ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ КОНТАКТОВОГО МЕТАМОРФИЗМА РУД НОВО-УЧАЛИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

А. В. Спирина

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва
Российский университет дружбы народов, Москва; adelina.spirina@bk.ru

В статье представлены влияние контактового метаморфизма на руды крупного Cu-Zn-колчеданного Ново-Учалинского месторождения (Южный Урал), особенности строения контактовой зоны рудной залежи и даек, включая изменение их минерального состава в этой зоне. Изучение контактового метаморфизма имеет и практический интерес, так как в участках контакта происходит локальное обогащение руды благородными металлами и редкими элементами.

Совместно с геологами Учалинского ГОК в полевых условиях проводилось детальное геологическое и минералогическое картирование скважин подземного бурения и подземных горных выработок. Аналитические исследования сопровождались использованием оптического и сканирующего электронного микроскопов.

В результате проведения детального геологического картирования в контактах мощной дайки габбро-диоритов были отмечены хлоритизация, гематитизация и окварцевание, встречены прожилки кварц-карбонатного состава с агрегатами сульфидов. Установлено, что зоны экзоконтакта обычно маломощные, не более 10 см; изредка влияние дайки на руду замечено до 2 м от контакта.

Выявлены признаки, свидетельствующие о метаморфическом преобразовании руд в контакте с дайкой: проявление дробления, перекристаллизации сульфидов; появление в повышенном количестве редких для руд минералов (магнетита, блеклой руды, галенита); нарушение картины геохимической зональности, обусловленное локальным перераспределением химических элементов. Вышеперечисленные признаки характеризуют преобразование руды под воздействием процессов околodayкового метаморфизма и последующего гидротермального минералообразования, вызванного ремобилизацией рудного вещества.

Ключевые слова: контактовый метаморфизм, дайки, колчеданное месторождение, минералогия, Южный Урал.

FEATURES OF THE CONTACT METAMORPHISM IN ORES OF THE NOVO-UCHALY DEPOSIT, SOUTH URALS

A. V. Spirina

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow
Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow

The article presents the impact of contact metamorphism on the ores of the large Novo-Uchaly Cu-Zn massive sulfide deposit (South Urals) as well as structural features of the contact zone and change in mineral composition of the ore and dikes. The study of contact metamorphism is also of practical interest because the ores are enriched in precious metals and rare elements in the local contact areas.

The author together with geologists from the Uchaly Mining and Processing Plant carried out a geological and mineralogical mapping of the deposit (underground mine). The analytical studies were based on using optical and scanning electron microscopes.

The results of detailed geological mapping are as follows: the thick gabbro-diorite dike is altered by chloritization, hematitization and silicification, and contains quartz-carbonate-sulfide veinlets. The exocontact zones are usually thin, with thickness less than 10 cm, rarely reach 2 m.

The signs of the contact metamorphism of the ores: cataclasis, recrystallization of sulfides; the appearance of the increased amount of rare minerals (magnetite, fahlore, galena); violation of the geochemical zoning caused by local redistribution of chemical elements. These factors characterize the ore transformation by the processes — local contact metamorphism and the subsequent hydrothermal mineralization caused by the remobilization of the ore substance.

Keywords: contact metamorphism, dikes, VMS deposit, mineralogy, South Urals.

Введение

Учалинский горно-обогатительный комбинат (УГОК), базирующийся в северо-восточной части Республики Башкортостан, является одним из локомотивов цветной металлургии Урала и перерабатывает в год

~ 8 млн т колчеданной руды, содержащей помимо основных Cu и Zn попутные Au, Ag, Cd, Se, Te, In и др. рассеянные элементы [2, 8]. С 2018 года началась отработка крупнейшего медно-цинково-колчеданного Ново-Учалинского месторождения [5, 9], которое является основой мине-

Для цитирования: Спирина А. В. Особенности проявления контактового метаморфизма руд Ново-Учалинского месторождения на Южном Урале // Вестник геонаук. 2021. № 2 (314). С. 9—13. DOI: 10.19110/geov.2021.2.2

