

МАГМАТИЧЕСКИЕ И МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ПРЕДШЕСТВЕННИКИ РУДОНОСНОГО ПОРФИРОВОГО МАГМАТИЗМА В МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУДНЫХ УЗЛАХ

В.И. Сотников, В.А. Пономарчук, А.П. Берзина, В.О. Гимон

Институт геологии и минералогии СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия

В Орхон-Селенгинском прогибе (ОСП) Северной Монголии, входящем в состав протяженного пермотриасового Селенгинского вулканоплутонического пояса, формированию рудоносного порфинового комплекса и крупномасштабного Cu-Mo-штокеркового оруденения (месторождение Эрдэнэтуин-Обо и др.) предшествовало проявление многоимпульсного магматизма, сопровождающегося разномасштабной и разнотипной рудной минерализацией. Во временной последовательности развития пермотриасового магматизма в ОСП формируются рудные проявления, составляющие единый металлогенический ряд (доминирование Cu, постоянное присутствие Mo): самородной Cu (P; дифференцированная базальт-андезит-риолитовая серия) — Cu-Ni-сульфидные, Cu-скарновые и Cu-жилы (P₂—T₁; базиты и гранитоиды селенгинского комплекса) — самородной Cu (P₂—T₁; трахиандезитобазальтовая серия) — Cu-Mo-порфиновые (T; эрдэнэтинский рудоносный порфиновый комплекс). В этом направлении отмечается рост интенсивности флюидного потока и инверсия окислительно-восстановительного потенциала эндогенной системы в сторону более окислительной обстановки, что стимулирует перенос рудных элементов из глубинных уровней и способствует увеличению меденосности магматогенных флюидов. Развитие магматизма и сопровождающего его оруденения в ОСП рассматривается как отражение плюма, входящего в систему нижнемантийных плюмов, существовавших в пермотриасовое время на обширной территории Азии.

Cu-Mo-порфиновое оруденение, магматические и металлогенические предшественники, месторождение Эрдэнэтуин-Обо, Орхон-Селенгинский прогиб, Северная Монголия.

MAGMATIC AND METALLOGENIC PRECURSORS OF ORE-FORMING PORPHYRY MAGMATISM IN COPPER-MOLYBDENUM ORE CLUSTERS

V.I. Sotnikov, V.A. Ponomarchuk, A.P. Berzina, and V.O. Gimon

In the Orkhon-Selenga trough (OST) (northern Mongolia), which is part of the extended Permo-Triassic Selenga volcanoplutonic belt, the formation of ore-bearing porphyry complex and large-scale Cu-Mo-stockwork mineralization (Erdenetiyn-Ovoo deposit) was preceded by multiphase magmatism, which was accompanied by ore mineralization of different scales and types. The evolution of the Permo-Triassic magmatism successively resulted in ore occurrences, which form a single metallogenic series (predominance of Cu and permanent presence of Mo): native Cu (P; differentiated basalt-andesite-rhyolite series)—Cu-Ni-sulfide, Cu-skarn, and Cu-vein (P₂—T₁; basites and granitoids of the Selenga complex)—native Cu (P₂—T₁; trachyandesite-basalt series)—porphyry Cu-Mo (T; Erdenet ore-bearing porphyry complex). In this series, the intensity of fluid flow grows and the redox potential of the endogenous system shifts to that of more oxidizing conditions, which favors the transfer of ore-forming elements from depth and increases the Cu-bearing capacity of magmatogene fluids. The development of magmatism and accompanying mineralization in the OST is assumed to be related to one of the lower-mantle plumes that existed in the vast Asian area in the Permo-Triassic.

Porphyry Cu-Mo mineralization, magmatic and metallogenic precursors, Erdenetiyn-Ovoo deposit, Orkhon-Selenga trough, northern Mongolia

Многочисленные изотопно-геохронологические данные последних лет свидетельствуют о значительной общей длительности проявления разновозрастных геологических процессов в рудных узлах, приводящих в конечном счете к крупномасштабному концентрированию рудного вещества. Эта проблема преимущественно с позиции золоторудной минерализации детально обсуждается Д.В. Рундквистом [1997], который большой акцент делает на длительную подготовку рудогенеза (период предыстории месторождений) и отмечает, что золоторудные месторождения не являются каким-то исключением. Имеются данные, свидетельствующие об общей длительности геологических процессов, приводящих к формированию крупных месторождений урана [Лаверов, Винокуров, 1988], редких и редкоземельных элементов [Архангельская и др., 1993; Рундквист, 1994; Wang et al., 1994; Kravchenko, Pokrovsky, 1995; Довгаль, Сотников, 1998; Сырицо, 2002], колчеданно-полиметаллических [Кузубный и др., 2001; Гаськов, 2002], железорудных [Железородная..., 1998] и др.

Как показали детальные ⁴⁰Ar/³⁹Ar исследования [Сотников и др., 2001, 2003, 2005], в Cu-Mo-порфиновых рудных узлах Сибири и Монголии формированию штокеркового медно-молибденового оруденения, сопровождающего развитие рудоносных порфириновых комплексов, также предшествовала дли-

тельная история проявления магматизма, с отдельными импульсами которого связана разнообразная рудная минерализация. Довольно отчетливо это фиксируется в рудных районах, расположенных в пределах Орхон-Селенгинского прогиба (ОСП) в Северной Монголии, где находится крупнейшее в Центральной Азии Си-Мо-порфировое месторождение Эрдэнэтуин-Обо. ОСП входит в состав Селенгинского вулканоплутонического пояса, который в северном обрамлении западного сектора Монголо-Охотского орогенного пояса протягивается на 2 тыс. км по территории Северной Монголии и Забайкалья.

