ВУЛКАНОЛОГИЯ И СЕЙСМОЛОГИЯ, 2019, № 6, с. 23–35

УДК 551.23(571.65)

О МЕТАЛЛОГЕНИИ ТИХООКЕАНСКИХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОЯСОВ

© 2019 г. А. А. Сидоров*, А. В. Волков, А. Л. Галямов**

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН
119017 Москва, Старомонетный пер., 35
**e-mail: kolyma@igem.ru*
***e-mail: tma2105@mail.ru*

Поступила в редакцию 30.05.2019 г.

В статье обсуждаются актуальные аспекты металлогении Тихоокеанских вулканических поясов (ТВП), которые представляют собой комплекс сложных вулканогенно-плутоногенных образований, связанных с развитием окраинноморской литосферы, обладающей выразительной спецификой рудообразования. Показано, что с течением времени представления о металлогенической однородности ТВП получили новое обоснование с позиций глобальной тектоники плит. Показано металлогеническое значение Ag/Au отношения в рудах месторождений ТВП. Рассмотрены соотношение порфирово-эпитермальной и колчеданно-полиметаллической рудообразующих систем, регенерированные и реювенированные эпитермальные месторождения. Глобальная металлогеническая однородность Тихоокеанского рудного пояса позволяет предположить широкое развитие аналогов американских вулканогенных месторождений в его азиатской половине, в том числе и на Северо-Востоке России. Основная часть внутренней зоны ОЧВП – Удско-Мургальский островодужный пояс, как и Уяндино-Ясаченский и Олойский пояса, подобны по геологическому строению не только Японской провинции зеленых туфов, но и другим Тихоокеанским вулканическим поясам островодужного типа и, следовательно, в их пределах высока вероятность выявления всего разнообразия месторождений колчеданно-полиметаллического рудноформационного ряда.

Ключевые слова: Тихоокеанский рудный пояс, островодужные и краевые вулканические пояса, металлогения, месторождение, однородность, эпитермальные, медно-порфировые, Куроко, регенерированные, реювенированные.

DOI: https://doi.org/10.31857/S0203-03062019623-35

ВВЕДЕНИЕ

Вулканизм сопровождается мощной гидротермальной деятельностью с мобилизацией и концентрацией химических элементов пород и руд на самых различных глубинах земной коры. Современные, мезозойские, палеозойские и еще более древние ТВП богаты не только благородными, цветными, но и редкими металлами и РЗЭ, разнообразными драгоценными и поделочными цветными камнями, другими ценными полезными ископаемыми.

Вулканогенные месторождения, как объекты исследований, обладают важными особенностями. Они обнаруживают определенные аналогии с продуктами современной гидротермальной деятельности, что способствует широкому использованию метода актуализма при познании природы оруденения; распространенный близповерхностный характер рудоотложения позволяет сравнительно легко представить модель рудного процесса, исследовать взаимоотношения эндогенных и экзогенных факторов развития.

Вместе с тем, совершенно очевидно также, что современные наблюдения не отражают всего многообразия тектонического положения, строения и объемов изверженного вещества и гидротермальных образований в пределах вулканических областей прошлых геологических эпох. Но метод актуализма позволяет избавиться от некоторых эмпирических иллюзий (например, рудная специализация гранитоидных магм), осмыслить особенности действующих гидротермальных систем, увидеть некоторые аналогии в минералообразовании или их отсутствие. Иными словами, сравнительные исследования современного вулканизма и палеовулканогенных процессов систематически стимулируют развитие геологических реконструкций прошлого. Новое дыхание метод актуализма получил с развитием рудноформационного и геоинформационного анализа (ГИС).

Таким образом, проблемы рудоносности вулканогенных поясов можно рассматривать на принципиально новом фактическом материале и на основе существенно изменившейся

методологии, разработанной в значительной мере отечественными учеными. Запоздавшие у нас идеи мобилизма почти не потребовали изменений в сложившихся представлениях о мезокайнозойских ТВП, сформировавшихся преимущественно как постаккреционные образования. Основная часть нового фактического материала, позволившая существенно расширить представления о металлогении ТВП, получена в последние десятилетия прошлого и в начале этого столетия.

Определения металлогенических и руднофор-мационных терминов в статье приводятся по работе [Сидоров и др., 2011а] и Российскому металлогеническому словарю [2003]. В ходе работы над статьей был подготовлен ГИС проект, включающий картографический материал и базу данных по отечественным и зарубежным месторождениям ТВП.

О ГЛОБАЛЬНОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ТИХООКЕАНСКОГО РУДНОГО ПОЯСА

Тихоокеанский рудный пояс (ТРП) огромным кольцом охватывает активные континентальные окраины вокруг одноименного океана (рис. 1). В геологическом строении ТРП участвуют громадные объемы (млн км^3) изверженных вулканических и интрузивных магматических пород. Протяженность внешней границы свыше 56 тыс. км, а ширина варьирует от нескольких сот до тысяч км. В составе пояса традиционно выделяются: Азиатский, Австралийский, Североамериканский, Южноамериканский и Антарктический сегменты. Хотя в пределах последнего установлены только несколько рудопроявлений доступных для изучения, а большая его часть перекрыта ледниками. Практически вся территория Дальневосточного Федерального округа России и Забайкальского края находится в пределах Северо-Западной части Азиатского сегмента Тихоокеанского рудного пояса (рис. 2).

Схематические карты (см. рис. 1а, 1б), составленные на основе ГИС, наглядно показывают, что ТВП находятся над областями верхней мантии с относительно низкой плотностью, которые характеризуются также повышенным термальным режимом [Tenzer et al., 2012; Cammarano et al., 2017]. Главные особенности неоднородной плотности верхней мантии обусловлены взаимодействием плит на фоне глобальной мантийной тепловой и вещественной конвекции [Tenzer et al., 2012]. Наиболее ярко связь гравитации и плотности присущи веществу океанической коры, где гравитационные аномалии пространственно прямо коррелируют с плотностью вмещающих пород; вместе с тем, по данным сейсмотомографии, их контрастность ослабевает с увеличением глубины поверхности Мохо [Tenzer et al., 2012].

Таким образом, дискутируемые границы Тихоокеанского рудного пояса и его металлогеническая однородность получили дополнительное обоснование в термальной и плотностной модели окраиноморской литосферы (см. рис. 1).

Наиболее представительные вулканические пояса планеты характерны для Тихоокеанского кольца, или Тихоокеанского рудного пояса по С.С. Смирнову [1946]. Вулканогенные эпитермальные месторождения, типичные для всего пояса, С.С. Смирнов рассматривал в качестве важного доказательства глубинного (нижнекорового, подкорового) характера рудогенерирующих очагов и самого пояса. Однако дальнейшие исследования [Сидоров, Волков, 2004; Сидоров и др., 2011б] показали, что весьма убедительное сходство эпитермальных руд в различных регионах Тихоокеанского пояса обусловлено вовсе не однородностью глубинного (подкорового) флюида, а всего лишь близкими физико-химическими условиями отложения руд в близповерхностной обстановке.

Работа С.С. Смирнова [1946] “О Тихоокеанском рудном поясе” – выдающееся обобщение металлогенических знаний сороковых годов, значение которого сохраняется. Ее автор – один из самых ярких основателей металлогенической школы российских геологов. Идеи новой глобальной тектоники в определенной мере ассимилировали результаты исследований этой школы [Геодинамика ..., 2006]. Однако элементы глобальной металлогенической однородности пояса оказалось непросто объяснить с позиций террейновой концепции. Воспринимая последнюю с методологических позиций структурно-формационных зон, ниже мы предлагаем объяснение этих элементов, привлекая руднофор-мационный анализ [Сидоров и др., 2011а].

