

**Отредакции**

В МГТУ им. Г.И. Носова в течение 5 лет по инициативе ректора реализуется проект поддержки соискателей ученых степеней доктора наук. Приказом ректора ежегодно формируются три группы соискателей различной степени готовности; осуществляется контроль и поддержка соискателей.

Организован постоянно действующий семинар докторантов, помогающий осмысливать идеи, концепции, новизну диссертаций. За 5 лет выход докторантов на защиту составил 36%. Ярким свидетельством эффективности созданной системы подготовки докторантов является успешная защита докторской диссертации заведующей кафедрой маркшейдерского дела и геологии МГТУ – Горбатовой Е.А., посвященной минерально-технологической оценке отходов обогатительного передела колчеданных руд Южного Урала.

В 1985 г. в МГТУ был создан первый среди вузов Южного Урала геологический музей, в его коллекции свыше 2000 образцов минералов, горных пород и полезных ископаемых, собранных в разных регионах России.

УДК 622.7.016.3:622.17

## **ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУР РУД КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА СТРОЕНИЕ ИХ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ**

Горбатова Е.А.<sup>1</sup>, Ожогина Е.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского, г. Москва, Россия

**Аннотация.** Технологии переработки минерального сырья базируются на полной информации об их морфоструктурном составе, полученной комплексом современных минералого-аналитических методов. Установлено, что на состав и морфологию минералов хвостов обогащения руды влияет ее микроструктура. Минералы руд зернистых, кристаллобластических и метазернистых микроструктур характеризуются простым строением с ровными границами, поэтому в процессе дезинтеграции они легко раскрываются с образованием мономинеральных агрегатов. Минералы руд коррозионных, катакластических, коллоидных микроструктур обладают сложным строением с неровными, зазубренными границами, что приводит к переизмельчению и потерям минералов цветных металлов в хвостах обогащения.

**Ключевые слова:** колчеданные руды, текущие хвосты обогащения, микроструктура, морфология минералов, границы срастания, минералого-аналитические методы.

### **Введение**

Промышленное освоение природного и техногенного минерального сырья на современном этапе развития техники и экономики определяется эффективностью технологических решений их переработки, обеспечивая полное и комплексное извлечение основных и сопутствующих минералов, утилизацию отходов и соблюдение экологических требований [1-3].

Современные технологии переработки минерального сырья базируются на полной и достоверной информации о вещественном составе потенциальных рудоносных образований, полученной методами технологической минералогии.

Минералого-технологические исследования полезных ископаемых, направленные на изучение состава, строения и свойств минералов, позволяют определить технологические показатели рудоподготовки и обогащения, а также спрогнозировать морфоструктурный состав отходов обогатительного передела. Текстура руды предопределяет конечную крупность ее дробления на стадии рудоподготовки, структура обуславливает эффективность технологического процесса обогащения. Существенное влияние на состав и морфологию минералов хвостов обогащения руды оказывает ее микроструктура, а именно особенности строения зерен и границы срастания минералов руды [5].

### **Методика исследований**

Информация о сложном полиминеральном сырье, к числу которого относятся колчеданные руды, может быть получена только комплексом современных минералого-аналитических методов [4].

Аналитические исследования включают определение: 1) содержание Cu и Zn традиционными методами аналитической химии; 2) количество микроэлементов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанным плазмой.

Морфоструктурный состав руд и хвостов обогащения целесообразно проводить традиционными методами исследований с использованием оптической, включающей петрографический, минерографический и оптико-геометрический анализы. В отдельных случаях эффективно применение методов электронной микроскопии и рентгенотомографии.

Петрографический и минерографический анализы являются распространенными методами количественного минералогического анализа руды и хвостов ее обогащения, а также методами определения их морфоструктурных характеристик. Данные анализы позволяют определять минеральный состав, размер, форму и внутреннее строение зерен, характер взаимоотношения минеральных агрегатов, тип срастания рудных и породообразующих минералов.

Оптико-геометрический анализ проводится с использованием систем компьютерного анализа изображений, разрешающих измерять геометрические и морфометрические параметры минералов хвостов обогащения, а также проводить весовой, дифференциальный, интегральный и корреляционный анализы полученных значений. На основании базовых метрических параметров может быть определена вкрапленность минеральных зерен, характеризуемая их гранулометрией, формой и типом срастаний с другими минералами.

Электронная микроскопия позволяет выявлять и идентифицировать минеральные фазы, определять реальные состав и строение, в т.ч. фазовую и структурную неоднородность, морфометрические особенности минеральных индивидов и их агрегатов.

Рентгенотомографический анализ аналогично оптико-геометрическому методу дает возможность определять гранулярный состав и морфометрические характеристики минералов и руд в целом в образце без предварительной пробоподготовки.

