

руд металлов и промышленных минералов на ранних стадиях геолого-разведочных работ: сб. статей. Петрозаводск: изд. КарНЦ РАН, 2006. С. 75–82.

10. Мелентьев Г.Б. Детальное минералого-геохимическое картирование объектов недропользования и отходов производства как способ их комплексной ресурсно-экологической инвентаризации и оценки в целях рационального использования // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов: Материалы 2-й Международной конф. Петрозаводск: изд. КарНЦ РАН, 2005. С. 122–125.

11. Творческое наследие К.А. Власова в редкометальном пегматитообразовании и его прикладные следствия // Прикладная геохимия сб. статей к 100-летию К.А. Власова. М.: изд. ФГУП ИМГРЭ МПР РФ и РАН, 2005. Вып. 7. С. 307–324.

12. Мелентьев Г.Б. Новая петрологическая модель формирования редкометальных месторождений гранитовой формации и ее роль в разработке объемно-количественной методики их прогнозирования, поисков перспективной оценки // Локальное прогнозирование и перспективная оценка эндогенных сырьевых источников редких металлов: сб. статей / Ред. В.В. Иванов, Г.Б. Мелентьев. М.: изд. ИМГРЭ, 1987. С. 7–44.

13. Принципы и методы крупномасштабного прогнозирования редкометальных месторождений / Ред. В.В. Булдаков, Г.Б. Мелентьев. М.: ИМГРЭ, 1978. С. 178.

14. Мелентьев Г.Б., Торикова М.В., Зубков А.А., Линде Т.П., Делицын Л.М. Перспективы организации производства редких металлов в государствах Средней Азии за счет комплексной переработки и использования природного и техногенного сырья инновационными горно-технологическими предприятиями // Материалы V Конгресса обогатителей стран СНГ. М.: изд. Альтекс – МИСИС, 2006. Т. 3. С. 110–120.

15. Солодов Н.А. Научные основы перспективной оценки редкометальных пегматитов. М.: Наука, 1971.

16. Мелентьев Г.Б. Состояние и перспективы развития титановых производств с попутным получением редкометального и алюмосиликатного сырья: современное состояние и перспективы. - Апатиты: изд-во КНЦ РАН, 2006. С. 178–189.

17. Букарь В.П., Самаев С.Б., Мелентьев Г.Б. Экспрессно-аналитические методы в практике геолого-геохимических поисков рудного сырья и геоэкологической оценки урбанизированных территорий // Новые направления и методы поисков месторождений полезных ископаемых: матер. Конференции. – Челябинск: изд. Дом ученых, 2004. С. 31–34.

18. Мелентьев Г.Б., Шелков Е.М., Делицын Л.М. Возможности и перспективы повышения эффективности железорудно-металлургических производств за счет прямых переделов и комплексного использования сырья // Материалы VI Конгресса обогатителей стран СНГ. М.: изд. МИСиС, 2007. С. 77–83.

19. Мелентьев Г.Б., Самонов А.Е., Делицын Л.М., Малинина Е.Н., Самонов А.А. Геолого-экономические перспективы и риски комплексного промышленного освоения фланговых месторождений Хибин с получением высоколиквидной конечной продукции // Темпы и пропорции социально-экономических процессов в регионах Севера: тез. докл. междунар. конф. - Апатиты: изд. КНЦ РАН, 2007. С. 63–65.

20. Методы изучения рассеянных металлов в глиноземном сырье и возможности их попутного получения / Отв. ред. Иванов В.В., Мелентьев Г.Б. - М.: изд. ИМГРЭ Мингео СССР, 1988. 163 с..

21. Мелентьев Г.Б., Самаев С.Б., Букарь В.П., Сахаров И.В., Малинина Е.Н. Интегрированная геоэкологическая оценка территорий в целях предупреждения природно-техногенных катастроф и профилактики экологически обусловленной заболеваемости населения // Экология промышленного производства. М.: изд. ФГУП ВИМИ, 2005. Вып. 2. С. 15–25.

