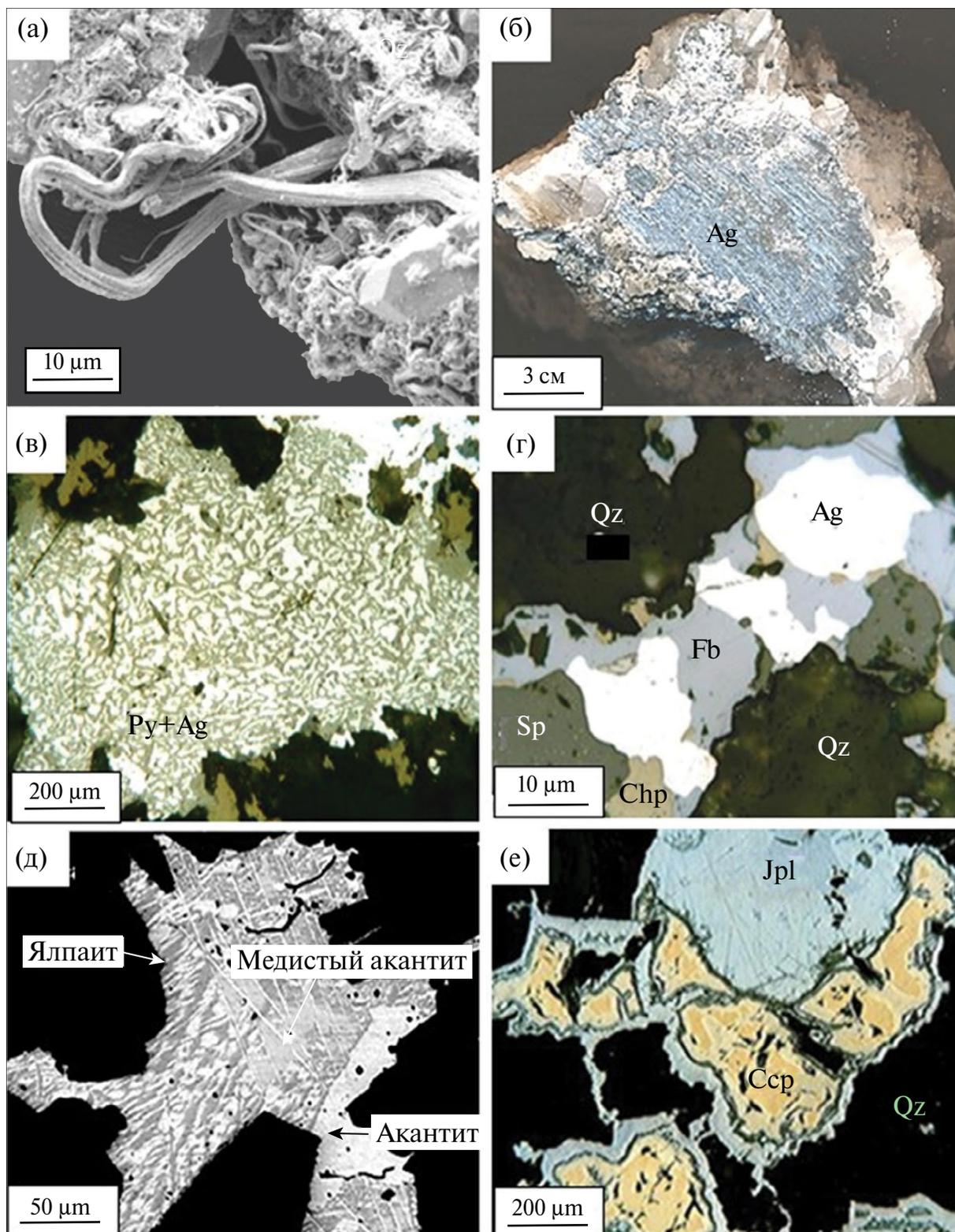
При разведке месторождения Дукат на участке Смелом был вскрыт занорыш, в котором оказалось 2.7 кг самородного серебра. В рудах часто встречаются мирмекитоподобные (петельчатые) сростания самородного серебра с сульфидами железа цинка и меди. В отдельных кристаллах пирита эмульсия самородного серебра занимает до 80% матрицы (фиг. 9в).



Фиг. 7. Самородное золото Охотского сектора ОЧВП: а – дендритовидное самородное золото Агатовского месторождения; б – зональное строение и пятнистая неоднородность самородного золота проявления Улахан (Янский), травление $\text{HCl} + \text{CrO}_3$; в – ксеноморфное выделение с зональным строением и неоднородностью по составу (месторождение Сопка Кварцевая), в отраженных электронах; г – зональное строение и раздвижение межзерновых границ в самородном золоте проявления Улахан (Янский), травление $\text{HCl} + \text{CrO}_3$; д – включения самородного золота в сростании с акантитом в пирите, месторождение Тихое (Иваньинская структура); е – тесное сростание самородного золота с ауристибитом (проявление Энгтери).



Фиг. 8. Гистограммы пробности самородного золота эпитермальных месторождений Охотского сектора: по оси абсцисс – интервалы пробности, ‰; по оси ординат – частота встречаемости, ‰; в числителе – среднее значение пробности, ‰; в знаменателе количество измерений.



Фиг. 9. Минеральные сростания в рудах месторождений Охотского сектора ОЧВП: а – волокнистое самородное серебро в занорышах кварц-карбонатных жил (месторождение Джульгетта), снято в отраженных электронах; б – самородок серебра месторождения Дукат в срезе (штрихи следы распила); в – мирмекитоподобное сростание самородного серебра с пиритом (месторождение Лунное); г – сростание фрейбергита с самородным серебром (месторождение Нявленга); д–е – медистые фазы минералов серебра в рудах месторождения Приморское (д – в характеристических рентгеновских лучах, е – в отраженном свете).

С акантитом самородное серебро срastается незакономерно, образуя пятнистые включения размером до 3 мм и каймы. На поверхности зерен акантита встречаются октаэдрические кристаллы самородного Ag с размером грани до 5 мм, проволоковидные, спутанно-волоконистые выделения и объемные дендриты. В “занорышах” размером до 20 см в поперечнике наряду с самородным серебром отмечаются и гроздевидные выделения акантита. Из одного такого занорыша на месторождении Дукал было извлечено 2.7 кг самородного серебра.

В рудах месторождения Джульетта встречены многочисленные срastания тонковолокнистого самородного серебра и фрейбергита в друзовых пустотах совместно с гребенчатым кальцитом заключительной стадии рудообразования. Тонкие волокна самородного серебра имеют диаметр десятые доли микрона, в месте срastания с фрейбергитом стабильно содержат Sb – 3.7–3.8 мас.%, с небольшими фоновыми (0.1–0.3 мас.%) концентрациями Cu, Fe, Zn, S, в то время как в сростках с кальцитом они обладают обычной кристаллической структурой и практически стерильны от примесей.