Для количественной оценки минерального состава руды и отходов обогатительного передела наиболее эффективен метод рентгенографического количественного фазового анализа (РКФА). Метод обеспечивает выявление, диагностику и количественную оценку всех раскристаллизованных фаз, величина кристаллитов которых более 0,02 мкм, с содержанием выше 0,5-1,0 весовых %, в зависимости от элементного состава фазы и совершенства ее кристаллической структуры. Глинистые минералы идентифицируются по стандартной методике, основанной на сопоставлении трех дифрактограмм первичной пробы, насыщенной глицерином и прокаленной при 550°C.

### Результаты исследований и их обсуждение

Колчеданные руды Южного Урала относятся к шести морфогенетическим группам на основании наиболее распространенных микроструктур – зернистые, кристаллобластические, коррозионные, метазернистые, коллоидные и катаклазические [5].

В рудах в зависимости от формы, размера и характера срастания зерен минералов характерными являются следующие морфологические виды зернистых микроструктур: гипидоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая и пойкилитовая.

В кристаллически-зернистых рудах с высокой степенью идиоморфизма встречается пирит. Гипидоморфнозернистая микроструктура свойственна срастаниям идиоморфных или гипидоморфных зерен пирита с аллотриоморфными выделениями более поздних сульфидов – сфалерита, халькопирита, галенита и др. Такие срастания характеризуются простым строением с ровными и прямыми границами. В случае срастания аллотриоморфных выделений сфалерита и халькопирита минеральным агрегатам свойственны более неровные, заливообразные границы.

Кристаллобластические микроструктуры характерны для пирита и проявляются в результате перекристаллизации агрегатов зернистого, метазернистого и коллоидного строения. По степени идиоморфизма кристаллобластов в рудах различают идиоморфнобла-

стическую, гипидоморфнобластическую и аллотриоморфнобластическую структуры. Кристаллобlastы пирита имеют однородное внутреннее строение.

Кристаллозернистые и кристаллобластовые минеральные агрегаты в процессе разделения их физическими методами максимально раскрываются с выделением индивидуализированных зерен минералов цветных металлов. Если размер зерен минералов менее 44 мкм, то большая вероятность их накопления в хвостах обогащения в виде полиминеральных агрегатов с идиоморфными и гипидоморфными выделениями пирита, сульфидами цветных металлов аллотриоморфной формы.

Метазернистые минеральные агрегаты отличаются неравномерной зернистостью и сибообразным внутренним строением зерен, обусловленным включениями окружающих минералов. Метазерна образуются в результате собирательной перекристаллизации глобулярного пирита и метасоматического замещения минералов вмещающих пород и сульфидов. По степени идиоморфизма метазерен различают идиоморфно-метазернистые, гипидоморфнometазернистые и аллотриоморфнometазернистые микроструктуры, характеризующиеся разными границами срастаний минералов: от ровной, прямолинейной до искривленной с частичным проникновением минералов друг в друга. Поэтому в процессе разделения пиритные агрегаты с реликтами других минералов будут концентрироваться в хвостах обогащения.

Тонкое прорастание минералов с выделением концентрических, сферолитовых, фестончатых и шариковых минеральных агрегатов пиритного, сфалерит-пиритного и халькопирит-сфалерит-пиритного составов обуславливает коллоидные и метаколлоидные микроструктуры. Строение таких агрегатов неоднородное, сетчатое, пористое с радиальными и концентрическими трещинами усыхания, что увеличивает сорбционную способность агрегатов и ухудшает флотационные характеристики минералов. Трещины усыхания могут быть выполнены рудными инерудными минералами. В процессе дезинтеграции руды шариковой структуры раскрываются весьма затруднительно, что приводит к накоплению моно- и полиминеральных агрегатов с выделениями пирита фрамбондного строения.

Для поздних минеральных ассоциаций руд характерны коррозионные микроструктуры. Они образуются при замещении ранее выделившихся минералов – кварца, пирита, халькопирита и сфалерита более поздними – пиритом, халькопиритом, сфалеритом, блеклой рудой, галенитом, борнитом, халькозином, минералами висмута и серебра. Вторичные минералы могут унаследовать состав первичного или не иметь ничего общего с составом замещаемого минерала. Например, в первом случае – замещение пирита сфалеритом или халькопиритом, во-втором – растворение кварца и серицита с последующим отложением на их месте галенита, пирита, сфалерита, халькопирита, барита и др.

Замещение сульфидов и минералов вмещающих пород начинается с выполнения полостей трещин и развивается по контурам зерен поздних минералов, образуя тонкие нитеобразные прожилки, микровклю-

чения и каемочные выделения. Границы срастания – неровная, зазубренная, заливообразная с глубоким проникновением вторичных минералов в первичные, что обуславливает переизмельчение и потери в хвостах обогащения полиминеральных агрегатов с каемочными и коррозионными выделениями минералов цветных металлов.