Для Тихоокеанского рудного пояса характерна окраинноморская, переходная от континентальной к океанической литосфера [Сидоров и др., 2018]. Металлогеническая модель, которой заключается в сложном сочетании реювенированного оруденения докембрийского фундамента террейнов разного типа, сульфидизированных зон верхоянского (Pz-J) осадочного комплекса и постмагматических образований в аккреционных (J-K_1) и постаккреционных структурах (K_1-Cz) [Сидоров, Волков, 2015]. Важнейшая особенность окраиноморской литосферы – остаточные кратонные террейны (типа Охотского и Омолонского на Северо-Востоке России) и обилие погруженных микрократонов [Сидоров и др., 2010]. К их ограничениям и секущим зонам тектоно-магматической активиза-

ции приурочены крупнейшие рудные месторождения [Сидоров и др., 2013].

Тектоническую специфику и глобальную металлогеническую зональность Тихоокеанского пояса во многом определяют островодужные и окраинноконтинентальные (краевые) вулканические пояса (рис. 3). Многочисленные островодужные террейны прошлых геологических эпох, включающие вулканические пояса, устанавливаются в структурах Канадских Кордильер (ранний палеозой – мезозой), Северо-Востока и Дальнего Востока России (поздний палеозой – поздний мезозой) и Южной Америки (мезозой – ранний кайнозой). Позднекайнозойскими и современными аналогами островодужных террейнов на различных этапах их развития являются вулканические дуги – Северо-Восточного Хонсю, Идзу-Бонино-Марианская, Тонго-Кермадекская, Курило-Камчатская, Алеутская и другие [Белый, 1985].

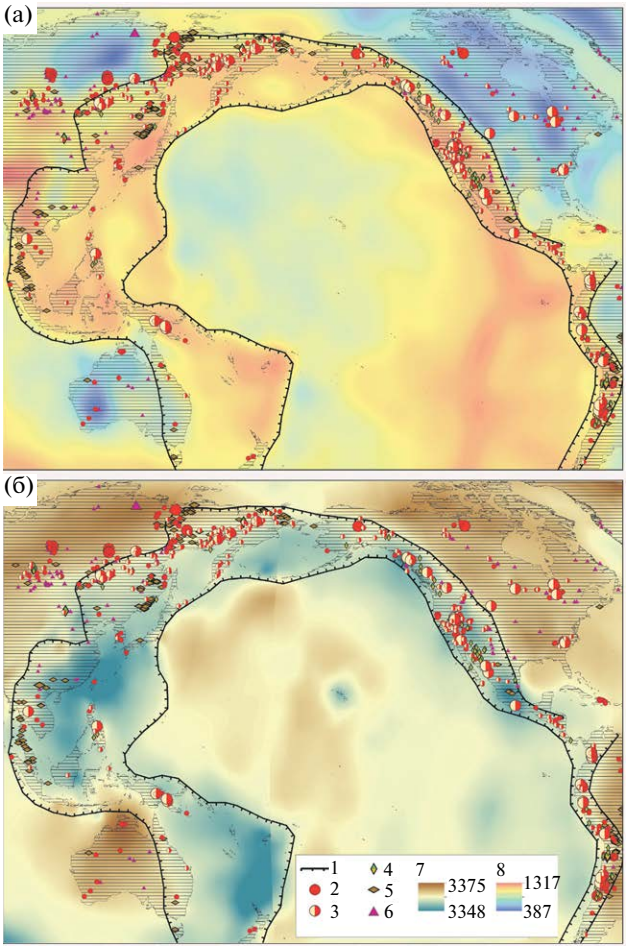

Рис. 1. Распространение металлических месторождений в Тихоокеанском рудном поясе, по данным ГИС-анализа на картах: температуры коры на глубине 60 км (а) и плотности верхней мантии (б).

1 – границы Тихоокеанского рудного пояса; 2–6 – месторождения: 2 – золоторудные в терригенных толщах, 3 – золотосеребряные эпитермальные, 4 – медно-молибден-порфировые золотосодержащие, 5 – оловорудные, 6 – редкометалльные; 7, 8 – геофизические свойства верхней мантии, проект CRUST 2.0 [Laske et al., 2000]: 7 – плотность (г/см^3), 8 – температура (^{o}C).

Доаккреционные этапы развития островодужных террейнов характеризовались накоплением толщ высокоглиноземистых базальтов, андезито-базальтов, андезитов и их туфов, а также вулканомиктовых отложений и осадочных толщ формации “зеленых туфов” (андезитовые геосинклинали или эвлиминары, по В.Ф. Белому [1998]). В коллизионные и аккреционные этапы формируются молассоидные образования, кислые вулканиты и вулканоплутонические ассоциации. В пределах островодужных террейнов сосредоточена значительная часть Cu-Mo-порфировых месторождений и большая часть колчеданно-полиметаллических месторождений, связанных с формацией “зеленых туфов”.

В таблице 1 дана сравнительная характеристика Тайгоносской (Северо-Восток России) и Арауканской (Чилийские Анды) островодужных террейновых систем, аккретированных соответственно в послеготеривское-предальбское время и в палеогене. На примере этих систем и современных островных дуг хорошо видны элементы асимметрии развития тихоокеанских окраин.

Возникновение краевых вулканических поясов связано с позднемезозойским и кайнозойским этапами развития Тихоокеанского рудного пояса [Сидоров и др., 2018]. Эти вулканогенные пояса нередко наложены на островодужные, кратонные и другие террейны пассивных континентальных окраин. Важнейшие руднoформационные ряды фанерозойских провинций ТРП охарактеризованы в таблице 2 (см. также рис. 3). Многие из них – отчетливо унаследованы от древних кратонных рудных формаций (праформаций) [Сидоров, Волков, 2015], другие – могут быть отнесены к новообразованным рядам рудных формаций. Однако унаследованные и новообразованные ряды в качественном отношении подобны, что связано с близкими физико-химическими условиями развития вулканогенных (вулканогенно-плутоногенных) месторождений. Именно специфика оруденения, распространенного в островодужных и окраинноконтинентальных вулканических поясах и их перивулканических зонах позволяет говорить о Тихоокеанском рудном поясе как особой глобальной по С.С. Смирнову [1946] металлогенической структуре.

Есть основания полагать, что ТВП начали развиваться, по крайней мере, с палеозоя (Канадские Кордильеры, Омолонский массив, Северо-Восток России) и к концу мезозоя приобрели отчетливую глобальную выразительность в связи с развитием островодужных террейнов Южной Америки