Блеклые руды встречены почти во всех месторождениях Охотского сектора. На ряде месторождений они – одни из главных составляющих серебряных руд, а в высококонцентрированных рудах с широким спектром сульфoантимонидов серебра могут быть связаны с несколькими последовательными парагенезисами. Это в большинстве случаев сурьмяные блеклые руды, реже – сурьмяно-мышьяковые с примесью As от 2.0 до 11.6 мас.% (Джульетта). Срastания высокосеребристых блеклых руд с самородным серебром отмечаются на месторождении Нявленга (фиг. 7г). Концентрации серебра в блеклых рудах варьируют в широких пределах – от первых процентов до 61 мас.% (Арыллах, ОМЗ). Примеси Pb и Cd отмечаются в блеклых рудах спорадически, не превышают первых процентов и не всегда включались в перечень анализируемых элементов. В изученных месторождениях выделяются следующие разновидности блеклых руд: Ag-Zn теннантит-тетраэдрит, Fe и Fe-Zn аргентотетраэдрит, Fe и Fe-Zn фрейбергит, причем к последнему (Ag > 22.0 мас.%) относится почти половина проведенных анализов (Савва, 2018).

Для месторождений Эвенской группы (Неверенкан, Сопка Кварцевая, Дальнее, Ирбычан, Ороч и Au-Ag рудопроявления Красная Сопка, Тэн, Торок, Альдыгич, Старт, Сурьма)

характерна Cu-As и Sn – металлогеническая специализация, которая отражается и в особенностях минерального состава руд: повышенные концентрации Cu и As достигают в акантите до 4.18 мас.% Cu; и до 3.0 мас.% As – биллингслейт, мышьяковистые блеклые руды, а также установлен золотосодержащий полибазит-пирсеит (Au до 10 мас.%).

Расположенное к западу от Сопки Кварцевой месторождение Неверенкан, имеет оловянную специализацию – в рудах присутствуют канфилдит и другие Ag-Sn минеральные фазы, что безусловно связано с оловоносным гранитоидным магматизмом (Приеменко и др., 2022).

Месторождениям ОМЗ (Арыллах, Гольцовское, Дукал, Ирча, Мечта, Тидид) присущи наиболее серебристые (Ag/Cu = 5.4) и сравнительно высокосурьмянистые (Sb/As = 226.5) разновидности блеклых руд. В то же время для них характерна относительно низкая железистость (Fe/Zn = 8.3).

В месторождениях Джугаджакской и Нявленгинской ВТД (Джульетта, Приморское, Няленга и др.) преобладают сложные сульфосоли Cu-Fe-Sb и Cu-Ag сульфиды – ялпаит, штрмейерит, маккинстриит (фиг. 9д, е), а также медистые разновидности акантита, стефанита, пираргирита (Cu 0.5–4.0 мас.%). Из подстилающих терригенных толщ верхоянского комплекса, специализированных на Au и As, происходит частичная мобилизация этих металлов, обеспечивающих повышенную мышьяковистость руд за счет образования мышьяковистых минералов Ag – акантита (As до 3.4–3.7 мас.%), полибазита, мышьяковистых блеклых руд.

Блеклым рудам месторождений Джульетта и Нявленга присущи более высокие концентрации серебра (Ag/Cu = 2.8) и железа (Fe/Zn = 26.6). По соотношению железа и цинка блеклые руды сходны только с рудами месторождений Центрально-Чукотской металлогенической зоны. Указанные соотношения металлов типичны для блеклых руд и других месторождений Центральной части Охотского сектора.

Акантит (Ag₂S) широко распространен в рудах эпitherмальных месторождений Охотского сектора. Высокие концентрации минерала характерны для месторождений с метаморфизованными рудами (Дукал, Няленга, Приморское и др.). Такие месторождения можно отнести к акантитовому или серебро-акантитовому минеральному типу (аргентитовому, по А.А. Сидорову, 1979). Акантит хорошо сохраняется в гипергенных условиях и накапливается

в надрудных зонах, образуя локальные аномалии Ag с концентрациями, превышающими его содержания в рудах, что может быть использовано в качестве поискового критерия.

Состав микропримесей в акантите отражает геохимические особенности среды рудообразования. На ряде месторождений (Нявленга, Джульетта, Ойра) встречены разновидности с содержаниями Cu от 0.5 до 3.1 мас.%. На месторождении Джульетта, кроме того, выявлена мышьяковистая разновидность с содержанием As до 3.4 мас.%. На месторождении Утесное выявлен ртутистый акантит в ассоциации с ртутистым селеностефанитом (Савва, 2018).

В рудах месторождения Приморское установлены графические структуры распада твердого раствора ялпаит – медистый акантит в сростании с обычным акантитом и высокомедистым ютенбогаардтитом (фиг. 9д); а в рудах месторождения Аган широко развит железистый акантит в сростании со штернбергитом. Минералы руд месторождений Утесное и Финиш, расположенных на восточном замыкании ВТД, содержат примесь Cu, а концентрация последнего в акантите может достигать 7.2 мас.% (Савва, 2018). Селенистый акантит и другие минералы селена (агвиларит, науманнит) установлены на большинстве месторождений Охотского сектора: Джульетта, Нявленга, Сопка Кварцевая и др.

Минералы групп Cu-Ag-S и Fe-Ag-S характерны для месторождений с прогрессивным рудообразованием (Сидоров, Гончаров, 1979). Руды раннего этапа этих месторождений подвергаются термометаморфизму при внедрении пострудных интрузий и реювенации. В результате происходит вынос Sb и As, и привнос Cu либо Fe, а также концентрирование Ag не в сульфосолях, а в так называемых, серебряных колчеданах (Савва и др., 2016).

На месторождениях *Нявленга* и *Приморское*, при внедрении порфировых интрузий в рудах образуется широкий спектр минералов группы Cu-Ag-S – штроеерит, ялпаит, маккинстриит, медистым акантитом (Cu 1.45–7.78 мас.%) и Fe-Ag-S – штернбергит, ленаит, аргентопирит, которые считаются малораспространенными. Эти руды отличаются от руд обычных месторождений чрезвычайно низкими концентрациями Sb и As и отсутствием сульфосолей.

На месторождении *Приморское* высокие температуры, сопровождающие внедрение порфировой интрузии, привели к эпидотизации, актинолитизации вмещающих пород, а также к отложению,

кроме Cu-Ag-S минералов, Bi-содержащего галенита и матильдита (Савва и др., 2019).

Сульфосоли (Ag, Sb, As, Sn) широко представлены в рудах месторождений Охотского сектора.

Полибазит на месторождении Джульетта образует промышленные скопления; тесно сростается со стефанитом, пирсеитом, галенитом и сфалеритом. Размеры его обособлений достигают 7 мм. Кроме Джульетты, в заметных количествах встречен в рудах месторождений Сопка Кварцевая и Дальнее.

Миаргирит широко развит в рудах месторождений Гольцовое, Мечта, Тидид (ОМЗ). В большинстве случаев занимает интерстициальное положение в кварце. Сростается с блеклой рудой реже с полибазитом. Во многих случаях содержит примесь селена.

Пираргирит и прустит встречены в рудах серебряных месторождений ОМЗ и месторождения Джульетта. Заметные количества прустита выявлены в рудах месторождений Сопка Кварцевая и Аган. Обычно Пираргирит и прустит имеют довольно постоянный состав, в отдельных случаях (месторождение Ойра) пираргирит содержит примесь Cu до 1.5 мас.% (Савва, 2018).