For citation: Spirina A. V. Features of the contact metamorphism in ores of the Novo-Uchaly deposit, South Urals, 2021, 2 (314), pp. 9—13, doi: 10.19110/geov.2021.2.2

рально-сырьевой базы УГОК. Месторождение было открыто более 30 лет назад и разведывалось с помощью глубоких скважин наклонного бурения с поверхности (рис. 1). Благодаря проведению детализационного подземного бурения веерами скважин и проходки густой сети эксплуатационно-разведочных выработок УГОК были уточнены контур рудной залежи, а также морфология мощной дайки габбро-диоритов [10].

Как известно, вмещающие породы колчеданных месторождений Южного Урала в разной степени испытывали воздействие регионального и контактового метаморфизма [2—4, 6, 7, 14], часть из них была преобразована совместно динамометаморфизмом и локальным контактовым метаморфизмом под влиянием даек [1, 4, 11, 12, 14]. Метаморфическому преобразованию, признаки которого были установлены на разных рудных объектах Урала [2—4, 14], были подвергнуты и сами руды колчеданных месторождений, в том числе колчеданные руды других провинций мира [13, 15].

Традиционно Ново-Учалинское месторождение относилось к слабопреобразованным [8, 9]. Оно залегает на контакте вулканитов кислого и основного состава карамалыташской свиты (D_2ef). Месторождение

представлено крупной линзой, перекрытой на глубине под мощной толщей базальтов (600—1300 м). Длина залежи по простиранию составляет более 1 км, по падению — 900 м (нижнее выклинивание не оконтурено), ее мощность достигает 185 м [9]. Особенно четко изменение морфологии залежи прослеживается на поперечных разрезах: верхняя ее часть имеет тупое выклинивание; в центральной части рудное тело имеет мощный раздвиг; нередко в его лежачем боку расположена апофиза или вовсе отдельная линза, схожая с ним по морфологии, но меньшего размера. В нижней части залежи имеется флексурообразный перегиб, и в самой нижней выклинке тело разлинзовывается на несколько частей [10]. Контакты залежи с вмещающими породами висячем боку довольно резкие, вулканиты риодацитовый толщи в надрудной части подвержены расщеплению и трещиноватости; по трещинам развивается хлорит. В лежачем боку риодациты более изменены: проявлены серицитизация, хлоритизация, участками они сильно пиритизированы. Нередко наблюдается плавный переход сплошных руд во вкрапленные, которые далее сменяются кварц-серицитовыми метасоматитами по риодацитам.

Рис. 1. План горизонта 260 м (по материалам [4] и Учалинского филиала Башкиргеологии): 1 — базальты; 2 — диабазы; 3 — риодациты; 4 — дайка габбро-диоритов; 5 — контур рудной залежи; 6 — серицит-кварцевые метасоматиты; 7 — скважина и ее номер; 8 — промышленные сорта руд; 9 — граница метасоматических изменений кислых вулканитов; 10 — участок детального картирования (см. рис. 2)

Fig. 1. Level plan 260 m (based on [4] and Uchaly branch of the Bashkirgeologia): 1 — basalt; 2 — diabase; 3 — rhyodacite; 4 — dike gabbro-diorite; 5 — ore contour; 6 — quartz-sericite alteration; 7 — borehole and its number; 8 — ore grades; 9 — boundary of metasomatic alteration in acid rock; 10 — the detailed area (Fig. 2)

Интрузивные и субвулканические образования месторождения представлены силлами диабазов (мощностью от 0.5 до 100 м), согласных с напластованием пород, синрудных; дайками долеритов ($D_3fm?$) и габбро-диоритов ($C_1t?$). Силлы диабазов в зонах контакта с рудой локально рассланцованы, местами подвергнуты серицитизации, хлоритизации; по контактам развиваются поздние кварцевые и карбонатные прожилки. Рудная залежь пересечена мелкими дайками долеритового состава и мощной (до 20 м) дайкой габбро-диоритов ($C_1t?$) с углами падения $60-85^\circ$ на восток-северо-восток [5]. В приконтактных частях в руде наблюдаются брекчиевые и брекчиевидные текстуры, реже — полосчатые и гнейсовидные [10].

