

УДК 553.411(571.61)

DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-2-222-238

Геологическая позиция и особенности строения золото-сульфидно-кварцевых месторождений Чилийской активной окраины

Ю. С. Савчук, А. В. Волков, А. Л. Галямов, В. В. Аристов, И. А. Чиждова, К. Ю. Мурашов

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН,
119017, Москва, Старомонетный пер., 35, e-mail: yurasavchuk@yandex.ru*

Поступила в редакцию 19.06.2020 г., принята к печати 07.08.2020 г.

Объект исследования. Золото-сульфидно-кварцевые месторождения Центрального Чили – типичные объекты для старательской добычи с небольшими мощностями рудных интервалов (от первых десятков см до 1 м), прерывистым и гнездовым распределением руды и крайне неравномерными содержаниями золота. **Материалы и методы.** Рассмотрены закономерности размещения рудной минерализации на фоне результатов современных геофизических исследований литосферы: поверхности Мохо, плотности и термального режима верхней мантии. Детальные исследования золото-сульфидно-кварцевого оруденения проведены на рудном поле Япин. **Результаты.** Анализ металлогенической зональности территории позволил выделить центральную полосу развития золото-сульфидно-кварцевой минерализации, – производные сдвиговой тектоники в условиях транспрессионного режима вдоль Чилийской активной окраины. На раннем этапе они развивались в правосдвиговой обстановке, что сопровождалось внедрением даек диабазов в северо-восточные разломы, а в левосдвиговой этап отлагалась золото-сульфидно-кварцевая минерализация, наложенная на дайки. Приведена характеристика геологического строения месторождений рудного поля Япин. Показано, что на рудном поле развита разнообразная минерализация: медно-порфировая, IOCG (Iron oxide copper gold)-типа и золото-сульфидно-кварцевая. По геохимическим данным, последняя характеризуется явным обогащением халькофильными элементами (Au, As, Ag, Cd, Cu, Bi, Pb, Zn, Te, Co). Заметная обогащенность руд Bi, Te и Co указывает на участие в рудообразовании магматического флюида и на сходство минерализации месторождения Эскондида с типом месторождений золота, связанных с интрузивами гранитоидов. По геохимическим особенностям золото-сульфидно-кварцевая минерализация в общей схеме зональности занимает пограничное положение между объектами IOCG-типа и медно-порфировыми месторождениями. **Выводы.** Сделан вывод о самостоятельности золото-сульфидно-кварцевой минерализации и ее отличии от эпitherмальных золотых месторождений. Отмечено, что в вулканических поясах Северо-Востока России весьма реальны перспективы открытия золото-сульфидно-кварцевых месторождений нетрадиционного типа, аналогичных центрально-чилийским.

Ключевые слова: Центральное Чили, рудное поле Япин, магматическая дуга, медно-порфировый, эпitherмальный, золото-сульфидно-кварцевый, железо-оксидный, типы минерализации, геохимические особенности, зональность

Источник финансирования

Работы выполнены при финансовой поддержке темы госзадания ИГЕМ РАН

Geological position of the gold-sulfide-quartz deposits of the Chilean active margin

Yurii S. Savchuk, Aleksandr V. Volkov, Andrei L. Galyamov, Vasilii V. Aristov,
Irina A. Chizhova, Konstantin Yu. Murashov

*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry (IGEM) RAS,
35 Staromonetnyi lane, Moscow 119017, Russia, e-mail: yurasavchuk@yandex.ru*

Received 19.06.2020, accepted 07.08.2020

Research subject. The gold-sulphide-quartz deposits of Central Chile are typical prospecting objects, having small ore intervals (from the first tens of centimetres to 1 m), intermittent and nested ore distribution and extremely uneven gold con-

Для цитирования: Савчук Ю.С., Волков А.В., Галямов А.Л., Аристов В.В., Чиждова И.А., Мурашов К.Ю. (2021) Геологическая позиция и особенности строения золото-сульфидно-кварцевых месторождений Чилийской активной окраины. *Литосфера*, 21(2), 222–238. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-2-222-238

For citation: Savchuk Yu.S., Volkov A.V., Galyamov A.L., Aristov V.V., Chizhova I.A., Murashov K.Yu. (2021) Geological position of the gold-sulfide-quartz deposits of the Chilean active margin. *Litosfera*, 21(2), 222–238. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-2-222-238

© Ю.С. Савчук, А.В. Волков, А.Л. Галямов, В.В. Аристов, И.А. Чиждова, К.Ю. Мурашов, 2021

tents. *Materials and methods.* The patterns of ore mineralization distribution are considered against the background of the results of modern geophysical studies of the lithosphere: the Moho surface, density and thermal regime of the upper mantle. Detailed studies were conducted on the Yapiñ ore field. *Results.* It was shown that the faults controlling gold-sulphide-quartz mineralization are derivatives of shear tectonics under the conditions of a transpression regime along the Chilean active margin. At an early stage, these faults developed in a right-shift environment, which was accompanied by the introduction of diabase dikes into the northeastern faults, and gold-sulfide-quartz mineralization superimposed on the dikes was deposited during the left-shift stage. The geological structure of the deposits in the ore field Yapiñ was characterized. It was shown that a diverse mineralization is developed in the ore field - copper-porphyry, IOCG-type and gold-sulphide-quartz. According to geochemical data, the latter is characterized by a clear enrichment of chalcophilic elements (Au, As, Ag, Cd, Cu, Bi, Pb, Zn, Te, Co). The marked enrichment of Bi, Te and Co ores indicates the participation of magmatic fluid in ore formation and the similarity of the mineralization of the Escondida deposit with the type of gold deposits associated with granitoid intrusions. According to geochemical features, gold-sulphide-quartz mineralization in the general zoning pattern occupies a boundary position between IOCG-type objects and copper-porphyry deposits. *Conclusions.* The conclusion is drawn about the independence of gold-sulphide-quartz mineralization and its difference from epithermal gold deposits. It is noted that, in the volcanic belts of the North-East of Russia, the prospects for discovering unconventional gold-sulphide-quartz deposits similar to those of Central Chile are rather real.

Keywords: Central Chile, Yapiñ ore field, magmatic arc, porphyry copper, epithermal, gold-sulfide-quartz mineralization, IOCG-type, deposit, geochemical features, zonation

Funding information

The work was financially supported by the State Project of IGM RAS

ВВЕДЕНИЕ

Порфировые месторождения (Cu, Mo, Sn) активных континентальных окраин, как правило, сопровождаются непорфировыми рудными образованиями (Сидоров и др., 2006). Последние нередко подобны для всей порфировой минералообразующей системы и представлены эпitherмальными высоко- и низкосульфидизированными, сульфидно-кварцевыми (полиметаллическими), золото-сульфидно-кварцевыми, и другими жильными и прожилково-вкрапленными рудами. Несомненно, все эти типы месторождений – продукты происходивших здесь тектоно-магматических процессов – связаны между собой и их пространственные взаимоотношения представляют значительный научный интерес.

Магматическая дуга на Тихоокеанском побережье Чили – классический пример региона распространения медно-порфировых, эпitherмальных Au-Ag, IOCG (Iron oxide copper gold)-типа и железорудных месторождений (Митчелл, Гарсон, 1984, Волков и др., 2014). Хорошая доступность и обнаженность делают ее идеальным полигоном для исследования минералообразующих систем порфирово-эпitherмальной и IOCG-типа. Однако в этих системах не определена позиция золото-сульфидно-кварцевой минерализации, которая образует небольшие месторождения – объекты старательской добычи (Савчук и др., 2016).

Металлогения этой территории рассматривалась во многих работах (Кривцов и др., 1986; Sillitoe, 2003; 2010; Волков и др., 2014, 2018; и др.), которые посвящены главным образом закономерностям размещения и особенностям формирования крупных и гигантских медно-порфировых, Au-Ag эпи-

термальных и IOCG-типа месторождений, а сравнительно небольшие золото-сульфидно-кварцевые объекты, также широко распространенные в этом регионе, остались без внимания исследователей.

В 2011–2013 гг. один из авторов данной статьи принимал участие в полевых экспедиционных работах на нескольких золото-сульфидно-кварцевых месторождениях рудного района Япин (Центральное Чили). Минералого-геохимические исследования руды месторождения Эскондиды были выполнены (2012 г.) в ФГУП ВИМС. В 2016–2019 гг. в ИГЕМ РАН изучено положение тренда золото-сульфидно-кварцевых месторождений, в современных геофизических моделях литосферы, а также обобщены и проанализированы полученные ранее геолого-структурные и минералого-геохимические данные. Настоящая статья является результатом проведенных работ.

МЕТАЛЛОГЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО И СЕВЕРНОГО ЧИЛИ

В Чилийских Андах золото как извлекается попутно из медно-порфировых и железорудных объектов, так и образует самостоятельные месторождения и проявления. Крупными запасами золота отличаются ряд медно-порфировых (Чукикамата, Эль-Сальвадор и др.) и IOCG гигантов (Канделария). Для обоих типов месторождений характерны большие скопления прожилково-вкрапленных руд, в которых наиболее широко распространен халькопирит.