Стефанит и селеностефанит установлены в рудах месторождений Аган, Утесное, Финиш и Джульетта. Минерал также выявлен в Sn-содержащих месторождениях серебра (Тидид, Мечта, Гольцовское, Лунное). Впервые на Северо-Востоке России **селенистый стефанит** был установлен в рудах Карамкена (Некрасова и др., 1979). Дальнейшее изучение показало, что примесь селена типична и для стефанита в рудах других месторождений Охотского сектора. В селенистом стефаните (Se до 4.1 мас.%) в рудах месторождения Джульетта установлены примеси: Cu – до 6.2, Fe – до 0.8, As до 0.2 мас.% (Савва, 2018). На месторождении Утесное в Карамкенском рудном районе, наряду с обычным селеностефанитом установлена высокоселенистая фаза с концентрацией Se от 17 до 19 мас.%, что позволяет рассчитать формулу – $Ag_4(Se/Sb)(Se,S)_3$.

Теллуриды. Редкие ареалы развития **теллуридов Ag** известны на месторождениях внешнего обрамления ОЧВП. Среди теллуридов Ag преобладает гессит – наиболее поздний минерал в полисульфидных парагенезисах месторождений Эвенское, Агатовское, Карамкен, Финиш и др. Обычно если в рудах, наряду с теллуридами, присутствуют селениды, то они пространственно разобщены: теллуриды отлагаются на нижних горизонтах, а селениды – на верхних (Савва, 2018).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Микротермометрические исследования индивидуальных флюидных включений (ФВ) на современном аппаратурном уровне были выполнены с достаточной детальностью для 7 месторождений Охотского сектора ОЧВП (табл. 2). Результаты микротермометрических исследований более 600 индивидуальных флюидных включений в кварце из руд эпитермальных месторождений приведены в табл. 2 и на фиг. 10.

Выполненные исследования показали, что параметры и состав флюидов месторождений разных частей Охотского сектора в целом близки, однако, имеют и некоторые отличия.

Температуры гомогенизации включений минералообразующих флюидов месторождений *восточной части Охотского сектора ОЧВП* (см. фиг. 10) изменяются от 205 до 355 °С, соленость составляет 0.4–2.9 мас.% экв. NaCl (см. фиг. 10а), плотность флюида 0.57–0.87 г/см³. Флюидное давление достигает 20–170 бар (см. табл. 2).

Температуры гомогенизации ФВ в минералах из руд месторождений *Омсукчанской зоны* составляют от 90 до 435 °С, соленость изменяется в пределах 0.1–41.0 мас.% экв. NaCl (см. фиг. 10б),

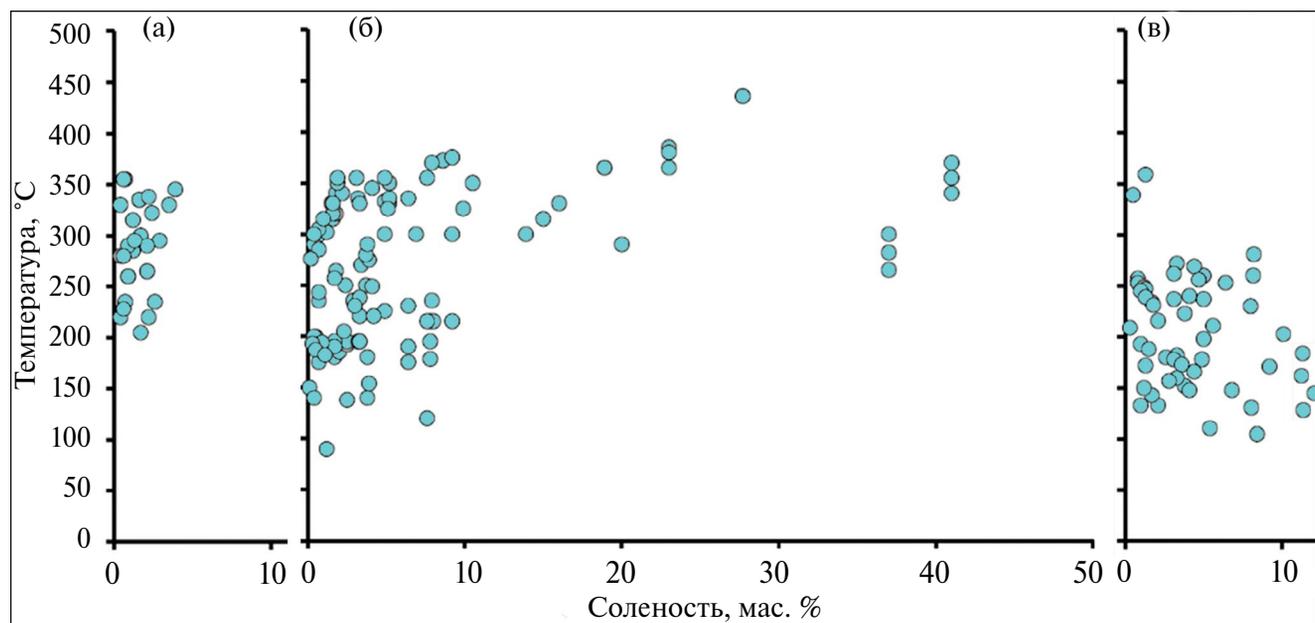
плотность флюида – 0.63–1.11 г/см³, оценки флюидного давления – 15–170 бар (см. табл. 2).

Следует отметить, что для месторождения Дукат известны и более высокие величины температур, солености и давлений флюида, однако все они связаны с родонитовой минерализацией, наложенной на эпитермальные руды (Берман и др., 1993).

Температуры гомогенизации ФВ, содержащих минералообразующие флюиды, в кварце месторождений центральной части Охотского сектора меняются от 105 до 359 °С, величины солености достигают 0.3–12.7 мас.% экв. NaCl, плотность флюида находится в интервале 0.56–1.01 г/см³, оценки флюидного давления 150 бар (см. фиг. 10в, табл. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований эпитермальных Au-Ag месторождений Охотского сектора ОЧВП позволяют сделать следующие выводы. Большинство эпитермальных Au-Ag месторождений сектора (восточной, центральной и западной его части), за исключением Омсукчанской металлогенической зоны, обладают сходными рудовмещающими породами, интрузивным магматизмом, металлогеническим окружением,



Фиг. 10. Диаграммы температура–соленость для минералообразующего флюида эпитермальной минерализации Охотского сектора ОЧВП.

а – Восточная часть Охотского сектора ОЧВП; б – Омсукчанская металлогеническая зона; в – Центральная часть Охотского сектора ОЧВП.