Прогиб выполнен мощными (до 10 км) преимущественно пермотриасовыми вулканогенными и осадочно-вулканогенными толщами. Вулканиды представлены двумя сериями [Вулканоплутонические..., 1991]: ранней дифференцированной базальт-андезит-риолитовой (Р) и поздней трахиандезит-базальтовой (Р₂—Т₁). Первой комагматичны широко распространенные интрузивные образования известково-щелочного состава, объединяемые в селенгинский комплекс (диорит-гранодиорит-граносиенит-гранитовая ассоциация, для которой получены ⁴⁰Ar/³⁹Ar датировки 258,6 ± 3,3 и 247 ± 3,7 млн лет [Сотников и др., 2005]). Эти гранитоиды в ряде мест перекрыты с базальными конгломератами в основании породами трахиандезит-базальтовой серии. С вулканидами последней серии ассоциируют интрузии габбро-монцитонитов и граносиенитов шивотинского комплекса (их ⁴⁰Ar/³⁹Ar датировки в интервале 244,6 ± 1,0—239,3 ± 1,4 млн лет [Сотников и др., 2005]). С проявлением более позднего порфирового магматизма (эрдэнэтский комплекс) связано формирование прожилково-вкрапленного медно-молибденового оруденения. Для рудоносных порфиров на месторождении Эрдэнэтуин-Обо получены ⁴⁰Ar/³⁹Ar датировки: 234,6 ± 1,7 млн лет — порфиры I ритма (235,8 ± 1,9 млн лет по серициту из рудно-метасоматических образований, сопровождающих становление этих порфиров) и 225,3 ± 1,0—220,3 ± 5,8 млн лет — порфиры II ритма [Сотников и др., 2005]. Указанные магматические образования перекрываются трахиандезитовой толщей (Т₃—J₁), прорываются субвулканическими телами трахириолитов и дайками трахиандезитовых порфиритов [Вулканоплутонические..., 1991; Сотников и др., 2005 и др.].

Все пермотриасовые вулканогенные и интрузивные образования Орхон-Селенгинского прогиба сопровождаются проявлением разномасштабной и разнотипной рудной минерализации медного профиля с постоянным присутствием молибдена как сопутствующего компонента (рис. 1). Эволюция этого оруденения от наиболее ранних образований в пермских вулканитах представляется в следующем виде (таблица).

Проявления самородной меди в вулканитах дифференцированной базальт-андезит-риолитовой серии. Эти рудные образования наиболее распространены в районе г. Булган, где они представлены короткими (от 1—2 до 15—20 м) кварц-эпидотовыми и хлорит-эпидотовыми жилами (мощностью 0,2—



Рис. 1. Схема размещения медно-рудных проявлений в Орхон-Селенгинском прогибе.

1 — гранитоиды, Т₃—J₁; 2 — трахиандезит-базальтовая серия, Р₂—Т₁; 3 — гранитоиды, Р₂—Т₁; 4 — дифференцированная базальт-андезит-риолитовая серия, Р₁₋₂; 5 — гранитоиды, С₂₋₃; 6 — метаморфическая серия (Бутулинурский выступ). Рудные проявления: 7 — Си-Мо-порфировые, 8 — медь самородная, 9 — медные скарны, 10 — Си-Ni в мафитах, 11 — медные жилы.

Эволюция пермотриасового магматизма и сопровождающего оруденения в Орхон-Селенгинском прогибе

Магматические ассоциации	Возраст, млн лет	Рудно-метасоматические образования
Базальт-андезит-риолитовая серия	P	Самородная Cu в вулканитах, кварц- и хлорит-эпидотовых жилах, зонах эпидотизированных и хлоритизированных пород
Селенгинский комплекс (габбро-диорит-гранодиорит-граносиенит-гранитовая ассоциация)	256 ± 21 (Sm-Nd), 258,6 ± 3,3 и 247 ± 3,7 (⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar)	Cu-Ni-(ЭПГ) оруденение в расслоенных габбро-норитах. Кварцевые жилы с редкой вкрапленностью пирита, халькопирита. Кварц-турмалиновые жилы с халькопиритом. Cu-скарновая минерализация
Трахиандезитобазальтовая серия	P ₂ —T ₁	Самородная Cu в вулканитах, кварц-эпидотовых жилах и зонах гидротермально измененных пород
Шивотинский комплекс (габбро-монцитит-граносиенитовая ассоциация)	244,6 ± 1,0 ÷ 239,3 ± 1,4 (⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar)	Геохимические аномалии Cu и Mo; акцессорный халькопирит в пегматоидных образованиях
Эрдэнэтский рудоносный порфировый комплекс (кварцевые диоритовые порфиры, гранодиорит- и гранит-порфиры)	234,6 ± 1,7; 225,3 ± 1,0 ÷ 220,3 ± 5,8 (⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar)	Штокверковое Cu-Mo-порфировое оруденение (многоэтапное)
Трахит-трахибазальт-трахиандезитовые вулканиты и дайки, некки трахириолитов и риолитов	T ₃ —J ₁	Зоны кварц-серицитового изменения, алунитизации, каолинизации, окварцевания, пиритизации. Геохимические аномалии Cu и Mo

0,7 м) и линзами (до 0,3—0,5 × 1—5 м) с вкрапленностью самородной меди среди пермских андезитовых порфиров, базальтов, их туфов и реже дацитов [Медно-рудные..., 1985]. По штучным пробам содержание Cu от 0,09 до 0,56 %, Mo — около 0,002—0,005 %. Во вмещающих слабоэпидотизированных вулканитах установлено 0,03—0,05 % Cu (постоянно присутствует Mo). На рудопроявлении Мэчи-Ула мелкая (0,2—0,4 мм) вкрапленность самородной меди встречается также непосредственно в основной массе относительно неизмененных андезитовых порфиров и изредка в миндалинах (в порфиритах содержится 0,08 % Cu и 0,0015 % Mo). На этом рудном участке известны находки самородков меди весом до 1—2 кг.