Микроструктура распада твердых растворов – срастание двух минералов, обладающих близкими кристаллохимическими свойствами, в основном халькопирита и сфалерита. В рудах наиболее часто встречаются эмульсионные и пластиначатые структуры, представляющие собой тонкозернистые срастания минералов. Такие минеральные агрегаты затруднительно или практически невозможно раскрыть, в результате чего образуются минеральные сростки закрытого типа. Вследствие повышенной сорбционной способности границ раздела минералов агрегаты активно флотируются с получением некондиционного концентрата, в котором теряется и разубоживается полезный минерал. Небольшая часть сростков уходит в хвосты.

Катахлазические микроструктуры выражены в рудах в виде трещиноватых, раздробленных минеральных агрегатов пирита и кварца. Полости трещин заливаются более мягкими минералами – халькопиритом, сфалеритом и теннантитом. Такие руды склонны к переизмельчению, что приводит к образованию шламующегося материала и накоплению его в хвостах обогащения.

## **Вывод**

Колчеданные руды Южного Урала характеризуются неоднородностью морфоструктурного состава, что оказывает непосредственное влияние на строение и состав текущих хвостов обогащения этих руд. Детальные исследования руд с применением комплекса минералого-аналитических методов позволяют прогнозировать минералогические особенности отходов обогатительного передела с точки зрения их вторичной переработки, поведения в технологических процессах и качества ожидаемых конечных продуктов.

## **Список литературы**

1. Чантuria V.A. Современная минералогия и новые тенденции ее развития // Горный журнал. 2005. №12. С. 56-64.
2. Ожогина Е.Г., Котова О.Б., Чантuria Е.Л. Роль технологической минералогии в прогнозной оценке качества минерального сырья и его глубокой технологии комплексной переработки минерального сырья. М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2008. С. 35-52.
3. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья / К.Н. Трубецкой, В.А. Чантuria, Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова. М.: Наука, 2010. 437 с.
4. Горбатова Е.А., Колкова М.С. Методические основы минералого-технологической оценки отходов обогатительного передела колчеданных руд Южного Урала // Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ: сб. науч. трудов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. С.150-155.
5. Ожогина Е.Г., Горбатова Е.А. Влияние морфоструктурного состава отходов обогащения руд цветных металлов на извлечение ценных компонентов при их гидрометаллургическом переделе // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №1. С.10-12.

## **INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH**

### **THE EFFECT OF ORE MICROSTRUCTURES OF FIRESTONE DEPOSITS ON THEIR TAILINGS STRUCTURE**

**Gorbatova Elena Alexandrovna** – Ph.D. (Eng.), Head of Mine Surveying Works and Geology department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: (3519) 29-85-42. E-mail: lena\_gorbatova@mail.ru.

**Ozhogina Elena Germanovna** – D.Sc. (Eng.), Head of Mineralogy department, All-Russian Scientific Research Institute of Mineral Resources named after N.M.Fedorovsky, Moscow, Russia. Phone: (495) 951-74-49. E-mail: vims-ozhogina@mail.ru.

**Abstract.** Minerals processing methods are based on the total information about morfostructural composition of raw materials, obtained with the help of modern mineralogical and analytical methods. It was established that ore microstructure affects on the composition and morphology of the tailings minerals. Granular, crystalloblastic and metagranular ore microstructure minerals are characterized by a simple structure with plane edges, therefore they are easily revealed forming monomineral aggregates during the disintegration process. Corrosive, cataclastic, colloidal ore microstructure minerals are of the complex structure with ragged, jagged edges that leads to overgrinding and losses of non-ferrous metal minerals in tailings.

**Keywords:** kies, current tailings, microstructure, minerals morphology, growth edges, mineralogical and analytical approaches.

#### **References**

1. Chanturia V.A. Modern Mineralogy and new trends of its development. *Gornyi zhurnal* [Mining journal], 2005, no. 12, pp. 56-64.
2. Ozhogina E.G., Kotova O.B., Chanturia E.L. Rol tekhnologicheskoy mineralogii v prognoznoy otsenke kachestva mineralnogo syrya i yego

*glubokoy tekhnologii kompleksnoy pererabotki mineralnogo syrya.* [The role of technological Mineralogy in the evaluation of the quality of mineral raw materials and advanced technology of complex processing of mineral raw materials]. Moscow: Publishing house Ore and Metals, 2008, pp. 35-52.

3. Trubetskoy K.N., Chanturia V.A., Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. *Kompleksnoe osvoenie mestorozhdeniy i glubokaya pererabotka mineralnogo syrya* [Complex development of fields and deep processing of mineral raw materials]. Moscow: Nauka, 2010, 437 p.
4. Gorbatova E.A., Kolkova M.S. Methodical bases of mineralogical and technological estimation of waste for processing sulfide ores of the South Urals. *Marksheyderskoe i geologicheskoe obespechenie gorniyih rabot: sb. nauch. trudov* [Mine surveying and geological provision of mining works: Collection of scientific works]. Magnitogorsk, Publ. NMSTU, 2013, pp. 150-155.
5. Ozhogina E.G., Gorbatova E.A. The impact of morfostructural composition of the waste of enrichment of ores of nonferrous metals extraction of valuable components at their hydrometallurgical redistribution. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 1, pp. 10-12.