

9. Юшкин Н.П. Теория и методы минералогии. Л.: 1977. - 291 с.
10. Юшкин Н.П. Теоретические и методические основы расшифровки генетической информации, содержащейся в минералах. // Новые идеи в генетич. минералог. Л.: Наука, 1983. - С. 38-47.
11. Григорьев Д.П. Соотношение технологической минералогии с сопредельными отраслями знания. // Онтогенез минералов и технологическая минералогия. Киев: Наукова Думка, 1988. - С. 11-15.
12. Дементьева Г.И., Смирнов Ю.М. Изоморфные и полиморфные превращения минералов в техногенезе. // Обогащение руд, № 3. 1988. - С. 34-37.
13. Юшкин Н.П., Хомяков А.П., Евзикова Н.З. Принцип наследования в минералогенезисе. Сыктывкар: Препринт. 1984, в. 93. - 32 с
14. Ревнищев В.И. Рудоподготовка как новое направление горных наук. // Основные направления развития техники и технологии обогащения ПИ. Л., 1983. - С. 3-22.
15. Пирогов Б.И. Роль минералогических исследований в обогащении руд. // Минерал. журн. 1982, № 1. - С. 81-92.
16. Юргенсон Г.А. Проблемы минералогии геотехногенеза. // Роль минералог. исслед в решении эколог. проблем (теория, практика, перспективы развития). СПб.: Мин. об-во при РАН, 2002. - С. 200-203.
17. Руденко С.А., Иванов М.А., Романов В.А. Метаморфизм минералов – важное явление в истории их формирования. // ЗВМО, 1978, № 6. - С. 698-710
18. Пирогов Б.И. Теоретические основы технологической минералогии. // Теория минералогии. Л.: Наука, 1988. - С.127-134.
19. Дымкин А.М., Пермиков А.А. Онтогенез магнетита. Свердловск: УНЦ АН СССР. 1984. - 188 с.
20. Пирогов Б.И., Холошин И.В. Геолого-технологическое моделирование комплексных железорудных месторождений. // Геолого-технологическое моделирование рудных месторождений. СПб.: А/О «Механобр-Техника», 1993. - С. 83-95.
21. Пирогов Б.И., Поротов Г.С., Холошин И.В., Тарасенко В.Н. Технологическая минералогия железных руд. Л.: Наука, 1988. - 304 с.
22. Попов В.А. О необходимости усиления минералогических исследований в технологии минерального сырья // Онтогенез минералов и технологическая минералогия. Киев: Наукова Думка, 1988. - С. 16-21.
23. Изюмко В.М. Технологическая минералогия и оценка руд. СПб.: Наука, 1997. - 582 с
24. Григорьев Д.П., Жабин А.Г. Онтогенез минералов. М., 1975. - 340 с.
25. Пирогов Б.И., Холошин И.В. Инфракрасные спектры поглощения магнетита и их прикладное значение. // Минерал. журн. 1989, № 2. - С. 73-80.
26. Лыгина Т.З. Методические основы комплексной оценки состава и свойств неметаллических полезных ископаемых. // Автореф. докт. дис. М: ВИМС. 2001. - 50 с
27. Ожогина Е.Г. Технологическая минералогия труднообогатимых марганцевых руд России. // Автореф. докт. дис. М: ВИМС. 2002. - 50 с
28. Щипцов В.В. Геолого-минералогические основы технологической оценки промышленных минералов Карелии. // Автореф. докт. дис. СПб.: РИЦ СПГГИ. 2000. - 46 с.
29. Котова О.Б. Поверхностные процессы в тонкодисперсных минеральных системах. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. - 194 с.
30. Направленное изменение физико-химических свойств минералов в процессах обогащения полезных ископаемых. // Пласкинские чтения. М.: Альтекс, 2003. – 145 с.
31. Остащенко Б. А. Направленное изменение технологических свойств минералов. // Автореф. докт. дис. Сыктывкар: ИГ Коми науч. Центра УрО РАН. 1998. - 43 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Ожогина Е.Г., Рогожин А.А.

