

*А.В. Чугаев¹, О.Ю. Плотинская¹, А.С. Садасюк¹,
Б.И. Гареев², Е.А. Баталин²*

*¹ – Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва
vassachav@mail.ru*

² – Казанский федеральный университет, г. Казань

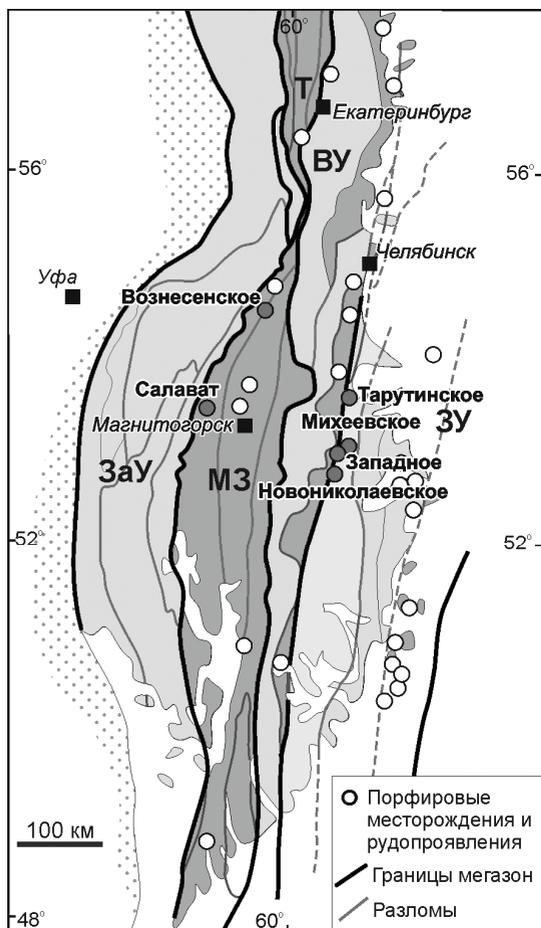
Свинцово-изотопные характеристики мантийного источника вещества девонских Cu-порфировых месторождений Южного Урала

На территории Урала известно несколько десятков различных по возрасту и рудной специализации порфировых месторождений. Несмотря на многолетнюю историю исследований [Грабежев, Бергородский, 1992; Самыгин, 2009; Plotinskaya et al., 2017a], вопрос источника рудного вещества для них остается дискуссионным. Наиболее широко распространенной является точка зрения о преобладающей роли мантийного источника в генезисе порфировых месторождений Урала [Самыгин, 2009 и др.]. Однако по результатам изучения Pb-Pb изотопной систематики месторождений Биргильдинско-Томинского рудного узла установлено, что, наряду с мантийным, в их образовании принимал участие также и коровый свинец [Plotinskaya et al., 2017b]. В то же время, изотопно-геохимические черты мантийного источника, а также роль коровых источников в формировании других порфировых месторождений Урала до сих пор не изучены.

В настоящей работе эти вопросы обсуждаются на примере девонских месторождений Южного Урала, для которых впервые проведены детальные Pb-Pb изотопные исследования (рис. 1). Пять из них относятся к Cu-порфировым месторождениям (Михеевское, Новониколаевское, Западное, Салават и Вознесенское) и одно (Тарутинское) – к Cu-скарновым. По геологической позиции и времени формирования месторождения могут быть выделены в две группы. К наиболее молодым (360 млн лет назад) относятся месторождения Зауральской мегазоны (ЗУ) (Тарутинское, Михеевское, Новониколаевское и Западное), образование которых связано с надсубдукционным магматизмом в аккреционной призме [Тевелев и др., 2006]. Месторождения Вознесенское и Салават Магнитогорской мегазоны (МЗ) формировались в ранне-среднедевонское время в условиях океанической островной дуги.

Pb-Pb данные получены по 50 пробам сульфидов (галенит, борнит, халькопирит, пирит), с разной степенью детальности характеризующим рудную минерализацию месторождений Южного Урала. Наиболее полно они представляют месторождения ЗУ, для которых изучено 33 образца (Тарутинское – 16, Михеевское – 12, Новониколаевское – 3 и Западное – 2), тогда как для месторождений МЗ – 17 образцов (Вознесенское – 10, Салават – 7).

