

Часть 4. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

О. Ю. Плотинская, А. В. Чугаев

*Институт геологии рудных месторождений,
минералогии, петрографии и геохимии РАН, г. Москва
plotin@igem.ru*

Свинцово-изотопные характеристики порфировых месторождений Южного Урала как индикатор мантийно-корового взаимодействия

Идентификация источников вещества, принимавших участие в различных геологических процессах, относится к одному из наиболее актуальных направлений в современной геологии. В частности, при разработке генетических моделей рудных месторождений этот вопрос имеет ключевое значение. Накопленный опыт в этой области показывает, что наиболее эффективным подходом в его решении является применение методов изотопной геохимии, среди которых важная роль принадлежит Pb-Pb методу.

В настоящей работе представлены первые результаты изучения изотопного состава Pb месторождений Тарутинско-Новониколаевской металлогенической зоны (рис. 1), а именно, Тарутинского скарнового месторождения и медно-порфировых объектов Новониколаевского рудного поля (НРП). Цель исследований заключалась в расшифровке геохимической природы возможных источников, принимавших участие в образовании этих месторождений. Месторождения приурочены к Катенинскому вулканоплутоническому поясу и генетически и пространственно связаны с габбродиорит-плагиогранитными интрузивами, которые относят к Михеевскому комплексу [Пужаков и др., 2013].

Тарутинское месторождение приурочено к Южно-Крамысовскому плагиогранитному массиву, внедрившемуся в девонские вулканогенно-осадочные породы. Массив сложен кварц-амфиболовыми диоритовыми порфиритами, кварцевыми диоритовыми порфиритами и плагиогранодиоритами с жильными телами гранитпорфиров. Возраст кварцевых диоритов по циркону (SHRIMP-II) составляет 362 ± 4 млн лет [Грабежев, Ронкин, 2011]. В пределах массива присутствуют многочисленные реликты мраморизованных известняков, размеры тел которых достигают первых сотен метров. По ним развиты эпидотовые, пироксеновые, гранатовые и магнетитовые скарны. Прожилково-вкрапленная пирит-халькопиритовая минерализация развита и в скарнах, и в гранитоидах. Также присутствуют пирротин, молибденит, галенит, сфалерит, тетраэдрит и самородное золото [Грабежев и др., 2004].

Новониколаевское рудное поле (НРП) расположено в 50–60 км южнее Тарутинского месторождения. Оно включает Михеевское медно-порфировое месторождение и рудопроявления Западное и Новониколаевское. Оруденение локализовано в вулканогенно-осадочных породах (D₃–C₁) и приурочено к поясу даек кварцевых диоритов, гранодиоритов и плагиогранодиоритов и их порфировых разностей [Белгородский и др., 1991]. Возраст плагиогранодиорит-порфиров по циркону (SHRIMP-II) – 356 ± 6 млн лет [Грабежев, Ронкин, 2011], а Re-Os возраст оруденения по молибдениту –

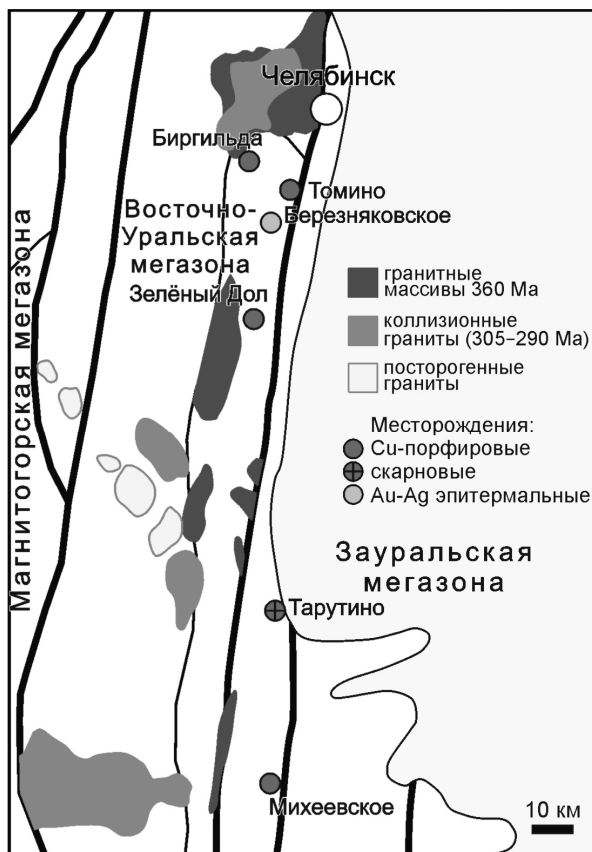


Рис. 1. Тектоническая схема Восточного склона Южного Урала, по [Государственная..., 2001; Ферштатер, 2013] с дополнениями.