Основная часть запасов меди в Андийском поясе (99%) связана с медно-порфировыми месторождениями (Sillitoe, 2003, 2010), группирующимися в меридиональные полосы (рис. 1а). В Береговой

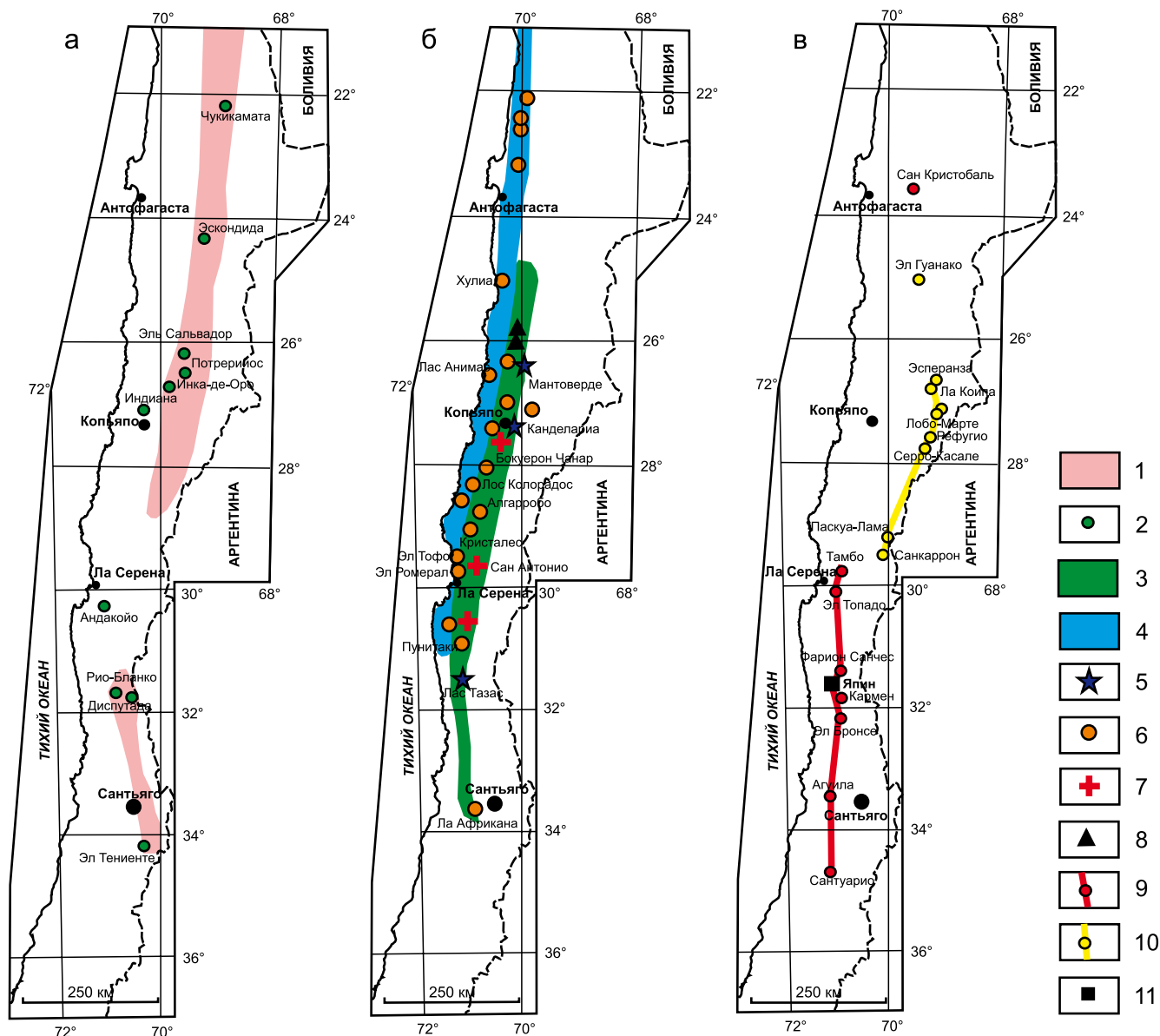


Рис. 1. Схемы размещения медно-порфирового (а), IOCG-типа (б) и золотого оруденения (в) в центральной и северной частях Чили, по данным (Muntean, Einaudi, 2001; Sillitoe, 2003; Williams et al., 2005) с изменениями и дополнениями.

1 – Третичный медно-порфировый пояс; 2 – медно-порфировые месторождения; 3 – Раннемеловой IOCG пояс; 4 – Позднеюрский IOCG пояс; 5–8 – объекты IOCG-типа: 5 – комплексные, 6 – жильные, 7 – скарновые, 8 – брекчии; 9 – золото-сульфидно-кварцевые жильные месторождения и проявления Центральной полосы; 10 – вкрапленные эпитермальные золотые месторождения пояса Марикунга; 11 – детально изученное рудное поле Япин.

Fig. 1. Schemes of copper-porphyry (a), IOCG-type (b) and gold mineralization (v) in Central and Northern Chile, according to data (Muntean, Einaudi, 2001; Sillitoe, 2003; Williams et al., 2005) with changes and additions.

1 – Tertiary copper-porphyry belt; 2 – copper-porphyry deposits; 3 – early Cretaceous IOCG belt; 4 – late Jurassic IOCG belt; 5–8 – IOCG-type objects: 5 – complex, 6 – vein, 7 – scarn, 8 – breccias; 9 – gold-sulfide-quartz vein deposits and manifestations of the Central band; 10 – interspersed epithermal gold deposits of the Marikunga belt; 11 – Yapin ore field studied in detail.

Кордильере расположены сравнительно небольшие медно-порфировые месторождения верхнемелового возраста (Андакойо и др.). В Главной Кордильере размещаются олигоценовые и миоцено-

вые месторождения, среди которых уникальные по своим запасам Чукикамата (900 млн т со средним содержанием меди 1.75%) и Эль-Теньенте, весьма крупные Рио-Бланко (6.7 млн т), Эль-Сальвадор

(3.8 млн т) и др. Известный пример – месторождение Чукикамата, приуроченное к крупному, простирающемуся в меридиональном направлении интрузиву монцититовых порфиров (длина 20 км, ширина 3–4 км). Промышленные руды формируют крутопадающий штокверк шириной 0.8 км и длиной около 3 км. Кроме меди, в рудах содержится Mo, Re, Au, Ag.

Железорудные месторождения, с общими запасами более 1 млрд т, связаны с мел-палеогеновыми гранитоидами и относятся к ЮСГ-типу. Выделяются раннемеловой и позднемеловой пояса этих месторождений (Sillitoe, 2003). На территории Чили наиболее известны скарновые, брекчиевые залежи и жильные проявления в экзо- или эндоконтактах гранитоидных массивов в Береговых Кордильерах провинций Атакама и Кокимбо (рис. 1б). К крупным месторождениям относятся Эль-Тофо, Ромераль, Альгарробо и Кристалес. Запасы Эль-Тофо – около 65 млн т гематитовой руды, содержащей в среднем 60% железа и 0.2% марганца. Наиболее значительный объект этого типа – Канделария, с запасами 470 млн т гематит- и/или магнетит-содержащих руд (в среднем 20%, максимально – 42% FeO), со средним содержанием 0.95% Cu, 0.22 г/т Au, 3.1 г/т Ag (Marschik et al., 2000, 2001).

В центральной части Чили широко распространены жильно-жильные золото-сульфидно-кварцевые месторождения, группирующиеся в меридиональную полосу (рис. 1в). Эти золото-сульфидно-кварцевые месторождения имеют ярко выраженный линейный характер, четкие границы рудной минерализации при крайне неравномерном характере распределения золота. Средние содержания золота в обогащенных блоках 3–6 г/т, запасы в этих блоках оцениваются до нескольких тонн металла (Савчук и др., 2016).

В северной части Чили, к востоку от города Ла Серена, развиты “High-Sulfidation” (высокосернистые) эпitherмальные Au-Ag месторождения (см. рис. 1в) пояса Марикунга (Muntean, Einaudi, 2001). Они размещаются в олигоцен-миоценовых вулканах кислого состава, образующих систему вулканоструктур, прорванных интрузивами дацитового и микродиоритового состава. По периферии кальдерного комплекса, кроме Cu-Au сульфидно-вкрапленных руд месторождения Волькан, локализовались Hg-Ag-Au руды и скопления самородной S месторождения Ла-Койпа, Au руды месторождений Ла-Пепа и Лобо-Марте. Рудовмещающие нарушения сопровождаются зонами интенсивного тонкопротекторного окварцевания и аргиллизации. Месторождения от мелких до крупных с невысокими средними содержаниями металла: так, запасы Ла-Койпа около 20 т Au при среднем содержании в руде 1.07 г/т Au и 33.9 г/т Ag. В других месторождениях средние содержания еще меньше.

В отличие от эпitherмальных месторождений пояса Марикунга, достаточно детально охарактеризованных в публикациях (Vila, Sillitoe, 1991; Davidson, Mpodozis, 1991; Muntean, Einaudi, 2000, 2001; и др.), золото-сульфидно-кварцевые месторождения центральной полосы практически не изучены. По-видимому, это связано с тем, что первые были выявлены и изучены недавно, а вторые большей частью отработаны ранее, в прошлые века, и ныне здесь развита лишь спорадическая старательская добыча Au (рис. 2).

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА РУДООБРАЗОВАНИЯ

Геологическое строение и металлогения рассматриваемой территории определяются ее положением на активной окраине Южно-Американского континента, где долгоживущая зона субдукции падает с запада на восток (под континент). По этой зоне происходит пододвигание и поглощение океанической плиты Наска и, как следствие, интенсивная магматическая и гидротермальная деятельность.

Геодинамическую обстановку формирования крупных минеральных месторождений в Центрально-Андском районе (22–34° ю.ш.) рассмотрели С.М. Кей и К. Мпозис (2001). По их данным, основные рудные районы имеют миоценовый возраст и общие тектонические и магматические особенности, которые соответствуют модели их формирования в неглубокой и пологой зоне субдукции.

Главным для магматизма и рудообразования является флюидогенерация из постепенно выполаживающейся и холодной субдуцирующей океанической плиты. С этим процессом связана гидратация мантии и нижней коры над субдуцирующей плитой (рис. 3). Стресс от столкновения плит Южной Америки и Наска приводит к образованию утолщенной коры и ее укорачиванию, а также накоплению магмы в коре. Минералообразующие флюиды высвобождаются по мере утолщения коры и ее дегидратации: нижнекоровые, амфиболсодержащие минеральные комплексы, стабильные на ранних стадиях утолщения коры, преобразуются до обезвоженных, гранатсодержащих.

Рудообразование происходит между стадиями 2 и 3 (см. рис. 3). Критическими событиями при этом являются гидратация мантии над неглубокой зоной субдукции, высвобождение флюида происходит в процессе разрушения амфиболсодержащих комплексов в коровых зонах плавления, во время ее субгоризонтального укорочения и утолщения, а внедрение магмы обеспечивает достаточную пластичность коры. Минерализация над выполаживающейся зоной субдукции в центральной части Чили (28–33° ю.ш.) сопровождается прекращением дугового вулканизма или миграцией его фронта от глубоководного желоба.