22. Осечинская Т.С., Мелентьев Г.Б., Дубова М.Н., Ляпунов С.Н. и др. Медико-экологическая оценка селитебно-промышленных и особо охраняемых территорий как информационная основа их зонирования, профилактики и снижения заболеваемости // Энергетика, экология, экономика средних и малых городов. Пути их решения: матер. Всесоюз. конф. М.: изд. ФГУП ВИМИ. С. 76–85.

23. Мелентьев Г.Б., Делицын Л.М., Шелков Е.М., Власов А.С. Перспективы создания межрегиональных эшелонированных систем водозащиты и водоочистки на площади водосборных бассейнов // Экология промышленного производства. М.: изд. ФГУП ВИМИ, 2006. Вып. 3. С. 33–49.

МОРФОСТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Ожогина Е.Г., Кузьмин В.И., Рогожин А.А.

ФГУП «ВИМС», г. Москва

Расширение отечественной минерально-сырьевой базы сегодня практически невозможно без технологической минералогии, которая позволяет интенсифицировать все геологоразведочные и горно-эксплуатационные работы, направленные на прирост запасов за счет комплексного использования сырья с максимально возможным извлечением всех полезных компонентов и утилизацией отходов его переработки. В связи с этим главной задачей технологической минералогии является оценка технологических свойств минерального сырья на разных стадиях геологического изучения и освоения месторождений полезных ископаемых. Технологическая оценка минерально-сырьевых объектов позволяет прогнозировать экономически обоснованную целесообразность вовлечения их в переработку на современном этапе развития технологий, методы и способы его обогащения, контролировать эффективность перерабатывающего производства и управления им, определять экологические последствия переработки и природоохранные мероприятия.

Оценка качества минерального сырья во многом основывается на определении его морфоструктурных характеристик, т.е. фазового (минерального состава) и текстурно-структурных особенностей. Те же задачи возникают и при изучении горных пород, а также техногенных минеральных образований в связи с вовлечением их в рециклинг и решением экологических проблем. В данной области исследований накоплен громадный информационный материал, но в основном он по своему характеру является описательным, т.е. качественным. В тоже время для точной идентификации, сопоставления, разработки номенклатуры и оценки различных горных пород, руд и техногенных продуктов необходим ряд количественных параметров, характеризующих структуру объекта во всем его многообразии и сложности. Особенно необходимо знание таких параметров при проведении прогнозной оценки обогатимости и разработке технологических схем передела руд. К таким параметрам относятся количественные данные о минеральном составе, размере отдельных фаз, морфологии зерен, их взаимоотношениях и ориентировке в объеме исследуемого объекта.

Общепризнанным методом, позволяющим проводить количественный морфоструктурный анализ, считается оптико-геометрический метод, имеющий двухвековую историю. В России применение оптико-геометрического метода в практике минералогических исследований началось в Институте прикладной минералогии (ныне ВИМС) в начале 30-х годов прошлого столетия. Группа сотрудников ВИМСа под руководством В.В. Аршинова обосновала и разработала как сам метод, так и создала несколько механических и электромеханических приспособлений для облегчения ручного труда при проведении анализа, что способствовало активному внедрению метода в практику («пуш-интегратор» Глаголева) [1]. Несколько позже А.А. Глаголев попытался автоматизировать количественный минералогический (фазовый) анализ на основе сканирования препаратов под микроскопом и автоматического распознавания минералов по интенсивности относительного отражения или поглощения света с помощью фотоэлемента. Однако в практику лабораторных исследований эти методы внедрялись с трудом, что было связано с рядом аппаратных ограничений при распознавании объектов исследования по их оптическим свойствам, низкой экспрессностью и ограниченными возможностями методики при морфоструктурных измерениях.

Внимание к методам оптико-геометрического анализа во всем мире существенно повысилось после окончания второй мировой войны. Появился ряд работ, развивающих теоретические основы этого вида анализа на принципах стереометрии, но преимущественно для металлографических приложений [2]. Это ограничивало применение разработанных методических приемов в прикладной минералогии, поскольку металлографическая стереология в основном имеет дело с изометричными зёрнами, что в минералогии является скорее исключением, чем правилом. Однако наряду с такими исследованиями проводились работы по применению оптико-геометрического анализа для минералогических объектов с использованием усовершенствованных линейно- или точечно-сканирующих автоматических систем.

