

## Литература

- Викентьев И. В.* Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. М.: Научный мир, 2004. 344 с.
- Викентьев И. В., Саенко А. Г., Карелина Е. В. и др.* Минералогические особенности руд медноколчеданного месторождения Юбилейное (Южный Урал) // Вестник РУДН, сер. Инженерные исследования. 2011. № 1. С. 84–89.
- Воробьев В. В., Попов Е. В., Сапонов А. В. и др.* Отчет о детальной разведке Юбилейного медноколчеданного месторождения на Южном Урале в 1969–73 гг. Бурибай. Т. 1. 1973ф.
- Косарев А. М., Серавкин И. Б., Холоднов В. В.* Геодинамические и петролого-геохимические аспекты зональности магнитогорской колчеданоносной мегазоны на Южном Урале // Литосфера. 2014. № 2. С. 3–25.
- Масленников В. В.* Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.
- Масленников В. В., Зайков В. В.* Метод рудно-фациального анализа в геологии колчеданных месторождений. Челябинск: ЮУрГУ, 2006. 224 с.
- Масленникова С. П., Масленников В. В.* Сульфидные трубы палеозойских «черных курильщиков» (на примере Урала). Екатеринбург – Миасс: УрО РАН, 2007. 312 с.
- Молошаг В. П., Грабежев А. И., Викентьев И. В., Гуляева Т. Я.* Фации рудообразования колчеданных месторождений и сульфидных руд медно-золото-порфириновых месторождений Урала // Литосфера. 2004. № 2. С. 30–51.
- Сафина Н. П., Аюпова Н. Р., Мелекесцева И. Ю., Котляров В. А.* Типохимизм золота в обломочных рудах колчеданных месторождений Урала // Мат. конф. «Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований». М.: ИГЕМ РАН, 2010. С. 190–192.

***Е. И. Ярцев<sup>1,2</sup>, В. Д. Абрамова<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> – *Московский государственный университет, г. Москва*

<sup>2</sup> – *Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва*  
*evgenyrtsev@mail.ru*

### **Элементы-примеси в составе сульфидов на контакте даек габбро-порфиритов и руд Джусинского месторождения (Южный Урал)**

(научные руководители А. А. Бурмистров, И. В. Викентьев)

Объектом изучения является Джусинское колчеданно-полиметаллическое месторождение, расположенное в Теренсайском рудном районе в 70 км от г. Орск (Оренбургская область). Месторождение, состоящее из 18 столбообразных залежей, локализовано в мощной пачке вулканитов андезит-дацитового состава среднедевонского возраста [Медноколчеданные..., 1988]. Широким распространением пользуются жильные габбро-порфириты (дорудные и пострудные), рассматриваемые в составе субвулканического комплекса и возрастного аналога карамальташской свиты (эмс-эйфель), а также пострудные диоритовые дайки магнитогорского нижнекаменноугольного интрузивного комплекса. Тесная пространственная связь оруденения с

субвулканическими образованиями основного состава позволяет оценить относительный возраст процессов. Для этих целей с помощью метода ЛА-ИСП-МС (ИГЕМ РАН, аналитик В. Д. Абрамова) было изучено содержание микропримесей в основных сульфидных минералах из двух рудных тел Джусинского месторождения. Химический состав габбро-порфириров определен методами РФА и ИСП-МС (ИГЕМ РАН, аналитики А. И. Якушев, Я. В. Бычкова).

Для расчета коэффициентов корреляции содержаний элементов-примесей в дайках с увеличением расстояния от контакта с рудой были использованы ранговые корреляции Спирмена. Замеры расстояний в дайковых телах, не имеющих непосредственных контактов с рудой, производились до ближайших границ с оруденением. В результате был получен массив данных значимых коэффициентов корреляции по каждой пробе отдельно для ранних и поздних даек. Группировка проб, отобранных из менее измененных участков даек, производилась на основе кластерного и факторного анализов по TAS-диаграмме [Ярцев, Шатагин, 2016] и на основании графика распределения редких земель в пробах, нормированных к хондритовому стандарту. В результате просчета ранговых корреляций был получен массив значимых коэффициентов корреляции (табл. 1).