Таблица 2. Параметры рудообразующих флюидов некоторых эпитермальных месторождений Охотского сектора

Месторождение	Физико-химические параметры флюидов					Литература
	T, °C	C*, мас. %	d, г/см ³	P, бар	Состав**	
Восточная часть Охотского сектора						
Сопка Кварцевая	220–355 (11)	0.6–2.1	0.57–0.86	–	H ₂ O	Кравцова и др., 2003
Дальнее	205–355 (17)	0.4–2.9	0.59–0.87	20–170 (13)	H ₂ O	Кравцова, 2010
Омукчанская металлогеническая зона						
Дукат	200–360 (6)	2.5–2.8	0.63–0.88	90–600 (2)	H ₂ O	Берман и др., 1993
Дукат	155–435 (34)	0.1–41.0	–	–	H ₂ O	Кравцова, 2010
Дукат	185–435 (23)	0.6–37.0	0.64–1.11	–	H ₂ O	Кравцова и др., 2003
Роговик	90–300 (20)	0.1–10.5	0.77–1.00	–	CO ₂ +CH ₄ +H ₂ +H ₂ O	Zhuravkova et al., 2017
Гольцовое	138–276 (16)	0.4–4.3	0.74–0.95	–	H ₂ O	Савва и др., 2021
Приморское	120–365 (13)	0.35–3.38	0.6–0.9	100	H ₂ O	Савва и др., 2019
Центральная часть Охотского сектора						
Джультга	133–211 (8)	1.0–5.6	0.85–0.97	–	H ₂ O	Прокофьев и др., 2015
Тихое	105–260 (11)	0.8–9.2	0.82–1.01	–	H ₂ O	Волков и др., 2016
Энтери	125–255°(10)	5.7–12.7	–	150	H ₂ O	Обушков и др., 2010
Нявлента	157–359 (33)	0.3–8.2	0.56–0.93	–	H ₂ O	Волков и др., 2014 _г
Аган	88–184 (6)	0.18–2.57	–	–	H ₂ O	Волков и др., 2015
Агатовское	206–231 (9)	3.7–6.0	0.88–0.89	–	H ₂ O	Сидоров и др., 2011

Примечание. * – солёность флюида, выраженная в мас. % экв. NaCl; ** – состав газовой фазы флюидных включений. В скобках указано количество определений.

текстурами руд, минеральным составом и физико-химическими параметрами минералообразующих флюидов, что свидетельствует о сходных обстановках их формирования и источниках рудного вещества. В фундаменте большинства рудовмещающих ВТД преобладают юрские черносланцевые терригенные толщи верхоянского комплекса.

Повышенная мышьяковистость и селенистость эпитермальных Au-Ag руд месторождений Охотского сектора ОЧВП, весьма вероятно, унаследованы от вулканоструктур, обогащенных As и Se черносланцевого фундамента (Савва, 2005; 2018). Не меньшее влияние на минералогию руд месторождений оказывают разнообразие интрузивные породы вулканоструктур, характеризующиеся определенным типом геохимической специализации (Cu-Mo или Sn-W-Bi-Te), из которых эти элементы также могли быть переотложены в эпитермальные руды.

Отложение минералов селена на заключительных стадиях процесса рудообразования, вероятнее всего, связано с резким падением активности серы. В условиях низкого давления селен легко вступает в реакции с серебром, а при высокой концентрации этот элемент способен заместить S в сульфидах, следовательно, в ряде случаев можно предполагать вынос Se из черносланцевых подстилающих толщ и отложение Se в эпитермальных Au-Ag рудах, при формировании ВТД. Этим объясняется то, что в ряде месторождений ОМЗ, таких как Дукат, Тидид, Гольцовое, Мечта, селенистых минеральных фаз и собственных минералов Se исключительно мало, поскольку сульфидность руд в них достигает 50% (Савва, 2005).

В связи с обработкой основных запасов большинства месторождений Охотского сектора и незначительной распространенностью в рудах эксплуатируемых месторождений, извлечение Te и Se, как попутных продуктов представляется нецелесообразным.

Высокая сереброносность месторождений ОМЗ, весьма вероятно, обусловлена аномальным строением земной коры фундамента Балыгычано-Сугойского вулканопрогиба (см. фиг. 3). Сейсмический разрез отрезка геофизического профиля 2-ДВ, пересекающий ОМЗ, показывает, что отчетливые сейсмические отражения установлены только в интервале 0–7 км от поверхности, а 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).

Наличие зоны “сейсмической прозрачности” под уникальной по рудоносному потенциалу структурой ОЧВП предполагает переработку материала земной коры в результате корово-мантийного флюидного взаимодействия. Известно, что в рифтогенных зонах происходит подъем нагретого мантийного материала, проникающего вглубь земной коры. Многократно повторяющиеся при этом вулканические извержения и плутонические инъекции приводят к “перемешиванию” корового и мантийного вещества, а гетерогенность его источников создает благоприятные условия для пространственного совмещения магматических образований с различной металлогенической специализацией. Результатом этого стало широкое развитие в ОМЗ комплексных Ag-Au и Ag-полиметаллических эпитермальных месторождений, а также многократное отложение серебра в их рудах.

Внутреннее строение жил эпитермальных месторождений Охотского сектора ОЧВП, попадающее под понятие “текстура”, открывает путь к выяснению их происхождения. “В текстурном узоре отражены не только черты парагенезиса, пишет Ф.Н. Шахов (1961), но и формы рудных тел, а также структура рудного поля”. Проведенные исследования показали, что текстуры руд Охотского сектора разнообразны (фиг. 4) и в целом относятся к группе текстур “выполнения” (Шахов, 1961).

В связи с высокой скоростью остывания, в жилах отмечается значительное количество халцедоновидного и скрытокристаллического (коломорфного) кварца, мелкие выделения рудных минералов. Пульсации фиксируются в виде ритмично-полосчатой текстуры, а к образованию брекчий приводят не только тектонические подвижки и деформации, но и дополнительные вулканические инъекции. При недостаточном количестве кварца в жилах могут возникать пустоты (карманы, занорыши), в которых формируются друзовые и пластинчато-каркасные образования, содержащие поздние жильные и рудные минералы.

Механизм формирования каркасно-пластинчатой текстуры во многом дискусионен и объясняется разными причинами. По данным Н.В. Петровской (Петровская, 1961), каркасно-пластинчатые текстуры в жилах Балейского месторождения формировались в результате раскристаллизации поликомпонентных гелей,

затравками пластинок служили ранние кальциевые пластинчатые образования, позднее замещенные кремнеземом. Другие исследователи полагают, что такой процесс образования рассматриваемой текстуры не может быть признан удовлетворительным по целому ряду причин: во-первых, прямолинейные пластины в ряде случаев сменяются криволинейными фестончатыми (см. фиг. 6с) и переходят в гребенчатые и ритмично-полосчатые кокардовые текстуры, во-вторых, часто обнаруживается катакластическая природа пластинок; они пересекают друг друга и обломки вмещающих пород (Сидоров, 1998).

Для фрагментов жил с пластинчато-каркасной и крустификационной текстурами обычны пустоты, которые часто выполняются крупными друзами кварца, кристаллы которого достигают нескольких см, или уникальными кварцевыми розами или сложными кораллоподобными, ветвистыми образованиями (фиг. 11).

Формирование последних возможно в результате постепенной кристаллизации из насыщенных коллоидных растворов. Крустификационная и кокардовая текстуры жильных тел также указывают на пульсационный процесс рудообразования. Кокардовая и кокардово-овоидная текстура может образоваться только в том случае, когда рудные растворы свободно циркулируют по открытым полостям. Эти текстуры являются показателем образования руд на малых глубинах при незначительном давлении. При магматической активизации в области уже сформированных эпитеpmальных месторождений за счет перекристаллизации в условиях термометаморфизма руд возникают гигантозернистые текстуры.



Фиг. 11. Фрагмент продуктивной жилы с пластинчато-каркасной текстурой кварца в пустотном кармане (месторождение Финиш, Арманская ВТД).