356.1 ± 1.4 и 357.8 ± 1.8 млн лет [Tessalina, Plotinskaya, 2017]. Прожилково-вкрапленная рудная минерализация (пирит, халькопирит, борнит, молибденит) окружена ореолом биотитизации, серицитизации и пропицитизации. Также присутствуют поздние жилы с полиметаллической минерализацией (пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, блеклая руда, самородное золото) [Plotinskaya et al., 2018].

Изучение изотопного состава Pb в сульфидах и полевых шпатах выполнено на многоколлекторном масс-спектрометре NEPTUNE в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН. Подготовка проб прово-

дилась по методике [Чугаев и др., 2013], измерения выполнены согласно [Чернышев и др., 2007]. Погрешность измерения изотопных отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ для галенита ±0.02 % (2SD), для других минералов ±0.03 %. Для определения начальных величин изотопных отношений Pb в тех же навесках были определены содержания Pb, Th и U. Анализ проводился на квадрупольном масс-спектрометре iCAP™ RQ ICP-MS (Thermo Scientific, США) в растворах образцов, трассированных In.

Pb-Pb данные получены для 12 фракций сульфидов (галенит, пирит, халькопирит, борнит) Cu-скарнового месторождения Тарутино (пять проб) и Cu-порфировых месторождений НРП (Михеевское – пять проб, Новониколаевское – две пробы) и полевым шпатам рудоносных гранитоидов Тарутинского (три пробы) и Михеевского (одна проба) месторождений. Измеренные значения изотопных отношений Pb для сульфидов составляют 18.1–25.2 для $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, 15.58–15.99 для $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и 37.9–38.6 для $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Значения U/Pb и Th/Pb отношений также широко варьируют: от 0.01 до 1.5 и от 0.004 до 0.05, соответственно. Значимая положительная корреляция между $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и U/Pb (+0.99) и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и Th/Pb (+0.82) указывает на наличие значительной (т. е. превышающей аналитическую погрешность) добавки радиогенных изотопов ^{206}Pb , ^{207}Pb и ^{208}Pb , накопленных в образцах in situ в результате распада U и Th с момента образования рудной минерализации.

Для оценки начальных отношений Pb в рудах была проведена коррекция Pb-Pb данных на возраст месторождений, т. е. на 360 млн лет. Скорректированные значения характеризуются меньшим разбросом: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – 18.1–18.3, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – 15.58–15.64 и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – 37.9–38.6. По изотопному составу Pb и масштабу вариаций Тарутинское месторождение и месторождения НРП оказались весьма близки: для Тарутинского месторождения: $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ – 18.19–18.32 ($v = 0.3\%$), $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ – 15.62–15.64 ($v = 0.05\%$), $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ – 38.2–38.6 ($v = 0.4\%$); для месторождений НРП: $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ – 18.04–18.24 ($v = 0.4\%$), $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ – 15.58–15.61 ($v = 0.07\%$), $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ – 37.91–38.43 ($v = 0.4\%$). В то же время, свинец сульфидов из Тарутинского месторождения отличается повышенным содержанием радиогенных изотопов ^{206}Pb , ^{207}Pb и ^{208}Pb . Модельные параметры μ_2 , ω_2 и Th/U отношение также сходны. Величины μ_2 , ω_2 и Th/U находятся в узких диапазонах: $\mu_2 = 9.68$ – 9.89 , $\omega_2 = 36.9$ – 40.1 и Th/U = 3.81–4.09. Можно заключить, что рудный свинец поступал в минералообразующие системы месторождений из источников, которые по своим U-Th-Pb характеристикам могут быть идентифицированы как коровые. Pb-Pb модельные (T_m) возрасты изученных месторождений с учетом разброса значений совпадают с реальным их геологическим возрастом: для Тарутинского месторождения $T_m = 358 \pm 36$ (SD), для НРП $T_m = 370 \pm 40$ (SD). Соответствие Pb-Pb модельных датировок и геологических возрастов свидетельствует об относительно простой эволюции Pb в источниках, которая близка двухстадийной модели Стейси-Крамерса [Stacey, Kramers, 1975].