Для ранних дорудных даек габбро-порфириров с увеличением расстояния от контактов с рудой уменьшаются концентрации следующих металлов: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Mo, Cd, Sb, Te, W, Tl, Pb, Bi и U. Положительные корреляции наблюдаются для SiO<sub>2</sub> и CaO. На рисунках 1 и 2 показаны закономерности распределения элементов в дайках в зависимости от расстояния до рудного тела. Уменьшение концентрации металлов в дайковых телах с увеличением расстояний от контактов с рудой свидетельствует о наложении на них оруденения. Для поздних даек с увеличением

Т а б л и ц а 1

**Значимые коэффициенты корреляции Спирмена для габбро-порфириров Джусинского месторождения**

Дайки	Элемент	Коэффициенты корреляции с расстоянием до руд	Дайки	Элемент	Коэффициенты корреляции с расстоянием до руд
Ранние	SiO <sub>2</sub>	0.708	Ранние	W	-0.781
	CaO	0.713		Tl	-0.721
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.708		Pb	-0.863
	Cu	-0.796		Bi	-0.682
	Zn	-0.713		U	-0.589
	Ga	-0.779			
	Ge	-0.748	Поздние	Mn	0.833
	As	-0.920		Ga	0.883
	Mo	-0.611		Sr	0.800
	Cd	-0.615		Zr	0.750
	Sb	-0.836		Eu	0.700
	Te	-0.689		W	-0.728

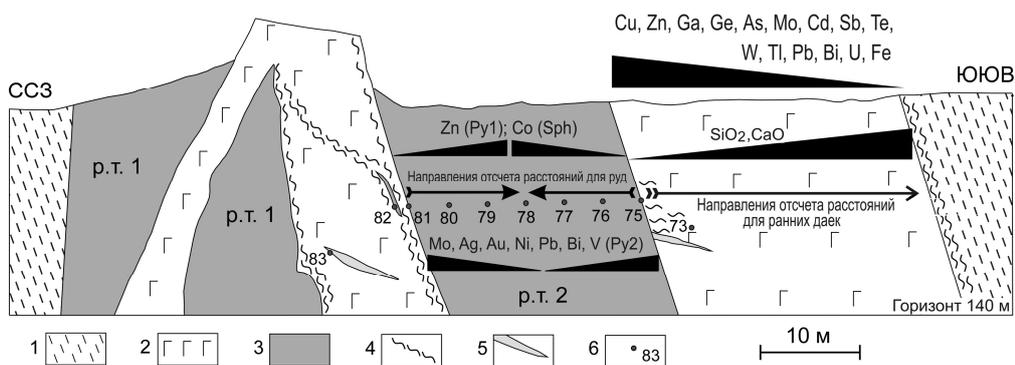


Рис. 1. Профиль через рудное тело 2 и дорудные габбро-порфириты.

1 – метасоматиты, 2 – габбро-порфириты, 3 – руды, 4 – зоны рассланцевания, 5 – кварц-карбонат-полиметаллические и гипсовые жилы, 6 – точки отбора проб для исследования. Стрелками показаны направления отсчета расстояний от контактов руда/дайка до точки отбора пробы. Треугольниками показаны направления увеличения или уменьшения концентрации указанных элементов в минералах (над профилем – в валовых пробах дайки). Ру – пирит (1 – колломорфный, 2 – зональный кристаллический), Sph – сфалерит.