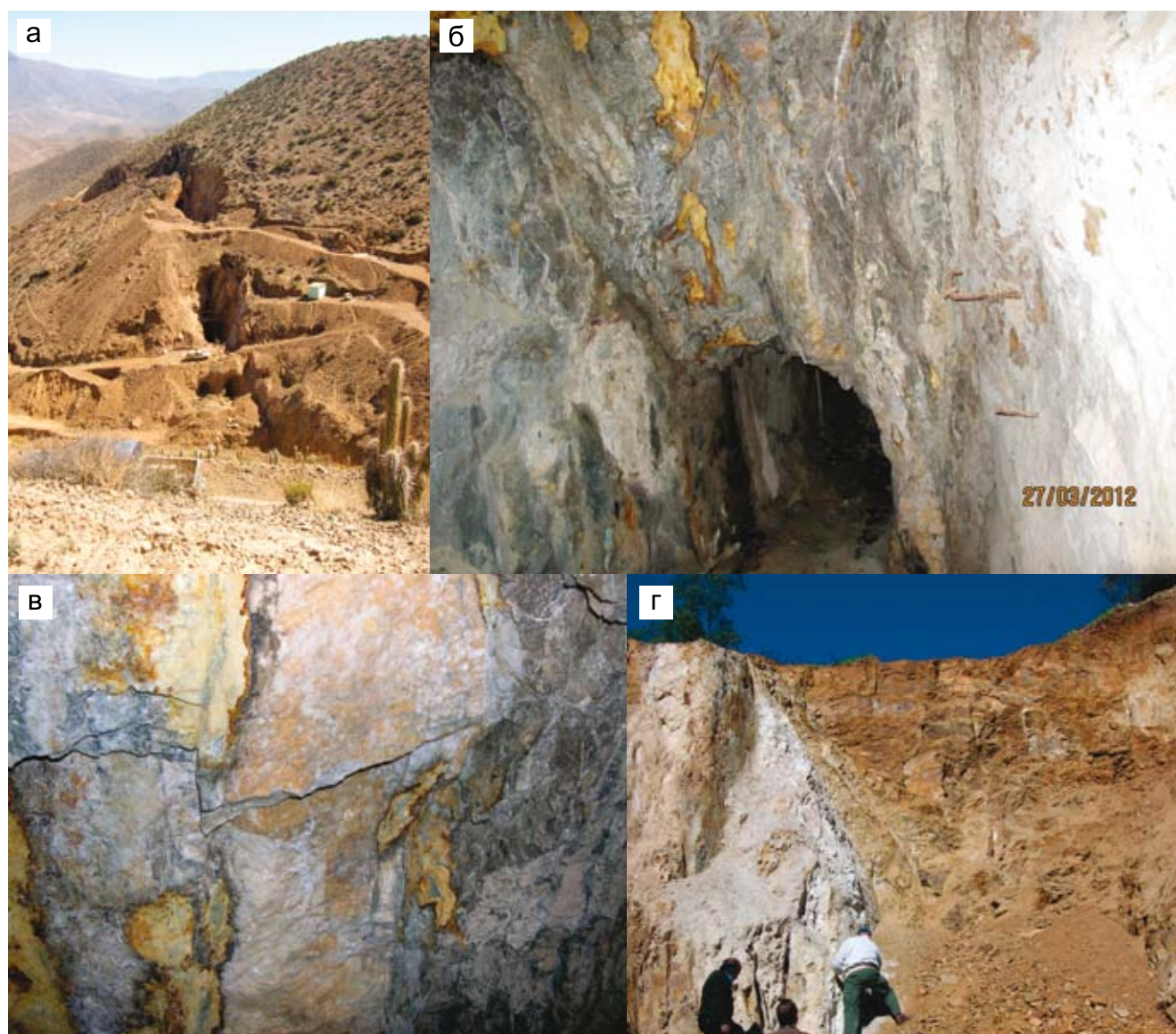


Рис. 2. Золото-сульфидно-кварцевые проявления Центрального Чили. Горные выработки Фариян Санчес; вдоль жильной системы, вытянутой на несколько километров, десятки мелких рудников по добыче золота (а); рудная жила в штольне Кармен (б, в); рудная зона Калифорния на площади Агуила (г). Здесь и далее фото авторов.

Fig. 2. Gold-sulfide-quartz manifestations of Central Chile. Farion Sanchez mine workings; along the vein system stretched for several kilometers, there are dozens of small gold mines (a); the ore vein in the Carmen tunnel (б, в); the California ore zone on Aguila square (г). Here and further photos of the authors.

Таким образом, гидратация и утолщение земной коры связаны с переходами к пологой субдукции – основному фактору при формировании крупных рудных месторождений.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Фактически все рассмотренные типы месторождений – медно-порфировый, IOCG, золото-суль-

фидно-кварцевый и эпитеpмальный Au-Ag – образуют линейно-вытянутые пояса (см. рис. 1), а наиболее рудоносные кластеры в них иногда связывают с поперечными северо-западными линеаментами (Sillitoe, 2010).

Ближе всего к побережью протягиваются позднеюрский и раннемеловой IOCG пояса. Далее к востоку развиты золото-сульфидно-кварцевые жильно-прожилковые месторождения и проявления Центрального Чили. Здесь же выделяется Третич-

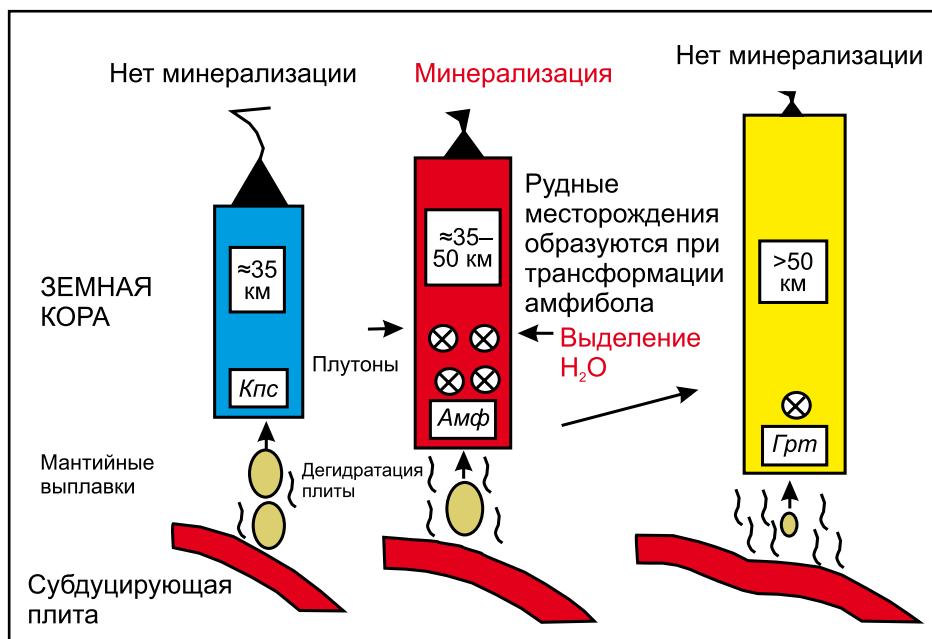


Рис. 3. Генетическая модель образования основных рудных районов Центральных Анд в миоцене, по (Кай, Mpodozis, 2001), модифицированная.

Кпс – пироксен, *Амф* – амфибол, *Грт* – гранат.

Fig. 3. The genetic model of the formation of the main ore regions of the Central Andes in the Miocene, according to (Kay, Mpodozis, 2001), modified.

Knc – pyroxene, *Amf* – amphibole, *Grt* – garnet.

ный медно-порфировый пояс, а на северо-востоке известны эпитермальные высокосульфидизированные золотые месторождения пояса Марикунга (см. рис. 1).

В распространении золото-сульфидно-кварцевых месторождений и проявлений Центральной полосы отчетливо проявлены две ориентировки жил и прожилковых зон (табл. 1): северо-восточная и северо-западная. Если отбросить единичные крайние значения, то это 20–45° и 320–340° при резком преобладании первых ориентировок.

Несомненно, эти рудоконтролирующие нарушения – производные сдвиговой тектоники в условиях транспрессионного режима вдоль Чилийской активной окраины. Об этом свидетельствуют большая протяженность разломов (до нескольких км), иногда группирующихся в мощные (от нескольких сотен м и до более 1 км) системы. Если первые нарушения северо-восточной ориентировки характерны для правосдвиговой тектоники, то вторые – отвечают левым сдвигам. Повидимому, на раннем этапе они развивались в правосдвиговой обстановке, что сопровождалось внедрением даек диабазов в северо-восточные разломы, а уже в левосдвиговый этап отлагалась золото-сульфидно-кварцевая минерализация, наложенная на дайки.

Для объяснения закономерностей размещения месторождений нами проанализированы результаты современных геофизических исследований литосферы: поверхности Мохо, плотности и термального режима верхней мантии (<https://igppweb.ucsd.edu/~gabi/crust1.html>). Новая модель CRUST 1.0 определена сетью 1 × 1° и основана на базе данных о толщине земной коры по результатам сейсмических исследований. Модель земной коры унаследована из модели CRUST 2.0 (Bassin et al., 2000; <http://igppweb.ucsd.edu/~gabi/crust2.html>). Типы коры определялись в зависимости от возраста фундамента или тектонических условий (Bouman et al., 2015), и для каждой ячейки сети даны глубина границы Мохо, скорость сжатия и скорость сдвига, а также плотность для 8 слоев: воды, льда, трехслойного осадочного чехла и верхней, средней и нижней кристаллической коры. Данные осадочных слоев в основном соответствует модели (Laske, Masters, 1997).

Рудные месторождения явно тяготеют к области с более плотной и холодной мантией на глубине 60 км (рис. 4а, б). Объяснение этому факту находится в модели (Kay, Mpodozis, 2001). Согласно модели, эта область как раз соответствует пологому участку зоны субдукции на время рудообразования (миоцен), в пределах которого прошли процес-

Таблица 1. Характеристика жильных систем золото-сульфидно-кварцевых месторождений**Table 1.** Characteristics of vein systems of gold-sulfide-quartz deposits

№ п.п.	Название	Ориентировка жил	Протяженность жил, м	Ширина жильной системы, м	Мощность жил, м
1	Сантуарио	330°, 340°, 330°	1300, 650, 940	700	2–4
2	Агуила – всей зоны	45°	1400	650	0.2–1.0
	Отдельных жил:				
	Калифорния	45°	340		
	Канче Райада	15°	300		
	Кардинуда	40°	100		
	Виолета	60°	100		
	Чулека	30°	150		
	Халконес	35°	150		
3	Эль Бронсе	10°	4500	–	1–3
4	Кармен	40°	600	–	0.5–1.0
5	Эскондида, Сан Альберто	15°, 20°–340°	2800, 1000	400	0.2–2.0
6	Фарион Санчес	10° и 340°	4400	1300	До 5
7	Рио-Бланко	40–45°	350	–	2–3
8	Эль Топода (жилы: Ла Диабла, Эль Колорадо, Ла Гран Фортуна)	15°, 20°	800, 450	220	0.4–0.5
9	Тамбо	320–330°	150	300	

сы дегидратации погружающейся плиты, гидратация мантии и переход амфиболсодержащих минеральных комплексов к гранатсодержащим высокобарическим в нижней коре, где образовались очаги плавления.