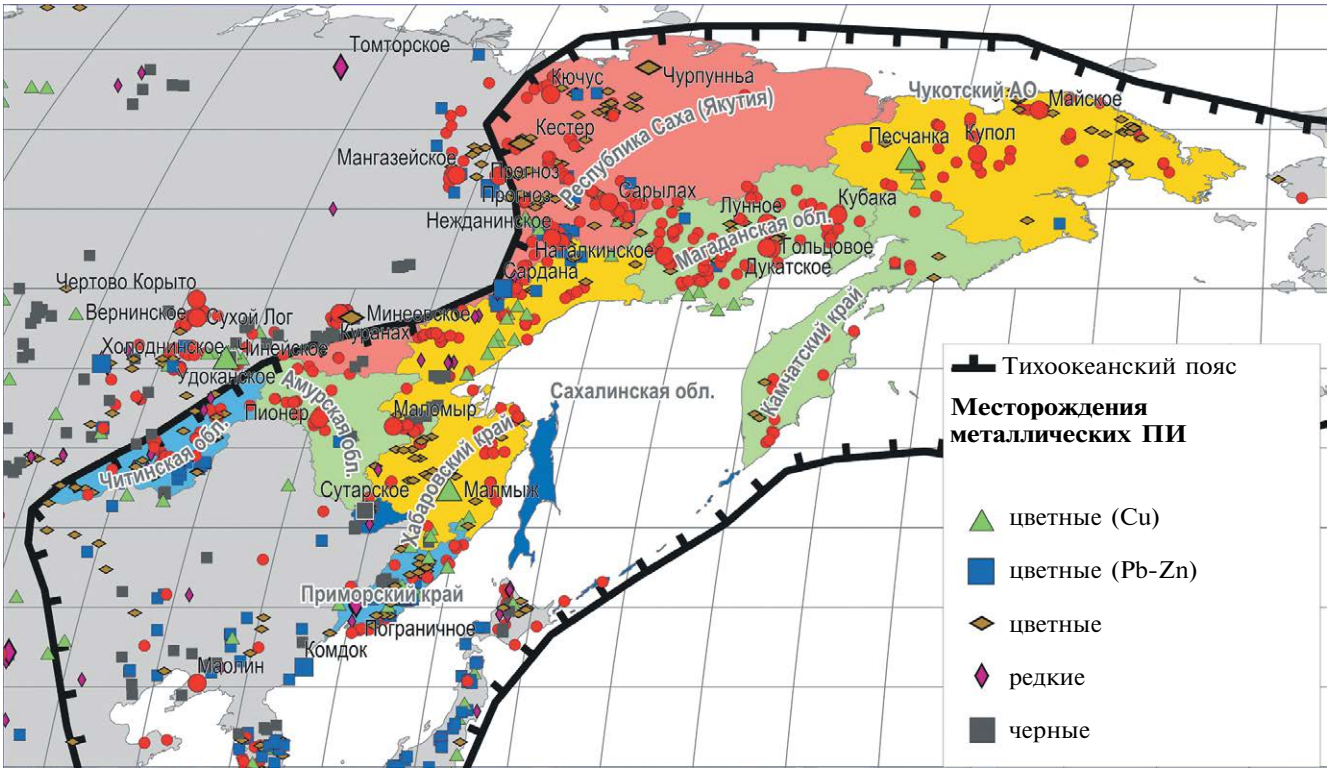

Рис. 2. Распространение рудных металлических месторождений в Северо-Западном (российском) секторе Тихоокеанского рудного пояса, по данным ГИС-анализа. Субъекты Дальневосточного Федерального округа показаны разными цветами.

[Белый, 1985, 1998]. В кайнозое островные вулканические дуги получили еще большее распространение в Тихоокеанском поясе. Позднемезозойский этап формирования ознаменовался заложением и развитием краевых вулканических поясов, которые с этого времени сосуществовали с островодужными поясами разного возраста и нередко перекрывали последние. В этот период обнаруживается нарастание элементов глобальной металлогенической однородности Тихоокеанского рудного пояса, которые связаны, прежде всего, с развитием порфировых, сульфидных (вкрапленных руд) и колчеданных (полиметаллических) рядов рудных формаций, а также с хромитовыми, Cu-Ni и платинометалльными рядами офиолитовых террейнов, океанических рифтов и островодужных образований (см. табл. 2).

Различные базовые рудные формации сопровождаются однотипными жильными рудными формациями: золото-серебряными, полиметаллическими, олово-серебро-полиметаллическими, сурьмяными, ртутными (см. табл. 2). Именно эти генетически разнородные, но подобные и даже конвергентные месторождения и рудопроявления объединяются в единые металлогенические зоны, образующие Тихоокеанский рудный пояс (см. рис. 1, рис. 3).

При выделении внутренней (“Cu”) и внешней (“Sn-W”) зон Тихоокеанского пояса С.С. Смирнов [1946] подчеркивал, что в целом очертания последнего прекрасно фиксируются бонанцевыми Au-Ag месторождениями, тесно ассоциированными в пространстве и во времени с третичными вулканитами. Позднее выяснилось, что эти месторождения в ТРП связаны также с позднемезозойскими (Охотско-Чукотский и Восточно-Сихоте-Алинский вулканогенные пояса), палеозойскими (в чехле Омолонского кратона) и даже более древними вулканитами [Сидоров и др., 2011б]. Однако весьма солидные данные по исследованию соотношений стабильных изотопов водорода и кислорода в эпитермальных рудах однозначно свидетельствуют о метеорной природе рудоносных гидротерм [Уайт, 1977 и др.].

Нами неоднократно была показана зависимость минерального типа Au-Ag эпитермальных месторождений от типа рудного комплекса (рудноформационного ряда) и, прежде всего, от вещественного состава руд базовой рудной формации [Сидоров и др., 2011а; Волков и др., 2014]. Значительные Au-Ag эпитермальные месторождения входят в Cu-Mo-порфировый рудный комплекс. Это согласуется с тем, что медно-порфировые месторождения характеризуются нередко крупными запасами золота и серебра в рудах. Более того, отношения Ag/Au в порфировых рудах и в Au-Ag эпитермальных месторождениях-сателлитах обычно близки.

Таблица 1. Сравнительная характеристика Тайгоносской и Арауканской островодужных террейновых систем ([Белый, 1998] с дополнениями)

Системы	Тайгоносская	Арауканская
Размеры	Протяженность – 2000 км, ширина – 50–120 км	Протяженность – 2500 км, ширина – 150–200 км
Толщи, сформировавшиеся в условиях вулканических архипелагов	T_{nor}–J_{kim} – высокоглиноземистые базальты, андезито-базальты, андезиты, дациты, 4000–7000 м; J–K_{hau} – андезито-базальты, андезиты, базальты, игнимбриты риолитового и дацитового состава, 3500–7000 м	J–J_{oxf} – высокоглиноземистые андезито-базальты, базальты, андезиты, дациты, риолиты, 7000 м; J_{kim}–K – андезито-базальты, андезиты, латиты, игнимбриты дацитового, трахи-дацитового, риолитового состава, 8000–13000 м
Коллизионные и аккреционные образования	J_{bth}–K_{alb} – внедрение гранитоидов, поднятие, размыв, образование впадин, заполненных молассой, 2000–3000 м	K–Pg – андезиты, андезито-базальты, трахиандезиты, латиты, игнимбриты дацито-вого и риолитового состава, континентальная моласса 6000–8000 м, мощный гранитоидный магматизм
Определяющие руднoформационные ряды	Cu-Mo-порфировый и колчеданный (с Au-Ag и Sb-Hg эпитермальными месторождениями)	Cu-порфировый и колчеданный (с полиметаллическими Au-Ag и Sb месторождениями)

Таблица 2. Рудноформационные ряды (рудные комплексы) Тихоокеанских фанерозойских провинций

Базовая группа месторождений	Сателлитные группы месторождений	Условия развития рудных комплексов	Примеры регионов
Хромитовая	Титановая, платинометалльная (акцессорная), золото-теллуридная, золото-альбит-анальцимовая ртутная	Сингенетичные базит-ультрабазиты, эпигенети-ческие гидротермальные	Новая Каледония, Калифорния, Аляска, Корякия
Медно-никелевая	Золото-серебро (+ МПГ) медно-порфировая золото-серебро-теллуридная, ртутная	Сингенетичные придонным частям ультрабазитовых и базитовых интрузий, эпигенетические гидротермальные	Кордильеры (юго-запад Канады), Центральная Камчатка
Медно-порфировая	Молибден-порфировая, золото-порфировая, полиметаллическая сульфидная, золото-серебряная, сурьмяная, ртутная	Вулканогенно-плутоноген-ные гидротермальные, в т.ч. островодужные	Внутренняя часть Тихоокеанского рудного пояса
Олово-порфировая	Оловянные (касси-терит-силикатно-сульфидная и др.) золото-порфировая, олово-вольфрамовая, олово-серебряная, золото-серебряная, сурьмяная	Вулканогенно-плутоно-генные гидротермальные аккреционных и пост-аккреционных этапов	Внешние и перивул-канические зоны Восточно-Азиатских вулканогенных поясов
Сульфидная вкрапленных руд	Золото-сульфидная вкрапленных руд, золото-порфировая золото-кварцевая, золото-серебряная олово-вольфрамовая, олово-полиметаллическая, олово-серебряная, сурьмяная, ртутная	Гидротермально-осадочные и эпигенетические гидротермальные	Перивулканические зоны Восточно-Азиатских вулкано-генных поясов
Колчеданная и стратиформная сульфидная	Медная, полиметаллическая медно-порфировая, золото-порфировая, золото-кварц-сульфидная, пятиэлементная, золото-серебряная, ртутная	Субмаринные гидротермаль-но-осадочные и эпигенети-ческие гидротермальные (вулканогенные, плутоно-генные, метаморфогенные)	Провинция “Зеленых туфов” (Япония), Аляска, Мексика

В Sn-Ag-порфировых комплексах Au-Ag эпитермальные месторождения-сателлиты характеризуются существенно серебряными рудами, что также согласуется с высоко серебристыми рудами олово-порфировых месторождений.