Восточнее рассматриваемого района в верховье правого притока р. Тарбагатай выявлено рудопроявление Хабчеранга [Медно-рудные..., 1985], представленное рудным телом (протяженностью 70 м при мощности до 5—7 м), локализованным среди слабоокварцованных и калишпатизированных трахиандезитов с миндалекаменной текстурой. Рудная минерализация тяготеет в основном к миндалинам, выполненным гнездами халькопирита, реже борнита в ассоциации с карбонатом, флюоритом, актинолитом и кварцем. Содержание Cu колеблется в пределах 0,05—0,5 %, присутствует Mo (до 0,008 %). Проявления аналогичной слабой медной минерализации отмечаются и в других частях вулканогенной толщи.

Породы базальт-андезит-риолитовой дифференцированной серии в ряде случаев обладают повышенным относительно кларка количеством Mo и Cu [Вулкано-плутонические..., 1991]. Особенностью габбро-сиенитовой ассоциации, комагматичной основным пермским вулканитам и сформировавшейся раньше селенгинского комплекса, является повышенное содержание Cu (до 0,02 %). В этих породах встречаются участки с медьсодержащей сульфидной минерализацией [Яшина, Матреницкий, 1979].

Медная минерализация, связанная с развитием селенгинского комплекса. В массивах селенгинских гранитоидов иногда встречаются медно-рудные проявления, представленные, как правило, единичными кварцевыми жилами небольшой протяженности с редкой вкрапленностью и мелкими гнездами пирита и халькопирита. Метасоматические изменения (калишпатизация, окварцевание) в экзоконтакте жил проявлены слабо. Пространственная обособленность таких проявлений от Cu-Mo-порфировых рудных узлов и отсутствие признаков, характерных для оруденения порфирового типа, позволяют предполагать их связь с развитием гранитоидов селенгинского комплекса. Типичным примером подобной минерализации является рудное проявление Шивотэ-Гол (в 11 км к западу от самона Барунбурэн), представленное крутопадающей кварцевой жилой, прослеженной в селенгинских гранитоидах на расстоянии 40 м при мощности около 50 см. Содержание Cu в ней колеблется от 0,16 до 0,68 % [Медно-рудные..., 1985].

К рудным образованиям, связанным с селенгинским комплексом, можно, по-видимому, отнести и встречающиеся в этих гранитоидах кварц-турмалиновые и турмалиновые жилы с вкрапленностью и мелкими гнездами халькопирита (например, в интрузивных массивах окрестностей г. Булган). Основанием для этого является, в частности, наличие маломощных турмалиновых прожилков в обломках селенгинских гранитоидов среди эксплозивных брекчий, развитых в экзоконтактных зонах штокооб-

разных тел гранодиорит-порфиров на месторождении Эрдэнэтуин-Обо [Медно-рудные..., 1985]. Неясным остается возрастное положение обширных полей турмалиновых (часто с кварцем) жил, гнезд и штокообразных тел со спорадической медной минерализацией (участок Турмалиновый), которые развиты непосредственно к юго-востоку от участка Оюут месторождения Эрдэнэтуин-Обо среди гранодиоритов селенгинского комплекса. Но можно отметить, что для самого Cu-Mo-порфирового оруденения турмалин не характерен.

Рассматриваемого возрастного уровня, очевидно, является также и минерализация, проявляющаяся иногда в экзоконтактных зонах гранитоидных массивов селенгинского комплекса. На рудопроявлении Амар-Хид в экзоконтакте граносиентового массива среди подробленных и окварцованных нижнепермских туфов кислого состава встречаются мелкие (до $10 \times 0,3$ —2 м) рудоносные зонки с содержанием Cu от 0,02 до 0,83 % и Mo до 0,00n % [Медно-рудные..., 1985].

На периферии Орхон-Селенгинского вулканогенного прогиба при переходе к районам древних карбонатных толщ в экзоконтакте селенгинских субщелочных гранитов и гранодиоритов проявляется медно-скарновая минерализация с обычным присутствием молибдена (рудопроявление Цахир-Ула и др.).

Наконец, следует отметить имеющееся в регионе Cu-Ni-(ЭПГ) оруденение, например, в расслоенных габбро-норитах Номгонского массива, близкоодновозрастных (256 ± 21 млн лет, Sm-Nd метод) с мафитами, предшествующими гранитоидам селенгинского комплекса [Изох и др., 1998].

Проявления самородной меди в вулканиках трахиандезитобазальтовой серии. К северо-востоку от Эрдэнэтской поперечной структуры в полях трахиандезитобазальтовых вулканитов выделяются два района с широким развитием рудных проявлений самородной меди [Вулкано-плутонические..., 1991]. В районе самона Барунбурэн такая рудная минерализация представлена вкрапленностью самородной меди в линзовидных (14 — $20 \times 0,1$ —2 м) кварц-эпидотовых телах, сконцентрированных на отдельных разобщенных участках среди верхнепермских—нижнетриасовых вулканитов. По штучным пробам содержание Cu составляет 0,02—1,3 %, присутствует Mo (до 0,002—0,003 %).