Железорудные месторождения локализованы в поле глубины залегания Мохо от 10 до 25 км, а медные – в поле глубин 25–50 км (рис. 4в). Золото-сульфидно-кварцевые месторождения занимают позицию на границе этих поясов. Эпитермальные золотые объекты располагаются в поле глубин Мохо 60–75 км.

Таким образом, размещение золото-сульфидно-кварцевых и эпитермальных золотых объектов (пояс Марикунга) с двух сторон от пояса медно-порфирового оруденения может быть объяснено разным уровнем эрозионного среза: в первом случае это уровень собственно порфировых объектов, а во втором – это уровень более удаленной зоны.

Как видно из схем размещения месторождений разных типов (см. рис. 1), местами наблюдается близкое расположение и взаимоналегание площадей развития медно-порфировой и ИОСГ минералообразующих систем. Это затрудняет выявление металлогенической зональности, поэтому особое значение приобретают наблюдения в таких областях, где отчетливо проявлены различные типы минерализации, например на рудном поле Япин.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНО-КВАРЦЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РУДНОГО ПОЛЯ ЯПИН

Нами детально изучены разнотипные проявления и месторождения рудного поля Япин (см. рис. 1), расположенного в округе Ильяпель и вмещающего в себя области распространения медно-порфировой и ИОСГ минералообразующих систем.

Западную и юго-восточную части рудного поля слагают граниты и гранодиориты (рис. 5) мелового возраста. Среди них закартированы два крупных (1.5×0.5 и 2.25×0.75 км) предположительно пологих интрузивных тела плагиогранитов. Северо-восточную и центральную части рудного поля занимает изометричный, вытянутый в северо-восточном направлении массив полнокристаллических, среднезернистых диоритов, габбро-диоритов, размером до 2 км в широкой части и длиной более 3.5 км (см. рис. 5). В приконтактных частях, на юге этого массива, в габбро-диоритах часто встречаются мало-мощные апофизы и дайки гранитоидов. В центральной части массива известна дайка гранитов, вытянутая в меридиональном направлении, с ответвлениями на южном и северном концах в северо-восточных румбах. Мощность этой протяженной (до 2.5 км) дайки в узкой, центральной части – первые метры, в широких “лопастевидных” ответвлениях – до 0.1–0.2 км. Западнее массива диоритов в север-северо-восточном направлении среди гранитоидов установлена серия даек, представленных диоритами и диабазами. На юго-востоке площади картируется еще

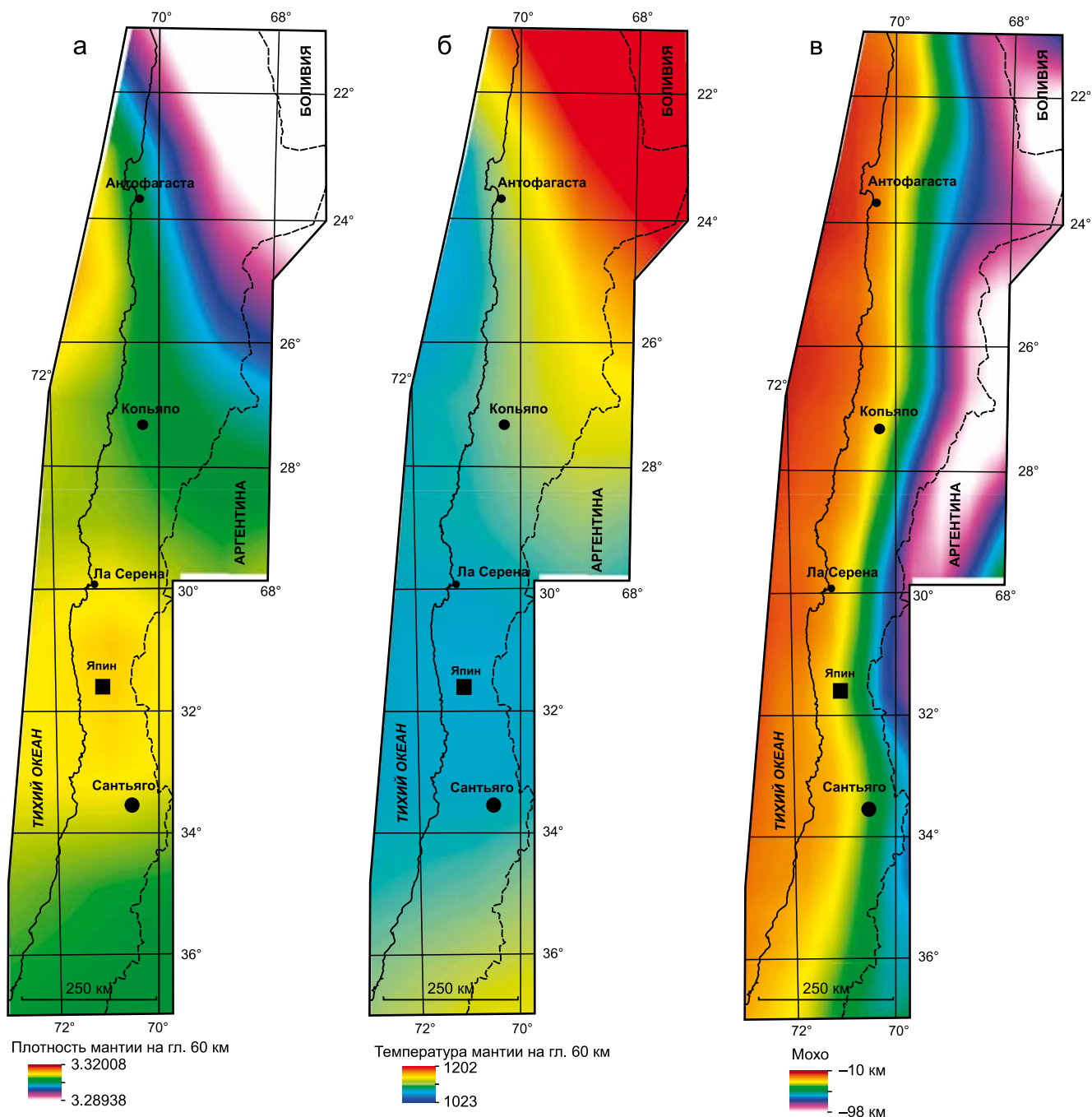


Рис. 4. Плотность (а) и температура (б) мантии, глубина Мохо (в) в Центральном Чили на основе материалов и базы данных проекта (<https://igppweb.ucsd.edu/~gabi/crust1.html>).

Fig. 4. Mantle Density (а) and temperature (б); depth of Moho (в) in Central Chile based on project materials and database of project (<https://igppweb.ucsd.edu/~gabi/crust1.html>).

одно вытянутое в северо-восточном направлении тело диоритов и габбро-диоритов шириной 200–500 м. Последовательность внедрения интрузивных пород, развитых в пределах рудного поля, следующая (от ранних к поздним): 1) диориты, габбро-диориты → 2) граниты, гранодиориты → 3) лейкограниты → 4) дайки диабазов.

Мелкие месторождения и проявления медной минерализации локализуются в широкой приконтактовой зоне вдоль западной, северо-западной границы и в центральной части массива габбро-диоритов с вмещающими гранитоидами (см. рис. 5). Наиболее значительная по размерам медная минерализация развита на трех спорадически

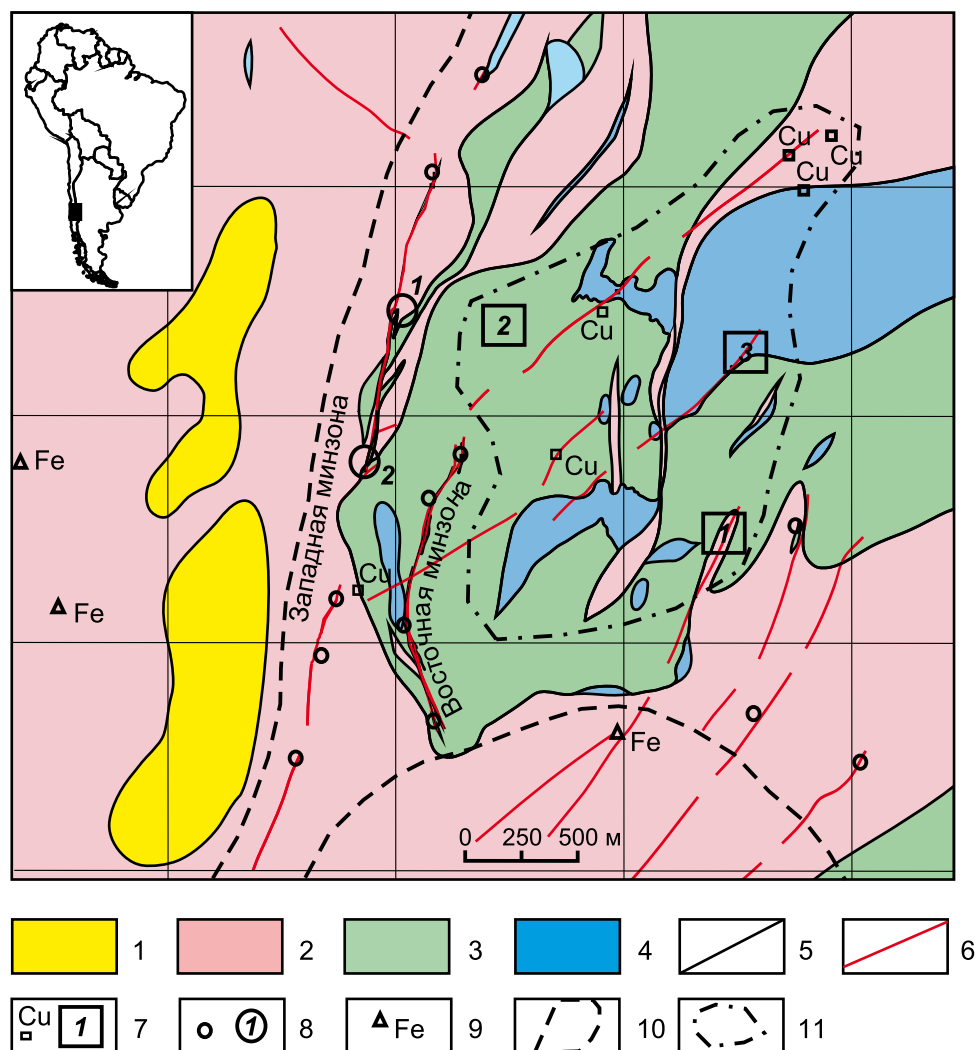


Рис. 5. Схема геологического строения рудного поля Япин.