Au-Ag эпитермальные месторождения-сателлиты базит-ультрабазитовых рудных комплексов характеризуются Au-Te и Au-пиритовыми рудами. Для них характерны низкие Ag/Au отношения.

Размещение Au-Ag эпитермальных месторождений различных минеральных типов показывает их четкую зависимость от состава рудного комплекса и, в особенности, от базовых рудных формаций. Эта зависимость будет еще более очевидной, если при выделении минеральных типов эпитермальных Au-Ag месторождений учитывать не только золотые и серебряные парагенезисы, но и сопутствующие непродуктивные минеральные ассоциации.

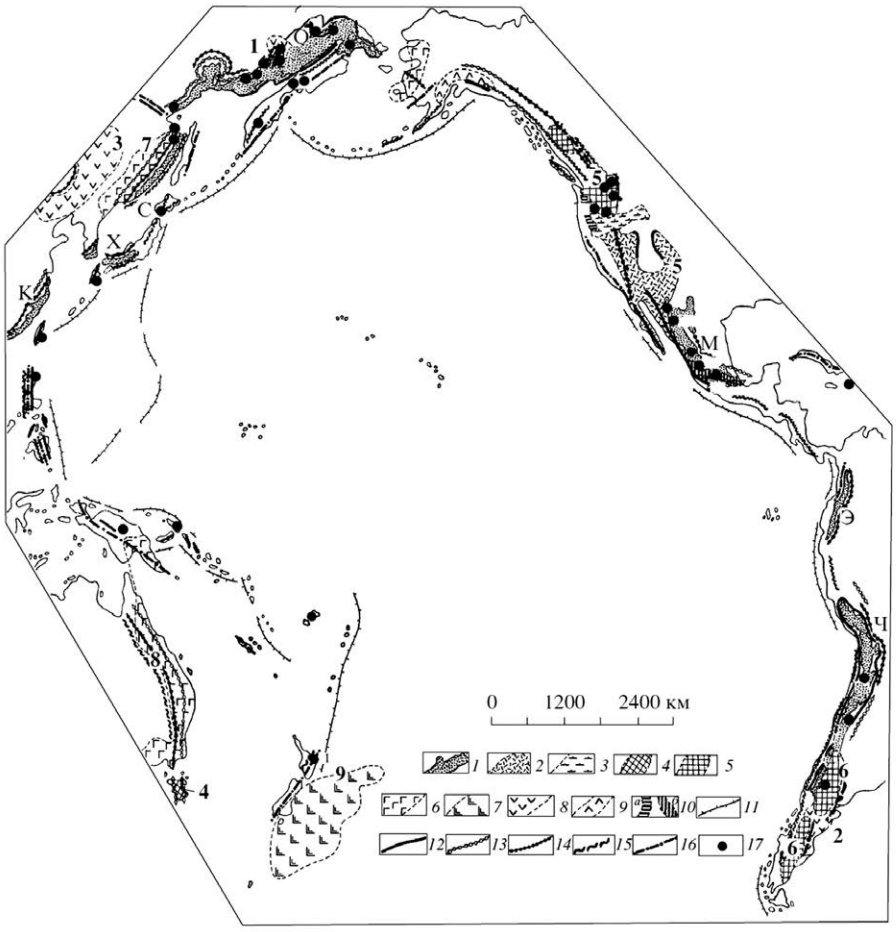

Рис. 3. Размещение рудноформационных рядов (рудных комплексов) и различных минеральных типов Au-Ag эпитермальных месторождений в Тихоокеанском рудном поясе.

1 – окраинно-материковые (краевые) вулканогенные пояса; *2, 3* – вулканические ареалы зон кайнозойского рифтогенеза с широким распространением: *2* – игнимбритов кислого состава, *3* – субщелочных и щелочных базальтов; *4*, *5* – платобазальты трапповой формации (*4* – юрской, *5* – неогеновой); *6–10* – ареалы и зоны вулканотектонической активизации неустановленного типа, сложенные: *6* – кайнозойскими толеитовыми, субщелочными и щелочными базальтами, *7* – преимущественно поздне-кайнозойскими щелочными базальтами, *8, 9* – преимущественно вулканитами известково-щелочной серии (*8* – палеозойскими и мезозойскими, *9* – кайнозойскими), *10* – продуктами современного андезитового вулканизма (*а* – Каскадных гор, *б* – Транс-Мексиканская); *11* – глубоководные желоба; *12–16* – линии преимущественного размещения различных рудных комплексов (рудноформационных рядов): *12* – Au-сульфидный (Au-Sf) и Cu-Mo-порфирового комплексы (Au-Cu), *13* – Au(Ag)-сульфидный (Au-Ag-Sf) и Sn-Ag-порфировый (Ag-Sn), *14* – сульфидный нерасчлененный (Sf), *15* – колчеданный (Pb-Zn-Cu), *16* – базитовые (ультрабазитовые) Cu-сульфидные комплексы (Au-Cu-Te) с месторождениями золото-теллуридного типа; *17* – Au-Ag эпитермальные месторождения.

Краевые вулканические пояса: О – Охотско-Чукотский. С – Сихотэ-Алинский, Х – Хонсю-Корейский, К – Восточно-Китайский, Ч – Чилийско-Перуанский, Э – Эквадорский, М – Мексиканский.

Ареалы вулканизма (цифры на карте): 1 – Кедонский (девон), 2 – Южно-Аргентинский (юра), 3 – Хинганский (юра-неоком), 4 – Тасманский, 5 – Калифорнийско-Колубмийский, 6 – Патогонский, 7 – Сунгарийский, 8 – Восточно-Австралийский, 9 – Ново-Зеландский.

В краевых вулканических поясах внутренние зоны наложены на террейны самых различных типов (кратонных, пассивных континентальных окраин, островодужных, океанической коры и др.), поэтому разнообразие минеральных типов Au-Ag эпитермальных месторождений здесь максимальное. Различные ареалы вулканизма (от девонских на Омолонском кратоне до позднекайнозойских Новозеландских) также сопровождаются проявлениями эпитермального оруденения. Унаследованный характер этого оруденения находит многочисленные подтверждения (от Fe-кварцитового и Au-сульфидного на Омолоне до базит-ультрабазитового в Новой Зеландии).

На Северо-Востоке России внешняя зона Охотско-Чукотского вулканического пояса (ОЧВП) наложена на структуры террейнов пассивной континентальной окраины, на вулканические дуги и на кратоны и микрократоны (Сидоров и др., 2009). Граница внешней зоны нечеткая, расплывчатая и проводится в значительной мере условно, осложняясь поперечными перивулканическими структурами тектономагматической активизации, связанной с развитием ОЧВП. Состав вулканоплутонических комплексов существенно меняется по простиранию внешней зоны и отражает особенности состава ее фундамента. Изученность металлогении внешней – на порядок выше изученности внутренней зоны ОЧВП. Во внешней зоне находятся практически все известные к настоящему времени Au-Ag рудные районы [Сидоров и др., 2011в].

Металлогения внешней зоны более разнообразна здесь широко развиты полихронные Fe-кварцитовые ряды (кратонные и микрократонные террейны), сульфидных вкрапленных руд (арсенопиритовых и пиритовых или пирротиновых), а так же монохронные Sn-Ag- и Au-порфировые рудноформационные ряды, с которыми также связано большое количество Au-Ag (в т.ч. существенно Ag – Дукатского типа), полиметаллических, Sb и Hg месторождений. Элементы конвергентности (подобия) состава этих рядов обусловлены близкими физико-химическими условиями формирования порфировых и эпитермальных месторождений. Базовые формации, напротив, демонстрируют генетическое разнообразие оруденения (см. табл. 2), что подтверждается также близкими отношениями изотопов Pb в рудах различных минеральных типов одного района и разными отношениями этих изотопов в рудах однотипных месторождений разных районов [Сидоров, Волков, 2004].