В середине второй половины XX века почти одновременно в разных странах были созданы сложные оптоэлектронные кибернетические системы – анализаторы изображения, обеспечивающие проведение автоматического количественного анализа гетерогенных объектов с выделением в процессе анализа тех или иных компонентов (фаз), составляющих эти объекты, и их математической обработкой для определения геометрических параметров этих фаз (площадь, длина, ширина, периметр, ориентация и др.). При этом обеспечивалась экспрессность исследований. Выпускавшиеся в индустриально-развитых странах такие системы в основном можно охарактеризовать как системы обработки, а не только анализа изображений. Как правило, эти системы не обеспечивали гибкости программирования и не могли быстро адаптироваться к разным типам объектов морфоструктурного исследования, т.к. ряд алгоритмов обработки изображения в них был реализован в определенном аппаратном оформлении. Их эффективное использование было возможно только в рамках методик, предусмотренных фирмой-изготовителем применительно к конкретным задачам и объектам.

В настоящее время возможности анализа изображений значительно расширились, что обусловлено объективными причинами. Например, морфоструктурный анализ тонкодисперсных руд сегодня невозможен без привлечения методов электронной микроскопии. Выявление и диагностика полезных минералов микро- и нанометровой размерности, нередко присутствующих в незначительных количествах в современных рудах, проводится методами растровой и просвечивающей электронной микроскопии. Полученные планиметрические характеристики объектов, изображения которых регистрируются электронными приборами системы анализа и подвергаются цифровому преобразованию с целью селективного выделения и последующего расчета их морфоструктурных параметров.

В последние годы в прикладных минералогических исследованиях активно используется рентгеномографический анализ, позволяющий проводить определение морфоструктурных параметров гетерогенных объектов. В основе метода рентгеновской микротомографии лежит реконструкция (восстановление) пространственного распределения величины линейного коэффициента ослабления рентгеновского излучения в плоском слое образца исследования на основе компьютерной математической обработки теневых проекций, получаемых при просвечивании образца рентгеновским лучом по различным направлениям вдоль исследуемого слоя. На основании анализа отснятых томограмм (оцифрованных изображений тонких плоских слоев), получаемых путем послойного сканирования объекта, выявляются особенности распределения минеральных фаз (гранулометрия и морфометрия зерен минералов). К сожалению, определение фазового состава руд методом рентгенографии затруднено, т.к. практически отсутствуют данные о коэффициентах ослабления конкретных минералов.

Анализ изображений – это комплекс научно-методических подходов к геометрическим, рефлектометрическим и денситометрическим оценкам изображений в нашем случае различных видов минерального сырья природного или техногенного происхождения. Современный анализ изображений по существу является морфоструктурным анализом, который с момента возникновения и до настоящего времени является прямым методом количественного минералогического анализа руд и пород. Полная автоматизация методов (оптической и электронной микроскопии, рентгеномографии), обеспеченная зарубежными и отечественными системами анализа изображений, привела к значительному расширению его возможностей. Сегодня в процессе анализа возможно не только селективное выделение минералов (фаз) с последующим измерением и математической обработкой их геометрических параметров (длина, ширина, площадь, периметр и пр.), но и детальное интроскопическое (трехмерное) описание и измерение объектов методом рентгеномографии. Это позволяет осуществлять количественный морфоструктурный анализ, включающий определение фазового и гранулярного состава руд и пород, устанавливать морфометрические характеристики слагающих их минеральных и (или) техногенных фаз.

При технологической оценке сырья морфоструктурные исследования позволяют получить информацию о текстурно-структурных характеристиках полезных ископаемых, их фазовом составе, что, в свою очередь, позволяет выбрать оптимальный режим рудоподготовки, обеспечивающий полное раскрытие рудных минералов, оптимальную глубину обогащения (оптимальное сочетание механического и химико-металлургического переделов); рекомендовать рациональную технологическую схему, прогнозировать основные технологические показатели, которые можно получить в процессе переработки минерального сырья по рекомендуемой схеме, и учесть неизбежные технологические потери.