ВНИИ минерального сырья им. Н.М.Федоровского, г. Москва,
e-mail vims-ozhogina@mail.ru

Одной из основных проблем недропользования в настоящее время является ухудшение воспроизводства минерально-сырьевой базы, в том числе – черных, цветных, легирующих металлов, многих видов нерудного сырья. Медленное и трудное вовлечение месторождений в освоение, и даже при этом – рост дисбаланса между добычей и приростом запасов представляют серьезную проблему для развития потенциала металлургической, химической и других ключевых отраслей промышленности. Отечественная минерально-сырьевая база по многим дефицитным полезным ископаемым представлена низкокачественным труднообогатимым сырьем, сосредоточенным в месторождениях с неблагоприятными для освоения географо-экономическими и горно-техническими условиями. Промышленное освоение месторождений зачастую связано со значительными потерями главных и особенно сопутствующих полезных компонентов, большим объемом вскрышных работ и, следовательно, негативным влиянием на окружающую среду. В

переработку вынужденно вовлекаются труднообогатимые, некондиционные виды сырья, отличающиеся полиминеральным составом, сложным текстурно-структурным рисунком, высокой дисперсностью, гетерогенностью промышленно ценных минералов, близостью физических свойств рудных и породообразующих фаз. Традиционные технологии обогащения нередко либо не в состоянии обеспечить рентабельность освоения месторождений, либо не отвечают жестким требованиям экологической безопасности. Поэтому перспективы развития отечественного минерально-сырьевого комплекса следует связывать, главным образом, с созданием и применением новых конкурентоспособных эффективных безотходных и малоотходных технологий добычи и переработки полезных ископаемых, обеспечивающих комплексное извлечение полезных компонентов (как главных, так и сопутствующих), замкнутый технологический цикл, утилизацию отходов и рекультивацию земель. Внедрение таких прорывных технологий позволит повысить потребительскую стоимость минерального сырья и продуктов его переработки за счет снижения затрат на их производство и повышения качества.

Реализация инновационно-технологического подхода к развитию, воспроизводству и рациональному использованию минерально-сырьевого комплекса должна проводиться по двум направлениям:

1) переоценка известных месторождений на основе современных горно-геологических, технологических, экономических решений по освоению, при этом переоценке могут подлежать не только резервные и забалансовые, но и балансовые месторождения, оцененные на уже устаревших основах (огромные запасы бедных руд с нерациональной технологией переработки);

2) поиски и оценка новых сырьевых объектов с более привлекательными технико-экономическими показателями. Ключевым компонентом эффективного развития работ по обоим направлениям являются исследования технологических свойств (технологическая оценка) минерального сырья, которые необходимо проводить с учетом использования современных достижений науки, техники, технологий. Технологическая оценка позволяет определить промышленную ценность полезных ископаемых, т.е. экономически обоснованную целесообразность вовлечения их в переработку на современном этапе развития технологий, способы и методы его передела, контролировать эффективность перерабатывающего производства и управления им, предопределять экологические последствия производств и природовосстановительные мероприятия. При этом, как показывает опыт работы последнего десятилетия, в современных условиях особенно возрастает роль экспрессной технологической оценки минерального сырья на разных стадиях ГРП, позволяющей прогнозировать его обогатимость, а также конечные характеристики химико-металлургической переработки продуктов обогащения с получением прогнозных количественных технологических показателей.

Решение задач технологической оценки минерального сырья в настоящее время осуществляется в основном методами технологической минералогии. Технологическая минералогия, являясь самостоятельным направлением прикладной минералогии, объединяет все виды минералогических исследований, связанных с изучением зависимости технологических свойств минералов от их состава и строения, поведения минералов в технологических процессах, направленного изменения свойств минералов с целью их разделения и обогащения.

Целью современной технологической минералогии является создание научных и методических предпосылок решения проблемы рационального освоения минерального сырья, максимально возможного извлечения и комплексного использования всех минералов (как главных, так и сопутствующих), расширение и укрепление отечественной минерально-сырьевой базы.