Выполненный пространственно-статистический анализ имеющейся базы данных показал, что месторождения краевых ТВП отличаются более высокими содержаниями Ag и, следовательно, характеризуются более высокими Ag/Au отношениями, чем месторождения островных вулканических дуг. Полученные значения Ag/Au по месторождениям ТВП подтверждают положение [Titley, 1991] о том, что металлогеническая специализация рудных районов фундаментально связана с вмещающей средой, в которой эти руды образовались. Кроме того, распределение Ag/Au отношений в пределах ТВП (рис. 4) в целом совпадают с опубликованными ранее результатами [Волков и др., 2013]. В северо-западном сегменте Тихоокеанского пояса преобладает Au-Ag специализация эпитермальных месторождений, также как в вулканических поясах Северной и Южной Америке. Вместе с тем, месторождения островных дуг Северо-Востока Азии, Океании и Австралии – намного более золотые [Волков и др., 2013]. Этот вывод косвенно подтверждает высокую оценку перспективности Дальневосточного региона на открытие новых эпитермальных вулканогенных месторождений ничем не уступающих ни количественно, ни качественно Северо- и Южноамериканским аналогам.

Таким образом, истинная зональность оруденения в ТВП определяется главным образом тем, что колчеданные и медно-порфировые ряды рудных формаций развиты преимущественно в пределах островодужных террейнов и внутренних (по отношению к океану) частях окраинно-континентальных вулканогенных поясов, которые обычно развиваются на островодужных террейнах. Однако в ряде случаев появляются также убедительные сведения о металлогенической унаследованности кайнозойского островодужного оруденения (Au-Ag-Sn-W) от докембрийского фундамента [Milesi et al., 1994]. И в этих случаях наблюдаются очевидные нарушения металлогенической однородности внутренних зон ТВП.

Рассмотренная выше, концепция глобальной металлогенической зональности Тихоокеанского рудного пояса хорошо подтверждается сопоставлением опубликованных материалов по металлогении вулканических поясов североамериканских Кордильер и южноамериканских Анд и Северо-Востока России [Волков и др., 2014], а также сравнительным анализом Ag/Au отношений в рудах месторождений различных формационных типов в ТРП (см. рис. 4).

МЕДНО-ПОРФИРОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЗАЛЕЖИ ТИПА “КУРОКО”

На первый взгляд между медно-порфировыми рудами и пластовыми образованиями куроко мало общего, хотя полиметаллические сульфидные (Pb, Zn, Cu, Ag) руды зоны “куроко” близки халькопирит-галенит-сфалеритовым

ассоциациям, а залежи “око” (Cu, Fe) халькопиритовым ассоциациям медно-порфировых месторождений; а зоны “кейко” близки штокверковым порфировым рудам. Риолитовые и дацитовые купола в основании и рядом с залежами руд типа Куроко свидетельствуют об их близости к порфировым интрузиям. Разумеется, все эти сопоставления относительны, так как медно-порфировые руды более высокотемпературные и формируются в пределах как краевых, так и островодужных вулканогенных поясов, а месторождения “куроко” только в субмаринных условиях островных дуг. Различий в рудах этих месторождений можно найти почти столько же, как и сходств. Но эти различия объясняются главным образом условиям среды отложения руд (континентальной и субмариной). Что касается сходства стадийных минеральных ассоциаций, то так называемые “жильные Куроко”, формирующиеся как типичные континентальные эпитермальные месторождения (в условиях суши), почти аналогичны низкотемпературным околопорфировым жилам. Вместе с тем, В.С. Попов [1977] указывал на связь между медно-порфировыми и колчеданными месторождениями Южного Урала и ряда других провинций. Более того, в орогенных вулканических поясах Коунрадского района (Центральный Казахстан), района Золотой треугольник Канады и медного пояса Аризоны выявлены близкие возрастные связи между колчеданным и медно-порфировым типом оруденением.

Более того, в пределах краевых вулканических поясов наряду с порфировыми месторождениями на участках субмаринного вулканизма (во впадинах) нередко отлагаются руды типа “куроко”; в островодужных зонах – на участках наземного вулканизма развиваются медно-порфировые месторождения. Это родство порфировых месторождений и руд “куроко” очевидна даже в обще-металлогеническом плане. Иными словами, есть основания предположить, что медно-порфировые месторождения и руды “куроко” имеют родственные источники главных рудных элементов.

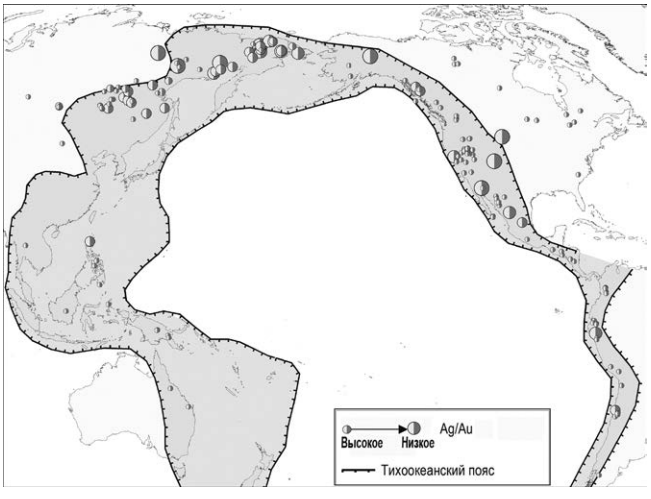

Рис. 4. Ag/Au отношения в рудах месторождений ТРП, по данным ГИС анализа.

Основная часть внутренней зоны ОЧВП – Удско-Мургальский островодужный пояс, как и Уяндино-Ясаченский и Олойский пояса, подобны по геологическому строению не только Японской провинции зеленых туфов, но и другим Тихоокеанским вулканическим поясам островодужного типа и, следовательно, в их пределах высока вероятность выявления всего разнообразия месторождений колчеданного рудноформационного ряда. Здесь также возможно выявление рудных районов, таких как Золотой треугольник Британской Колумбии, где совмещены разновозрастные месторождения порфиров-эпитермальной минералообразующей системы и типа Куроко [Волков и др., 2014].

Сведения (во многом отрывочные) о геологическом строении островодужных вулканоплутонических поясов Северо-Востока России, претерпевших интенсивные процессы аккреции и коллизии, как и их североамериканские аналоги, позволяют рассчитывать на открытие в них колчеданных месторождений, обогащенных драгоценными металлами, таких как Грин Крик или Ескай Крик [Волков и др., 2014]. Особенно перспективны на выявление подобных месторождений зоны ТМА, наложенные на островодужные пояса.

Например, в Тамватней-Майницком островодужном террейне (Корякское нагорье), субширотно-вытянутом почти на 300 км (рис. 5), нижний этаж сложен серпентинитовым меланжем, сопровождающимся Cr-Pt минерализацией, а верхний этаж представлен терригенно-вулканогенной толщей островодужного юрско-раннемелового вулканического пояса с перспективными колчеданно-полиметаллическими проявлениями типа Куроко (Угрюмое и др.), связанными с островодужными натриево-щелочными базальтами [Сафонов и др, 1988; Шпикерман, 1998; Евдокимов, 2014] и проявлениями марганца браунит-гаусманит-родонитового типа. Об этих проявлениях имеются весьма ограниченные сведения, полученные в результате геолого-съемочных работ 1:200000 масштаба. По материалам этих работ [Опарин, Сушенцов, 1988] месторождение Угрюмое представлено массивными сульфидными рудами с высокими концентрациями меди, свинца, цинка и сопутствующего золота окремненных породах в трех зонах протяженностью 800, 3000 и 1800 м, шириной 50, 150 и 50 м,