Северо-восточнее в правобережье р. Селенга, на рудопроявлении Боц [Медно-рудные..., 1985], самородная медь присутствует в кварц-эпидотовых жилах и зонах окварцованных, хлоритизированных, эпидотизированных трахиандезитовых порфириров. Зоны гидротермального изменения развиваются преимущественно по межпластовым срывам и по зальбандам даек диабазовых порфириров, пересекающих вулканиты. Иногда отмечается наложение рудно-метасоматических образований на дайки, которые, возможно, являются субвулканическими интрузиями, тесно сопряженными с формированием вулканогенных толщ [Салтыковский, Оролмаа, 1977]. По данным бороздового опробования содержание Cu установлено в пределах 0,05—1,08 % (преобладает 0,2—0,5 %), присутствует Mo. Молибден как примесь отмечается в самородной меди. В северо-западной части рудопроявления обнажаются миндалекаменные порфириды, в миндалинах которых встречается самородная медь в ассоциации с кварцем, хлоритом, карбонатом и эпидотом.

Трахибазальты и субщелочные оливиновые базальты трахиандезитобазальтовой серии на отдельных участках характеризуются надкларковыми количествами Cu и Mo при высокой дисперсии их содержаний, что особенно типично для районов широкого распространения самородной меди [Вулкано-плутонические..., 1991].

Медь и молибден в образованиях шивотинского комплекса. Для габбро и монзонитов комплекса, прорывающих трахиандезитобазальтовую толщу, отмечаются относительно повышенные надкларковые содержания Mo (2 — 3 г/т), превышающие его концентрацию ($0,7$ — 1 г/т) в габбро и диоритах Эрдэнэтского массива. Содержание Cu в них по сравнению с близкими по составу породами селенгинского комплекса ниже [Сотников и др., 2005]. Среди габброидов Цулхургольского массива на правобережье р. Селенга имеются небольшие пегматоидные образования, в протолочках которых встречены единичные зерна халькопирита.

Медно-молибденовое оруденение, связанное с развитием эрдэнэтского порфирового комплекса. При широкой распространенности Cu-Mo-порфировых рудных проявлений в Орхон-Селенгинском прогибе основные месторождения этого типа сосредоточены в пределах Эрдэнэтского массива, вытянутого в северо-западном направлении параллельно Бухайнгольскому разлому и прорывающего сложно построенную вулканогенную толщу базальт-андезит-риолитовой серии. Здесь в рудоносной зоне северо-западной ориентировки протяженностью до 25 км расположены участки (с СЗ на ЮВ): Северо-Западный (месторождение Эрдэнэтуин-Обо), Центральный, Промежуточный, Оюут. Южнее в левобережье р. Орхон находятся месторождение Шанд и ряд более мелких рудопроявлений.

Оруденение пространственно ассоциирует со штоко- и дайкообразными телами порфировых пород (преимущественно гранодиорит- и плагиогранит-порфиры, реже кварцевые диоритовые порфириды). Полоса развития порфировых интрузивов и рудно-метасоматических образований пространственно совпадает с выделенной Ю.А. Зориным [1982] зоной крутого магмоподводящего канала для интрузий селенгинского комплекса. Этот канал служил, очевидно, магмоводом и для порфирового магматизма.

В развитии рудоносного порфирового комплекса выделяется несколько ритмов: от трех [Сотников и др., 2005] до пяти [Гаврилова и др., 1989], с каждым из которых связано проявление рудно-метасоматических процессов. Наиболее продуктивны первые два ритма. Пространственное совмещение этих разновозрастных рудно-метасоматических образований во многом определяет масштабы оруденения на отдельных участках. В рудном штокверке месторождения Эрдэнэтуин-Обо содержание Cu в первичных рудах колеблется от 0,2 до 0,7 %, Mo — в пределах 0,008—0,026 %.

Более молодая минерализация в Эрдэнэтском районе связана с проявлением позднепермских-раннеюрских **трахит-трахибазальт-трахиандезитовых вулканитов и сопутствующих им даек и некков**. На месторождении Эрдэнэтуин-Обо дайки трахиандезитовых порфиритов и некки трахириолитов и риолитов иногда содержат рассеянную вкрапленность пирита. Они часто сопровождаются зонами взрывных брекчий с развитием крупных гнезд пирита в цементе и интенсивного кварц-серицитового изменения. Содержание Cu в этих зонах редко достигает 0,1 %, Mo — до 0,002 %. В дайках трахиандезитовых порфиритов встречаются прожилки ангидрита [Сотников и др., 1992]. К подобным же образованиям относятся поля интенсивно окварцованных, серицитизированных, каолинизированных, алунизированных и местами пиритизированных вулканитов на рудопоявлениях Цаган-Чулуту, Могойн-Гол и других в северной части Эрдэнэтского района [Медно-рудные..., 1985]. Содержание Cu в этих метасоматических зонах обычно 0,001—0,02 %, Mo — 0,0005—0,003 %.

Характерно, что позднепермско-раннеюрские вулканиты, как и близкие к ним по составу пермские и позднепермско-раннепермские, также в ряде случаев содержат надкларковые количества Mo (до 3,8—4,4 г/т). Содержание Cu в них обычно ниже кларкового [Коваль, 1998].

В целом во временной последовательности развития пермотриасового магматизма в Орхон-Селенгинском прогибе формируются разнотипные рудные проявления, составляющие единый металлогенический ряд (от ранних к поздним): самородной Cu (P) — Cu-Ni-сульфидные — Cu-скарновые и Cu-жильные (P₂ — T₁) — самородной Cu (P₂ — T₁) — Cu-Mo-порфировые (T) — рассеянная медная минерализация в метасоматических зонах (T₃ — J₁). Все они характеризуются единым геохимическим профилем — доминирование меди и постоянное присутствие примеси молибдена.