В последние годы наблюдается интенсивное развитие технологической минералогии различных видов полезных ископаемых, что определяется объективными причинами. Совершенно очевидно, что прогрессирующее ухудшение качества перерабатываемых руд, увеличение доли труднообогатимых объектов и вовлечение в переработку новых видов сырья, ранее не изучавшихся, оптимизация технологий передела и повышение экономической эффективности комплексного использования сырья сегодня невозможны без прикладных минералогических исследований.

Современный комплекс минерало-аналитических методов (высокоразрешающая оптическая и электронная микроскопия, рентгенография, рентгенотомография, люминесценция, инфракрасная и мессбауэровская спектроскопия, магнитометрия, микрорентгеноспектральный, термический и элементный анализы), обеспеченный соответствующей нормативно-методической документацией, стандартными образцами состава (СОС) и фазового состава и свойств минералов (СОФС), позволяет получать полную и всестороннюю информацию о минеральном объекте.

Особенности современных, как правило, полиминеральных комплексных руд, в том числе и техногенного генезиса, обусловленные геологическими (магматическим, тектоническим, литологическим и др.) и минералогическими (текстурно-структурные признаки, минеральный состав и пр.) факторами, определяют подход к их изучению, выбор рационального комплекса методов исследования и последовательность их применения. Следует отметить, что при решении конкретных задач, а также применительно к конкретным видам полезных ископаемых и технологическим схемам добычи и переработки используются свои комплексы методов и методик анализа элементного и минерального состава, строения и свойств объектов.

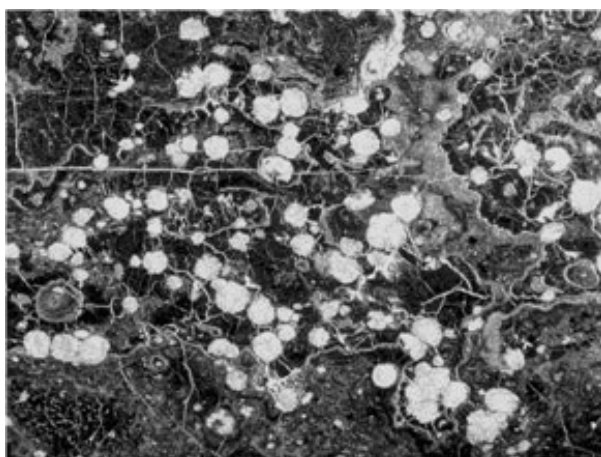
Рациональное комплексирование методов технологической минералогии позволяет определять минеральный состав исходного сырья, его структурных характеристик (размерности полезных минералов руды и характера их сростаний с другими минеральными фазами), описывать текстурные особенности руды (взаимную ориентировку минеральных агрегатов), изучать особенности распределения извлекаемых элементов по минералам руды, определять свойства минералов, влияющие на процессы обогащения.

В настоящее время во Всероссийском институте минерального сырья им. Н.М.Федоровского (ВИМС) ведутся работы по созданию эффективных технологий переработки руд черных, легирующих, цветных, редких и благородных металлов, а также нерудных полезных ископаемых. Прикладные минералогические исследования являются неотъемлемой частью этих работ. С одной стороны, минералого-аналитические исследования позволяют с высокой степенью достоверности проводить технологическую оценку исходного минерального сырья. С другой, обеспечивают минералого-аналитическое сопровождение разрабатываемых технологий переработки полезных ископаемых, в том числе контроль за ходом обогатительных процессов путем экспрессного фазового анализа продуктов обогащения.

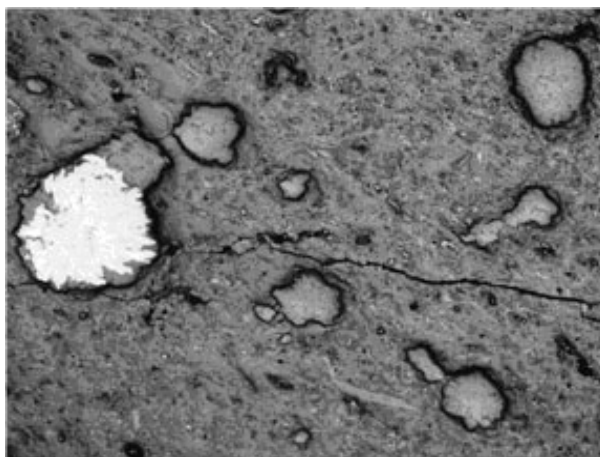
Ниже остановимся на примерах использования прикладных минералогических исследований при технологической оценке различных видов полезных ископаемых.