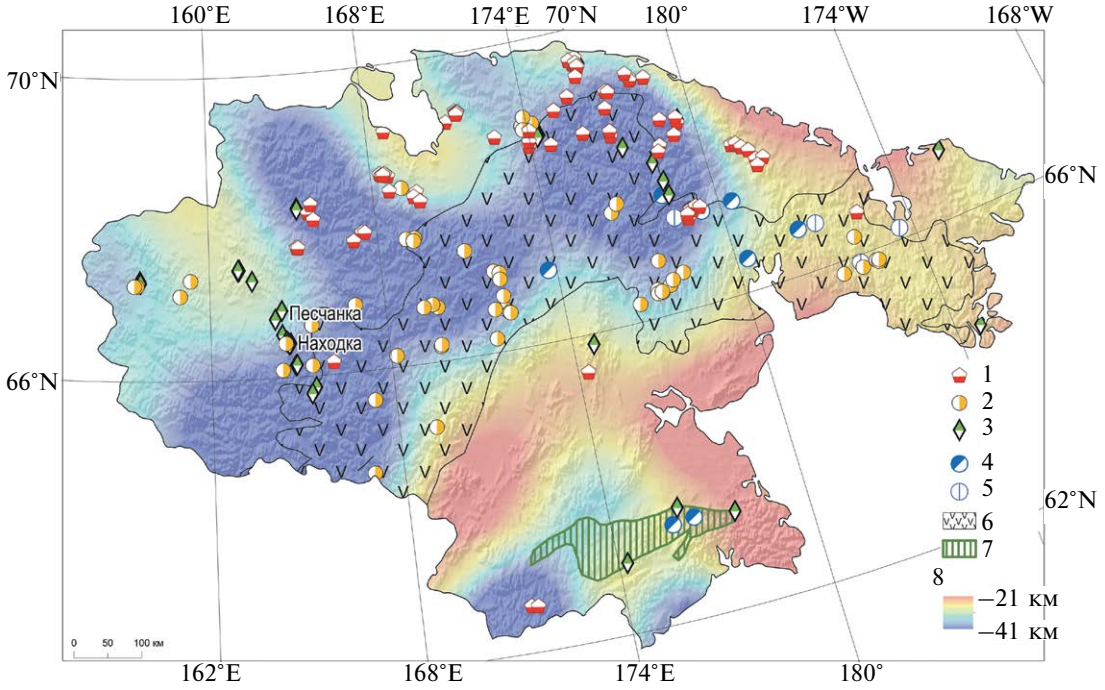

Рис. 5. Размещение золоторудных и золотосодержащих месторождений Чукотки.

1–5 – месторождения: 1 – золоторудные в терригенных толщах, 2 – золото-серебряные (эпитермальные), 3 – порфировые медно-молибденовые, 4 – медно-колчеданные, 5 –полиметаллические жильные; 6 – вулканогенные комплексы ОЧВП; 7 – Майницкая зона, потенциально перспективная на выявление колчеданных месторождений типа Куроко; 8 – поверхность Мохо (км) [проект GOCE, Bouman et al., 2015].

соответственно. Массивные сульфидные залежи состоят из пирита и халькопирита и приурочены к переслаивающимся базальтам, риолитам, туфам и кремнистым туфоалевролитам лазовской толщи геттангского и синемюрского возраста. Предварительная оценка показала содержания в рудных штуфах: Au – до 90 г/т, Cu – 0.3–6.5%, Pb – 0.4–6.86%, Zn – 0.6–2.0%. В аллювии ручьев, дренирующих район, устанавливаются многочисленные обломки медно-колчеданных руд. Медно-колчеданные проявления отмечаются и в других районах Тамватней-Майницкого террейна. По прогнозной оценке (1990 г.) только Угрюмовский потенциальный рудный район этой зоны оценивался по категории P_3 в 10000 т серебра в колчеданных проявлениях.

Таким образом, в пределах колчеданных рудноформационных рядов сконцентрировано все многообразие месторождений цветных и благородных металлов. Вещественный состав руд колчеданных залежей обычно хорошо коррелирует с минеральными ассоциациями этих преимущественно жильных месторождений-сателлитов. Последние, нередко близки или даже конвергентны по составу месторождениям от порфировых до эпитермальных других рудноформационных рядов.

РЕГЕНЕРИРОВАННЫЕ И РЕЮВЕНИРОВАННЫЕ ВУЛКАНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Регенерированные месторождения и не только эпитермальные распространены в природе достаточно широко, что было показано еще Г. Шнейдерхёном и другими авторами [Рудные ..., 1957]. Более того, развивая идею регенерации месторождений, Г. Шнейдерхён [1957] предложил концепцию рудоносных и нерудоносных эпох в истории Земли, встреченную мировой геологической общественностью весьма прохладно. Впрочем, как и саму идею регенерированных месторождений.

Г. Шнейдерхёном [1957] было установлено, что регенерированные месторождения почти всегда отличаются слабым развитием рудных парагенезисов. Однако слабая изученность этих, разновидностей *(в сущности квазиэпитермальных)* связана именно с тем, что они обычно не представляли промышленного интереса. Впрочем, иногда их рассматривают в качестве признака крупных более глубинных месторождений (колчеданных, порфировых, сульфидно-вкрапленных и др.).

Наиболее четко и наглядно регенерированные эпитермальные рудопроявления были установлены на крупнейшем золоторудном месторождении Хомстейк. Это докембрийское месторождение до

середины прошлого века из-за незначительных проявлений в нем регенерированных эпитермальных руд, характеризовалось как эоценовое [Обручев, 1934]. Позднее на основе изучения изотопов свинца в рудах это заблуждение было ликвидировано и показана незначительная роль эпитермальных золотосеребряных руд в эоценовых жилах, секущих докембрийские золото-сульфидные залежи [Рай и др., 1977]. По данным изотопии свинца возраст оруденения Хоумстейк – от 1600 до 1800 млн лет, соответствует таковому регионального метаморфизма, установленного в районе [Рай и др., 1977].

Следовательно, все многочисленные эпитермальные рудопроявления, не имеющие послерудного базальтоидного магматизма, следует рассматривать в качестве "потенциальных" проявлений регенерированных руд при процессах самых разнообразной близповерхностной гидротермальной деятельности и, даже включая обычную циркуляцию подземных вод. Роль этих проявлений важна в качестве поисковых критериев более глубинных рудных месторождений разного возраста (в т.ч. докембрийских), особенно типа Хомстейк, Карлин, а также Cu-порфировых и колчеданных. По этой причине тщательное изучение регенерированных квазиэпитермальных проявлений имеет вполне определенный смысл. – Их состав содержит информацию о глубинной рудоносности и даже об источниках минерального вещества.

Нередко вулканогенные руды реювенированы более поздними плутоногенными гидротермами [Гончаров, Сидоров, 1999] и обычно, таким образом, обогащены ими (табл. 3). И это сравнительно легко распознается, так как ранние вулканогенные парагенезисы низкотемпературные (не выше 200°–300°С), а поздние (плутоногенные) – более высокотемпературные (до 400°С и выше). Реювенированные вулкано-плутонические месторождения (см. табл. 3), характеризуются наложением плутоногенных рудоносных гидротерм на вулканогенные эпитермальные руды.

При прогрессивном (сильно реювенированном) его развитии [Гончаров, Сидоров, 1999] зональность нередко представляется обратной или беспорядочно телескопированной. Так, на месторождениях Хаканджа (Охотское побережье), Нявленга, Джульетта и Дукат (Охотско-Колымский водораздел) поздние низкотемпературные минеральные ассоциации не только слабо развиты или отсутствуют вообще, но и сменяются наиболее высокотемпературными.

Ч.Ф. Парк и Р.А. Мак-Дормид [1966] к типичным ксенотермальным образованиям отнесли гигантское месторождение Потоси (Боливия), а также многокилометровые жильные системы Икуно-Акенобе (Япония); при этом подчеркивалось независимость минеральных ассоциаций жильных руд от возраста и состава вмещающих пород. Определенные элементы подобия между олово-сереброрудными районами Потоси и Дуката неоднократно отмечались нами [Серебро ..., 1989]. Вместе с тем, такие ранние минералы Потоси, как касситерит, вольфрамит, висмутин, арсенопирит, в Дукатском рудном районе отлагались в период позднего (порфирового) этапа, тесно сопряженного с допорфировым сереброрудным этапом.