Главным образом, изотопный состав Pb измерен в пирите и халькопирите. Поскольку в этих минералах Pb является примесным элементом, то для полной характеристики U-Th-Pb изотопной системы сульфидов также были определены содержания в них U, Th и Pb. Изученная серия образцов пирита и халькопирита оказалась однородна по содержанию U (н.п.о.–7 мкг/г), Th (н.п.о.–7 мкг/г) и Pb (0.8–253 мкг/г). Как следствие, некоторые из них обладали высокими значениями U/Pb (до 1.5) и Th/Pb (до 0.8) отношений. С учетом этих данных измеренные значения изотопных отношений



Мезокайнозойские отложения
 Предуральский краевой прогиб
 Сиапические (а) и вулканические (б) зоны:
 ЗаУ- Западно-Уральская, МЗ- Магнитогорская,
 Т-Тагильская, ВУ- Восточно-Уральская,
 ЗУ- Зауральская

Рис. 1. Тектоническая схема Южного и Среднего Урала и положение порфировых месторождений.

Pb в пирите и халькопирите были скорректированы на добавки радиогенного компонента изотопов ^{206}Pb , ^{207}Pb и ^{208}Pb , накопленных in situ с момента кристаллизации минералов.

Скорректированные на возраст значения изотопных отношений Pb варьируют в широких пределах: 17.85–18.94 для $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$, 15.54–15.77 для $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ и 37.63–39.10 для $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$. Соответственно, величины коэффициента вариации равны (%): $v_{6/4} = 1.4$, $v_{7/4} = 0.24$ и $v_{8/4} = 0.71$. Высокая степень неоднородности изотопного состава Pb наблюдается не только в целом для месторождений Южного Урала, но и внутри отдельных месторождений (%): Тарутинское – $v_{6/4} = 0.98$, $v_{7/4} = 0.24$ и $v_{8/4} = 0.70$, Вознесенское – $v_{6/4} = 1.6$, $v_{7/4} = 0.14$ и $v_{8/4} = 0.89$, Салават – $v_{6/4} = 1.6$, $v_{7/4} = 0.18$ и $v_{8/4} = 0.45$. Умеренными вариациями изотопных отношений Pb ($v_{6/4} = 0.42$, $v_{7/4} = 0.08$ и $v_{8/4} = 0.30$) обладают лишь месторождения Новониколаевского рудного узла, которые оказались близки между собой по изотопному составу Pb. По масштабу вариаций изотопного состава рудного Pb порфировые месторождения Южного Урала отличаются

от аналогичных по типу рудной минерализации миоценовых месторождений (%) ($v_{6/4} = 0.44$, $v_{7/4} = 0.16$ и $v_{8/4} = 0.23$) юго-западного Ирана [Shafiei, 2010] и среднеюрского месторождения Эл Арко ($v_{6/4} = 0.36$, $v_{7/4} = 0.07$ и $v_{8/4} = 0.11$) в Мексике [Weber, Martinez, 2006], которые, как и месторождения Южного Урала, генетически связаны с надсубдукционным магматизмом.

Сопоставление результатов Pb-Pb изучения порфировых месторождений Южного Урала приведено на диаграмме $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. В целом, точки изотопного состава Pb сульфидов с большим разбросом лежат в области диаграммы между эволюционными кривыми Pb верхнекорового и мантийного источников (рис. 2). При этом выделяются два не перекрывающихся между собой поля, которые отвечают изотопному составу рудного свинца месторождений ЗУ и МЗ, соответственно. Точки сульфидов

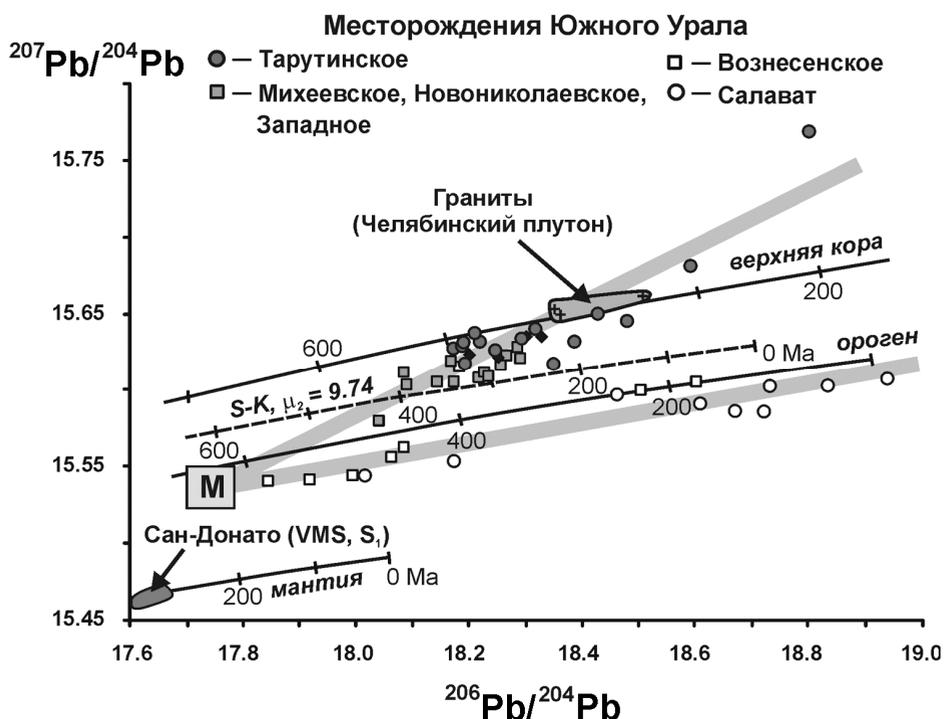


Рис. 2. Pb-Pb диаграмма для сульфидов девонских порфировых месторождений Южного Урала.

