

БУДНИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ

Ожогова Е. Г., Якушина О. А.

*Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья
им. Н. М. Федоровского, Москва*

Прикладная минералогия уже давно в геологических науках заняла лидирующее положение. Еще В. И. Вернадский отмечал, что «...значение минералогической основы учения о рудных ископаемых чрезвычайно усилилось. Учение о полезных ископаемых является сейчас в своей основе, прикладной минералогией...». Он подчеркивал, необходимость создания базы для изучения полезных ископаемых, которые «неизбежно должны вестись на минералогической основе, а не на геологической» [1].

Сегодня в рамках прикладной минералогии решаются задачи, связанные с комплексным освоением месторождений полезных ископаемых: определение качественных характеристик руд месторождений, их вещественного состава, выдержанности качества оруденения в геологических контурах объекта; выявление и оценка типоморфных признаков, определяющих природу технологических свойств минералов полезных ископаемых различных генетических типов, с учетом характера и глубины изменений их на разных уровнях минералогической «памяти». Очевидно, что доминирующим направлением стала технологическая минералогия. Это обусловлено и объективными причинами недропользования. Происходит резкое сокращение запасов легкодоступных, выходящих на поверхность богатых руд и неметаллических полезных ископаемых. Открытие крупных и богатых сырьевых объектов в ближайшей перспективе маловероятно. Вынужденно в промышленное освоение вовлекаются труднообогатимые руды, залегающие в сложных горно-геологических и ландшафтно-климатических условиях. В этой ситуации современные позиции технологической минералогии четко соответствуют определению В. И. Ревнивцева [9], подчеркнувшего, что «в повышении эффективности технологии переработки минерального сырья особая роль принадлежит технологической минералогии. Она составляет фундамент, без которого на современном уровне невозможен целенаправленный научный поиск

как принципиально новых путей развития, так и совершенствования технологии переработки минерального сырья» [7].

Большинство современных руд черных, цветных, редких, благородных металлов сегодня относятся к категории труднообогатимых. Минералогическими признаками трудной обогатимости руд являются:

Поликомпонентный, иногда переменный химический состав – наряду с главными рудными компонентами присутствуют другие металлы, форма нахождения которых может быть различной (изоморфная примесь, самостоятельные минеральные фазы и пр.).

Сложный морфоструктурный состав – совместное присутствие рудных минералов разной формы и размеров, нередко тесно ассоциирующих между собой и с порообразующими фазами, гетерогенное внутреннее строение зерен минералов (спайность, зональность, трещиноватость, пористость, кавернозность, механические включения, пленки окисления и пр.);

Полиминеральный состав – присутствие нескольких полезных рудных минералов в переменных количествах, образующих полиминеральные агрегаты, полезных минералов в весьма незначительных количествах, одного-двух промышленно ценных минералов, в различной степени измененных вторичными процессами, минералов непрерывных и дискретных изоморфных рядов и минералов полиморфных и политипных модификаций и пр.);

Близость физических и физико-химических (технологических) свойств рудообразующих минералов, в первую очередь плотностных и магнитных.

Природные особенности руд определяют необходимость их комплексного изучения для получения достоверной минералогической информации, позволяющей проводить оценку качества сырья и принимать оптимальные решения его дальнейшего использования [8].

Особое отношение сегодня к горнопромышленным отходам, которые в перспективе могут

стать сырьем многих металлов, неметаллических полезных ископаемых, востребованных промышленностью. В тоже время использование горнопромышленных отходов позволит снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

В качестве примера рассмотрим никельсодержащий шлак, полученный в результате электроплавки руд на одном из металлургических комбинатов Южного Урала. Следует отметить, что металлургические шлаки сегодня занимают лидирующее положение среди отходов перерабатывающих производств; в них в большинстве случаев сосредоточено значительное количество полезных компонентов, превышающее их содержание в природных рудах [6]. Как правило, металлургические шлаки представляют собой комплексные руды, отличающиеся присущими только им минералогическими особенностями, которые определяются составом перерабатываемого сырья и происхождением шлаков, связанным с различными металлургическими процессами, нередко с вторичными изменениями.