Цель исследования — детально изучить особенности приконтактных зон руды и мощной дайки габбро-диоритов Ново-Учалинского месторождения, выявить признаки контактового метаморфизма руд и постмагматических процессов в таких зонах.

Материалы и методы

В ходе проведения полевого картирования — документации скважин подземного бурения и подземных горных выработок — проводилась детализация контуров рудной залежи, уточнение ее строения. Особое внимание уделялось приконтактным зонам руды с мощной (15–20 м) дайкой габбро-диоритов, предположительно пострудной (рис. 2). Были отобраны образцы пород и руд; далее проводилось изучение прозрачных и полированных шлифов методами оптической и сканирующей электронной микроскопии, а также с применением рентгеноспектрального микроанализа (РСМА).

Сложная морфология свойственна не только рудному телу, но и мощной дайке габбро-диоритового состава, которая обычно имеет северо-северо-западное простирание, а при пересечении залежи оно становится субмеридиональным. На месторождении встречается несколько разновидностей контактовых зон; преобразованию подвергаются как руды, так и сами дайки. В одном случае (простой тип контакта) не наблюдается значительных изменений, происходит брекчирование руды, а иногда и дробление приконтактной части самой дайки. Меняется размер зернистости габбро-диоритов: в центральных частях — крупно-, среднезернистые структуры; в краевых частях (десятки сантиметров), ближе к контакту с рудой, вследствие закалки, — мелко- и тонкозернистые. В зоне контакта дайки наблюдается окварцевание, гематитизация и хлоритизация; присутствуют мелкие округлые агрегаты пирита, халькопирита, окруженные кварц-карбонатной зонкой. Микроскопически в руде были установлены цементация обломков пирита халькопиритом, блеклой рудой и появление галенита. Близ контакта в руде происходит укрупнение агрегатов халькопирита, блеклой руды; здесь чаще наблюдаются структуры распада — закономерно распределенные эмульсиевидные включения халькопирита в сфалерите. В других случаях контактное воздействие мало выражено: руда имеет мелкозернистую структуру и присутствуют реликты метакolloидного и колломорфного строения — сохраняются фрамбоиды, зональные агрегаты пирита, концентрически-зональные агрегаты пирита и сфалерита, почки зонального строения, сложенные блеклой рудой, сфалеритом и халькопиритом.

Рис. 2. Участок детального картирования горизонта 260 м (810 м от поверхности) (составлено по материалам УГОК и личным наблюдениям автора); на врезке — продольная проекция рудной залежи (соотношение вертикального и горизонтального масштабов 1:1): 1 — базальты; 2 — контур рудной залежи; 3 — серицит-кварцевые метасоматиты; 4 — дайка габбро-диоритов; 5 — подземные горные выработки; 6 — скважина детальной разведки и ее номер; 7 — точки отбора проб; 8 — горизонт 260 м (на врезке), 9 — профили разведочных разрезов (на врезке)

Fig. 2. The detailed mapping area of level 260 m (810 m from the surface); on inset scheme — axial section of ore body: 1 — basalt; 2 — ore body; 3 — quartz-sericite alteration; 4 — gabbro-diorite dike; 5 — underground mine workings; 6 — borehole and its number; 7 — sampling points; 8 — horizon 260 m (inset), 9 — profile of the cross-sections (inset)

