

## Геохимические особенности руд Сувоозерского Pb-Zn месторождения (Центральный Таймыр)

**Волков А.В., Галямов А.Л., Мурашов К.Ю.**

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, tma2105@mail.ru*

**Аннотация.** Сувоозерское Pb-Zn месторождение залегает в пермо-триасовых терригенно-карбонатных толщах центральной части полуострова Таймыр. Геохимические особенности руд показывают, что они – производные метаморфогено-магматогенной рудообразующей системы. Вмещающие карбонатно-терригенные толщи могли служить основным источником микроэлементов и редкоземельных элементов (РЗЭ).

**Ключевые слова:** Центральный Таймыр, свинец, цинк, месторождение, геохимические особенности руд.

## Geochemical features of the ores of the Surovozerskoye Pb-Zn deposit (Central Taimyr)

**Volkov A.V., Galyamov A.L., Murashov K.Yu.**

*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow, Russia, tma2105@mail.ru*

**Abstract.** The Surovozerskoye Pb-Zn deposit lies in a Permo-Triassic terrigenous-carbonate sequence in the central part of the Taimyr Peninsula. Geochemical features of ores show that they are derivatives of a metamorphogenic-magmatogenic ore-forming system. The enclosing carbonate-terrigenous strata could serve as the main source for trace elements and REE.

**Keywords:** Central Taimyr, lead, zinc, deposit, geochemical features of ores.

### **Введение**

В центральной части полуострова (рис. 1) по результатам геологоразведочных работ выделяется перспективный на полиметаллы Таймырозерский район, в пределах которого открыты несколько месторождений и многочисленные рудопроявления свинца и цинка (Проскурнин и др., 2015).

Pb-Zn месторождения (Сувоозерское, Партизанское, Гора Геологов, а также многочисленные рудопроявления) Таймырозерского района залегают в терригенно-карбонатных толщах пермо-триасового возраста хр. Бырранга. Оценка их перспектив проводилась неоднократно в разное время и различными исследователями. Однако крайняя труднодоступность и полное отсутствие инфраструктуры осложняют освоение этих месторождений. Экологические ограничения также присутствуют.

В статье обсуждаются новые данные по геохимическим особенностям и условиям формирования полиметаллических руд Сувоозерского Pb-Zn месторождения (Центральный Таймыр). Коллекция образцов для исследований была любезно предоставлена зав. отделом ВСЕГЕИ д.г.-м.н. В.Ф. Проскурниным.

### **Геохимические особенности руд**

В аналитической лаборатории ИГЕМ РАН выполнены химические исследования (методами РФА и ICP-MS) типичных образцов руд Сувоозерского Pb-Zn месторождения (табл.): гематит-галенит-баритовых, гематит-сфалеритовых, гематитовых, сфалеритовых и гематит-халькопиритовых руд, а также сульфидизированных вмещающих известняков и поздних карбонат-флюоритовых жил.

По данным РФА (%), руды содержат большое количество железа  $Fe_2O_3$  (54.2–68.64) и Fe общ. (0.53–43.19), количество  $SiO_2$  варьирует от 2.09 до 50.21, MgO (0.62–4.37), MnO (0.85–4.82), содержание  $Na_2O$  достигает 3.1,  $Al_2O_3$  – 3.06,  $K_2O$  – 0.37, CaO – 2.69,  $TiO_2$  – 0.4.



Рис. 1. Положение рудных районов перспективных на открытие Pb-Zn-Ag-месторождений на территории полуострова Таймыр.

Fig. 1. The position of ore areas promising for the discovery of Pb-Zn-Ag deposits on the territory of the Taimyr Peninsula.

Таблица. Номера и характеристика проб Суровоозерского месторождения.

Table. Numbers and characteristics of samples of the Surovoozerskoye deposit.

№ пробы	Характеристика
30056/1	Гематит-сфалеритовая руда
30029	Гематитовая руда
30050/9	Барит-доломитовая порода со сфалеритом
30056/2	Халькопиритовая руда
30029/2	Гематитовая руда с халькопиритом
30039а	Сульфидизированный известняк
30032	Карбонат-флюоритовая жила
30039б	Сульфидизированный известняк

По данным ICP-MS анализов, максимальные содержания в рудах месторождения Суровоозерское достигают: Cu – 25.05%, Pb – 3.95%, Zn – 13.03%, Ba – 3.36%, Cd – 0.29%, Sn – 0.33%, Ag – 218.8 г/т, кроме того в пробе 30050/9 отмечен палладий, а в пробе 30039б золото – 0.57 г/т. Распределение основных микроэлементов в рудах и вмещающих породах показано на совмещенной диаграмме (рис. 2), где они (микроэлементы) нормированы по отношению к средним значениям для верхней коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988). Спектры значений РЗЭ, нормированные по хондритам (McDonough, Sun, 1995), показаны на рисунке 3.