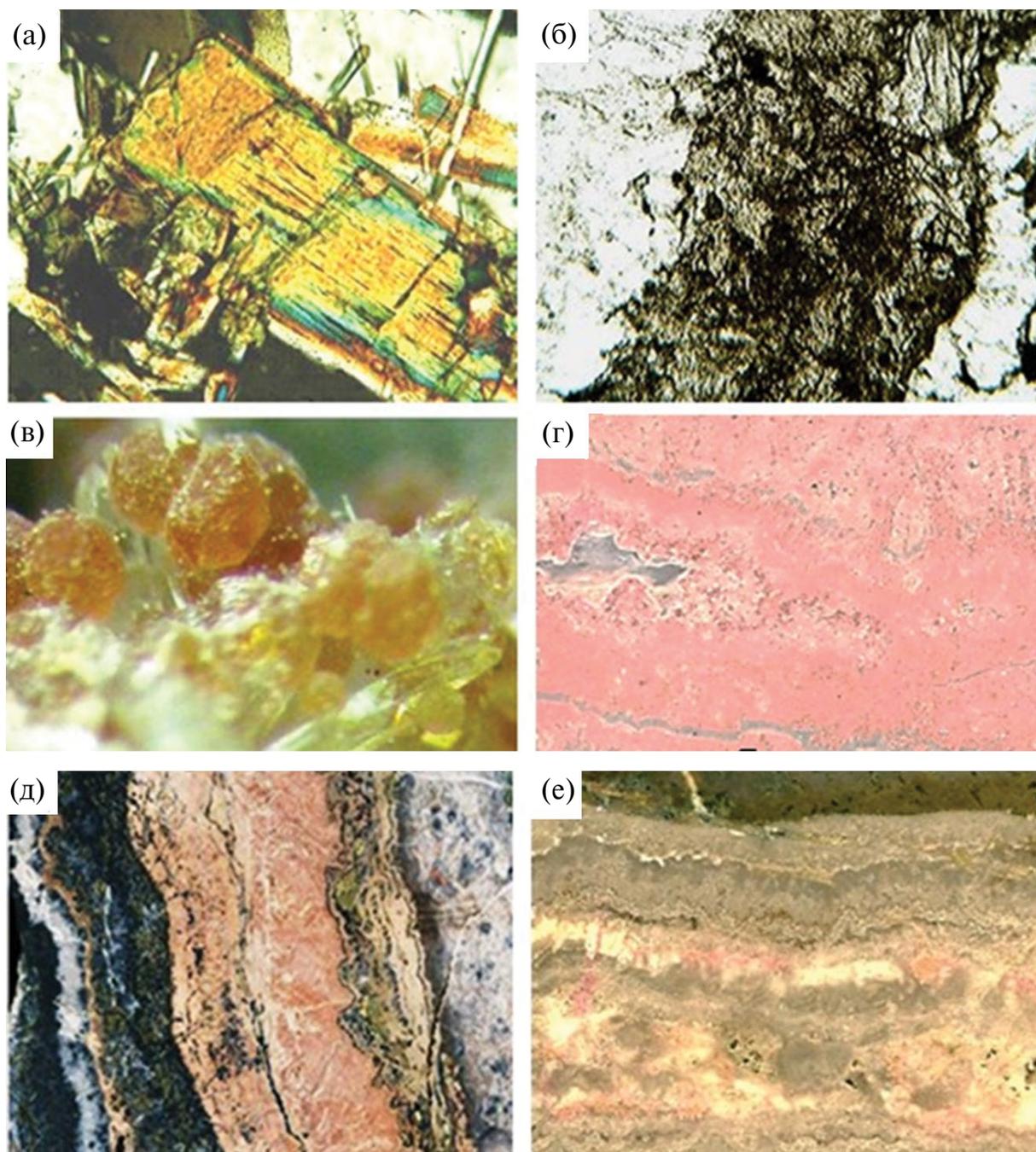
Таким образом, жильные тела эпитеpmальных месторождений Охотского сектора ОЧВП представляют собой в конечном итоге результат как активной дезинтеграции вмещающей породы жильным веществом, одновременно проникающим по многим трещинам, раскрывая их на первом этапе, так и выполнения свободного пространства в трещинах отрыва, образующихся на втором этапе.

Большое влияние на состав минералов и их сростаний в эпитеpmальных рудах месторождений Охотского сектора (Дукат, Приморское, Джульетта, Нявленга и др.) оказывал также термометаморфизм вулканогенных руд раннего этапа и связанный с ним процесс перераспределения и переотложения рудного вещества, а также образование скарноидных ассоциаций. Дифференциацию и локальное концентрирование золота и серебра, связанное с термальным и динамотермальным метаморфизмом, можно рассматривать как природное обогащение руд в эпитеpmальных месторождениях. При наложении высокотемпературных процессов происходит вынос Sb и перераспределение Ag с отложением преимущественно акантита и самородного серебра. Последние в конечном итоге определяют минеральный тип месторождений.

Скарноидные ассоциации наиболее широко представлены на месторождениях ОМЗ (Дукат, Лунное, Приморское и др.), в рудных телах которых широко развиты гранат-родонит-эпидотовая (фиг. 12), а на Дукате, кроме того, и гельвин-гранатовая ассоциации (фиг. 12в).

На месторождении Приморское (южный фланг ОМЗ, см. фиг. 1) высокотемпературный метаморфизм ранних эпитеpmальных жил связан с внедрением гранитоидной интрузии Температуры гомогенизации ФВ в кварце этого этапа варьируют в широком диапазоне от 120–347 °С и достигали 434 °С (Стружков, Константинов, 2005). В результате образуются хлорит-эпидотовые с актинолитом (фиг. 12а) средне-высокотемпературные фации околорудных метасоматитов, а в рудных телах — гранат-магнетит-родонит-эпидотовая минерализация (фиг. 12б).

В результате термального метаморфизма, обусловленного внедрением субщелочных гранитов (вскрытых скважинами на глубинах 100–150 м) в рудах месторождения Нявленга получили широкое развитие: пятнистые, массивные и прожилковые текстуры, Ag-Cu-Mo минерализация. Преобладает (83%) самородная форма нахождения Ag. Из метасоматических минералов присутствуют: хлорит, эпидот, актинолит, гранат,



Фиг. 12. Скарноидные парагенезисы в рудах Au-Ag и Ag месторождений Охотского сектора ОЧВП. а – хлорит-эпидотовые метасоматиты (месторождение Приморское); б – гранат-магнетит-родонит-эпидотовая минерализация (Приморское); в – геливин-гранатовая ассоциация (Дукат); г – родонит-родохрозитовая ассоциация (Дукат); д – родонит-бустамитовая ассоциация (Лунное); е – розовый эпидот, пьемонит (Ойра).

магнетит, пирофиллит, периклаз, скорцолит и др.; встречаются признаки перекристаллизации как жильных, так и рудных минералов, в том числе самородного Au и Ag. На месторождении Нявленга термальный метаморфизм значительно увеличил мощность рудных тел, обусловил концентрацию золота и серебра в рудные столбы,

что способствовало облегчению извлечения из руд Au и Ag. На месторождении Ойра высокотемпературные фации метасоматитов появляются в связи с пострудным внедрением дайки базальтов, а в рудах присутствуют эпидот и родонит. Здесь розовый марганцовистый эпидот – пьемонит ассоциирует с адуляром (фиг. 12е).