Рассматриваемые магматические образования ОСП по времени их развития сопоставимы с проявлением сибирских траппов и ассоциирующих с ними гранитоидов (255—225 млн лет), являющихся отражением Сибирского суперплюма [Добрецов, 2003; Добрецов и др., 2005; Борисенко и др., 2006], и плюмового магматизма в Северной Монголии (265—230 млн лет) [Ярмолук, Коваленко, 2003]. Следует также отметить определенное сходство металлогенической эволюции ОСП и районов развития траппового магматизма на Сибирской платформе. Так, в Норильском рудном районе [Дюжиков и др., 1988], наряду с резко доминирующим Cu-Ni-(ЭПГ) оруденением (249—248 млн лет; ⁴⁰Ar/³⁹Ar метод [Dalrymple et al., 1991]), широко развиты проявления самородной меди (Арылахское месторождение и др.) в вулканогенной пермотриасовой толще — 245,3—243,5 млн лет [Dalrymple et al., 1991], а также выявлено Cu-Mo-порфировое Болгохтохское месторождение, связанное с одноименным штокообразным интрузивом порфировидных гранитоидов, гранодиорит-гранит-порфиров (223,3 млн лет [Dalrymple 1995]) в зоне сопряжения Норильской и Вологодчанской мульды и Дудинского вала. U-Pb методом по циркону для болгохтохских гранитоидов получена датировка 229,0 ± 0,4 млн лет [Kamo et al., 2003].

Подобные гранитоидные интрузивы развиты также на Западном Таймыре [Vernikovskiy et al., 2001], где они прорывают терригенные и вулканогенно-осадочные толщи позднего карбона и перми, а также позднепермско-раннепермские породы трапповой формации. Возраст этих массивов (249—241 млн лет, U-Pb метод, 245—240 млн лет, ⁴⁰Ar/³⁹Ar метод) соответствует возрасту траппов на п-ове Таймыр. В районах проявления гранитоидных интрузивов встречаются зоны с Cu-Mo оруденением.

С учетом близости возраста вулканоплутонических образований ОСП с траппами и ассоциирующими с ними гранитоидами, проявившимися на Сибирской платформе и Таймыре, сходства петрогеохимических характеристик мафитовых составляющих [Берзина и др., 2004], идентичности мантийных стронциевых изотопных меток магматитов [Добрецов, 2003; Ярмолук, Коваленко, 2003; Сотников и др., 2005] и определенной металлогенической общности этих регионов развитие магматизма в ОСП можно, очевидно, рассматривать как отражение плюма, входящего в систему нижнемантийных плюмов, существовавших в пермотриасовое время на обширной территории Азии [Добрецов, 2003; Берзин и др., 2004; Добрецов и др., 2005]. При этом со временем происходило увеличение потенциальной рудопроductивности магм с переходом от малоперспективной рудной минерализации в начальные периоды проявления магматизма к промышленно важному Cu-Mo-порфировому типу на позднем этапе. В этом направлении отмечается рост интенсивности флюидного потока и инверсия окислительно-восстановительного потенциала эндогенной системы в сторону более окислительной обстановки, что стимулировало перенос рудных элементов из глубинных уровней и способствовало увеличению меденосности магматогенных флюидов [Дурасова и др., 1994; Рябчиков, 1997].

Охарактеризованные в статье особенности металлогенической эволюции Орхон-Селенгинского прогиба с длительной предысторией формирования Cu-Mo-порфировых месторождений не являются чем-то уникальным. Можно привести и другие примеры подобного стиля металлогенического развития Cu-Mo-порфировых рудных районов.

В Кузнецком Алатау в районе Сорского Cu-Mo-порфирового месторождения [Сотников и др., 2001], локализованного в северо-восточной части Уйбатского плутона, проявлению рудоносного порфирового магматизма (389—388 млн лет), с которым связано основное промышленное оруденение, предшествовал многоимпульсный гранитоидный магматизм. С развитием сиенитоидной породной ассоциации плутона (465—462 млн лет) связывается Cu-Mo-скарновое оруденение; с лейкогранитовой ассоциацией (422—418 млн лет) — кварц-биотит-калишпатовые метасоматиты с вкрапленной молибденитовой и халькопиритовой минерализацией. Следует отметить, что Уйбатский плутон расположен среди венд-кембрийских известняковых толщ с горизонтами, обогащенными углеродистым веществом. Для известняков характерны повышенные содержания F (на уровне 0,02—0,20 мас.%) и Mo (0,0004—0,0015 %; в отдельных пропластах высокоуглеродистых известняков до 0,008 % Mo) [Сотников и др., 1998]. Микрозондовым анализом в углеродистом веществе определено до 1,5—2 мас.% S [Сотников и др., 2004]. Не исключено, что повышенные содержания фтора и серы в венд-кембрийских углеродистых толщах повлияли на специфику Сорского месторождения — широкое развитие в рудно-метасоматических образованиях фторсодержащих минералов (флюорит, геварксит, криолит, фторапатит), высокая роль CO₂ во флюидах и утяжеленный изотопный состав серы сульфидов (7,1—10,2 ‰ [Сотников и др., 2004]) при (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)₀ = 0,7040—0,7046 для гранитоидов, включая рудоносные порфиры [Сотников и др., 2000].