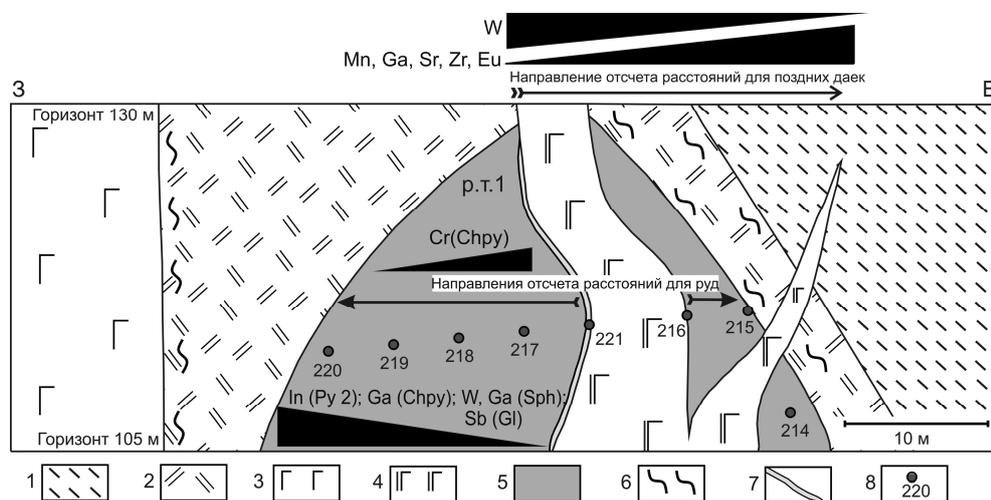


Рис. 2. Профиль через рудное тело 1 и габбро-порфириты.

1 – метасоматиты, 2 – дациты, 3 – габбро-порфириты дорудные, 4 – габбро-порфириты пострудные, 5 – руды, 6 – зоны рассланцевания, 7 – кварц-карбонат-полиметаллическая жила с гипсом, 8 – точки отбора проб. Треугольниками показаны направления увеличения или уменьшения концентрации элементов в минералах (над профилем – в валовых пробах дайки, точки опробования не показаны). Ру 2 – зональный кристаллический пирит, Chpy – халькопирит, Sph – сфалерит, Gl – галенит.

расстояния от руды меняются содержания другого набора элементов, и число металлов гораздо меньше, чем в первом случае – увеличиваются содержания Mn, Ga, Sr, Zr и Eu, уменьшается количество W, что может подтвердить пострудное время образования даек.

Для изучения геохимической зональности в рудных телах вкрест их простирания были пройдены профили и отобраны 15 проб с шагом 3–4 м. Для изучения микропримесей в сульфидах были выбраны два наиболее представительных профиля, в большинстве проб которых присутствуют основные рудные минералы. Один из этих профилей проходил через контакт руды и пострудного субвулканического тела (рудное тело 1, рис. 2), а другой профиль – по рудному телу 2, залегающему между двумя дорудными дайковыми телами. Оценка зональности велась в направлении от контакта руды с дайкой. Полученный массив статистических данных приведен в таблице 2.

Для сульфидов рудного тела 1 установлено увеличение содержаний следующих элементов: In – в кристаллически-зональном пирите, Ga – в халькопирите, Ga и W – в сфалерите, Sb – в галените. Концентрация Cr в халькопирите и сфалерите