Перечисленные выше примеры показывают, что с термальным метаморфизмом ранних Au-Ag руд связано перераспределение и дифференциация минерального вещества, которая сопровождается, с одной стороны, увеличением спектра минеральных видов, “чуждых” для эпитеpmальных месторождений (см. фиг. 12), с другой – локальным концентрированием металлов. Последнее можно рассматривать как природное обогащение руд, которое в конечном итоге приводит к образованию рудных столбов (бонанц). Для слабо дифференцированных Au-Ag-руд характерны фрейбергитовый и мларгиритовый минеральные типы; для умеренно дифференцированных – пираргиритовый, полибазитовый, стефанитовый; для высоко дифференцированных – Ag-акантитовый.

Отметим, что по простиранию ОМЗ (в северном направлении) последовательно возрастает сульфидность руд эпитеpmальных месторождений. Руды месторождения Приморское, расположенного на южном фланге ОМЗ, характеризуются пониженной сульфидностью (1–2%), а также примесью Mn, V и As. В них обнаружен Cu-пираргирит и Cu-акантит (с Cu до 1.7 мас.%), что, по-видимому, отражает металлогеническую специализацию УМВП, который здесь отчетливо перекрывается вулканитами ОЧВП (Савва и др., 2019). Далее в месторождениях Гольцовое, Дукат, Перевальное, Тидид, Арыллах и Лунное сульфидность руд существенно возрастает, кроме того, появляются Sn-содержащие минералы – канфилдит и окартит.

Минералогические особенности руд месторождения Джульетта и его сателлитов: высокая сульфидность руд (>10%); широкое развитие полиметаллических сульфидов и высокие средние содержания золота и серебра (29 и 360 г/т соответственно) также могли быть обусловлены принадлежностью этих рудных объектов к УМВП, имеющему Cu-Mo металлогеническую специализацию.

Месторождения Арманской ВТС пространственно ассоциируют с многофазными (оловоносными) интрузиями. На западном фланге ВТД, в существенно “золотых” рудах Au-Ag месторождения Карамкен появляется Ag-Se-содержащий канфилдит; кроме того, установлен касситерит в кварцевых прожилках и в виде включений в канфилдите, где он содержит примеси Fe, Ag, Ge, а в самородном золоте концентрации Sn достигают 0.47 мас.% (Брызгалов, 2001). На соседнем с Карамкеном

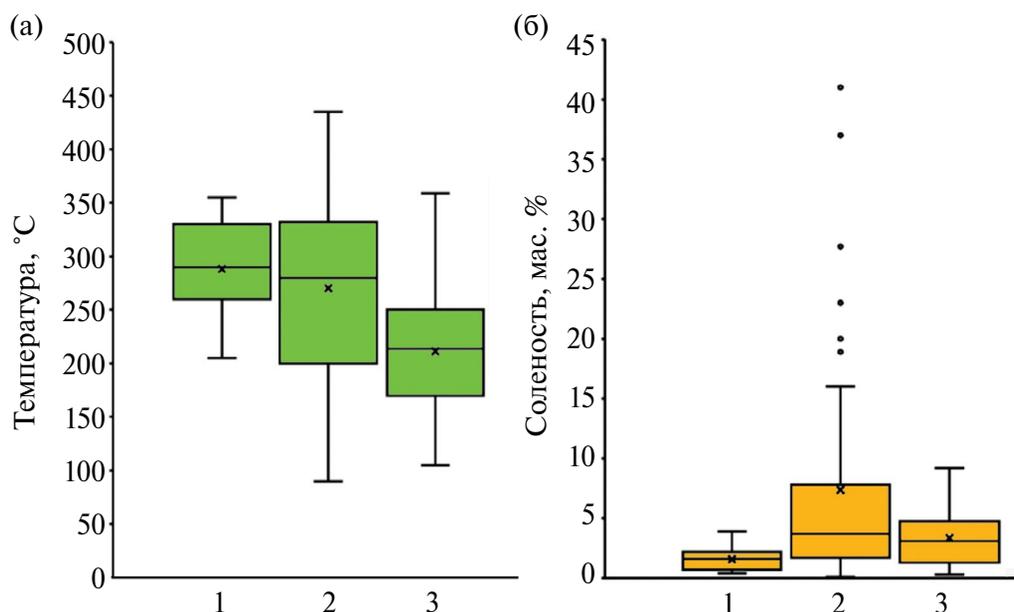
месторождении Аган также установлен канфилдит (Волков и др., 2015). Севернее, за пределами ВТД, известно касситерит-сульфидное Ag-Sn месторождение Хета (Пляшкевич, 2002). В сторону континента, в месторождениях этой части Охотского сектора, как и в объектах ОМЗ, наблюдается появление Sn-содержащих парагенезисов и повышение сульфидности руд. Так, сульфидность руд месторождения Карамкен не превышает 3%, а в агатовских рудах она достигает 20–30%, в среднем – 10–15%.

В результате минералогических исследований большинство эпитеpmальных Au-Ag месторождений Охотского сектора, как и чукотской части ОЧВП (Бортников и др., 2022), можно отнести к Se-подтипу (см. табл. 1). На ряде месторождений (Карамкен, Бургагылкан, Ойра и др.) в рудах присутствуют как селен-, так и теллур-содержащие минералы. Однако теллуриды в эпитеpmальных Au-Ag месторождениях Охотского сектора считаются экзотикой (Савва, 2018).

Надо отметить некоторые различия в физико-химических параметрах и химическом составе минералообразующих флюидов разных районов Охотского сектора ОЧВП (см. табл. 2). Для корректного сравнения больших массивов числовых данных по параметрам флюида нами были использованы диаграммы размаха (фиг. 13). Максимальные величины температур и соленостей характерны для флюидов, формировавших месторождения ОМЗ, а минимальные – для флюидов восточной части (Эвенская группа) и центральной части Охотского сектора.

Можно предполагать, что агрегатное состояние флюида в начале процесса рудоотложения связано с положением области рудоотложения относительно магматических очагов. На максимальном удалении от очагов могла происходить конденсация ранее перешедшего в пар флюида (месторождения восточной и центральной части Охотского сектора), что могло бы объяснить слабую соленость флюидов, формировавших месторождения этих районов, максимальные концентрации сульфатов, бикарбонатов и углекислоты, а также обогащение руд этих месторождений некоторыми микроэлементами, перенос которых возможен в газовой фазе.

В то же время месторождения ОМЗ формировались при активном участии магматических флюидов в состоянии жидкого водного раствора. На это указывает большая соленость флюидов этих месторождений, достигающая максимальных значений во флюидах месторождения Дукат,



Фиг. 13. Диаграммы размаха (ящичные) для величин температур гомогенизации (а) и солёности (б) растворов ФВ в минералах эпитермальных Au-Ag, Ag-Au и Ag месторождений северо-востока России. Линия в боксе – медиана, крестик – среднее значение, точки – выбросы. Регионы: 1 – восточная часть Охотского сектора ОЧВП; 2 – ОМЗ; 3 – центральная часть Охотского сектора ОЧВП.

в районе которого известны магматогенные месторождения порфирирового типа. Такая модель могла бы объяснить наблюдаемую картину с отличиями в параметрах и составе минералообразующих флюидов разных районов Охотского сектора.

Результаты текстурного анализа, минералогических исследований и полученные физико-химические параметры минералообразующих флюидов, позволяет большинство изученных Au-Ag месторождений Охотского сектора отнести к низкосульфидизированному классу эпитермальных месторождений, а Ag и Ag-Au месторождения ОМЗ – к промежуточно-сульфидизированному классу.