На современном этапе возросли экологические требования к качеству используемых в промышленности углей. В связи с этим появилась потребность в их высококачественном обогащении, предусматривающем, в первую очередь, обеззоливание и обессеривание. Исследование углей ряда месторождений России комплексом минералого-аналитических методов (оптическая микроскопия, рентгенография и рентгеномография) с целью оценки их качества и технологических свойств позволило выявить характер распределения порообразующих минералов, отвечающих за зольность, идентифицировать и количественно оценить серосодержащие фазы, определить гранулометрические и морфометрические характеристики этих минералов.

Так энергетические угли Хакасского месторождения (Минусинский бассейн) по степени отражения витринита принадлежат к переходной стадии углефикации между бурыми и каменными углями. Отражение 0,36-0,42% соответствует высшей степени метаморфизма бурых углей, переходной к каменным (стадия БД). Минеральные фазы представлены в углях слоистыми алюмосиликатами (метагаллуазитом, каолинитом, с незначительной примесью хлорита и иллита), кварцем, карбонатами и сульфидами железа (в переменных количествах). Глинистые и карбонатные минералы приурочены большей частью к основной массе угля, сложенной микрокомпонентами групп витринита, экзинита и инертита. Карбонаты представлены сидеритом, который является сингенетичным минералом и присутствует в виде оолитов и конкреций радиально-лучистого строения (рис.1а). Содержание конкреций сидерита в угле не превышает 10% их средний размер 106 мкм, максимальный – 657 мкм, средний массовый – 300 мкм. Сидерит иногда замещается марказитом (рис.1б). Характер замещения различный: от тонких корочек на поверхности конкреций до почти полных псевдоморфоз. Количество марказита в угле 0,8%; средний размер зерен составляет 63 мкм, максимальный -597 мкм, средний массовый -434 мкм.



а



б

Рис. 1. а) Оолиты сидерита в клареновом угле. Проходящий свет, николи -. б) псевдоморфоза марказита по сидериту (белое) в однородном дюреновом угле. Отраженный свет, николи -.

Из вышеизложенного следует, что уголь Хакасского месторождения является энергетическим каменным углем высокого качества. Судя по среднему массовому размеру марказита, начальная крупность его дробления с целью извлечения сульфидов должна быть 0,5 мм. Учитывая низкое содержание и относительно

хорошее раскрытие марказита, по-видимому, не следует проводить специальных операций по обессериванию угля, за исключением дробления. Содержание порообразующих минералов в целом в углях невысокое, и от большей части этих минералов, в частности, сидерита можно избавиться в процессе дробления при крупности менее 0,3 мм.

Перспективы развития отечественной минерально-сырьевой марганцеворудной базы в первую очередь сегодня связаны с созданием эффективных технологий переработки низкокачественных и труднообогатимых руд, к числу которых относятся руды Усинского месторождения (Кемеровская область).

Родохрозитовые руды Усинского месторождения характеризуются сложными текстурно-структурными соотношениями слагающих их минеральных агрегатов и пространственным совмещением разновременных минеральных ассоциаций и генераций рудных минералов.

Минералогическими исследованиями установлено, что главный рудный минерал, содержание которого в руде составляет порядка 70%, представлен тремя генерациями, различающимися морфологическими особенностями, составом и свойствами. Количественно в руде преобладает родохрозит II генерации тонко-мелкокристаллического строения с содержанием марганца 38,6-39,0%. Родохрозит I генерации скрытокристаллического строения, содержащий 42,15-43,85% марганца, присутствует в весьма незначительном количестве. Родохрозит III генерации, присутствующий в виде прожилков и гнездовидных выделений, имеет крупно-среднекристаллическую структуру и содержит 34,18-34,54% марганца, также встречается в подчиненном количестве. Особенностью родохрозита II являются многочисленные включения силикатов марганца (пироксмангита, бементита, фриделита и тефроита). Характер сростания силикатов марганца с родохрозитом, по данным рентгенотомографического анализа, однозначно свидетельствует о невозможности избавиться от них и селективно выделить карбонатные марганцевые минералы в отдельные продукты физическими методами сепарации. Исходя из этого следует, что качество концентратов будет определять доминирующий в руде родохрозит II и силикаты марганца, отвечающие за варьирующее содержание кремнезема в продуктах обогащения.