Руды Суровоозерского месторождения обогащены широким спектром халькофильных элементов (по мере уменьшения коэффициента обогащения: Cd, Cu, Pb, Zn, Ag, Pd, Se, Sb, Ba, Sn, Co, Ni, Sr, Bi, Li, U) (рис. 2) по сравнению со средними значениями верхней коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988). Коэффициенты обогащения варьируют от нескольких раз (Li, Sr, Ni, Co, Bi) – до десятков (Ba), сотен (Se), тысяч (Cu, Pd, Pb, Ag, Sn, Sb, Zn), и десятков тысяч (Cd) раз. В рудах преобладают легкие РЗЭ «цериевой» группы (рис. 3). Для вмещающих пород (проба 30039б) и руд характерен близхондритовый слабонаклонный спектр РЗЭ (рис. 3). Сумма концентраций РЗЭ в рудах в несколько раз меньше, чем во вмещающих породах (рис. 3).

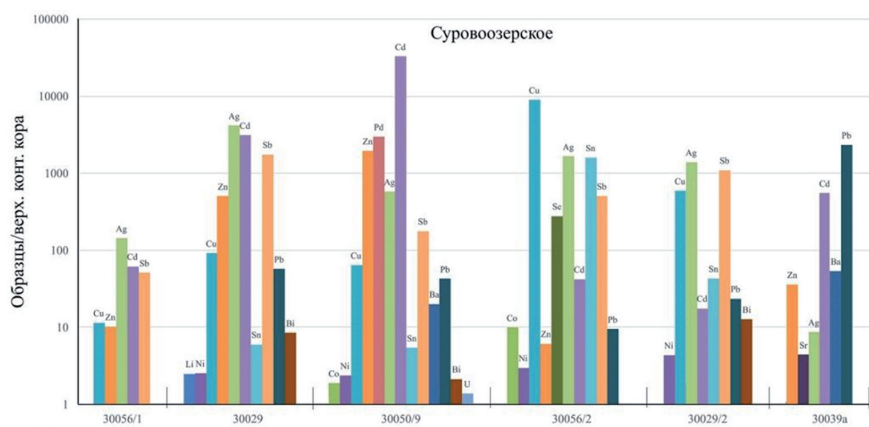


Рис. 2. Распределение основных микроэлементов в полиметаллических рудах Суровоозерского Pb-Zn месторождения, нормированных по отношению к средним значениям для верхней коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988). Характеристику проб см. табл.

Fig. 2. Distribution of the main trace elements in polymetallic ores of the Surovoozerskoye Pb-Zn deposit, normalized with respect to the average values for the upper crust (Taylor, McLennan, 1988). For sample characteristics, see Table.

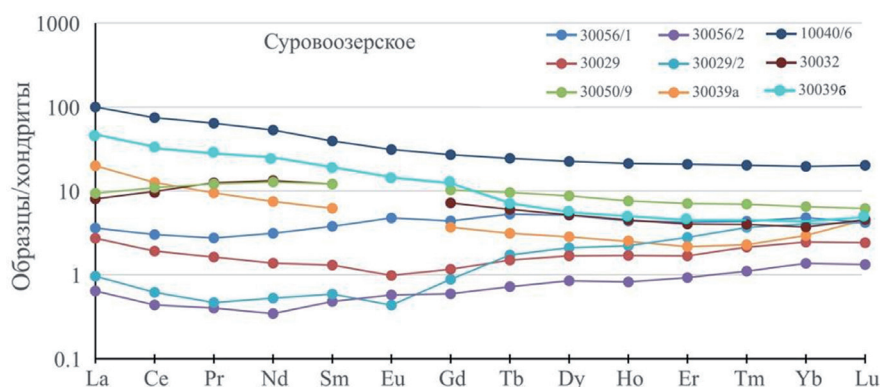


Рис. 3. Распределение РЗЭ, нормированных по хондриту (McDonough, Sun, 1995) в полиметаллических рудах Суровоозерского Pb-Zn месторождения. Характеристику проб см. табл.

Fig. 3. Distribution of REE normalized by chondrite (McDonough, Sun, 1995) in polymetallic ores of the Surovoozerskoye Pb-Zn deposit. For sample characteristics, see Table.

### Обсуждение результатов

Обогащенность руд Суровоозерского Pb-Zn месторождения «халькофильными» элементами указывает на участие в рудообразовании гидротермального флюида корового (вероятно, метаморфогенно-магматогенного) происхождения. Значения  $U/Th$  руд в среднем заметно превышают 1.2, что свидетельствует о сильно восстановительной обстановке рудообразования (Jones, Manning, 1994).

В рудах преобладают  $Co/Ni$  отношения значительно меньше 1, что характерно для низкотемпературных гидротермальных флюидов, а также отражает унаследованную связь между рудами и вмещающими породами (Kun et al., 2014). В сфалерит-баритовом типе руд Суровоозерского месторождения величина этого показателя достигает 1.22, что типично для магматогенного флюида. Отношение  $Y/Ho$  варьирует в рудах от 19.69 до 47.31, что коррелирует с интервалом, характерных для современных гидротермальных флюидов задуговых бассейнов (Kun et al., 2014).