Отвалы никельсодержащие шлаки сформированы стекловатыми обломками неоднородной, флюидальной текстуры. Главными шлакообра-

зующими элементами являются железо (22.6%), кремний (18.85%), кальций (7.89%), магний (5.7%), которые входят преимущественно в состав стекла, со стеклом также связано небольшое количество алюминия (2.1%) и натрия (0.2%). Помимо этого железо и магний присутствуют в техногенных минералах изоморфного ряда шпинелей, в которых в виде изоморфных примесей могут входить никель (0,14%) и кобальт (0,05%), а также хром (0.94%), титан (0.11%) и марганец (0.38%). По данным рентгенографического анализа шлаки на 95% сформированы аморфной фазой – стеклом. Кристаллические фазы представлены хромитом (2.7%), фаялитом (1%), пирротином (0.5%), пентландитом (менее 0.5%), вюститом (0.15%) и фазой металла со структурой железа, вероятно железом и никелем (Fe, Ni).

Шлакообразующая матрица насыщена точечными и сыпьевидными ультратонкими округлыми, изометричными и продолговатыми включениями рудных техногенных фаз (рис. 1). Наблюдаются структуры течения, представляющие собой извилистые протяженные участки тонкой полосчатости, обусловленные чередованием темных и светлых полос разного оттенка темно-коричневого, бурого, зеленовато-бурого цвета.

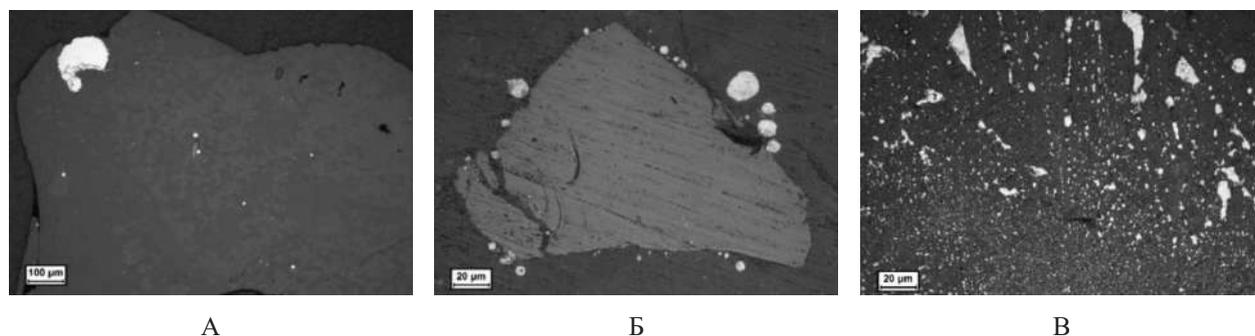


Рис. 1. Никельсодержащие шлаки, формы выделения и детали строения рудных фаз; искусственные полированные шлифы, отраженный свет, николи параллельны. А – неоднородность шлака кремнезем-фаялитового состава, вкрапления округлых выделений пентландита и угловатых включений хромита, серое; Б – включение хромита, по границам которого расположена вкрапленность более мелких округлых и каплевидных выделений пентландита, В – тонкая вкрапленность пентландита в хромите

Хромит – главный рудный минерал, присутствует в виде индивидуализированных выделений неоднородного строения, имеющих кристаллографические очертания граней (гипидиоморфной формы), которые окаймляют ультратонкие выделения пентландита (рис. 2) размер выделений менее 0.1 мм.

Пентландит – присутствует в виде округлых и овальных выделений переменного состава. По данным рентгеноспектрального

микроанализа содержание никеля в нем варьирует от 30.0 до 58.94%, в качестве изоморфной примеси присутствует кобальт (0.65–1.34%). Пентландит формирует двухфазные эвтектические колонии с пирротинном.

Пирротин присутствует в виде единичных выделений изометричной и округлой формы. Содержание никеля в минерале изменяется от 0.1 до 0.86%.