Полученные результаты могут быть использованы в региональных прогнозно-металлогенических построениях, поисках и оценке эпитермальных Au-Ag месторождений. Учитывая слабую изученность Охотского сектора ОЧВП (особенно оперяющих зон ТМА) весьма реальны перспективы открытия новых эпитермальных Au-Ag и Ag месторождений.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке темы Госзадания ИГЕМ РАН, № госрегистрации 124022400144-6, “Фундаментальные основы прогноза и поисков крупных месторождений

стратегических видов минерального сырья в рудных районах Северо-Востока и других регионов России”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акинин В.В., Миллер Э.Л.* Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Петрология. 2011. Т. 19. № 3. С. 249–290.
- Алексеев В.Ю., Волков А.В., Сидоров А.А.* Вулканоплутонические центры – типоморфные рудоконтролирующие структуры вулканогенных поясов Северо-Востока России // Вулканология и сейсмология. 2011. № 3. С. 3–12.
- Белый В.Ф.* Стратиграфия и структуры Охотско-Чукотского вулканогенного пояса М.: Наука, 1977. 171 с.
- Белый В.Ф.* Геология Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1994. 76 с.
- Белый В.Ф., Сидоров А.А., Волков А.В., Ващилов Ю.Я.* Структура и развитие Каемравеевского рудного поля (новый рудный район Чукотки) // Вулканология и сейсмология. 2008. Т. 2. № 3. С. 10–18.
- Берман Ю.С., Прокофьев В.Ю., Козеренко С.В., Елисеева Н.А., Колпакова Н.Н.* Реювенация золото-серебряного оруденения вулканогенного месторождения Дукат (по результатам исследования флюидных включений) // Геохимия. 1993. № 4. С. 539–548.

- Волков А.В., Шишакова Л.Н., Демин А.Г. Особенности прогрессивного рудообразования на золото-серебряном месторождении Нявленга // Докл. АН СССР. 1991. Т. 320. № 4. С. 934–940.
- Волков А.В., Сидоров А.А., Старостин В.И. Металлогения вулканогенных поясов и зон активизации. М.: МАКС Прес, 2014а. 355 с.
- Волков А.В., Прокофьев В.Ю., Али А.А., Сидоров А.А. Особенности рудообразования на Au–Ag эпиптермальном месторождении Нявленга, Северо-восток России // ДАН. 2014б. Т. 458. № 3. С. 302–305.
- Волков А.В., Савва Н.Е., Сидоров А.А., Чижова И.А., Колова Е.Е., Алексеев В.Ю. Эпиптермальное золотосеребряное месторождение Аган и перспективы выявления минерализации высокосульфидизированного типа на Северо-востоке России // Геология рудн. месторождений. 2015. Т. 57. № 1. С. 25–47.
- Волков А.В., Колова Е.Е., Савва Н.Е., Сидоров А.А., Прокофьев В.Ю., Али А.А. Условия формирования богатых золотосеребряных руд эпиптермального месторождения Тихое (Северо-восток России) // Геология рудн. месторождений. 2016. Т. 58. № 5. С. 476–491.
- Волков А.В., Галямов А.Л., Мурашов К.Ю. Щелочные риолиты Печальнинского рудного поля (Северо-Восток России) – потенциальный большеобъемный источник тяжелых редкоземельных элементов // Докл. РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 510. № 1. С. 46–51. <https://doi.org/10.31857/S2686739723600054>.
- Горячев Н.А. Удско-Мургальская магматическая дуга: геология, магматизм, металлогения // Проблемы металлогении рудных районов Северо-Востока России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. 2005. С. 17–38.
- Котляр И.Н., Русакова Т.Б., Гагиева А.М. Буюндино-Сугойская рудоконцентри-рующая площадь уникальный металлогенический ареал Северо-Востока России // Тихоокеанская геология. 2004. Т. 23. № 1. С. 3–19.
- Кравцова Р.Г., Боровиков А.А., Борисенко А.С., Прокофьев В.Ю. Условия формирования золото-серебряных месторождений Северного Приохотья, Россия // Геология рудн. месторождений. 2003. Т. 45. № 5. С. 452–473.
- Кравцова Р.Г. Геохимия и условия формирования золото-серебряных рудообразующих систем Северного Приохотья. Новосибирск: Акад. изд-во «ГЕО», 2010. 292 С.
- Кузнецов В.М., Нищанский Г.М., Палымская З.А. Признаки проявления и формы выражения тектономагматической активизации на примере Хурчан-Оротуканской зоны // Колыма. 1993. № 7. С. 7–12.
- Кузнецов В.М. Разнопорядковые структуры поздне-мезозойской тектономагматической активизации в Верхояно-Чукотской складчатой области // Вестник СВНЦ РАН. 2006. № 2. С. 2–13.
- Кузнецов В.М., Жигалов С.В., Ведерникова Т.А., Шпикерман В.И. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-56 – Сеймчан. Объяснительная записка. / Минприроды России, Роснедра, ФГБУ «ВСЕГЕИ», ОАО «Магадангеология». СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008. 426 С.
- Кузнецов В.М., Акинин В.В., Бяков А.С. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-57 – Эвенск. Объяснительная записка / Минприроды России, Роснедра, ФГБУ «ВСЕГЕИ». СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2022. 519 С.
- Ливач А.Э., Третьякова Н.И. Балыгычано-сугойский континентальный рифт: строение, основные черты развития и металлогении // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2022. № 2. С. 3–13. <https://doi.org/10.34078/1814-0998-2022-2-3-13>.
- Некрасова А.Н., Берман Ю.С., Крылова В.В., Сандомирская С.М. Особенности состава сульфосолей серебра из близповерхностных месторождений // Тр. ЦНИГРИ. 1979 вып. 149. С. 10–17.
- Обушков А.В., Стружков С.Ф., Наталенко М.В., Рыжов О.Б., Кряжев С.Г., Радченко Ю.И. Геологическое строение и минералогия руд скрытого золото-серебряного месторождения Энгтери (Магаданская область) // Геология рудн. месторождений. 2010. Т. 52. № 6. С. 512–533.
- Петровская Н.В., Бернштейн П.С., Мирчинк С.Г., Андреева М.Г. Геологическое строение, минералогия и особенности генезиса золоторудных месторождений Балейского рудного поля (Восточное Забайкалье) // Тр. ЦНИГРИ. 1961. Вып. 45. Ч. I–II. 156 с.
- Пляшкевич А.А. Минералогия и геохимия олово-серебро-полиметаллических месторождений Северо-Востока России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. 72 с.
- Приймак В.В., Глухов А.Н., Акинин В.В., Фомина М.И., Михалицына Т.И., Пономарчук А.В., Ползунов Г.О. Золото-серебряное вулканогенно-плутоногенное месторождение Невенрекан (Магаданская область, Россия): вмещающие породы, окорудные метасоматиты, возраст и вещественный состав руд // Вулканология и сейсмология. 2022. № 1. С. 54–72. <https://doi.org/10.31857/S0203030622010059>.