Руды имеют значения  $Hf/Sm$ ,  $Nb/La$  и  $Th/La$  в основном меньше 1. Следовательно, рудообразующие флюиды принадлежали  $NaCl-H_2O$  гидротермальной системе, обогащенной  $Cl$  относительно  $F$ , кроме карбонатно-флюоритовых жил (проба № 30032), где во флюидах преобладал  $F$ .

В спектрах РЗЭ изученных руд и вмещающих пород (рис. 3) преобладают легкие «гидрофильные» лантаноиды «цериевой» группы (Жариков и др., 1999; Минеев, 1974). Сумма РЗЭ в рудах в несколько раз меньше, чем во вмещающих породах, хондритах и верхней коре (McDonough, Sun, 1995; Тейлор, Мак-Леннан, 1988).

Нормированные на хондрит РЗЭ руд образуют слегка наклонные спектры, указывающие на явную обогащенность легкими и обедненность тяжелыми РЗЭ (рис. 3). Наклонные и пологие участки спектра РЗЭ руд и вмещающих пород обладают большим сходством (рис. 3), что позволяет предполагать унаследованное развитие РЗЭ в рудах от вмещающих пород.

Eu/Eu\* и Ce/Ce\* рассматриваются как маркеры окислительно-восстановительной среды (Monecke et al., 2002; Kun et al., 2014). Значения Ce/Ce\* руд Сувоозерского варьируют в диапазонах (0.73–1.04) и (0.71–1.09), а Eu/Eu\* находится – (0.6–1.09) и (0.66–1.22) соответственно, что позволяет говорить также о восстановительной среде отложения основной массы руд (Monecke et al., 2002; Волков и др., 2017). Низкие Eu/Sm отношения (<1) в изученных рудах позволяют считать, что рудообразование протекало на верхнекоревом уровне, в близких физико-химических условиях (Винокуров, 1996).

По данным ВСЕГЕИ, Pb-Zn месторождения Таймыроозерского района могут быть связаны с карбонатитами (Проскурнин и др., 2015).

### **Заключение**

Геохимические особенности руд Сувоозерского Pb-Zn месторождения показывают, что они – производные метаморфогено-магматогенной рудообразующей системы. Рудообразование протекало на верхнекоревом уровне, в восстановительной среде. Вмещающие карбонатно-терригенные толщи и магматогенные флюиды могли служить основным источником микроэлементов и РЗЭ руд.

Сравнительный анализ с другими Pb-Zn месторождениями MVT, Sedex и VMS типов показывает, что Сувоозерское Pb-Zn месторождение отличается от последних геологическим строением. Полученные нами геохимические данные (высокие концентрации Sn и Ag) показывают, что это месторождение сходно с Верхоянскими Ag-Pb-Zn месторождениями.

Рассмотренный в статье материал показывает потенциальную перспективность Pb-Zn месторождений Центрального Таймыра и необходимость их дальнейших исследований.

Работа выполнена в рамках темы Госзадания ИГЕМ РАН.

### **Литература**

1. Винокуров С.Ф. Европиевые аномалии в рудных месторождениях и их генетическое значение // ДАН. 1996. Т. 346. № 6. С. 792–795.
2. Волков А.В., Сидоров А.А., Савва Н.Е., Мурашов К.Ю. Геохимические особенности руд типа Куроко месторождения Хотойдох (Северо-восток России) // ДАН. 2017. Т. 477. № 6. С. 694–698.
3. Жариков В.А., Горбачев Н.С., Латфутт П. Распределение редкоземельных элементов и иттрия между флюидом и базальтовым расплавом при давлениях 1–12 кбар (по экспериментальным данным) // ДАН. 1999. Т. 366. № 2. С. 239–241.
4. Минеев Д.А. Лантаноиды в рудах редкоземельных и комплексных месторождений. М. Изд-во: Наука. 1974. 237 с.
5. Проскурнин В.Ф., Гавриш А.В., Шнейдер Г.В., и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Таймырско-Североземельская. Лист S-47 – оз. Таймыр (зап. часть). Объяснительная записка. – СПб. Изд-во: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2015. 424 с.
6. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М. Изд-во: Мир. 1988. 384 с.
7. Jones B., Manning D.A.C. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones // Chem. Geol. 1994. V. 111. P. 111–129.
8. Kun L., Ruidong Y., Wenyong Ch. et al. Trace element and REE geochemistry of the Zhewang gold deposit, southeastern Guizhou Province, China // Chin. J. Geochem. 2014. V. 33. P. 109–118.
9. McDonough W.F., Sun S.S. The Composition of the Earth // Chem. Geol. 1995. V. 120. P. 223–253.
10. Monecke T., Kempe U., Gotze J. Genetic significance of the trace element content in metamorphic and hydrothermal quartz: a reconnaissance study // Earth. Planet. Sci. Lett. 2002. V. 202. P. 709–724.