1 – лейкократовые плагиограниты; 2 – плагиограниты, гранодиориты; 3 – диориты, габбро-диориты; 4 – габбро и диабазы; 5 – границы породных разностей; 6 – дробление, милонитизация в зонах тектонических нарушений; 7 – проявления меди и рудники (цифры в квадратах): 1 – Алфаро, 2 – Трес Эрманос, 3 – Ремихо; 8 – проявления золота и рудники (цифры рядом с кружками): 1 – Эскондида, 2 – Сан Альберто; 9 – проявления гематита; 10 – внешняя граница проявлений золота; 11 – внешняя граница проявлений меди. На врезке – положение района.

Fig. 5. Diagram of the geological structure of the Yapin ore field.

1 – leucocratic plagiogranites; 2 – plagiogranites, granodiorites; 3 – diorites, gabbro-diorites; 4 – gabbro and diabases; 5 – boundaries of rock differences; 6 – crushing, mylonitization in zones of tectonic disturbances; 7 – copper manifestations and mines (figures in squares): 1 – Alfaro, 2 – Tres Hermanos, 3 – Remiho; 8 – occurrences of gold and mines (figures near circles): 1 – Escondida, 2 – San Alberto; 9 – hematite manifestations; 10 – external border of gold manifestations; 11 – external border of copper manifestations. The inset shows the location of the district.

отрабатываемых рудниках: Ремихо, Трес Эрманос и Алфаро (рис. 6а, б).

Масштабы минерализованных тел небольшие, несколько метров по простиранию и падению, при мощности до первых метров. Содержания меди – доли процента, но для обогащения используется ручная рудоразборка, что позволяет повысить концентрацию меди до первых процентов. Содержания меди в концентрате колеблются от 0.18

до 5%, совместно с медью извлекается золото до 1–2 г/т.

Медные руды представлены в основном вторичными (малахит, хризокolla, азурит) и, реже, первичными минералами (халькопирит, борнит и др.), иногда в них также развит пирит. Халькопирита обычно 4–5% (оценка проведена по псевдоморфозам и продуктами его замещения), а суммарно с пиритом содержания сульфидов доходят до 7–8%.

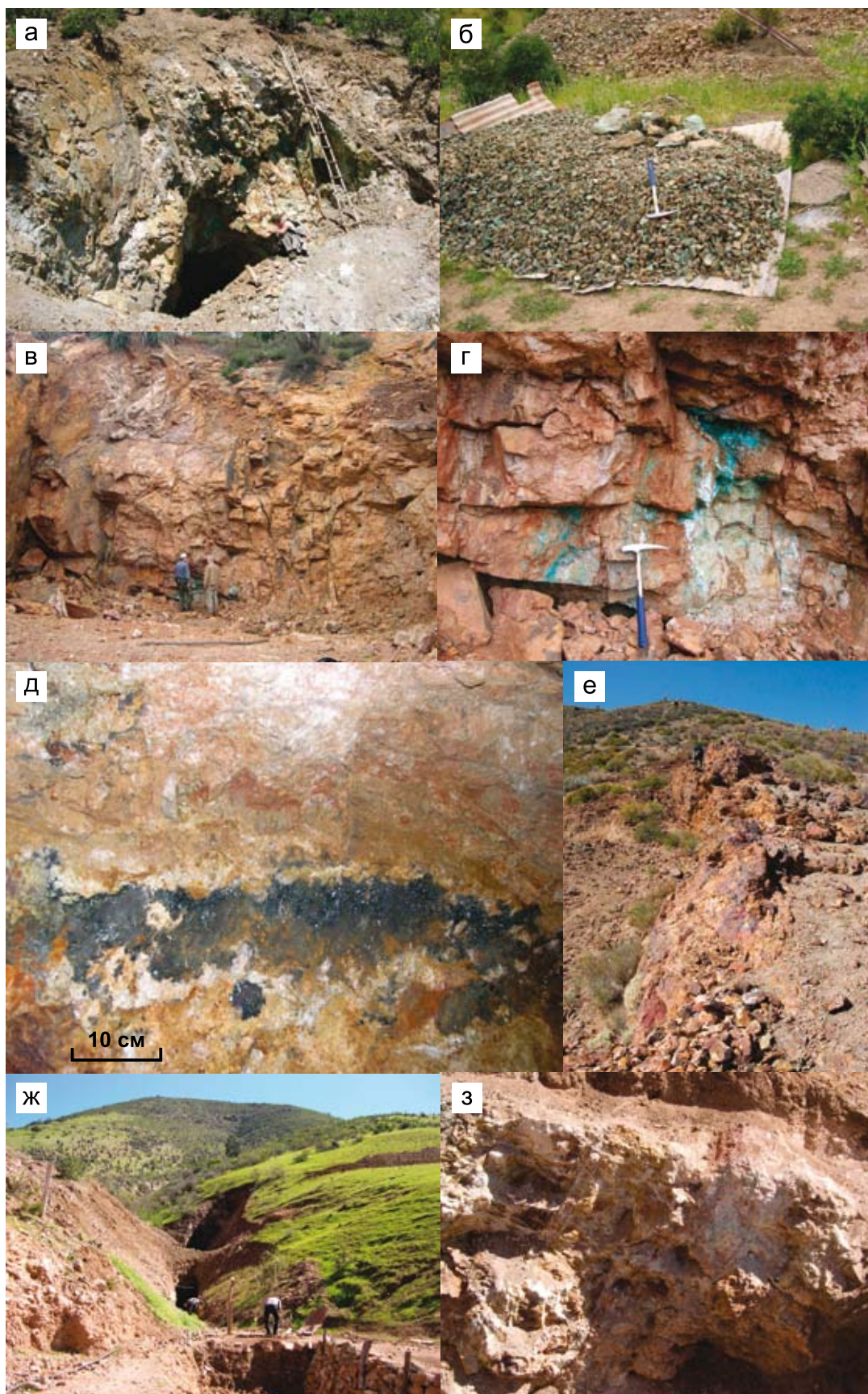


Рис. 6. Рудные (Cu, Fe, Au) проявления Центрального Чили.

а – Рудник Ремихо; б – медная руда, подготовленная к вывозу после ручной рудоразборки; в – мощная зона гематитизации на участке Абогадо; г – гнезда вторичных медных минералов в мощной зоне гематитизации (деталь рис. 6в); д – specularite в зоне дробления (2.0–2.5 м) и гематитизации на участке Бриллиант (к западу от г. Ильяпель); е – проявление Кармен (вблизи пос. Комбарбала), мощная гематитовая жила; ж – рудник Эскондида; з – рудная зона в канаве К-5А к северу от Эскондида.

Fig. 6. Ore (Cu, Fe, Au) manifestations of Central Chile.

а – Remijo Mine; б – copper ore after manual ore picking, prepared for export; в – a powerful zone of hematization at the Abogado site; г – nests of secondary copper minerals in a powerful zone of hematization (detail Fig. 6в); д – specularite in the zone (2.0–2.5 m) of crushing and hematization at the Diamond site (west of the Ilyapel city); е – manifestation of Carmen (near of the Kombarbala village), a powerful hematite vein; ж – Escondida mine; з – ore zone in the K-5A trench north of Escondida.

Обычно процесс изменения халькопирита не доходил до полных псевдоморфоз, и остаются его реликты в массе вторичных минералов. Характерно образование исключительно широкого спектра Cu-содержащих вторичных минералов, представленных сульфидами (халькозин, кубанит, дигенит, борнит, ковеллин), более редкими оксидами (тенорит, куприт) и, помимо того, малахитом, азурином, халькокианитом, диоптазом, псевдомалахитом и халькосидеритом – наиболее железистой разновидностью бирюзы.

На юго-западе и за пределами изученной площади широко развиты жилы и гнезда *гематита с вкрапленностью халькопирита* (рис. 6в, г), группирующиеся в субмеридиональную полосу. Мощность жил и зон прожилков в ней, колеблется от 0.2 до 2.5 м, в среднем составляя от 0.6 до 1 м. Среди них преобладают существенно гематитовые жилы, содержание железа в которых достигает 40% (см. рис. 6е).

Эта серия гематитовых жил входит в региональный раннемеловой ЮСГ пояс, протягивающийся в меридиональном направлении от Сантьяго (см. рис. 1). Отметим, что, кроме разномасштабных жил и прожилков гематита, вблизи пос. Пупио, к югу от г. Ильяпель, в неглубокой шахте с рассечками, встречен specularite (см. рис. 6д).

На рудном поле Япин широко распространены шурфообразные и карьеровидные выработки на **золото**, пройденные в разные годы и находящиеся в разной степени сохранности и доступности. Большинство из этих выработок располагаются в пределах двух минерализованных зон (см. рис. 5).

Минерализованная зона Западная залегает параллельно западному контакту диоритового массива в центральной части рудного поля – это протяженная полоса, включающая в себя серию субпараллельных, кулисообразно расположенных разломов общей длиной до 5 км, вытянутая в субмеридиональном направлении (аз. 10–15°) на 1800 м и падающая на запад (<50–85°). В пределах зоны известны два мелких месторождения золота.

Первое месторождение разрабатывает рудник *Эскондида* (La Escondida), представляющий собой штольню протяженностью около 40 м и слепой шурф из нее глубиной более 20 м (см. рис. 6ж, з).

На втором месторождении в 80-е гг. прошлого века действовал рудник *Сан-Альберто* (San Alberto), состоящий из сложной системы неглубоких шахт, связанных между собой квершлагами и штреками. Оба этих мелких месторождения, судя по геологическим данным, контролируются единой сложно построенной тектонической зоной (см. рис. 5).

На месторождении Эскондида рудное тело представлено наклоненной под углом 60° к западу зоной дробления, осветления, ожелезнения и окварцевания гранитоидов и диабазов с вкрапленностью пирита (до 5–10%). Прожилково-вкрапленные (пирит) руды приурочены к интенсивно рассланцованной дайке диабазов (2–3 м мощностью), фактически превращенной в меланократовые милониты, с мелкими прожилками кварца. В поверхностных горных выработках установлены разрозненные интервалы мощностью 0.35–1.1 м и содержаниями золота 1.04–8.1 г/т (лаборатория фирмы SGS, г. Сантьяго, Чили). По данным старателей, в штольне и шурфе добывалась руда со средним содержанием золота 4.26 г/т и серебра – 6.75 г/т (Савчук и др., 2016).