- Прокофьев В.Ю., Али А.А., Волков А.В., Савва Н.Е., Колова Е.Е., Сидоров А.А.* Геохимические особенности рудообразующего флюида Au-Ag эпитермального месторождения Джульетта (Северо-восток России) // ДАН. 2015. Т. 460. № 3. С. 329–333.
- Савва Н.Е.* О возможном источнике селена в вулканических месторождениях // Наука Северо-Востока России – начало века: материалы Всероссийской научной конференции, посвященной памяти академика К.В. Симакова и в честь его 70-летия. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2005. С. 208–210.
- Савва Н.Е., Сидоров А.А., Волков А.В.* Cu-Ag-сульфиды – индикаторы допорфировых эпитермальных Au-Ag месторождений Северо-востока России // ДАН. 2016. Т.469. №4. С. 452–456.
- Савва Н.Е.* Минералогия серебра Северо-Востока России. М.: Триумф, 2018. 544 с.
- Савва Н.Е., Волков А.В., Сидоров А.А., Колова Е.Е., Мурашов К.Ю.* Эпитермальное Au-Ag месторождение Приморское (Северо-Восток России): геологическое строение, минералого-геохимические особенности и условия рудообразования // Геология рудн. месторождений. 2019. Т. 61. № 1. С. 52–74.
<https://doi.org/10.31857/S0016-777061152-74>.
- Савва Н.Е., Волков А.В., Любимцева Н.Г., Прокофьев В.Ю., Сидоров А.А., Мурашов К.Ю., Сидорова Н.В.* Ag–Pb–Zn-месторождение Гольцовое (Северо-Восток России): геологическое строение, минералого-геохимические особенности, условия рудообразования // Геология рудных месторождений. 2021. Т. 63. № 3. С. 207–235.
<https://doi.org/10.31857/S0016777021030060>
- Сидоров А.А., Гончаров В.И.* О прогрессивном развитии гидротермального рудообразования // Геология рудн. месторождений. 1979. № 3. С. 19–26.
- Сидоров А.А.* Рудные формации и эволюционно-исторический анализ благороднометалльного оруденения. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 1998. 246 с.
- Сидоров А.А., Белый В.Ф., Волков А.В., Савва Н.Е., Алексеев В.Ю., Колова Е.Е.* Золото-сереброносный Охотско-Чукотский вулканический пояс // Геология рудн. месторождений. 2009. Т. 51. № 6. С. 512–527.
- Сидоров А.А., Прокофьев В.Ю., Волков А.В., Краснов А.И., Трубкин Н.В.* Электрум месторождения Агатовское (Северо-Восток России) и его условия образования // ДАН. 2011. Т. 440. № 6. С. 795–799.
- Сидоров А.А., Волков А.В., Савва Н.Е.* Вулканизм и эпитермальные месторождения // Вулканология и сейсмология. 2015. № 6. С. 1–10.
- Смирнов С.С.* О Тихоокеанском рудном поясе // Известия АН СССР. Серия геол. 1946. № 2. С. 13–27.
- Соболев А.П.* Мезозойские габбро-гранитные серии Северо-Востока СССР. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1984. 120 с.
- 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.
- Умитбаев Р.Б.* Охотско-Чаунская металлогеническая провинция. М.: Наука, 1986. 286 с.
- Шахов Ф.Н.* Текстуры руд. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 180 с.
- Шпикерман В.И., Полуботко И.В., Васькин А.Ф., Петухов В.В. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-55 – Сусуман. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. 520 С.
- Lindgren W.* Mineral deposits. N.Y.: McGraw-Hill Book Company, 1953. 930 p.
- Richards J.P.* Giant ore deposits formed by optimal alignments and combinations of geological processes // Nat. Geosci. 2013. Vol. 6. P. 911–916.
- Tikhomirov P.L., Kalinina E.A., Moriguti T., Makishima A., Kobayashi K., Cherepanova I.Yu., Nakamura E.* The Cretaceous Okhotsk-Chukotka Volcanic Belt (NE Russia): geology, geochronology, magma output rates, and implications on the genesis of silicic LIPs // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2012. Vol. 221–222, P. 14–32.
- Zhuravkova T.V., Palyanova G.A., Chudnenko K.V., Kravtsova R.G., Prokopyev I.R., Makshakov A.S., Borisenko A.S.* Physicochemical models of formation of gold–silver mineralization at the Rogovik deposit (Northeastern Russia) // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 91. P. 1–20.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.10.017>

EPITHERMAL Au-Ag AND Ag DEPOSITS OF THE OKHOTSK SECTOR OF THE OKHOTSK-CHUKCHI VOLCANIC BELT: METALLOGENY, MINERAL PARAGENESIS, FLUID REGIME

A. V. Volkov^{a, *}, N. E. Savva^b, V. Y. Prokofiev^a, A. L. Galyamov^a, A. A. Dolomanova-Topol^a

^a*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Staromonetny Lane, 35, Moscow, 119017 Russia*

^b*Shilo North-Eastern Interdisciplinary Research Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Magadan, 685010 Russia*

*E-mail: tma2105@mail.ru

The Okhotsk sector, located in the central part of the Cretaceous marginal continental Okhotsk-Chukchi volcanic belt (OChVB), stretches along the coast of the Sea of Okhotsk (within the borders of the Magadan Region) for a distance of about 1000 km. To date, about 150 tons of Au and more than 14500 tons of Ag have been extracted from epithermal deposits in the Okhotsk sector. Deposits of the Se subtype predominate; Te-containing mineralization is rare. Volcanic troughs, depressions, calderas, dome uplifts, as well as zones of tectonomagmatic activation (TMA) control the location of deposits. A brief description of the main Au-Ag and Ag epithermal deposits of the Okhotsk sector is given. The ore bodies are represented by quartz-adulyar and quartz-adulyar-carbonate veins, sometimes assembled in a spiral fashion into extended vein zones. The ores of most deposits are characterized by complex, combined breccia-crustification textures; widely developed rhythmically and collomorph-striped textures, which have a predominantly thin and mottled distribution of ore inclusions, often with their striped accumulation (ginguro). Native gold has a relatively low purity and a low to high dispersion of this indicator. Native silver is present in significant quantities in the polysulfide ores of the Omsukchan metallogenic zone (OMZ) deposits. Faded ore of the tetrahedrite group, such as freibergite, acanthite, and sulfosols (Ag, Sb, As, and Sn), are widespread in the ores. The maximum values of temperatures and salinities are typical for the fluids that formed the OMZ deposits, while the minimum values are for the fluids of the eastern (Even Group) and central parts of the sector. The results of textural analysis, mineralogical studies, and physico-chemical parameters of mineral-forming fluids allow the majority of Au-Ag deposits in the Okhotsk sector to be classified as a low sulfidation class of epithermal deposits, and Ag-containing OMZ deposits as an intermediate sulfidation class. Thermal metamorphism of ores, rejuvenation of the hydrothermal system, and the formation of exotic mineral parageneses were noted at the Dukat, Nyavlenga, Juliet, and other deposits. The results obtained can be used in regional forecasting and metallogenic constructions, searching and evaluation of epithermal deposits. Taking into account the fragmentary study of the territory of the Okhotsk sector of the OChVB, as well as the feathering zones of the TMA, the prospects for the discovery of new epithermal deposits are very real.

Keywords: North-East of Russia, OChVB, Okhotsk sector, metallogeny, epithermal deposits, gold, silver, ore textures, mineral paragenesis, fluid inclusions, predictive prospecting models