При комплексировании морфоструктурного анализа, прежде всего, с рентгенофазовым методом объем получаемой полезной информации позволяет ответить почти на все вопросы, возникающие при проведении технологических исследований руд сложного состава, при решении геоэкологических проблем и в других областях, требующих проведения морфоструктурных исследований. Автоматический анализ изображений (морфоструктурный анализ) способствует решению основных практических задач на всех стадиях производственного процесса в общем комплексе геологоразведочных работ.

На *поисковой стадии* изучение препаратов (шлифов и брикетов) с помощью оптических систем анализа изображений позволяет выявить и охарактеризовать текстурные разновидности руд и пород, определить минеральный состав предполагаемого объекта (рудопоявления или месторождения) и дополнить обоснование рекомендации о целесообразности проведения дальнейших ГРР.

На *поисково-оценочной стадии* с исследованием проб большей массы (10-50 кг), увеличивается объем работ, выполнению которых существенно способствует использование автоматического анализа изображений методами оптической микроскопии и рентгенографии. Определяется характер распределения конкретных минералов по классам крупности, выявляются морфоструктурные характеристики рудных и породообразующих минералов, обуславливающие особенности их раскрытия в процессе рудоподготовки. Проведенные исследования позволяют оценить качество сырья с технологической и экологической точки зрения и рекомендовать направления его дальнейшего исследования.

Обоснование целесообразности освоения месторождений. В последние годы именно в этом направлении проводится большой объем работ, по минералого-технологической оценке маломасштабных и резервных месторождений, геолого-экономической переоценке месторождений с учетом складывающейся коммерческой конъюнктуры, а также по технологической экспертизе проектных решений, как ранее принятых, так и современных. В этом случае прогнозная оценка качества и технологических свойств сырья с помощью автоматического анализа изображений дает дополнительный материал для повышения инвестиционной привлекательности объекта.

В качестве примера приведем результаты морфоструктурных исследований при прогнозной технологической оценке карбонатных марганцевых руд Тынынского месторождения, расположенного в Северо-Уральском марганцеворудном бассейне и относящегося к месторождениям никопольского типа [3]. Марганцевосные формации локализовались среди терригенных отложений глауконит - кварцевого состава. В рудах присутствуют две генетические группы минералов: терригенные, к которым относятся кварц, полевые шпаты, амфибол и аутигенные, главными из которых являются родохрозит и глауконит, второстепенными – опал, кальцит, минералы фосфора, имеющие биогенное происхождение.

В изученных пробах количественно преобладают конкреционно-глинистые и песчано-глинистые руды, характеризующиеся сложным текстурным рисунком. В подчиненном количестве присутствуют песчанистые и кремнистые разновидности. Песчано-глинистые, песчанистые, а также в кремнистые руды в основном имеют слоистые текстуры, обусловленные чередованием слоев различной мощности, различающихся как по количеству терригенного или кремнистого материала, так и по структуре главного рудного минерала – родохрозита. Наряду со слоистыми текстурами, в рудах широко распространены обломочные, цементные, прожилковые, брекчиевидные, конгломератовидные текстуры.

По минеральному составу руды существенно родохрозитовые (30–52%) со значительным содержанием кремнистого (18–21%) и глинистого (16–34%) материала. Из второстепенных минералов присутствуют манганокальцит (3–4%), полевой шпат (9%), пирит (1–2%), гидроксиды марганца и железа (около 1%), иногда кальцит (менее 1%). В незначительном количестве обнаружены апатит (франколит), магнетит, ильменит, амфибол, турмалин.

Родохрозит – главный рудный минерал присутствует в виде плотных, реже относительно рыхлых агрегатов различной формы (округлой, почковидной, неправильной). В шлифах четко выделяется три морфологические разновидности этого минерала: оолитовая (сферолитовая), тонко-мелкозернистая и иногда среднезернистая. Соотношение первых двух разновидностей непостоянно и изменяется в широких пределах. По составу и физическим свойствам родохрозит разных морфологических разновидностей отличается незначительно.