На Pb-Pb диаграмме, где показаны кривые эволюции изотопного состава Pb в глобальных геохимических резервуарах Земли [Zartman, Doe, 1981], точки сульфидов расположены между кривыми «*ogogen*» и «*upper crust*», образуя область, вытянутую вдоль Pb-Pb изохроны с возрастом 360 млн лет (рис. 2). Точки полевых шпатов рудноносных гранитоидов также попадают в эту область. При этом изотопный состав Pb полевых шпатов гранитоидов Тарутинского и Михеевского месторождений близок таковому в сульфидах из руд этих же месторождений. Согласованность изотопного состава Pb руд и гранитоидов подтверждает ведущую роль магматических расплавов как источника минералообразующих компонентов Cu-порфировых систем.

На рисунке 2 также показан изотопный состав Pb гранитоидов ранних (фаменских) фаз Челябинского плутона и раннесилурийского Cu-порфирового месторождения Калиновское [Plotinskaya et al., 2017]. Точки гранитоидов Челябинского плутона расположены непосредственно на кривой «*upper crust*» и задают возможную область значений изотопного состава Pb корового источника на момент формирования Тарутинского месторождения и месторождений НРП. Напротив, поле изотопного состава рудного Pb Калиновского месторождения, в формировании которого ведущая роль принадлежала мантийному источнику [Plotinskaya et al., 2017], лежит ниже кривой «*ogogen*» и тяготеет к кривой «*mantle*». На рисунке 2 видно, что для Тарутинского месторождения и месторождений НРП коровый источник Pb преобладал, при этом на Тарутинском месторождении доля корового компонента была несколько выше, чем на месторождениях НРП.

Формирование Тарутинского Cu-скарнового месторождения и Cu-порфировых месторождений НРП происходило в условиях субдукции океанической плиты под аккреционную призму, сформировавшуюся на окраине Восточно-Уральского микроконтинента [Тевелев и др., 2006]. Вовлечение корового Pb в процессы образования магм, генерирующих Cu-порфировую минерализацию, могло происходить в результате контаминации глубинных мантийных расплавов веществом осадочных пород

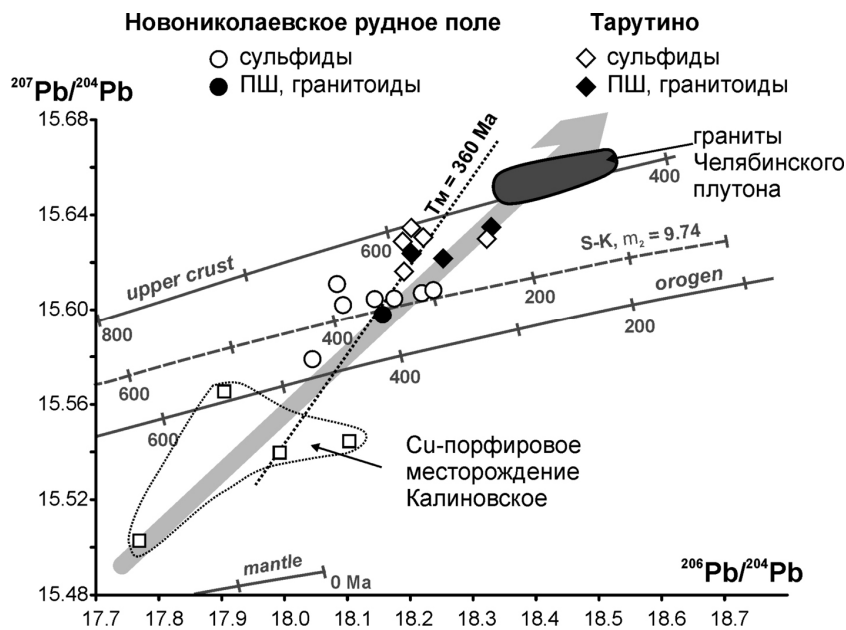


Рис. 2. Rb-Pb диаграмма для Тарутинского Cu скарнового месторождения и Cu-порфировых месторождений Новониколаевского рудного поля.

Для сравнения показан изотопный состав Pb Калиновского Cu-порфирового месторождения и ранних фаз Челябинского плутона по [Plotinskaya et al., 2017]. Кривые эволюции Pb в глобальных геохимических резервуарах (сплошные линии) показаны по [Zartman, Doe, 1981]; среднекоревая эволюционная кривая (пунктирная линия) дана по [Stacey, Kramers, 1975]. Серым цветом обозначен предполагаемый тренд смешения свинца мантийного и корового источников.

аккреционной призмы на верхнекоревом уровне, или в результате размыва этой призмы и погружения осадков и их последующего плавления непосредственно в зоне субдукции.