Показаны кривые эволюции изотопного состава Pb в мантии, верхней коре и орогене по модели Доу-Зартмана (сплошные линии), среднecоревая эволюционная кривая (пунктирная линия) по модели Стейси-Крамерса, поле изотопного состава Pb полевых шпатов гранитов Челябинского плутона [Plotinskaya et al., 2017b], руд колчеданного месторождения Сан-Дonato [Чернышев и др., 2008], а также предполагаемое поле мантийного источника типа MORB.

месторождений ЗУ тяготеют к кривой эволюции Pb верхней коры. Они образуют тренд с тангенсом угла наклона $\text{tg} = 0.19$. При этом достоверность линейной аппроксимации точек (R^2) составляет 0.8. Напротив, группа точек месторождений МЗ расположена ниже среднecоревой эволюционной кривой Стейси-Крамерса. Их положение также может быть аппроксимировано линией ($\text{tg} = 0.07$) с достоверностью $R^2 = 0.9$.

Наблюдаемые особенности трендов на диаграмме дают основание рассматривать их как линии смешения Pb нескольких источников разных геохимических типов. Среди них идентифицируются коровые источники двух типов. Они отличаются по величине параметра μ ($^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$). Первый тип, принимавший участие в рудообразующих процессах на месторождениях ЗУ, обладал высокими значениями μ_2 (≥ 10.3) и ω_2 (≥ 38.9). По этим параметрам он близок верхнecоровому источнику, согласно модели Доу-Зартмана. В качестве такого источника могли выступать раннепалеозойские осадочные комплексы, распространенные в пределах ЗУ. Наличие такого источника подтверждается тем фактом, что на верхнем продолжении тренда точек ЗУ расположено поле изотопного состава Pb гранитоидов ранних фаз Челябинского плутона, становление которого происходило в раннекаменноугольное время (355 млн лет назад)

(см. рис. 2). В этом случае наблюдаемые различия в изотопном составе Pb месторождений ЗУ отражают разную степень вовлечения свинца верхнекорового источника в рудообразующие процессы на этих месторождениях. Наибольший его вклад был при формировании Си-скарнового месторождения Тарутинское, тогда как для месторождений Новониколаевского рудного узла он был минимальным. Напротив, в генезисе месторождений МЗ принимал участие коровый источник орогенного типа с пониженными значениями $\mu_2 \sim 9.6$ и $\omega_2 \sim 36.4$. Доля Pb этого источника максимальна в минералах, отлагавшихся на субэпитермальной стадии эволюции рудообразующих систем месторождений Вознесенское и Салават. Вероятнее всего, источником Pb орогенного типа являлись вмещающие оруденение раннедевонские островодужные вулканогенно-осадочные породы.

Упомянутые тренды изотопного состава Pb имеют пересечение в нижней части диаграммы, что интерпретируется как участие в рудообразующих процессах на порфировых месторождениях Южного Урала общего по своим Pb изотопным характеристикам источника вещества, в котором значения $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ на девонское время составляли, соответственно, ~ 17.76 и ~ 15.54 . Для этого источника характерны пониженные величины модельных параметров μ_2 (~ 9.56) и ω_2 (~ 36.2). По изотопному составу Pb предполагаемый общий источник отличается от источников деплетированной мантии (модель Дой-Зартмана [Zartman, Doe, 1981]) и верхней мантии (модель Крамерса-Толстикина [Kramers, Tolstikhin, 1997]). Кроме того, он характеризуется более высоким содержанием радиогенных изотопов ^{206}Pb и ^{207}Pb по сравнению со Pb мантийного источника нижнесилурийского колчеданного месторождения Сан-Дonato (Тагильская зона), приуроченного к толеитовым базальтам островодужной серии [Чернышев и др., 2008]. Близкий по величине $\mu_2 = 9.43$ источник Pb установлен для среднеуровневого Си-порфирового месторождения Эл Арко, формирование которого, как и в случае месторождений МЗ, происходило в условиях океанической островной дуги при участии мантийного источника типа MORB [Weber, Martinez, 2006]. Опубликованные ранее Sm-Nd данные ($\epsilon\text{Nd}(T) = 4.4, 6.1$) для рудогенерирующих пород месторождений Салават и Вознесенское [Самыгин, 2009] также свидетельствуют о существенной роли в их петрогенезисе мантийного источника близкого к источнику MORB. Однако отмеченные выше Pb изотопные особенности общего для порфировых месторождений Южного Урала мантийного источника не позволяют его непосредственно соотнести с верхней или деплетированной мантией. Более радиогенный изотопный состав Pb предполагает участие в порфиново-эпитермальных рудных системах Южного Урала вещества метасоматически измененной и/или контаминированной коровым компонентом (например, свинцом пелагических осадков) астеносферной мантии мантийного клина.