Южнее, на месторождении Сан-Альберто, прожилково-вкрапленная золоторудная минерализация развивается в крутопадающей на запад, под углом 85°, зоне милонитизации, дробления, осветления, ожелезнения и окварцевания диоритов мощностью до 1.0–1.5 м. Прожилки кварца содержат богатую (до 40%) пиритовую минерализацию. На поверхности выявлены интервалы мощностью 0.4–1.0 м с содержаниями золота 1.5–2.18 г/т. Бурением установлено расщепление тектонической зоны, контролирующей рудную минерализацию, с резким увеличением содержания золота до 8.1–38.5 г/т при мощностях 0.3–0.4 м (Савчук и др., 2016).

Минерализованная зона Восточная расположена непосредственно в массиве диоритов (см. рис. 5) и представлена дроблеными, перетертыми, метасоматически измененными породами (мощностью до 1 м), содержащими многочисленные кварцевые прожилки с сульфидной минерализацией (пирит, халькопирит). Зона прослежена на расстояние до 1000 м, имеет выдержанное западное падение под углом 40–45° и местами сопровождается небольшими дайками диабазов (до 1 м). В различных ча-

стях зоны установлены разрозненные интервалы протяженностью 0.5–1.0 м с содержаниями золота до 5.4 г/т.

В Западной зоне большее развитие получили слабо окварцованные породы с сульфидной минерализацией, а в Восточной – чаще наблюдаются собственно кварцевые и кварц-карбонатные прожилки. Кроме того, в Восточной зоне в керне скважин установлены массивные скопления магнетита. Крайняя невыдержанность кварц-сульфидных образований – основных концентраторов золота – обусловила неравномерную золотоносность минерализованных зон. Собственно оруденение представлено мелкими разобщенными линзовидными телами размером до нескольких метров. Первичные сульфиды в рудах представлены в основном пиритом (до 0.8–3.0 мм) и более редким халькопиритом, которые часто замещаются гидроокислами железа, вторичными сульфидами и оксидами меди. Кроме мелких кристаллов пирита, на некоторых золотых объектах в рудах встречаются и более крупные индивиды. Так, рядом с медным месторождением Рио-Бланко, к северу от г. Ильяпель, развита протяженная (не менее 350 м) кварцево-жильная система в зоне разлома, ориентированная по азимуту 40–45°, мощностью 2–3 м. Здесь в лимонитовой сыпучке распространены октаэдрические пириты размером до 1–2 см.

Таким образом, на рудном поле Япин развита разнообразная минерализация – медная (по-видимому, входящая в медно-порфировый пояс), гематитовая (входит в региональный раннемеловой IOCG пояса) и золото-сульфидно-кварцевая. На схеме геологического строения рудного поля Япин отмечены ареалы развития всех этих типов (см. рис. 5), закономерно размещенные относительно габбро-диоритового массива. Центральную часть в виде изометричного овала размером 1.5 × 1.5 км занимает медная минерализация, приуроченная к зонам северо-восточных разломов в габбро-диоритах. Далее за ней располагаются золото-сульфидно-кварцевые проявления, концентрирующиеся в север-северо-восточных нарушениях на расстоянии 0.5–2.0 км от границы медной минерализации, вдоль западного контакта массива габбро-диоритов. Показательно, что проявления, размещающиеся в габбро-диоритах, содержат заметные количества халькопирита. Периферическую позицию занимает гематитовая минерализация в гранодиоритах. В целом на площади мы имеем зональность, определяемую размещением различных рудных объектов относительно интрузии габбро-диоритов.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНО-КВАРЦЕВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ РУДНОГО ПОЛЯ ЯПИН

В последние годы было показано, что изучение распределения микроэлементов и РЗЭ в рудах ме-

сторождений золота различных типов позволяет получить дополнительную информацию об условиях рудообразования и принадлежности к определенной минералообразующей системе (Волков и др., 2017; и др.).

Геохимические особенности вмещающих пород, околорудных метасоматитов и золото-сульфидно-кварцевой минерализации были установлены в результате анализа данных ICP-AES (фирма SGS в г. Сантьяго, Чили) 219 бороздовых проб (сечение 10 × 5 см, длина 0.3–1.0 м), отобранных в 16 канавах, пройденных вкрест простирания Западной минерализованной зоны от рудника Эскондида до рудника Сан-Альберто. Кроме того, в сравнительном плане использовались данные анализа методом ICP-MS (лаборатория ФГУП ВИМС) обогащенной пробы руды из штольного месторождения Эскондида (табл. 2) (Савчук и др., 2016).

Распределение основных микроэлементов в рудах и вмещающих породах показаны на совмещенных диаграммах (рис. 7), где они нормированы по отношению к средним значениям для верхней коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988). Как видно на рис. 7, золото-сульфидно-кварцевая минерализация ($Au > 0.1$ г/т) характеризуется явным обогащением халькофильными элементами (Au, As, Ag, Cd, Cu, Bi, Pb, Zn, Te).

Коэффициенты обогащения этих элементов варьируют (см. рис. 7) от нескольких раз (Pb, Zn, Mo, Te, V, Mn, Co) до десятков (As, Ag, Cd, Cu, Bi) и сотен (Au) раз, что свидетельствует о геохимическом родстве микроэлементов, их синхронном привносе и участии в рудообразовании. Кроме того, руды незначительно обогащены Cr, Li, Sc (см. рис. 7). Если сопоставить полученные результаты с данными по рудной пробе (Савчук и др., 2016), то можно добавить в список рудообразующих еще Sb. Вмещающие породы незначительно обогащены сходным с рудами спектром элементов (см. рис. 7), что свидетельствует о слабо проявленных околорудных метасоматических изменениях. Обогащенность руд “халькофильными” элементами указывает на участие в рудообразовании гидротермального флюида корового происхождения. А обогащенность руд Bi, Te и Co, по сравнению со средними значениями верхней коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988), указывает на участие в рудообразовании магматического флюида (Волков и др., 2017) и на сходство минерализации месторождения Эскондида с типом месторождений золота, связанных с интрузивами гранитоидов (Волков, Сидоров, 2018).

Для попытки определения процессов, которыми обеспечивается дисперсия содержаний различных элементов в рудах и вмещающих породах, проведен факторный анализ методом главных компонентов в R-модификации по всей выборке и по отдельным группам анализов. Аналитические результа-

Таблица 2. Элементный состав изученных образцов руд, околорудных метасоматитов и вмещающих пород золото-сульфидно-кварцевого месторождения Эскондида, г/т**Table 2.** Elemental composition of the studied samples of ores, near-ore metasomatites and host rocks of the Escondida gold-sulfide-quartz deposit, ppm

Элементы, отношения	Au				Вмещающие породы		
	<0.03	<0.03–0.1	>0.1	21.8*	Гранодиориты	Диабазы	Диориты
n	175	24	20	1	66	46	50
Ag	0.30	0.36	1.03	38.3	0.55	0.41	0.49
Au	0.00	0.05	0.33	21.8	0.02	0.02	0.02
As	2.93	3.46	30.65	280.0	3.12	3.87	1.62
Ba	252.42	169.71	115.40	Н.о.	226.47	385.14	161.43
Be	0.02	0.04	0.25	0.18	0.25	0.25	0.27
Bi	0.03	0.17	2.03	63.0	0.50	0.55	0.58
Cd	0.43	1.96	1.98	8.8	0.65	1.68	0.84
Co	18.38	19.04	19.10	25.0	16.50	24.12	18.50
Cr	50.17	67.88	60.15	5.3	49.62	44.66	61.54
Ga	19.16	16.42	13.48	1.6	19.48	17.74	19.14
Hg	1.18	0.54	1.13	<0.5	3.96	2.01	1.99
La	15.37	13.67	13.55	0.68	16.08	12.38	15.37
Li	15.79	16.50	32.10	14.0	12.32	18.20	15.37
Mn	1896.45	2112.88	2110.70	Н.о.	1553.68	2374.48	1918.78
Mo	3.21	2.21	4.60	1.7	4.21	2.16	3.63
Nb	17.10	17.75	21.95	1.2	15.61	21.74	15.80
Ni	12.10	15.75	18.20	28.0	10.71	16.42	13.15
Pb	19.74	22.67	134.70	Н.о.	19.30	25.52	13.63
Sb	0.05	0.38	1.00	9.4	1.12	1.00	1.00
Sc	18.28	18.13	13.95	<0.9	16.97	20.68	18.67
Sr	287.11	195.17	91.15	33.0	289.71	340.06	248.00
Te	3.47	5.75	7.95	1.1	2.39	6.25	4.72
V	215.62	212.46	247.00	34.0	187.47	266.08	210.22
Zn	163.67	397.92	367.05	570.0	109.85	393.96	141.17
Zr	73.72	65.25	65.80	6.2	67.01	82.96	70.52
Ti	3678.29	3620.83	2805.00	Н.о.	3483.33	4122.00	3828.26
Cu	93.14	270.83	365.00	Н.о.	131.06	231.00	111.96
Nb/La	1.11	1.30	1.62	1.76	0.97	1.76	1.03
Sr/Ba	1.14	1.15	0.79	Н.о.	1.28	0.88	1.54
Co/Ni	1.52	1.21	1.05	0.89	1.54	1.47	1.41
Au/Ag	0.00	0.13	0.33	0.57	0.03	0.05	0.04
Cu/Mo	29.00	122.64	79.35	Н.о.	31.12	106.94	30.84
As/(Sb+Te)	0.83	0.56	3.42	26.7	0.89	0.53	0.28

*Обогащенная проба руды, метод ICP-MS, аналитическая лаборатория ВИМС.

Примечание. Н.о. – не определялся, n – количество проб. Микроэлементы определены методом ICP-AES, Au и Ag – методом атомной абсорбции (лаборатория SGS в г. Сантьяго, Чили).

*Enriched ore sample, ICP-MS method, analytical laboratory of VIMS.

Note. Н.о. – not determined, n – number of samples. Trace elements were determined by ICP-AES, Au and Ag – by atomic absorption method, (SGS laboratory in Santiago, Chile).

ты объединялись в группы на основании петрографического состава вмещающих пород, а также по признаку руда–не руда. Для разделения по последнему признаку использовалось бортовое содержание золота 0.1 г/т. При интерпретации результатов факторного анализа обычно принимается, что один фактор соответствует одному геологическому процессу.

1. По всему массиву проб (182 пробы, 39 элементов) 95% дисперсий содержаний обеспечивается 25 факторами, начиная с 5-го фактора влияние

каждого последующего менее 5%. 33.5% изменчивости содержаний обеспечивается двумя первыми факторами.