Авторы признательны Е. В. Белогуб и А. И. Грабежеву за предоставленные образцы, А. С. Садасюк и Г. В. Манджиевой за помощь в пробоподготовке и Б. И. Гарееву за проведение ИСП МС анализов. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-00344).

Литература

- Белгородский Е. А., Черкашев С. А., Грабежев А. И., Шаргородский Б. М. Медно-порфировый Новониколаевский рудный узел. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 54 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации и сопредельной территории республики Казахстан. Новая серия. Карта дочетвертичных образований: N-40, (41) (Уфа), масштаб: 1 : 1 000 000. Ред.: Козлов В. И. СПб: ФГБУ ВСЕГЕИ, 2001.
- Грабежев А. И., Ронкин Ю. Л. U-Pb возраст цирконов из рудоносных гранитоидов медно-порфировых месторождений Южного Урала // Литосфера. 2011. № 3. С. 104–116.
- Грабежев А. И., Сотников В. И., Белгородский Е. А., Мурзин В. В., Молошаг В. П. Кислотное выщелачивание в скарново-медно-порфировых системах: Тарутинское месторождение, Южный Урал // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46. № 6. С. 510–523.

- Пужаков Б. А., Савельев В. П., Кузнецов Н. С. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист N-41 – Челябинск. Объяснительная записка. СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. 415 с.
- Тевелев А. В., Кошелева И. А., Попов В. С., Кузнецов И. Е., Осипова Т. А., Правикова Н. В., Вострецова Е. С., Густова А. С. Палеозойды зоны сочленения Восточного Урала и Зауралья // Труды лаборатории геологии складчатых поясов. Вып. 4. М.: МГУ, 2006. 300 с.
- Феритатер Г. Б. Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 368 с.
- Чернышев И. В., Чугаев А. В., Шатагин К. Н. Высокоточный изотопный анализ Pb методом многоколлекторной ICP-масс-спектрометрии с нормированием по $^{205}\text{Tl}/^{203}\text{Tl}$: оптимизация и калибровка метода для изучения вариаций изотопного состава Pb // Геохимия. 2007. № 11. С. 1155–1168.
- Чугаев А. В., Чернышев И. В., Лебедев В. А., Еремина А. В. Изотопный состав свинца и происхождение четвертичных лав вулкана Эльбрус (Большой Кавказ, Россия): данные высокоточного метода MC-ICP-MS // Петрология. 2013. Т. 21. № 1. С. 20–33.
- Plotinskaya O. Y., Azovskova O. B., Abramov S. S., Groznova E. O., Novoselov K. A., Seltmann R., Spratt J. Precious metals assemblages at the Mikheevskoe porphyry copper deposit (South Urals, Russia) as proxies of epithermal overprinting // Ore Geology Reviews. 2018. Vol. 94. P. 239–260.
- 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. 2017. Vol. 85. P. 204–215.
- Stacey J. S., Kramers I. D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // Earth and Planetary Science Letters. 1975. Vol. 26. P. 207–221.
- Tessalina S., Plotinskaya O. Y. Silurian to Carboniferous Re-Os molybdenite ages of the Kalinovskoe, Mikheevskoe and Talitsa Cu and Mo porphyry deposits in the Urals: implications for geodynamic setting // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. P. 174–180.
- Zartman R. E., Doe B. R. Plumbotectonics – the model // Tectonophysics. 1981. Vol. 75. P. 135–162.

О. Б. Азовскова¹, М. Ю. Ровнушкин¹, Л. Н. Байрамгалина¹, В. А. Гемель²
¹ – Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург
² – АО «Михеевский ГОК», пос. Красногвардейский, Челябинская обл.
 oazovskova@yandex.ru

Урановая и ториевая минерализация в рудах Михеевского медно-порфирового месторождения, Южный Урал

Михеевское (Mo, Au)-Cu-порфиоровое месторождение расположено в южной части Челябинской области. Оно является не только наиболее значимым объектом медно-порфиорового семейства на Урале, но и входит в число крупнейших медных месторождений мира. По геолого-структурной позиции Михеевское месторождение принадлежит к восточному борту южноуральской части Восточно-Уральской вулканогенной мегазоны. Михеевское, Томинское и ряд других месторождений и рудопроявлений, находящиеся в этой структуре, отвечают «диоритовой» медно-порфиоровой модели, которая пространственно и генетически связана с кварц-диоритовым магматизмом островодужного типа [Грабежев, 2014; Плотинская и др., 2015; Plotinskaya et al., 2018].