Одной из наиболее информативных генетических характеристик руды являются ее текстурно-структурные признаки, отражающие условия минералообразования. В то же время текстурно-структурные особенности являются главным фактором, влияющим на технологические свойства руды, определяющим число стадий и конечную крупность дробления руды, возможность получения отвальных хвостов и эффективность раскрытия рудообразующих минералов, т.е. глубину обогащения.

Характер раскрытия родохрозита изучался на классифицированном материале крупностью –6+0,044 мм (табл. 1). В материале крупностью –6+3 мм родохрозит присутствует лишь в составе сростков в основном со слоистыми силикатами и опалом. Большею частью это обломки песчаников, алевролитов, фрагменты конкреций (рис.1). Рентгенотомографическим анализом выявлено, что в состав таких сростков в незначительном количестве входят манганокальцит и кальцит.

Таблица 1

Степень раскрытия родохрозита, %

Характер сростаний	Классы крупности, мм					
	–6+3	– 3+1	–1+0,5	–0,5+0,2	–0,2+0,1	–0,1+0,044
Свободные зерна	Н.о	1	20	46	65	92
Богатые сростки	97	97	70	51	35	8
Бедные сростки	3	2	10	3	Н.о	Н.о.

Примечание: Н.о. – не обнаружено.

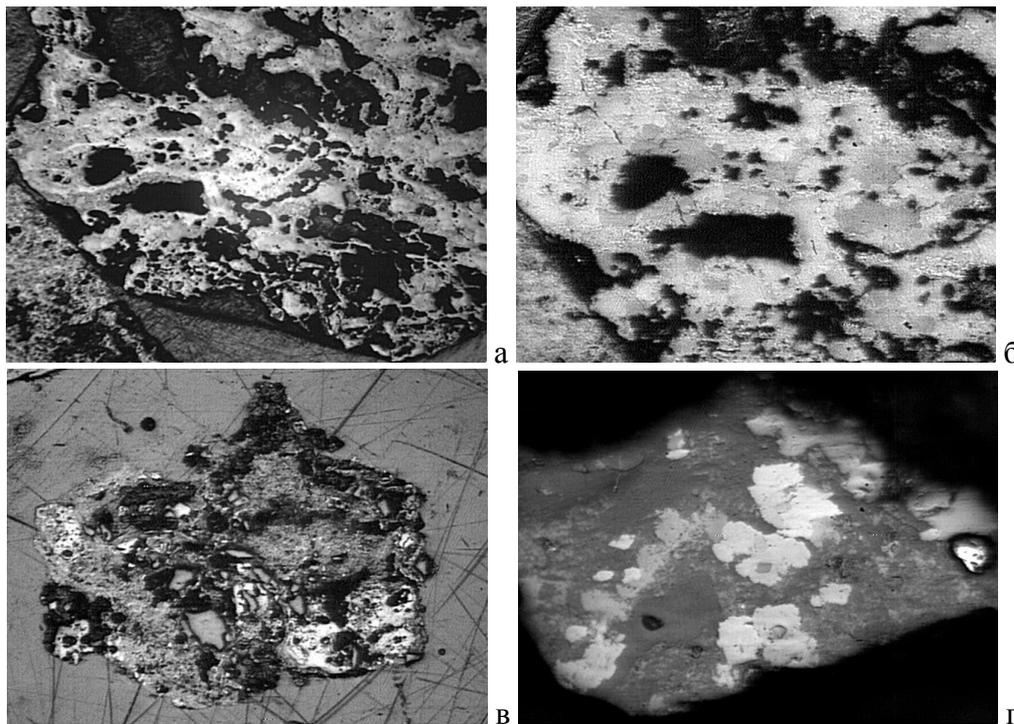


Рис. 1. Сростки родохрозита в материале крупностью –6+3 мм: а – сросток родохрозита (светло-серое) с глинистыми минералами (темно-серое), увел.25; б – сросток родохрозита (светло – серое) с глинистыми минералами (темно-серое), увел 40; в) – полиминеральный агрегат родохрозита (светло-серое), увел.40; г – бедный сросток родохрозита с опалом (серое) и глинистыми минералами (темно-серое), увел.100

В материале крупностью $-3+1$ мм наблюдается практически та же картина. Богатые сростки родохрозита представляют собой полиминеральные агрегаты, состоящие из нескольких минералов, основным из которых является родохрозит (рис.2 а-г). Единичные свободные зерна родохрозита – это, как правило, сферолиты, либо зерна панидиоморфной и ксеноморфной формы (рис.2 д,е).