Т а б л и ц а 2

**Ранговые корреляции Спирмена, значимые на уровне  $p < 0.05$ ,  
от контактов с габбро-порфиритами к периферии**

Минерал	Элемент	Вариации содержаний (среднее геом.), г/т	Значимые коэффициенты корреляции	Число замеров
Рудное тело 1				
Пирит кристаллический, зональный (Ру-2)	In	0.06–0.36 (0.15)	0.729	6
Халькопирит	Cr	6.2–10.1 (8.09)	–0.676	4
	Ga	2.1–77 (11.44)	0.805	7
Сфалерит	Cr	3.9–75 (9.52)	–0.759	4
	Ga	3.13–102 (12.49)	0.910	8
	W	0.06–26 (0.928)	0.783	4
Галенит	Sb	11.1–178 (42.18)	0.974	5
Рудное тело 2				
Пирит колломорфный (Ру-1)	Zn	43–1390 (179.2)	0.602	5
Пирит кристаллический, зональный (Ру-2)	Mo	0.33–14.3 (2.65)	–0.667	9
	Ag	0.99–15.4 (3.8)	–0.625	12
	Au	0.03–2.72 (0.31)	–0.610	12
	Ni	4.6–26.9 (9.39)	–0.664	6
	Pb	9.3–480 (57.21)	–0.707	12
	Bi	1.78–56.8 (17.49)	–0.762	12
Сфалерит	V	0.5–5.9 (1.25)	–0.598	7
	Co	1.52–4.1 (2.85)	0.807	3

уменьшается. В рудном теле 2 с удалением от контактов с ранними дорудными субвулканическими телами возрастают концентрации Zn – в колломорфном пирите и Co – в сфалерите, а убывают содержания Sn в колломорфном пирите; и Mo, Ag, Au, Ni, Pb, Bi, V – в кристаллически-зональном пирите.

Таким образом, симметричная зональность рудного тела 2, расположенного между двумя дорудными дайковыми телами, отражает длительную эволюцию оруждения, что подтверждает ранее полученные данные о том, что субвулканические габбро-порфириды являлись структурно-литологическим экраном в процессе формирования руд [Еремин и др., 1968]. Наличие этого барьера вызывало более концентрированное отложение элементов из гидротермальных металлоносных растворов близ контактовой зоны, что зафиксировано нами в наиболее ранней пиритовой минерализации. Поскольку вдоль контактов с габбро-порфиридами кристаллизация шла, по видимому, быстрее, то и содержания микропримесей в этих минералах выше. В свою очередь, проникновение рудообразующих растворов в дорудные дайки обусловило повышенную концентрацию в них многих металлов. Зональность рудного тела 1 с удалением от контактов с пострудными габбро-порфиридами может быть связана с перераспределением вещества в процессе внедрения секущих даек и последующей затухающей гидротермальной деятельностью, проявленной в образовании кварц-халькопирит-гипсовых жил [Столяров, 1978] вдоль контактов с пострудными габбро-порфиридами. Таким образом, при приближении к контакту с дайкой происходит снижение концентраций в сульфидах большинства примесных металлов (их вынос при контактово-метаморфической перекристаллизации [Vikentyev et al., 2016]) и обогащение другими (привнос вещества затухающими гидротермальными растворами). С этим же связаны корреляции с расстоянием от контактов с рудой и содержания «рудогенных» примесей в поздних габбро-порфиридах.

*Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 14-17-00693.*

## Литература

- Викентьев И. В., Абрамова В. Д., Иванова Ю. Н., Тюкова Е. Э., Ковальчук Е. В., Бортников Н. С.* Золотоносность пирита золоторудного месторождения Петропавловское (Полярный Урал) по данным LA-ICP-MS, первые данные // Доклады академии наук. 2016. Т. 470. № 3. С. 326–330.
- Еремин Н. И., Воробьев В. И., Петрова Г. С., Яковлев Г. Ф.* Теренсайский рудный район // Палеозойский вулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала. М.: МГУ, 1968. С. 177–208.
- Медноколчеданные месторождения Урала: Геологическое строение / *В. А. Прокин, Ф. П. Буслаев, М. И. Исмагилов* и др. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1988. 241 с.
- Столяров Ю. М.* О гипогенной сульфид-сульфатной зональности рудных месторождений // Геология рудных месторождений. 1978. № 3. С. 36–48.
- Ярцев Е. И., Шатагин Н. Н.* Статистический анализ геохимических ассоциаций субвулканических образований основного состава Джусинского колчеданно-полиметаллического месторождения, Южный Урал // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2016. № 5. С. 34–40.
- Vikentyev I. V., Belogub E. V., Novoselov K. A., Moloshag V. P.* Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals // Ore Geology Reviews. 2016. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.10.032