Значительная общая длительность проявления магматических и рудно-метасоматических процессов установлена ⁴⁰Ar/³⁹Ar датированием для района Cu-Mo-порфирового месторождения Аксуг в Северо-Восточной Туве [Сотников и др., 2003]. Наиболее древними интрузивными образованиями в районе являются тоналиты и плагиограниты майнского комплекса (532—522 млн лет), с которыми в регионе связана меднорудная минерализация, сформированная с переотложением рудного вещества древних раннекембрийских гидротермально-осадочных залежей. Предполагается также проявление бедной прожилково-вкрапленной медной и молибденовой минерализации в позднем кембрии [Попов и др., 1988]. На месторождении Аксуг ⁴⁰Ar/³⁹Ar датированием светлых слюд из зон кварц-серицитового изменения вмещающих пород зафиксированы три импульса эндогенных событий: 404—401, 364—354 и 331—324 млн лет, отвечающих, очевидно, разным периодам проявления рудно-метасоматических процессов: формирование штокверкового пирит-молибденит-халькопиритового оруденения и минеральной ассоциации с самородной медью и халькозином [Сотников и др., 2003]. Завершающим на месторождении является проявление аплит-гранитовой ассоциации (336—324 млн лет), с которой связана малообъемная прожилковая и гнездовая пирит-халькопиритовая минерализация. Совмещение разновозрастной минерализации в пределах месторождения привело к увеличению содержания меди в рудах.

На севере Чили в районе крупного Cu-порфирового месторождения Ла-Эскондида с возрастом 38,28 ± ± 0,32—36,94 ± 0,46 млн лет [Richards et al., 2001] проявлены медьсодержащие турмалиновые брекчии позднепалеозойского возраста (298 ± 7 млн лет) [Davidson et al., 1985] и зоны гидротермального изменения с повышенными концентрациями Cu и Mo в пермских вулканитах (267,6 ± 4,3 млн лет) [Richards et al., 2001]. С развитием позднемеловых (76,9 ± 1,2; 74,0 ± 2 млн лет) габбро и кварцевых монзонитов связаны скарновые образования, слабая хлоритизация, серицитизация и эпидотизация. В регионе проявлены две эпохи Cu-порфирового оруденения [Sillitoe, 1988]: палеоцен—ранний эоцен (59—52 млн лет — формирование малопродуктивных месторождений: Ломас-Байас, Серро-Гордо и др.) и поздний эоцен—ранний олигоцен (38—35 млн лет — формирование крупных месторождений: Ла-Эскондида, Чукикамата, Эль-Абра и др.).

На территории Чили в береговой зоне Анд западнее палеоценового и эоцен-олигоценного поясов крупных Cu-Mo-порфировых месторождений широко распространены стратиформные залежи преимущественно вкрапленных медных руд (типа „манто“) в бимодальных вулканогенных и вулканогенно-кластических толщах юрского и мелового возраста (рис. 2) [Wilson et al., 2003]. Выделяются месторождения, в которых халькопирит-борнит-халькозиновая минерализация сосредоточена в верхних горизонтах андезитовых толщ (Буэна-Эсперанца), в игнимбритах риолитового состава (Эль-Хардин, Эль-Бенадо), в известняках и кластических образованиях среди эффузивно-осадочных толщ. Эта медная минерализация в определенной степени имеет сходство с описанным выше рудопроявлением Хабчеранга в пермских трахиандезитовых вулканитах Орхон-Селенгинского пояса в Северной Монголии. На некоторых месторождениях (например, Эль-Сольдадо) рудная минерализация локализована как среди вулканогенных пород, так и в субвулканических порфирах. На этом месторождении ⁴⁰Ar/³⁹Ar датированием гидротермального калишпата зафиксировано два рудных этапа: 109,4 ± 1,1—112 ± 2 млн лет и 102,5 ± 2 млн лет (основное оруденение) [Wilson et al., 2003]. В береговой зоне известно существенно-медное порфировое месторождение Андакольо (90 млн лет), связанное с интрузивом кварцевых диоритовых порфиритов,

Рис. 2. Схема размещения медно-рудных проявлений и месторождений на севере Чили.

Пустой кружок — проявления типа „манто“ [Wilson et al., 2003], залитый — Cu-Мо-порфировые месторождения [Sillitoe, 1988; Camus et al., 2001]. В скобках указан возраст месторождений (млн лет).

прорывающим меловую вулканогенно (андезиты, трахиты)-осадочную толщу. Широкое развитие в чилийском отрезке Анд ранних сингенетических залежей типа „манто“ свидетельствует о высоком медно-рудном потенциале андезитоидного магматизма.

В обобщающей работе [White et al., 1981] по генезису крупнейших Мо-порфировых месторождений (Клаймакс, Гендерсон и другие в диапазоне возрастов 33—17 млн лет) в районе Скалистых гор в Колорадо обсуждается возможность существования долговременного источника Мо (и сопутствующих W, F) в континентальной литосфере этого района. Повышенные концентрации Мо в регионе связаны с разновозрастными магматическими образованиями. Докембрийские гнейсы и амфиболиты (древнее 1,7 млрд лет) содержат редкие мелкие месторождения повеллита и шеелита. В биотитовых сланцах формации Айдахо-Спрингс средние концентрации Мо около 5 г/т (в основном примесь в магнетите). Вкрапленность MoS₂ встречается в пегматитах и аплитах, связанных соответственно с гранитами Сильвер-Плюм (~1,4 млрд лет) и Пайкс-Плюм (~1 млрд лет). Первые граниты обычно содержат 2—3 г/т (иногда до 10 г/т) Мо. Небольшие, но довольно многочисленные молибденовые (а также флюоритовые и вольфрамовые) месторождения в металлогеническом поясе Колорадо ассоциируют с раннеларамийскими (70—50 млн лет) и позднеларамийскими (50—30 млн лет) гранитоидами.