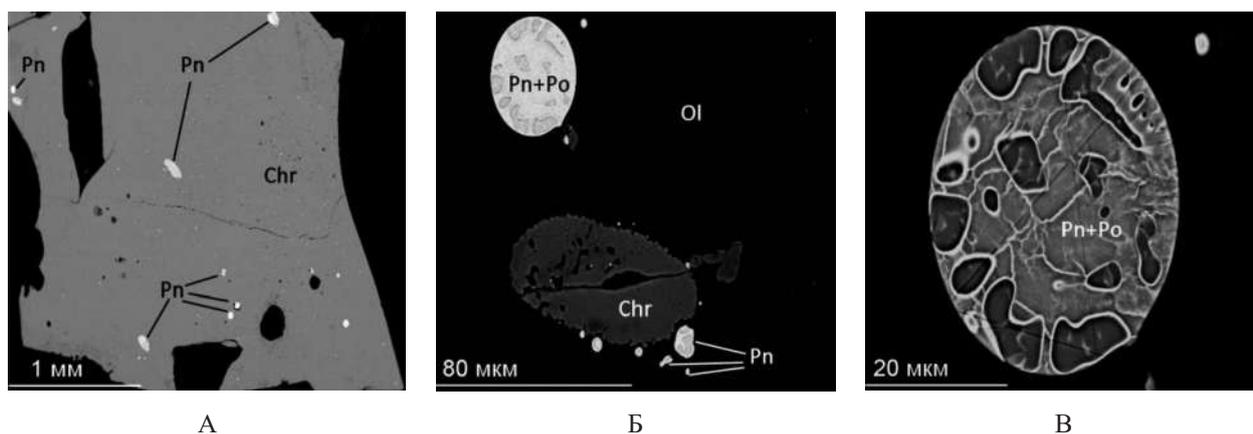


Рис. 2. BSE-изображения никельсодержащих шлаков: А – включения пентландита (Pn) в хромите (Chr); Б – включение хромита и каплевидные неоднородные включения пентландита с пирротинном (Pn+Po) в оливинне (Ol); В – увеличенный фрагмент крупного каплевидного включения из (Б)

Фаялит формирует аморфную стекловатую массу шлака. Однако кристаллическую структуру по данным рентгенографического фазового анализа имеет не более 1% выделений фаялита, в его состав могут изоморфно входить катионы кальция и других металлов. Оливиновое стекло представляет собой аморфную стекловатую матрицу шлака.

В результате исследования, проведенного комплексом физических методов, установлено, что минералогические особенности шлаков (ультратонкие размеры выделений рудных фаз 0.001–0.02 мм, неоднородное строение, поликомпонентный состав и варьирующие содержания металлов, связанное с широкими изоморфными замещениями атомов химических элементов в кристаллической структуре минералов, отсутствие электропроводности и магнитных свойств) неблагоприятны для их вторичного обогащения механическими методами. Однако индивидуализированная форма выделений рудных и металлических фаз, высокое содержание никеля, сопоставимое с промышленным, отсутствие вредных и токсичных примесей (как изоморфных, так и в виде минеральных фаз) позволяют говорить о возможности их передела химико-металлургическими методами для извлечения металлов. Самостоятельное направление технологической минералогии – минералогическое материаловедение, в рамках которого разрабатываются принципы выбора и создания материалов из минерального сырья, включая отходы его добычи и переработки.

Сегодня круг задач, решаемых в рамках минералогического материаловедения, весьма

значительный. В большинстве своем эти задачи пересекаются или дополняют главные задачи технологической минералогии в целом. Они включают:

- комплексное использование минерального сырья за счет безотходных технологий;
- использование экологически дружественных технологий получения материалов различного назначения из минерального сырья природного и техногенного происхождения;
- создание материалов, обладающих благоприятным сочетанием эксплуатационных свойств и себестоимостью изготовления;
- близость сырьевых объектов к предприятиям, изготавливающим материалы с заданным составом, строением, свойствами [2].