При «сложном» типе контакта в дайке также проявляется хлоритовая кайма, от нее отходят узкие секущие зоны хлоритизации, которые ортогональны контакту; по плоскостям трещин развиваются поперечные к контакту и диагонально ориентированные прожилки кварц-карбонатного состава с крупными агрегатами сульфидов. Иногда в дайке габбро-диоритов встречаются довольно мощные, до 3 м, участки руды сфалерит-пиритового состава. В приконтактной части руда часто имеет почти мономинеральный пиритовый состав, происходит перекристаллизация пирита; в интерстициях отсутствует халькопирит и сфалерит, иногда можно наблюдать шестоватые агрегаты пирита. Также появляется поздняя полиминеральная ассоциация: крупные агрегаты магнетита в ассоциации с блеклой рудой, галенитом и сфалеритом, иногда на видимом расстоянии до 1.5–2 м от дайки. Таким образом, на Ново-Учалинском месторождении наблюдается 2 типа контактов руды и поздней дайки габбро-диоритов — простой и сложный. Аналогичное, местами непростое или неоднозначное строение приконтактных частей даек было отмечено и на соседнем Учалинском месторождении [1].

Обсуждение результатов и выводы

Сложное строение рудной залежи [10], ее контактов с мощной дайкой габбро-диоритов, наличие брекчиевидных, полосчатых и гнейсовидных текстур, появление полисульфидной минерализации указывают на значительный динамометаморфизм руд месторождения [14]. В результате теплового воздействия дайки произошла локальная перекристаллизация пирита, укрупнение агрегатов и новообразование в зоне контакта блеклой руды, которая, вероятно, была ремобилизована. Локально при приближении к дайке наблюдается увеличение содержания меди, теллура, селена, золота [2]. Однако не всегда обогащенные участки руды приурочены к приконтактным зонам руды с дайками; также неоднозначными являются признаки изменения химического состава главных сульфидов, что требует дополнительных исследований.

Заключение

Таким образом, воздействие локального контактового и динамического метаморфизма отразилось на морфологии рудного тела и дайки габбро-диоритов, внутреннем строении руды и ее минеральном составе. Руды месторождения претерпели преобразование в результате процессов околодайкового метаморфизма и последующего гидротермального минералообразования, вызванного ремобилизацией рудного вещества.

Автор признателен руководству УТОК в лице И. Б. Моисеева, геологам Учалинского подземного рудника В. В. Макарову, А. В. Литвинову за содействие в проведении полевых работ и выражает особую благодарность геологу В. А. Сапоговой за помощь в проведении исследований и сборе качественного каменного материала. Отдельная благодарность научному руководителю И. В. Викентьеву за ценные советы при планировании исследования и критические замечания при оформлении статьи. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №20-05-00849) и базовой темы ИГЕМ РАН.