В факторе 1 (18.3%) основные положительные факторные нагрузки приходятся на V–Fe–Nb–Co–Mg–Sc–Te–Ti–Al–Mg–Zr–Ni–Zn (в порядке убывания от 0.88 до 0.5).

В факторе 2 (15.2%) положительные факторные нагрузки (от 0.64 до 0.55) связаны с Li–As–Au–Ag. Положительный вклад во 2-й фактор (менее 0.5, но более 0.44) дают S–Bi–K. Значимый отрицатель-

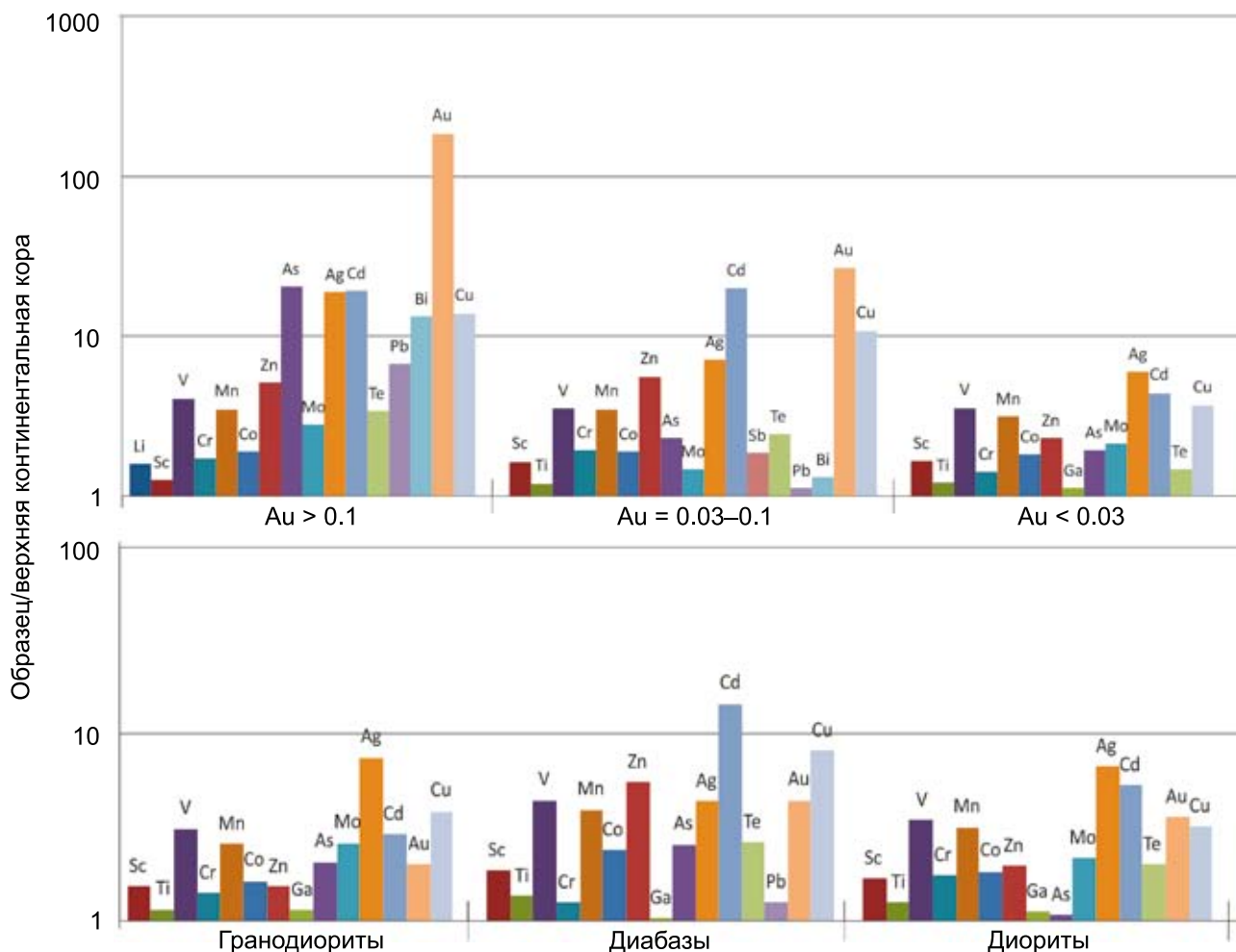


Рис. 7. Микроэлементы в руде ($Au > 0.1$ г/т), околорудных метасоматитах ($Au = 0.03–0.1$ г/т) и вмещающих породах ($Au < 0.03$ г/т) золото-сульфидно-кварцевого месторождения Эскондида нормированные по отношению к средним значениям для верхней коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988).

Fig. 7. Trace elements in ore ($Au > 0.1$ ppm), near-ore metasomatic rocks ($Au = 0.03–0.1$ ppm) and the host rocks ($Au < 0.03$ g/t) of the Escondida gold-sulfide-quartz Deposit are normalized relative to the average values for the upper crust (Taylor, McLennan, 1988).

ный вклад в этот фактор (от -0.81 до -0.58) дают Al–Sr–Ti–Na.

Полученные результаты могут быть интерпретированы следующим образом. Фактор 1 связан с образованием фоновых железо-магний-алюминиевых метасоматитов – скарнов, что подтверждается высокой значимостью этих элементов и обычно сопутствующих скарнам V, Co, Ni, Sc. На возможное избирательное развитие скарнов по определенным породам указывает высокий вклад в этот фактор низкоподвижных элементов: Ti, Nb, Zr. Поскольку вклад этих элементов положительный, можно думать, что он обеспечивается при развитии эндоскарнов (т. е. скарнов по магматическим породам).

Фактор 2 может быть объяснен тем, что процесс, при котором происходит увеличение содер-

жаний золота, одновременно приводит к уменьшению подвижности соединений лития и мышьяка и к разрушению альбита, карбонатов и минералов титана. Нельзя исключать, что таким процессом является образование серицитовых метасоматитов (филлизитов) под действием флюидов с достаточно высокой кислотностью. В целом пробы отобраны по эндоскарнам в гранитоидных массивах. В пределах эндоскарнов развиты зоны филлизитовых (серицит-кварцевых) метасоматитов с Au–Ag–As минерализацией.

2. Массив проб “рудная зона” (136 проб, 39 элементов). 95% изменчивости содержаний объясняется с помощью 11 факторов. Начиная с 7-го фактора влияние каждого последующего менее 5%. 46.4% изменчивости содержаний обеспечивается двумя первыми факторами.

В факторе 1 (28.3%) основные положительные факторные нагрузки приходятся на Ti–Sc–Nb–V–Co–Cd–Al–Fe–Zr–Zn–Ga–Mg–Sr–Mg–Cu–Te (в порядке убывания от 0.87 до 0.5). Значимый отрицательный вклад в фактор 1 дают Ca и Li (факторные нагрузки: –0.69 и –0.74).

В факторе 2 (18.3%) основные положительные факторные нагрузки приходятся на S–Mo–Fe–Te–As (в порядке убывания от 0.87 до 0.62). Значимый отрицательный вклад дают Mg–La–Al (факторные нагрузки: от –0.53 до –0.57).

Учитывая особенности формирования выборки (пробы с повышенным содержанием золота, т. е., вероятно, наиболее проработанные) и то, что железо дает существенный вклад в оба фактора, полученные результаты могут быть интерпретированы следующим образом. Факторы 1 и 2 детализируют особенности предрудных процессов. Факторные нагрузки, входящие в фактор 1, мало отличаются от установленных по всей выборке (указывают на существенный вклад в дисперсию содержаний скарновых процессов и определенного предпочтительного породного субстрата). Появление отрицательных связей с Ca может свидетельствовать

о том, что руды предпочтительно развиваются в зоне выноса карбонатного вещества или альбитизации плагиоклазов.

Фактор 2 существенно отличается тем, что благородные металлы в него не входят, но отчетливо проявляется связь Mo, As и S. Связь этих элементов с Fe указывает на то, что привнос или перераспределение Fe продолжалось при увеличении активности серы, а отрицательный вклад амфотерных металлов может быть обусловлен повышением их подвижности при уменьшении pH (повышении кислотности). По-видимому, данный фактор (по этой выборке) отражает вклад процесса предрудной сульфидизации в изменчивость содержаний.

В целом при локализации выборки по содержанию золота снижается количество факторов, повышается вклад первых (“предрудных”) факторов в объяснение дисперсий.

Проведенные исследования позволили установить основные характеристики золото-сульфидно-кварцевых месторождений Центрального Чили и сформулировать их отличия от расположенных северо-восточнее эпитермальных золотых месторождений (табл. 3).

Таблица 3. Основные характеристики золото-сульфидно-кварцевых и эпитермальных золотых месторождений Чилийской активной окраины

Table 3. Main characteristics of gold-sulfide-quartz and epithermal gold deposits of The Chilean active margin

№ п.п.	Характеристики	Тип месторождения	
		Золото-сульфидно-кварцевые	Эпитермальные золотые HS типа
1	Геодинамическая позиция	Надсубдукционная область активной континентальной окраины с более плотной и холодной мантией на глубинах 60 км	Поле глубин Мохо 60–75 км
2	Геофизические параметры литосферы	Поле глубин Мохо около 25 км	Поле глубин Мохо 60–75 км
3	Место в схеме зональности	Между IOCG и медно-порфировым поясами	Восточнее медно-порфирового пояса
4	Морфология пояса	Сравнительно узкая, линейно-вытянутая полоса среди интрузивных пород разного состава	Пояс Марикунга олигоцен-миоценовых вулканитов кислого состава
5	Региональная позиция	Зона сдвиговых деформаций	Система вулканоструктур
6	Морфология проявлений	Четкие жильно-прожилковые системы протяженностью 150–4400 м и шириной 200–1300 м	Залежи типа “манто” – порфировые вкрапленные и штокерковые прожилковые размером до 1.6 × 1.2 км
7	Приуроченность к системам трещин	Ориентировка крутопадающих жил 20–45° и реже 320–340° при мощности 0.2–5.0 м	Трещиноватость ССВ и ССЗ вокруг штоков кварцевых диоритов и микродиоритов
8	Состав рудной минерализации	“LS”-тип, кварц, ПШ, пирит, халькопирит, гематит, золото	“HS”-тип, полосчатые, “пористые” кварцевые прожилки – до 20% пирита и магнетита
9	Геохимические особенности руд	Исключительно Au и Ag	Hg-Ag-Au руды и скопления самородной S
10	Содержания золота	Сравнительно высокие содержания в рудных телах: 2–40 г/т	Характерны невысокие средние содержания Au: 0.48–0.85 г/т
11	Форма рудных тел	Изометричные плоские тела размером первые десятки метров	Минерализованные зоны площадью до 1400 × 700 м и до глубины >600 м
12	Масштабы месторождений	Мелкие и средние	От мелких до крупных

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные в статье золото-сульфидно-кварцевые месторождения Центрального Чили, ранее не выделявшиеся в самостоятельный тип, – слабо изученные объекты, в значительной степени отработанные ранее. В настоящее время на них происходит старательская добыча. Месторождения характеризуются небольшими мощностями рудных интервалов (от первых десятков см до 1 м), прерывистым и гнездовым распределением руды и крайне неравномерными содержаниями золота.