В последние годы Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского проводит значительный объем минералогических исследований, связанных с керамическими изделиями. Как показывает опыт, в этой области востребованы работы, касающиеся, во-первых, оценки пригодности сырья для производства керамических изделий, например, кирпича, плитки и пр. Во-вторых, минералогические методы позволяют решать вопросы, связанные с контролем качества изделий на разных стадиях технологического процесса и уже готовой продукции [3].

Для изготовления качественных керамических изделий важное значение имеет прогнозирование состава исходной массы и режимов ее обжига. Следовательно, необходима достоверная информация о вещественном составе исходного сырья, так как определенные минеральные

фазы обычно отвечают за физико-механические показатели изделий (цвет, водопоглощение, морозостойкость, кислотостойкость, огнеупорность и т. д.). Сведения о минеральном и химическом составе исходного сырья (глинистых, песчано-глинистых пород, отходов добычи и переработки полезных ископаемых) могут способствовать управлению процессами фазообразования при обжиге, определять необходимые добавки в шихту.

Минералогические исследования широко используются при решении экологических задач, связанных не только с горнопромышленными отходами, но и определением форм нахождения токсичных и вредных элементов, их локализацией в депонирующих средах, воздействием на окружающую среду [5,10]. При этом отдельно следует оговорить минералогические работы в области медицины, которые проводятся не только с целью определения влияния минералов, горных пород и руд при добыче и переработке полезных ископаемых на здоровье человека. Сегодня востребованы работы по минералогическому изучению продуктов жизнедеятельности человека, способствующие нередко диагностировать болезни, прогнозировать и их течение.

В зависимости от решаемых задач используется комплекс методов минералогического анализа. Минералогический анализ сегодня – это комплекс методов изучения горных пород, руд, техногенного сырья и продуктов их переработки, направленный на получение надежной информации об их минеральном (фазовом) составе и морфоструктурных характеристиках, реальном составе, строении, технологических (потребительских) свойствах слагающих их минералов. В зависимости от цели и задач исследования определяется индивидуальный комплекс методов, последовательность их применения, позволяющий получить максимально необходимую информацию, которая в дальнейшем может быть использована для принятия тактических и стратегических решений [11].

Минералогические исследования, всегда сопровождающие геологоразведочные работы, в том числе технологические испытания и эко-

логическое изучение, непосредственно влияют на их эффективность. Главным требованием к лабораторным минералогическим работам является получение полной, достоверной, метрологически оцененной и имеющей юридическую силу информации о составе и строении минеральных объектов природного и техногенного происхождения. Достоверность и сопоставимость результатов выполняемых анализов требует метрологического обеспечения всех видов минералогических работ. Следовательно, необходимо совершенствование системы управления качеством аналитических (минералогических) работ, включающей стандарты, регламентирующие контроль качества измерений на всех этапах работ, разработку, апробацию и внедрение методик количественного минералогического анализа, а также массовых анализов, минералов, руд и пород, создание средств метрологического контроля. Как показывает опыт, требуются новые научно-обоснованные методические документы, обеспечивающие единство и требуемую точность определений, достоверные результаты при минимуме материальных затрат [4].

Современная прикладная минералогия, обладая мощным арсеналом приемов и методов исследований, в значительной степени влияет на эффективность геологоразведочных работ и использование минеральных ресурсов природного и техногенного происхождения. Глубина минералогических исследований минеральных объектов определяется задачами работ, а достоверность результатов анализов – метрологическим обеспечением всех видов работ. Современный методический комплекс минералогических исследований позволяет решать задачи любой сложности: от крупномасштабных, связанных с добычей и переработкой минерального сырья, ликвидацией последствий освоения месторождений, вторичным использованием техногенного сырья, до частных – выявления источников загрязнения конкретных объектов и идентификации опасных минералов (фаз), оценкой их воздействия на экосистемы и пр.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский В. И. Избранные сочинения. М.: Изд-во АН СССР, 1959. Т. IV, кн. 1. С. 624.

2. Верхотуров А. Д., Ершова Т. Б. Минералогическое материаловедение новый раздел науки о материалах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2005. С. 205–213.

3. Жукова В. Е., Ожогина Е. Г., Сычева Н. А. и др. Минералогическое материаловедение (производство керамических изделий) // Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2019. С. 60–63.