Литература

1. Бородаевская М. Б., Пирожок П. И., Курбанов Н. К., Нафиков У. С. Возрастные соотношения даек и колчеданных руд в Учалинском рудном поле (Южный Урал) // Тр. ЦНИГРИ, 1967. Вып. 67. С. 119–141.
2. Викентьев И. В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. М.: Научный мир, 2004. 344 с.
3. Викентьев И. В., Карпухина В. С., Носик Л. П., Еремин Н. И. Условия формирования цинково-колчеданного месторождения Таш-Яр, Южный Урал // Докл. РАН. 2009. Т. 428. № 5. С. 633–636.
4. Викентьев И. В. Метаморфизм колчеданных месторождений Урала // Металлогения древних и современных океанов. 2016. № 1. С. 78–83.
5. Исхаков М. А., Купцов И. Б., Казакова И. Ф. и др. Предварительная разведка Ново-Учалинского медно-колчеданного месторождения: Отчет с подсчетом запасов за 1988–1994 гг. Межозерный, 1995. Кн. 1.
6. Медно-колчеданные месторождения Урала. Геологические условия размещения / В. А. Прокин, В. М. Нечехин, П. Ф. Сопко и др. Свердловск: Изд-во УНЦ АН СССР, 1985. 288 с.
7. Медно-колчеданные месторождения Урала. Геологическое строение / В. А. Прокин, Ф. П. Буслаев, М. И. Исмагилов и др. Свердловск: Изд-во УрО АН СССР, 1988. 241 с.
8. Минеральные ресурсы Учалинского горно-обогатительного комбината / И. Б. Серавкин, П. И. Пирожок, В. Н. Скуратов и др. Уфа: Башкирское книжное изд-во, 1994. 328 с.
9. Ново-Учалинское медно-цинково-колчеданное месторождение Южного Урала / Г. Н. Пшеничный, М. Я. Волькинштейн, Ю. С. Николайченков и др. Уфа: УНЦ РАН, 1999. 420 с.
10. Спирина А. В., Макаров В. В., Моисеев И. Б., Викентьев И. В. Детализация морфологии рудной залежи Ново-Учалинского колчеданного месторождения (Южный Урал) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020. № 2. С. 35–6. DOI: 10.32454/0016-7762-2020-63-2-35-46
11. Ярцев Е. И., Викентьев И. В., Прокофьев В. Ю. Минералого-геохимические свидетельства контактового преобразования руд Джусинского колчеданно-полиметаллического месторождения (Южный Урал) // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2017а. № 1. С. 39–44. DOI: 10.33623/0579-9406-2017-1-39-44
12. Ярцев Е. И., Еремин Н. И., Викентьев И. В. Субвулканические габбро-порфириды, интрузивные диориты и колчеданное оруденение Джусинского месторождения (Южный Урал) // Доклады Академии наук. 2017б. Т. 476. № 2. С. 197–199. DOI: 10.7868/S0869565217260164
13. Corriveau, L., Spry, P. G. Metamorphosed hydrothermal ore deposits. In: Scott, S. D. (Ed.), Geochemistry of Mineral Resources, second ed. Treatise on Geochemistry. Vol. 13. Elsevier, New York, 2014. pp. 175–194. DOI: 10.1016/B978-0-08-095975-7.01107-4
14. Vikentyev, I. V., Belogub, E. V., Novoselov, K. A., Moloshag, V. P. Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals. Ore geology // Ore Geology Reviews. 2017. V. 85. P. 30–63. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.10.032

15. Vokes, F. M. Ores and metamorphism: introduction and historical perspectives. In: Spry, P. G., Marshall, B., Vokes, F. M. (Eds.), *Metamorphosed and Metamorphogenic Ore Deposits*: Rev. Econ. Geology 11, 2000. pp. 1—18.