На качество марганцевых продуктов и концентратов в значительной степени влияет содержание в них фосфора, а, следовательно, его минеральных фаз. В карбонатных и окисленных марганцевых рудах Усинского месторождения впервые установлены минералы фосфора: апатит, кингсмаунтит и штрентит (рис.2).

При этом следует отметить, что для идентификации и определения характера распределения минеральных фаз фосфора пришлось использовать дорогостоящие и трудоемкие методы аналитической электронной микроскопии. Это лишний раз подчеркивает, что современные руды даже при их прогнозной технологической оценке требуют применения расширенного комплекса минералогических методов исследования.

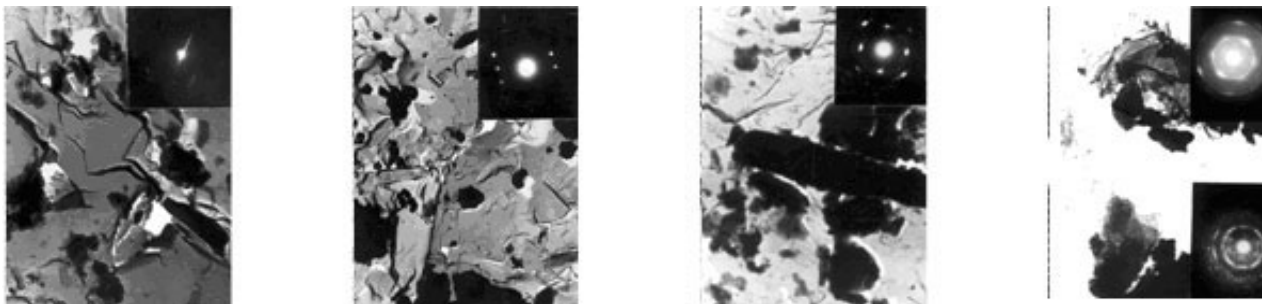


Рис. 2. Минеральные формы фосфора в рудах Усинского месторождения:

а) Кингсмаунтит в родохрозите. Реплика со скола, увел. 22000; б, в) Апатит в родохрозите. Реплика со скола, увел. 16000 и 9000 соответственно; г) Штрентит в рансьеит-гетитовом агрегате. Реплика со скола, увел. 10000

Не менее интересны в плане применения методов технологической минералогии для прогнозной оценки техногенного сырья породные отвалы угольных месторождений (терриконы). В качестве примера в отвалах Ростовского угольного бассейна, содержится 22,3% Al_2O_3 , 55,45% SiO_2 , 6,7% Fe_2O_3 . Минералогическими исследованиями установлено, что «спек» угля представляет собой достаточно однородный материал скрытокристаллического строения, в котором неравномерно распределены вкрапленники рудных фаз различной формы и размеров. Матрица «спека» обнаруживает гетерогенное строение, что связано как с неравномерным распределением главных техногенных фаз, так и с различным содержанием «порообразующих» компонентов в единой рентгеноаморфной фазе, на долю которой приходится 50%.

Наряду с кварцем, являющимся главной минеральной фазой, установлены индивидуализированные зерна муллита и кордиерита, в подчиненном количестве присутствует полевой шпат.