4. Ожогина Е. Г., Котова О. Б. Технологическая минералогия в решении проблем комплексной переработки минерального сырья // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. Т. 13. № 2(48). С. 170–178.

5. Ожогина Е. Г., Шадрунова И. В., Чекушина Т. В. Роль минералогических исследований в решении экологических проблем горнопромышленных районов // Горный журнал. 2017. № 11. С. 105–110.

6. Ожогина Е. Г., Якушина О. А., Козлов А. П. Минералогические особенности никельсодержащих шлаков и перспективы их вторичного использования // Обогащение руд. 2017. № 3(369). С. 49–56.

7. Пирогов Б. И., Ожогина Е. Г. Принципы и методы технологической минералогии при переработке твердых полезных ископаемых // Вестник геонаук. 2020. № 2(302). С. 11–14.

8. Пирогов Б. И., Ожогина Е. Г., Горбатова Е. А. Минералого-технологическая оценка труднообогатимого рудного сырья (на примере железных руд и отходов обогащения) // Горный журнал. 2019. № 4. С. 59–64.

9. Ревнивцев В. И., Доливо-Добровольская Г. И., Владимиров П. С. Технологическая минералогия обломочных малых частиц. СПб.: Наука, 1992. 248 с.

10. Чантурия В. А., Ожогина Е. Г., Шадрунова И. В. Задачи экологической минералогии при освоении недр Земли // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2016. № 5. С. 193–196.

11. Ozhogina E. G., Kotova O. B. New methods of mineral processing and technology for the progress of sustainability in complex ore treatment // IMPC 2018–29th International Mineral Processing Congress. 2019. Moscow. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. P. 32–40.

DOI: 10.17076/tm14_31

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНОГО ВУЛКАНОГЕННОГО МАТЕРИАЛА В СВЯЗИ С ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОБЛЕМАМИ В АЛМАЗОНОСНЫХ РАЙОНАХ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Зинчук М. Н., Зинчук Н. Н.

ЗЯНЦ АН РС(Я), Мирный

Региональные исследования древних платформ Мира свидетельствуют о весьма длительном развитии процессов денудационного выравнивания и глубоком срезе ряда обширных территорий, в том числе и Восточно-Сибирской платформы (ВСП), неоднократно проявлявшихся на протяжении всей геологической истории Земли [1–6]. В основных алмазоносных районах ВСП, судя по сохранившимся корам выветривания (КВ) и продуктам их перемыва и переотложения, наиболее мощные эпохи корообразования существовали в позднедевонское-раннекаменноугольное и средне-позднетриасовое время [7–10]. Учитывая среднепалеозойский возраст кимберлитовых тел региона, указанные эпохи являлись решающими для формирования древних россыпей алмазов. Более молодые КВ сохранились от размыва в единичных разрезах малой мощности и практического интереса не представляют, а более древние на исследуемой территории не установлены. Следует отметить, что в фанерозое, кроме общих черт в геологическом развитии и структурной позиции, отмечаются и существенные различия, приводящие к специ-

фическим особенностям размыва и захоронения продуктов КВ. Так, в позднем девоне – раннем карбоне породы Далдыно-Алакитского алмазоносного района (ДААР) были размывы существенно меньше (до первых десятков метров), чем в Малоботуобинском (МБАР). Всё это привело к различным условиям аккумуляции в терригенных отложениях эродированного алмазоносного материала. Поэтому в ДААР при незначительном размыве пород этот материал образовывал первичные ореолы рассеяния (обычно без повторного размыва и переотложения), затем захоронялся. В отличие от этого, в МБАР при значительном (до 300 м) размыве сначала формировались первичные ореолы рассеяния кимберлитового материала, которые затем перемывались и переотлагались в средне-верхнекаменноугольных отложениях. Наряду с широко развитыми на этой территории площадных КВ на терригенно-карбонатных породах, для упомянутых алмазоносных районов довольно характерны элювиальные образования трапповой и кимберлитовой формаций. Для определения их продуктивности