Имеются и другие примеры подобного длительного и сложного развития Cu-Мо-порфировых рудных районов. Можно ожидать, что их число будет увеличиваться по мере проведения целенаправленных исследований с широким привлечением изотопно-геохронологических методов.

Обсуждаемый в статье стиль металлогенического развития рудных районов с длительным периодом проявления многоимпульсного магматизма и разнотипной рудной минерализации, предшествующим Cu-Мо-порфировому оруденению, является, очевидно, одним из важных факторов формирования крупномасштабных месторождений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ 04-05-64238; 06-05-64860), Минобрнауки РФ (РНП.2.1.1.702), НШ-4933.2006.5 и интеграционного проекта СО РАН (6.1).



ЛИТЕРАТУРА

Архангельская В.В., Казанский В.И., Прохоров К.В., Собаченко В.Н. Геологическое строение, зональность и условия образования Катугинского Та-Nb-Zr месторождения // Геология рудных месторождений, 1993, т. 35, № 2, с. 115—131.

Берзина А.П., Добрецов Н.Л., Сотников В.И., Пономарчук В.А. Cu-Мо-порфировый магматический центр Эрдэнэтуин-Обо (Монголия) как отражение пермотриасового суперплюма // Докл. РАН, 2004, т. 399, № 6, с. 806—809.

Вулкано-плутонические ассоциации Центральной Монголии / С.П. Гаврилова, А.И. Лучицкая, Д.И. Фрих-Хар, Д. Оролмаа, Ж. Бадамгараев. М. Наука, 1991, 232 с.

Гаврилова С.П., Максимюк И.Е., Оролмаа Д. Молибден-медно-порфировое месторождение Эрдэнэтуин-Обо в Северной Монголии. М., ИМГРЭ, 1989, 39 с.

Гаськов И.В. Колчеданно-полиметаллические месторождения северо-западной части Рудного Алтая: условия образования и закономерности размещения: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал „Гео“, 2002, 46 с.

Добрецов Н.Л. Мантийные плюмы и их роль в формировании анорогенных гранитоидов // Геология и геофизика, 2003, т. 44 (12), с. 1243—1261.

Добрецов Н.Л., Владимиров А.Г., Крук Н.Н. Пермско-триасовый магматизм Алтае-Саянской области как отражение Сибирского суперплюма // Докл. РАН, 2005, т. 400, № 4, с. 505—509.

Довгаль В.Н., Сотников В.И. Редкометалльный гранитоидный магматизм Алтае-Саянской складчатой области: возрастное положение, геологические особенности проявления // Геология и геофизика, 1998, т. 39 (8), с. 1085—1093.

Дурасова Н.А., Рябчиков И.Д., Кочнова Л.Н., Беляева В.К., Игнатенко К.И. Меденосность флюидов в глубинных зонах Земли // Геология рудных месторождений, 1994, т. 35, № 6, с. 565—569.

Дюжиков О.А., Дистлер В.В., Струнин Б.М. Геология и рудоносность Норильского района. М., Наука, 1988, 279 с.

Железородная база России / Ред. В.П. Орлов, М.И. Веригин, И.И. Головкин. М., Геоинформмарк, 1998, 842 с.

Зорин Ю.А. Глубинная структура территории МНР. Новосибирск, Наука, 1982, 150 с.

Изох А.Э., Поляков Г.В., Гибшер А.С., Балыкин П.А., Журавлев Д.З., Пархоменко В.А. Высокоглиноземистые расслоенные габброиды Центрально-Азиатского складчатого пояса: геохимические особенности, Sm-Nd изотопный возраст и геодинамические условия формирования // Геология и геофизика, 1998, т. 39 (11), с. 1565—1577.

Коваль П.В. Региональный геохимический анализ гранитоидов. Новосибирск, Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГТМ СО РАН, 1998, 492 с.

Кузбный В.С., Макаров В.А., Калеев Е.А., Дистанов Э.Г., Ковалев К.Р., Бухаров Н.С., Глазунов С.П., Чупахин Л.М. Кызыл-Таштыгский колчеданно-полиметаллический рудный узел Восточной Тувы. Красноярск, ООО „Поликом“, 2001, 292 с.

Лаверов Н.П., Винокуров С.Ф. Условия образования крупных полихронных месторождений урана // Итоги науки и техники. Рудные месторождения, Т. 21. М., ВИНТИ, 1988, 96 с.

Меднорудные формации МНР / В.И. Сотников, А.П. Берзина, М. Жамсран, Д. Гарамжав, Д. Болд. Новосибирск, Наука, 1985, 223 с.

Попов В.С., Кудрявцев Ю.К., Алтухов Е.Н., Забелин В.И., Добрянский Г.И. Геологическая позиция медно- и молибден-порфирового оруденения Алтае-Саянской складчатой области // Геология рудных месторождений, 1988, № 3, с. 84—89.

Рундквист Д.В. Фактор времени при формировании гидротермальных месторождений: периоды, эпохи, этапы и стадии рудообразования // Геология рудных месторождений, 1997, т. 39, № 1, с. 11—24.

Рундквист Д.В., Рундквист И.К. Металлогения на рубеже столетия // Вестн. РАН, 1994, т. 64, № 7, с. 588—605.

Рябчиков И.Д. Глобальные потоки рудных металлов в глубинных процессах // Геология рудных месторождений, 1997, т. 39, № 5, с. 403—408.

Салтыковский А.Я., Оролмаа Д. Позднепалеозойский—мезозойский вулканизм Северной Монголии и Западного Забайкалья. М., Наука, 1977, 202 с.