References

1. Borodaevskaya, M. B., Pirozhok, P. I., Kurbanov, N. K., Nafikov, U. S. *Vozrastnye sootnosheniia daek i kolchedannykh rud v Uchalinskom rudnom pole (Yuzhny Ural)* (Age relationship of the dykes and pyrite ores at Uchaly ore field (South Urals)). Trudy Inst. TsNIGRI, 1967, V. 67, pp. 119—141
2. Vikentyev I. V. *Usloviia formirovaniia i metamorfizm kolchedannykh rud* (Formation and metamorphism of volcanic-associated sulfide deposits). Moscow: Scientific world, 2004, 344 p.
3. Vikentyev, I. V., Karpukhina, V. S., Nosik, L. P., Eremin, N. I. *Usloviia formirovaniia tsinkovo-kolchedannogo mestorozhdeniia Tash-Iar, Yuzhny Ural* (Ural Formation conditions of the Tash-Yar zinc massive sulfide deposit, Southern Urals). Doklady Earth Sciences, 429 (8), pp. 1241—1244.
4. Vikentyev I. V. *Metamorfizm kolchedannykh mestorozhdeni Urala. Metallogeniia drevnikh i sovremennykh okeanov* (Metamorphism of VMS deposits of the Urals. Metallogeny of ancient and modern oceans). 2016, No. 1, pp. 78—83.
5. Iskhakov M. A. Kuptsov I. B., Kazakova I. F. et al. *Predvaritelnaia razvedka Novo-Uchalinskogo mednokolchedannogo mestorozhdeniia. Otchet s podschetom zapasov za 1988—1994 gg. Mezhozerny* (Preliminary exploration of the Novo-Uchaly copper-sulphide deposit. Report with the calculation of ore reserves for 1988—1994. Mezhozerny), 1995, V. 1
6. *Mednokolchedanny mestorozhdeniia Urala. Geologicheskie usloviia razmeshcheniia* (Copper massive sulphide deposits of the Urals. Geological conditions of placement). V. A. Prokin, V. M. Necheukhin, P. F. Sopko et al. Sverdlovsk: Ural Scientific Center. Acad. Sci. USSR, 1985, 288 p.
7. *Mednokolchedannye mestorozhdeniia Urala. Geologicheskoe stroenie* (Copper massive sulphide deposits of the Urals. Geological structure). V. A. Prokin, F. P. Buslaev, M. I. Ismagilov et al. Sverdlovsk: Ural Scientific Center. Acad. Sci. USSR, 1988, 241 p.
8. Seravkin I. B., Pirozhok P. I., Skuratov V. N. *Mineralnye resursy Uchalinskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata* (Mineral resources of the Uchaly ore mining and processing enterprise). Ufa: Bashkir Book Publishing House, 1994, 328 p.
9. Pshenichny G. N., Volkinstein M. Ya., Nikolaichenkov Yu. S., et al. *Novo-Uchalinskoe medno-tsinkovokolchedannoe mestorozhdenie Iuzhnogo Urala* (Novo-Uchaly copper-zinc-pyritic deposit of the Southern Urals). Ufa: Ufa Sci. Center RAS, 1999, 395 p.
10. Spirina A. V., Makarov V. V., Moiseev I. B., Vikentyev I. V. *Detalizatsiia morfologii rudnoi zalezhi Novo-Uchalinskogo kolchedannogo mestorozhdeniia (Yuzhny Ural)* (Morphological features of ore reserves of the Novo-Uchaly VMS deposit (Southern Urals)). Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration, 2020, No. 2, pp. 35—46. DOI: 10.32454/0016-7762-2020-63-2-35-46
11. Yartsev, E. I., Vikentyev, I. V., and Prokofiev, V. Yu. *Mineralogo-geohimicheskie svidetel'stva kontaktovogo preobrazovaniia rud Dzhusinskogo kolchedanno-polimetallichesкого mestorozhdeniia (Yuzhny Ural)* (The mineral-geochemical evidence of contact transformation of ores of the Dzhusinskoe pyrite-polymetallic deposit (Southern Urals)). Moscow Univ. Geol. Bull., 2017a, V. 72(1), pp. 132—138. DOI: 10.3103/S0145875217020090
12. Yartsev E. I., Eremin N. I., and Vikentyev I. V. *Subvulkanicheskie gabbro-porfirity, intruzivnye diority i kolchedannoe orudenenie Dzhusinskogo mestorozhdeniia (Yuzhny Ural)* (Subvolcanic gabbro-porphyrity and intrusive diorite, and sulfide mineralization of the Dzhusa volcanogenic massive sulfide deposit (Southern Urals)). Doklady Earth Sciences, 2017b, V. 476(1), pp. 1007—1009. DOI: 10.1134/S1028334X17090215
13. Corriveau, L., Spry, P. G., 2014. Metamorphosed hydrothermal ore deposits. In: Scott, S.D. (Ed.), *Geochemistry of Mineral Resources*, second ed. Treatise on Geochemistry. V. 13, Elsevier, New York, pp. 175—194. DOI: 10.1016/B978-0-08-095975-7.01107-4
14. Vikentyev I. V., Belogub E. V., Novoselov K. A., Moloshag V. P. Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals. *Ore geology. Ore Geology Reviews*. 2017, V. 85, pp. 30—63. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.10.032
15. Vokes, F. M., 2000. Ores and metamorphism: introduction and historical perspectives. In: Spry, P. G., Marshall, B., Vokes, F. M. (Eds.), *Metamorphosed and Metamorphogenic Ore Deposits*: Rev. Econ. Geology, 11, pp. 1—18.

Поступила в редакцию / Received 21.02.2021