Выполненные исследования показали, что контролирующие минерализацию разрывные нарушения – производные сдвиговой тектоники в условиях транспрессионного режима вдоль Чилийской активной окраины. По-видимому, на раннем этапе они развивались в правосдвиговой обстановке, что сопровождалось внедрением даек диабазов в северо-восточные разломы, а уже в левосдвиговой этап отлагалась золото-сульфидно-кварцевая минерализация, наложенная на дайки.

Показано, что на рудном поле Япин развита разнобразная минерализация – медная, гематитовая и золото-сульфидно-кварцевая. По данным геохимических исследований, последняя характеризуется обогащением халькофильными элементами (Au, As, Ag, Cd, Cu, Bi, Pb, Zn, Te). Повышенные содержания в рудах Bi, Te и Co указывает на участие в рудообразовании магматического флюида и на сходство минерализации месторождения Эскондида с типом месторождений золота, связанных с интрузивами гранитоидов.

Подводя итоги, отметим, что золото-сульфидно-кварцевые месторождения занимают пограничное положение между объектами IOCG-типа и медно-порфировыми объектами и по своим характеристикам отличаются от эпitherмальных месторождений (см. табл. 3).

Глобальная металлогеническая однородность Тихоокеанского рудного пояса (Смирнов, 1946; Сидоров и др., 2018; Волков, Сидоров, 2019) позволяет предполагать широкое развитие аналогов американских месторождений в его азиатской половине, в том числе и в северо-западном его отрезке – на Северо-Востоке России. Здесь весьма реальны перспективы открытия золото-сульфидно-кварцевых месторождений нового, нетрадиционного типа, аналогичных центрально-чилийским.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Волков А.В., Сидоров А.А. (2018) Прогнозно-поисковая модель месторождений золота, связанных с интрузивами гранитоидов, в Арктической зоне России. *Арктика: экономика и экология*, **31**(3), 84-99.
- Волков А.В., Сидоров А.А. (2019) Минеральное богатство Тихоокеанского рудного пояса. *Вестн. РАН*, **89**(2), 157-165.
- Волков А.В., Сидоров А.А., Савва Н.Е., Колова Е.Е., Чиждова И.А., Мурашов К.Ю. (2017) Геохимические особенности вулканогенного рудообразования в Северо-западном сегменте Тихоокеанского рудного пояса (Северо-Восток России). *Вулканология и сейсмология*, (6), 3-20.
- Волков А.В., Сидоров А.А., Старостин В.И. (2014) Металлогения вулканогенных поясов и зон активизации. М.: МАКС Прес, 355 с.
- Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Попов В.С. (1986) Медно-порфировые месторождения мира. М.: Недра, 236 с.
- Митчелл А., Гарсон М. (1984) Глобальная тектоническая позиция минеральных месторождений. М.: Мир, 496 с.
- Савчук Ю.С., Волков А.В., Мурашов К.Ю., Аристов В.В. (2016) Малообъемные месторождения золота района Кокимбо (Республика Чили). *Разведка и охрана недр*, (7), 19-24.
- Сидоров А.А., Волков А.В., Галямов А.Л., Чиждова И.А. (2018) Вопросы глобальной металлогенической зональности Тихоокеанского рудного пояса. *Вестн. СВНЦ ДВО РАН*, (2), 3-17.
- Сидоров А.А., Томсон И.Н., Савва Н.Е., Волков А.В., Прокофьев В.Ю., Колова Е.Е. (2006) О соотношении порфировых месторождений с их жильными сателлитами. *Докл. АН*, **409**(4), 504-509.
- Смирнов С.С. (1946) О Тихоокеанском рудном поясе. *Изв. АН СССР. Сер. Геол.*, (2), 13-28.
- Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. (1988) Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 384 с.
- Bassin C., Laske G., Masters G. (2000) The Current Limits of Resolution for Surface Wave Tomography in North America. *EOS Trans AGU*, **81**, F897. <http://igppweb.ucsd.edu/~gabi/crust2.html>
- Bouman J., Ebbin J., Meekes S., Abdul Fattah R., Fuchs M., Gradmann S., Haagmans R., Lieb V., Schmidt M., Dettmering D., Bosch W., Bouman J., Ebbin J., Meekes S. (2015) GOCE gravity gradient data for lithospheric modeling. *Intern. J. Appl. Earth Observ. Geoinf.*, **35**, 16-30.
- Davidson J., Mpodozis C. (1991) Regional geological setting of epithermal gold deposits, Chile. *Econ. Geol.*, **86**, 1174-1186.
- Electronic Internet Source: <https://igppweb.ucsd.edu/~gabi/crust1.html>
- Electronic Internet Source: <http://igppweb.ucsd.edu/~gabi/crust2.html>
- Kay S.M., Mpodozis C. (2001) Central Andean Ore Deposits Linked to Evolving Shallow Subduction Systems and Thickening Crust. *March 2001. GSA Today*, 4-9.
- Laske G., Masters G. (1997) A Global Digital Map of Sediment Thickness. *EOS Trans. AGU*, **78**, F483.
- Marschik R., Fontbote L. (2001) The Candelaria-Punta del Cobre Iron Oxide Cu-Au (Zn-Ag) Deposits, Chile. *Econ. Geol.*, **96**, 1799-1826.
- Marschik R., Leveille R.A., Martin W. (2000) La Candelaria and the Punta del Cobre district, Chile: Early Cretaceous iron-oxide Cu-Au(-Zn-Ag) mineralization, in Porter, T.M., ed. Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective. *PGC Publishing, Adelaide*, **1**, 163-175.
- Muntean J.L., Einaudi M.T. (2000) Porphyry gold deposits of the Refugio District, Maricunga Belt, Northern, Chile.

- Econ. Geol.*, **95**, 1445-1472.
- Muntean J.L., Einaudi M.T. (2001) Porphyry-epithermal transition: Maricunga Belt, Chile. *Econ. Geol.*, **96**(4), 743-772.
- Sillitoe R.H. (2003) Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view. *Mineral. Depos.*, **38**, 787-812.
- Sillitoe R.H. (2010) Porphyry Copper Systems. *Econ. Geol.*, **105**, 3-41.
- Vila T., Sillitoe R.H. (1991) Gold-rich porphyry systems in the Maricunga belt, northern Chile. *Econ. Geol.*, **86**, 1238-1260.
- Williams P.J., Barton M.D., Johnson D.A., Fontbote L., De Haller A., Marc G., Oliver N.H.S., Marschik R. (2005) Iron Oxide Copper-Gold Deposits: Geology, Space-Time Distribution, and Possible Modes of Origin. *Econ. Geol. 100th Anniversary Volume*, 371-405.
- Mitchell A., Garson M. (1984) Global tectonic position of mineral deposits. Moscow, Mir Publ., 496 p. (In Russian)
- Muntean J.L., Einaudi M.T. (2000) Porphyry gold deposits of the Refugio District, Maricunga Belt, Northern, Chile. *Econ. Geol.*, **95**, 1445-1472.
- Muntean J.L., Einaudi M.T. (2001) Porphyry-epithermal transition: Maricunga Belt, Chile. *Econ. Geol.*, **96**(4), 743-772.
- Savchuk Yu.S., Volkov A.V., Murashov K.Yu., Aristov V.V. (2016) Small-volume gold deposits of the Coquimbo region (Republic of Chile). *Razvedka i Okhrana Nedr.*, (7), 19-24. (In Russian)
- Sidorov A.A., Tomson I.N., Savva N.E., Volkov A.V., Prokof'yev V.Yu., Kolova E.E. (2006) On the ratio of porphyry deposits with their vein satellites. *Dokl. Akad. Nauk*, **409**(4), 504-509. (In Russian)
- Sidorov A.A., Volkov A.V., Galyamov A.L., Chizhova I.A. (2018) Questions of the global metallogenic zoning of the Pacific ore belt. *Vestn. SVNTs DVO RAN*, (2), 3-17. (In Russian)
- Sillitoe R.H. (2003) Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view. *Mineral. Depos.*, **38**, 787-812.
- Sillitoe R.H. (2010) Porphyry Copper Systems. *Econ. Geol.*, **105**, 3-41.
- Smirnov S.S. (1946) On the Pacific ore belt. *Izv. AN SSSR. Ser. Geol.*, (2), 13-28. (In Russian)
- Teilor S.R., Mak-Lennan S.M. (1988) Continental crust: its composition and evolution. Moscow, Mir Publ., 384 p. (In Russian)
- Vila T., Sillitoe R.H. (1991) Gold-rich porphyry systems in the Maricunga belt, northern Chile. *Econ. Geol.*, **86**, 1238-1260.
- Volkov A.V., Sidorov A.A., Savva N.Ye., Kolova E.E., Chizhova I.A., Murashov K.Yu. (2017) Geochemical peculiarity of volcanogenic ore generation in North-Western segment of Pacific ore belt (North-East of Russia). *Vulkanol. i Seismol.*, (6), 3-20. (In Russian)
- Volkov A.V., Sidorov A.A., Starostin V.I. (2014) Metallogeny of volcanogenic belts and activation zones. Moscow, MAKSPres Publ., 355 p. (In Russian)
- Volkov A.V., Sidorov A.A. (2018) Predictive prospecting model of gold deposits associated with intrusions of granitoids in the Arctic zone of Russia. *Arktika: Ekonomika i Ekologiya*, **31**(3), 84-99. (In Russian)
- Volkov A.V., Sidorov A.A. (2019) Mineral riches of Pacific ore belt. *Vestn. Ross. Akad. Nauk*, **89**(2), 157-165. (In Russian)
- Williams P.J., Barton M.D., Johnson D.A., Fontbote L., De Haller A., Marc G., Oliver N.H.S., Marschik R. (2005) Iron Oxide Copper-Gold Deposits: Geology, Space-Time Distribution, and Possible Modes of Origin. *Econ. Geol. 100th Anniversary Volume*, 371-405.

REFERENCES