Сотников В.И., Пономарчук В.А., Берзина А.П., Травин А.В. Изотопный состав стронция и серы в ангидритах медно-молибденового месторождения Эрдэнэтуин-Обо (Монголия) // Докл. РАН, 1992, т. 326, № 6, с. 1039—1042.

Сотников В.И., Берзина А.П., Пономарчук В.А., Берзина А.Н., Гимон В.О. Источники углерода в эндогенных образованиях Сорского медно-молибден-порфирового месторождения (Кузнецкий Алатау) // Геология и геофизика, 1998, т. 39 (2), с. 222—227.

Сотников В.И., Пономарчук В.А., Берзина А.Н., Берзина А.П., Киселева В.Ю., Морозова И.П. Эволюция $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в изверженных породах медно-молибден-порфировых рудных узлов (по данным изучения акцессорного апатита) // Геология и геофизика, 2000, т. 41 (8), с. 1112—1123.

Сотников В.И., Пономарчук В.А., Шевченко Д.О., Берзина А.П., Берзина А.Н. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ геохронология магматических и метасоматических событий в Сорском Cu-Mo-порфировом рудном узле (Кузнецкий Алатау) // Геология и геофизика, 2001, т. 42 (5), с. 786—801.

Сотников В.И., Пономарчук В.А., Шевченко Д.О., Берзина А.Н. Аксугское Cu-Mo-порфировое месторождение в Северо-Восточной Туве: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ геохронология, источники вещества // Геология и геофизика, 2003, т. 44 (11), с. 1119—1132.

Сотников В.И., Пономарчук В.А., Перцева А.П., Берзина А.П., Берзина А.Н., Гимон В.О. Эволюция изотопов серы в Cu-Мо-порфировых рудно-магматических системах Сибири и Монголии // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (8), с. 963—974.

Сотников В.И., Пономарчук В.А., Шевченко Д.О., Берзина А.П. Cu-Мо-порфировое месторождение Эрдэнэтуин-Обо, Северная Монголия: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ геохронология, факторы крупномасштабного рудообразования // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (6), с. 633—644.

Сырицо Л.Ф. Мезозойские гранитоиды Восточного Забайкалья и проблемы редкометалльного рудообразования. СПб., Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2002, 360 с.

Ярмлюк В.В., Коваленко В.И. Геодинамические обстановки образования батолитов в Центрально-Азиатском складчатом поясе // Геология и геофизика, 2003, т. 44 (12), с. 1305—1320.

Яшина Р.М., Матреницкий А.Т. Верхнепалеозойский магматизм Северной Монголии и его металлогенические особенности // Геология и магматизм Монголии. М., Наука, 1979, с. 96—113.

Camus F., Dilles J.H. A special issue deposits of northern Chile preface // *Econ. Geol.*, 2001, v. 96, p. 233—237.

Dalrymple G.B., Czamanske G.K., Lanphere M.A., Stepanov B., Fedorenko V. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of samples from Norilsk-Talnakh ore-bearing intrusions and Siberian flood basalts // *EOS*, 1991, v. 72, p. 570.

Dalrymple G.B., Czamanske G.K., Fedorenko V.A., Simonov O.N., Lanphere M.A., Likhachev A.P. A reconnaissance $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronologic study of ore-bearing and related rocks, Siberia, Russia // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1995, v. 59, № 10, p. 2071—2083.

Davidson J., Ramirez C.F., Gardeweg M., Herve M., Brook M., Pankhurs R. Late Paleozoic — Early Triassic calderas and related mineralization in the Cordillera de Domeyko, Northern Chile // *Comunicaciones*, 1985, № 35, p. 53—57.

Kamo S.L., Czamanske G.K., Amelin Y., Fedorenko V.A., Davis D.W., Trofimov V.R. Rapid eruption of Siberian flood-volcanic rocks and evidence for coincidence with the Permian-Triassic boundary and mass extinction at 251 Ma // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2003, v. 214, p. 75—91.

Kravchenko S., Pokrovsky B. The Tomtor alkaline ultrabasic massif and related REE niobium deposits (North Siberia) // *Econ. Geol.*, 1995, v. 90, p. 776—789.

Richards J.P., Boyce A.J., Pringle M.S. Geologic evolution of the Escondida area, Northern Chile: a model for spatial and temporal localization of porphyry Cu mineralization // *Econ. Geol.*, 2001, v. 96, p. 271—305.

Sillitoe R.H. Epochs of intrusion-related copper mineralization in the Andes // *J. S. Amer. Earth Sci.*, 1988, v. 1, p. 89—108.

Vernikovskiy V.A., Pease V.L., Vernikovskaya A.E., Romanov A.P., Gree D.J., Travin A.V. Early Triassic A-granites of Taimyr: a result of the Northern Asia superplume // *EUG XI (European Union of Geosciences, 2001, Strasbourg, France)*. Strasbourg, 2001, p. 757.

Wang J.W., Tatsumoto M., Li X.B., Premo W.R., Chao E.C.T. A precise ^{232}Th - ^{208}Pb chronology of fine-grained monazite — age of the Bayan Obo REE-Fe-Nb deposit, China // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1994, v. 58, p. 3155—3169.

White W.H., Bookstrom A.A., Kamilli R.J., Ganster M.W., Smith R.P., Ranta D.E., Steininger R.C. Character and origin of Climax-type molybdenum deposits // *Econ. Geol.*, 1981, 75th Anniversary vol., p. 270—316.

Wilson N.S.F., Zentilli M., Reynolds P.H., Boric R. Age of mineralization by basinal fluids at the El Soldado manto-type copper deposit, Chile: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of K-feldspar // *Chem. Geol.*, 2003, v. 197, p. 161—176.

*Поступила в редакцию
25 мая 2006 г.*