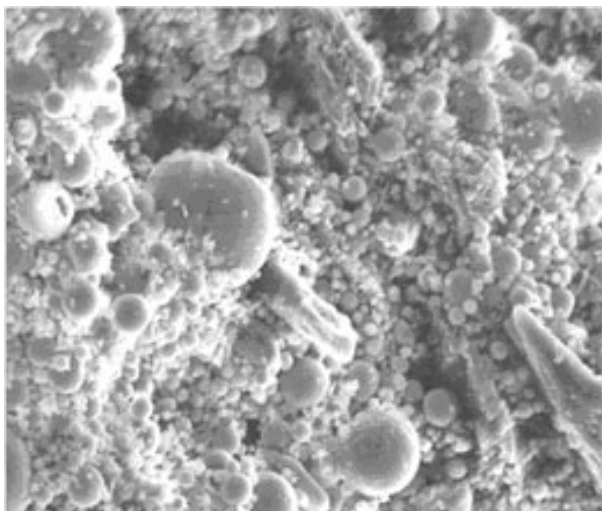


Рис. 3. Кремнисто-алюминиевые и алюминиево-кремнистые образования. Растровый электронный микроскоп

Электронно-микроскопическим анализом выявлено, что рентгеноаморфная фаза большей частью сложена плотно упакованными округлыми выделениями размером от сотых долей до 1 мкм, полыми внутри, имеющими алюминий – кремнистый состав и кремнисто-алюминиевый состав (рис.3). Содержание алюминия в них варьирует от 9,8% до 30,6%, а кремния – от 11,9% до 46,9% .

Полученные данные позволяют говорить о потенциальной возможности использования угольных отвалов в качестве алюминиевого сырья. Однако, форма нахождения алюминия и размер выделений потребуют разработки специальных технологий получения глиноземистых продуктов.

В связи с тем, что современные минерально-сырьевые объекты, в большинстве своем, относятся к категории труднообогатимых, в последние годы резко возросла роль прикладных минералогических исследований, которые позволяют с достаточно высокой степенью достоверности проводить прогнозную технологи-

ческую оценку полезных ископаемых на разных стадиях изучения и освоения месторождений. Совершенно очевидно, что технологическая минералогия с каждым годом приобретает все большее значение в комплексе геологоразведочных работ, в первую очередь, новых видов сырья. Ее методы и приемы позволяют с минимальными затратами проводить оценку технологических свойств сырья, и способствуют созданию эффективных технологий их переработки, предусматривающих максимально возможное извлечение всех полезных минералов.

ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ НАНОМИНЕРАЛЫ И ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ

О.Б.Котова

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН

В нашу жизнь входят индустриальные наноминералы. Это отражается не только в общих тенденциях перехода научных исследований на наноуровень, не только в научных и технических достижениях этого направления, но и в скачке финансирования нанотехнологий и поддержке научных программ как приоритетных междисциплинарных направлений науки и техники [9]. Представление о масштабности и динамике развития дисциплин нанотехнологического направления можно получить и по экспоненциальному росту числа публикаций.

Понятие нано- в свете современных проблем технологической минералогии и комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья не ново, но понимание всего спектра перспектив и возможностей только формируется. Сегодня основным объектом обогащения является не только руда (традиционный объект внимания технологов-обогащителей), по промышленной значимости не менее главным объектом обогащения становятся техногенные образования, а основные тенденции развития рудоподготовки к обогащению заключаются в снижении конечной крупности продукта [2]. В технологические схемы вовлекаются тонкодисперсные руды, учет размерности частиц становится определяющим фактором в технологиях обогащения. Вовлечение нового поколения минерального сырья – индустриальных наноминералов в обогащительные технологии ведет к изменению понятия самого полезного компонента. Наноразмерные технологии предполагают изучение и внедрение механизмов извлечения ценных компонент на молекулярном, атомарном и электронном уровнях, когда появляется возможность управления технологическими процессами на уровне формирования полезного компонента [4, 7].

Проникновение в наноразмерную технологическую минералогию начинается с осознания понятия поверхностей или приповерхностной области S наноминерального вещества. С уменьшением размеров в области 1-100 нм наноминерал как структурная единица представляется почти пределом в увеличении площади поверхности. Высокая область поверхности (площадь поверхности) обеспечивает очень специфические характеристики наноминералам, которые и создают непредсказуемый потенциал нанотехнологиям, в том числе и в процессах обогащения. Речь идет о необычных физических, химических и механических свойствах наноминералов, изменяющих кинетические и динамические характеристики. Кроме того, для нанообъектов характерно другое время протекания процессов и явлений: в силу особых физико-химических и геометрических ха-