Ранние минеральные ассоциации жил Икуно-Акенобе содержат касситерит, вольфрамит, самородный висмут; золото и серебро развито преимущественно в виде тонких включений в сульфидах; гидротермальные процессы в пределах обоих рудных районах завершились внедрением послерудных базальтовых даек. Однако отложение руд в жилах Икуно-Акенобе завершается сравнительно длительными и устойчивыми низкотемпературными процессами (поздние многочисленные сульфидно-кварцевые жилы в пределах месторождения и рудного района), а отложение существенно серебряных допорфировых руд Дукатского месторождения завершается высокотемпературными процессами нового Sn-Ag-порфирового этапа рудообразования, характерного для других месторождений этого района [Сидоров, 2003].

Месторождение Приморское расположено в месте наложения Омсукчанского вулканопрогиба ОЧВП на структуры Удско-Мургальского

Таблица 3. Прогрессивная реювенация рудного процесса на месторождениях Охотско-Чукотского вулкано-плутонического пояса

Масштаб реювенации	Характеристика признаков	Примеры [Гончаров, Сидоров, 1999]
1(микро)	Температуры гомогенизации газово-жидких включений в зонах роста кристаллов увеличиваются во внешних зонах	Кристаллы кварца на месторождениях Хаканджа, Ойра, Нявленга, Дукат и др.
2(макро)	Поздние и заключительные минеральные ассоциации наиболее высокотемпературные	Месторождения Дукат, Хаканджа, Нявленга (до 410°С)
3(мега)	Отсутствие низкотемпературных ассоциаций (сурьмяных, ртутных, флюоритовых)	Дукатский, Нявленгинский, Хаканджинский рудные районы

островодужного пояса (рис. 6) [Савва и др., 2019]. По простиранию указанные геологические структуры совпадают с двумя крупными металлогеническими зонами – Омсукчанской, меридиональной, специализированной на Sn, Ag, Pb, Zn и Удско-Мургальской, северо-восточной – на Cu и Mo.

При изучении вещественного состава установлены все признаки допорфирового вулканогенного месторождения, по [Сидоров и др., 2015]. Привнос Cu оказывает существенную роль на видовой состав минералов Ag поздних парагенезисов. Изучение рудно-метасоматических образований позволило выделить на месторождении два гипогенных этапа рудообразования – вулканогенный и, наложенный – плутоногенный. Минеральные образования раннего этапа, слабо затронутые поздним высокотемпературным процессом, сохранились только в поверхностных горных выработках западного фланга месторождения. Они свидетельствуют о том, что в вулканогенный Au-Ag этап формировались руды с Sb минерализацией (пираргирит и полибазит) колломорфно-полосчатых текстур, а вмещающие породы были подвержены кварц-серицитовым изменениям. Поздний этап характеризуется высокотемпературным метаморфизмом ранних эпитермальных жил, привносом существенного количества Cu, присутствием Bi содержащего галенита и матильдита в рудах. Температуры гомогенизации ФВ в кварце этого этапа варьируют в широком диапазоне от 120–347°C до 434°C, по [Стружков, Константинов, 2005]. Таким образом, установлены признаки реювенации рудообразующей системы. В результате этого процесса образуются хлорит-эпидотовые с актинолитом средне-высокотемпературные фации околорудные метасоматиты, а в рудных телах – гранат-магнетит-родонит-эпидотовая минерализация, как и на крупном Ag-Au месторождении Дукат [Серебро, 1989]; также наблюдается вынос Sb и перераспределение Ag с отложением широкого круга Cu и Fe сульфидов [Савва и др., 2019]. С металлогеническим влиянием Омсукчанской зоны (с Ag-Sn-полиметаллической специализацией) связаны не только высокие содержания Ag в рудах участка Теплый (Ag-акантитовый минеральный тип), но и широкое развитие минералов Mn (родонит, манганосидерит, родохрозит).

В связи с особенностями вулканогенных гидротермальных систем Дукатского района эпитермальное оруденение проявилось здесь как в ранний допорфировый этап, так и в тесной временной связи с порфировым этапом [Савва и др., 2019]. Повышение температуры минералообразования связано, по-видимому, также с приближением фронта базальтовых магм, так как гидротермальный процесс на многих

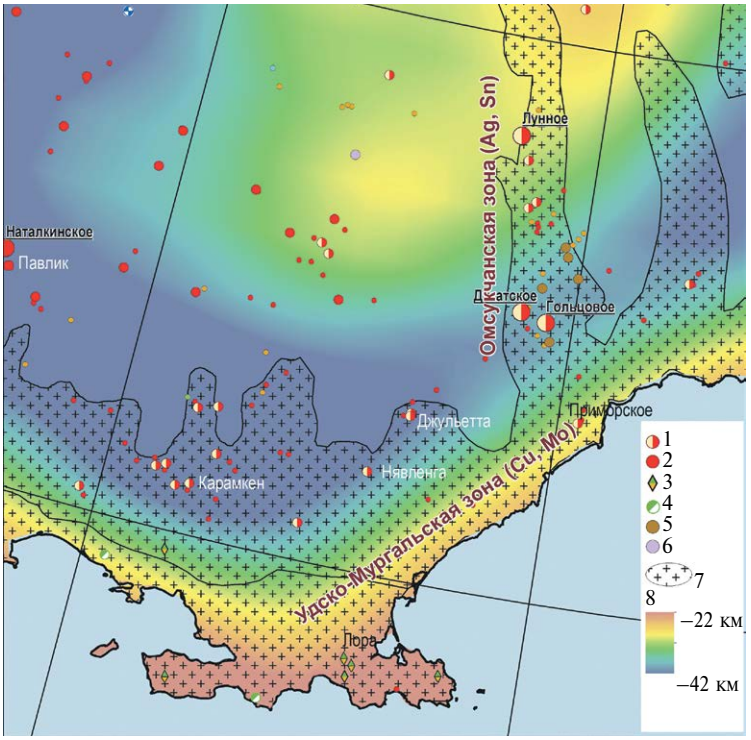

Рис. 6. Размещение месторождений Омсукчанской (Sn-Ag) и Удско-Мургальской (Cu-Mo) металлогенических зон ОЧВП. 1–6 – месторождения: 1 – золото-серебряные (эпитермальные), 2 – золото-кварцевые жильные, 3 – порфировые медно-молибденовые, 4 – медно-колчеданные, 5 – оловорудные, 6 – редкометалльные; 7 – ареалы гранитоидных комплексов ОЧВП; 8 – поверхность Мохо (км) [проект GOCE, Bouman et al., 2015].

вулканогенных месторождениях завершается в результате внедрения даек андезито-базальтов в формирующиеся рудные тела.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вулканогенные гидротермы (в т. ч. рудоносные) рассматриваются нами, вслед за В.В. Аверьевым [1966], как особая форма вулканизма, предшествующая плутоногенным гидротермальным процессам. И это одно из важнейших положений при изучении генезиса вулканогенных и вулканогенно-плутоногенных месторождений.

Элементы глобальной металлогенической однородности Тихокеанского рудного пояса позволяет предположить широкое развитие аналогов американских вулканогенных месторождений в его азиатской половине, в том числе и на Северо-Востоке России. На территории последнего весьма реальны перспективы открытия новых колчеданных месторождений (типа куроко) и их сателлитов, а также месторождений Fe-Cu-Au оксидных, Cu-Ag типа Манто, редких металлов и других, широко развитых в американской половине Тихоокеанского пояса. Важнейшим критерием образования крупных месторождений является унаследованность оруденения от более древних эпох или глубинных аномалий.

Тщательное изучение регенерированных и реювенированных эпитермальных руд представляется важным не только для правильного понимания конкретного месторождения, но и для оценки рудного района в целом. Среди сотен эпитермальных по разным причинам недоразведанных рудопроявлений большая их половина представлена регенерированными квазиэпитермальными рудами, образующихся на верхних этажах самых различных сульфидных месторождений (колчеданных, порфировых, золото-сульфидно-кварцевых и др.). Регенерированные месторождения в отличие от реювенированных обычно не представляют самостоятельного экономического интереса.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках темы ИГЕМ РАН (№ АААА-А18-118021590164-0) “Металлогения рудных районов вулканоплутонических и складчатых орогенных поясов Северо-Востока России”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аверьев В.В. Гидротермальный процесс в вулканических областях и его связь с вулканической деятельностью // Современный вулканизм // Труды Второго Всесоюз. вулканолог. совещания. М., 1966. Т. 1. С. 118–129.