Таким образом, результаты изучения изотопного состава Pb порфировых месторождений Южного Урала свидетельствуют об участии в их генезисе разных по геохимическому типу источников вещества. Среди них идентифицируются источники свинца верхнекорового (месторождения Зауральской зоны) и орогенного (месторождения Магнитогорской зоны) типов. При этом устанавливается и общий для всех изученных месторождений мантийный источник вещества. По своим Pb изотопным характеристикам он близок MORB и, по-видимому, представляет собой метасоматически измененную и/или контаминированную коровым веществом астеносферную мантию мантийного клина.

Исследования выполнены в рамках проекта РФФИ № 19-05-00344 и при финансовой поддержке (определение содержаний U, Th и Pb в минералах) Министерства

науки и высшего образования РФ (договор № 14.У26.31.0029) в рамках реализации постановления Правительства РФ № 220.

Литература

Грабежжев А.И., Белгородский Е.А. Продуктивные гранитоиды и метасоматиты медно-порфириновых месторождений (на примере Урала). Екатеринбург: Наука, 1992.

Самыгин С.Г. Sr-Nd-COHS изотопно-геохимическая характеристика медно-порфириновых флюидно-магматических систем Южного Урала: вероятные источники вещества // Литосфера. 2009. № 6. С. 66–89.

Тевелев А.В., Кошелева И.А., Попов В.С. и др. Палеозоиды зоны сочленения Восточного Урала и Зауралья. М.: Геологический факультет МГУ, 2006. 300 с.

Чернышев И.В., Викентьев И.В., Чугаев А.В., Шатагин К.Н., Молошаг В.П. Источники вещества колчеданных месторождений Урала по результатам высокоточного MC-ICP-MS изотопного анализа свинца галенитов // Доклады академии наук. 2008. Т. 418. № 4. С. 530–535.

Kramers J.D., Tolstikhin I.N. Two terrestrial lead isotope paradoxes, forward transport modeling, core formation and the history of the continental crust // Chemical Geology. 1997. Vol. 139 (1–4). P. 75–110.

Plotinskaya O.Y., Grabezhev A.I., Tessalina S., Seltmann R., Groznova E.O., Abramov S.S. Porphyry deposits of the Urals: geological framework and metallogeny // Ore Geology Reviews. 2017a. Vol. 85. P. 153–173.

Plotinskaya O.Y., Chugaev A.V., Seltmann R. Lead isotope systematics of porphyry–epithermal spectrum of the Birgilda–Tomino ore cluster in the South Urals, Russia // Ore Geology Reviews. 2017b. Vol. 85. P. 204–215.

Shafiei B. Lead isotope signatures of the igneous rocks and porphyry copper deposits from the Kerman Cenozoic magmatic arc (SE Iran), and their magmatic-metallogenetic implications // Ore Geology Reviews. 2010. Vol. 38. P. 27–36.

Weber B., Martinez M.L. Pb, Sr, and Nd isotopic and chemical evidence for a primitive island arc emplacement of the El Arco porphyry copper deposit (Baja California, Mexico) // Mineralium Deposita. 2006. Vol. 40. P. 707.

Zartman R.E., Doe B.R. Plumbotectonics – the model // Tectonophysics. 1981. Vol. 75. P. 135–162.

И.А. Блинов

*Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии
и геоэкологии УрО РАН, Институт минералогии, г. Миасс
blinov@mineralogy.ru*

Арсенаты из медистых песчаников руд Турганикского поселения (Оренбургское Приуралье)

Медистые песчаники Оренбуржья относятся к южному поясу Западного Предуралья и располагаются в толщах пермского периода [Лурье, 1988]. В бронзовом веке медистые песчаники Оренбуржья эксплуатировались с целью извлечения меди. Турганикское поселение находится в Красногвардейском районе Оренбургской области в 5 км к югу от с. Ивановка. Возраст стоянки относится к эпохе энеолита (средняя бронза) и соответствует 5100 до 4300 лет до н. э. [Моргунова и др., 2010]. На поселении сделаны многочисленные находки продуктов металлургической деятельности [Ткачев, 2007], в том числе, руд.