Белый В.Ф. Вулканизм и тектоническое развитие континентальных окраин Тихого океана // Тихоокеан. геология. 1985. № 5. С. 23–32.

Белый В.Ф. Окраинно-континентальные тектономагматические пояса Тихоокеанского сегмента Земли. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 58 с.

Волков А.В., Чижова И.А., Алексеев В.Ю., Сидоров А.А. Вариации показателя Ag/Au эпитермальных месторождений // ДАН. 2013. Т. 452. № 1. С. 75–79.

Волков А.В., Сидоров А.А., Старостин В.И. Металлогения вулканогенных поясов и зон активизации. М.: ООО “МАКС Пресс”, 2014. 355 с.

Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 1–572; Кн. 2. С. 573–981.

Гончаров В.И., Сидоров А.А. Реювенация месторождений вулканогенных поясов // Тихоокеан. геология. 1999. Т. 18. № 1. С. 70–83.

Евдокимов А.Н., Исмагилова Г.А. Фанерозойский вулканизм и полезные ископаемые Евразийской Арктики // Вестник Томского государственного университета. 2014. № 387. С. 233–242.

Опарин М.И., Сушенцов В.С. Перспективы колчеданной медно-сульфидной минерализации в Майницкой зоне Корякского нагорья // Металлогеническое значение вулкано-тектонических структур. Хабаровск: ИТиГ, 1988. С. 136–137.

Обручев В.А. Рудные месторождения. М., Л., Н.: Горгеонефтеиздат, 1934. 596 с.

Парк Ч.Ф., Мак-Дормид Р.А. Рудные месторождения. М.: Мир, 1966. 546 с.

Попов В.С. Геология и генезис медно- и молибден-порфировых месторождений. М.: Наука, 1977. 204 с.

Рай Д., Доу Б., Делево М. Золоторудное месторождение Хомстейк, Южная Дакота: Изотопный состав свинца, возраст минерализации и источники свинца в рудах северной части района Блэк-Хилс // Стабильные изотопы и проблемы рудообразования. М.: Мир, 1977. С.149–169.

Российский металлогенический словарь. СПб.: ФГБУ “ВСЕГЕИ”, 2003. 320 с.

Рудные регенерированные месторождения. М.: ИЛ, 1957. 251 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 рудных месторождений. 2018. Т. 61. № 1. С. 52–74.

Сафонов В.Г., Ставский А.П., Березнер О.С. Формирование осадочных пород восточной части Майницкой тектонической зоны (Корякское нагорье) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1988. № 10. С. 105–116.

Серебро. Геология, минералогия, генезис, закономерности размещения месторождений. М.: Наука, 1989. 240 с.

Сидоров А.А. О ксенотермальных месторождениях благородных металлов // ДАН. 2003. Т. 389. № 6. С. 795–798.

Сидоров А.А., Волков А.В. Генетическое разнообразие и конвергенция эпитермального золото-серебряного оруденения.// ДАН. 2004. Т. 397. № 1. С. 72–77.

Сидоров А.А., Волков А.В., Чехов А.Д., Алексеев В.Ю. О металлогенической роли кратонных террейнов в окраинноморской литосфере (на примере Северо-Востока России) // ДАН. 2010. Т. 430. № 4. С. 523–528.

Сидоров А.А., Старостин В.И., Волков А.В. Рудноформационный анализ. М.: Макс-Пресс, 2011а. 180 с.

Сидоров А.А, Волков А.В., Чехов А.Д., Савва Н.Е., Алексеев В.Ю., Уютнов К.В. Вулканогенные пояса окраиноморской литосферы Северо-Востока России и их рудоносность // Вулканология и сейсмология. 2011б. № 6. С. 21–35.

Сидоров А.А., Волков А.В., Чехов А.Д., Алексеев В.Ю. О металлогении внутренней и внешней зон Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // ДАН. 2011в. Т. 438. № 4. С. 500–505.

Сидоров А.А., Волков А.В., Алексеев В.Ю. Зоны активизации и вулканизм // Вулканология и сейсмология. 2013. № 3. С. 3–14.

Сидоров А.А., Волков А.В. Металлогения окраиноморской литосферы (Северо-Восток России) // Литосфера. 2015. № 1. С. 24–34.

Сидоров А.А., Волков А.В., Савва Н.Е. Вулканизм и эпитермальные месторождения // Вулканология и сейсмология. 2015. № 6. С. 1–10.

Сидоров А.А., Волков А.В., Галямов А.Л., Чижова И.А. Вопросы глобальной металлогенической зональности Тихоокеанского рудного пояса // Вестник СВНЦ. 2018. № 2. С. 3–17.

Смирнов С.С. О Тихоокеанском рудном поясе // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1946. № 2. С. 13–28.

Стружков С.Ф., Константинов М.М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Научный мир, 2005. 318 с.

Уайт Д. Различное происхождение гидротермальных рудообразующих флюидов // Стабильные изотопы и проблемы рудообразования. М.: Мир, 1965. С. 464–509.

Шнейдерхён Г. Генетическая классификация месторождений на геотектонической основе // Рудные регенерированные месторождения. М.: ИЛ, 1957. С. 11–62.

Шпикерман В.И. Домеловая минерагения северо-востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 334 с.

Bouman J., Ebbing J., Meekes S., Abdul Fattah R., Fuchs M., Gradmann S., Haagmans R., Lieb V., Schmidt M., Dettmering D., Bosch W. GOCE gravity gradient data forlithospheric modeling // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2015. V. 35. P. 16–30.

Cammarano F., Guerri M. Global thermal models of the lithosphere // Geophys. J. Int. 2017. V. 210. P. 56–72.

Laske G., Masters G., Reif C. CRUST 2.0: A new global crustal model at 2 x 2 degrees. 2000. http://igppweb.ucsd.edu/~gabi/rem.html

Milesi J.P., Marcoux E., Nehlig P., Sunarya Y., Sukandr A., Cirtan F.J. West Java, Indonesia: A.1.7Ma Hybrid Epithermal Au-Ag-Sn-W Deposit // Economic Geology. 1994. V. 89. № 2. P. 227–245.

Titley S.R. Correspondence of ores of silver and gold with basement terranes in the American Southwest // Mineral. Depos. 1991. V. 26. P. 66–71.

Tenzer R., Bagherbandi M., Gladkikh V. Signature of the upper mantle density structure in the refined gravity data // Comput. Geosci. 2012. V. 16. P. 975–986.

ABOUT METALLOGENY OF THE PACIFIC VOLCANIC BELTS

A. A. Sidorov*, A. V. Volkov, A. L. Galyamov**

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Staromonetnyi per. 35, Moscow, 119017 Russia

**e-mail: kolyma@igem.ru*

***e-mail: tma2105@mail.ru*

Received May 30, 2019

The article discusses the actual aspects of the metallogeny of the Pacific volcanic belts (PVB), which are a complexes of volcanogenic-plutogenic formations associated with the development of the marginal lithosphere and has an expressive specificity of ore formation. It is shown that over time the notions of metallogenic homogeneity of PVB have received a new justification from the position of global plate tectonics. Metallogenic significance of Ag/Au relationships in ore deposits of the PVB is shown. The correlation between porphyry-epithermal and the VMS ore-forming systems, regenerated and rejuvenated epithermal deposits is discussed. Global metallogenic homogeneity of the Pacific ore belt suggests a wide development of analogues of American volcanogenic deposits in its Asian half, including in the North-East of Russia. The main part of the internal zone of the Okhotsko-Chukchi marginal volcanic belt – the Udo-Murgal island-arc belt, as well as the Uyandino-Yasachensky and Oloysky volcanic belts, are similar in geological structure not only to the Japanese green tuffs province, but also to other Pacific volcanic zones of the island-arc type and, therefore, within their limits, there is a high probability of revealing the entire variety of deposits of the VMS ore-formation series.

Key words: Pacific ore belt, island-arc and marginal volcanic belts, metallogeny, ore deposit, homogeneity, epithermal, copper-porphyry, Kuroko, regenerated, reuvenated.