В материале крупностью -1 мм прослеживается тенденция раскрытия родохрозита от крупных классов к тонким. В классе крупности $-1+0,5$ мм отмечается до 20% свободных зерен родохрозита (рис.3 а). Богатые сростки аналогичны таковым, наблюдаемым в крупных классах (рис.3 б-г). Бедные сростки представляют собой карбонатно-глинистые и карбонатно-кремнистые агрегаты.

В материале крупностью $-0,5+0,2$ мм количество свободных зерен увеличивается более чем в два раза. Максимальное содержание (92%) свободных зерен родохрозита отмечается в материале крупностью $-0,1+0,044$ мм. Однако, даже в этом случае не происходит полного раскрытия родохрозита. Богатые сростки, присутствующие в незначительном количестве (8%), представляют собой родохрозит с тонкими включениями опала, глауконита и монтмориллонита, что подтверждено рентгенографическим анализом.

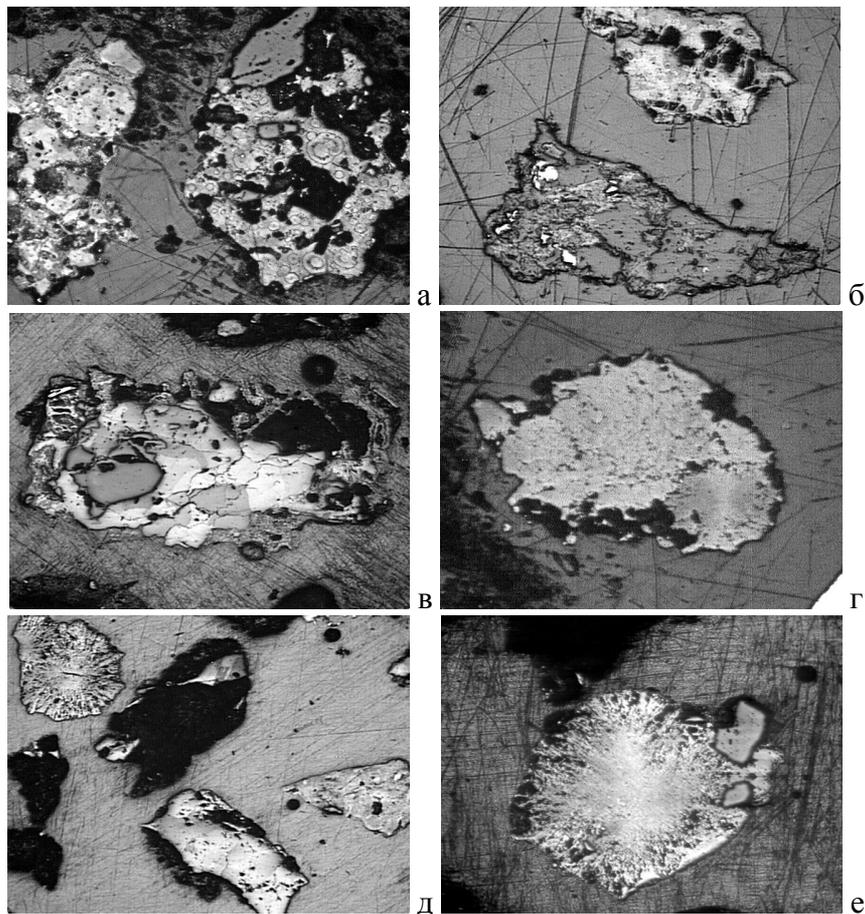


Рис. 2. Родохрозит в материале крупностью $-3+1$ мм. а-г – полиминеральные агрегаты (родохрозит – светло-серое, серое, глинистые минералы – темно-серое), увел.40. д, е – свободные зерна родохрозита, увел.40

Материал крупностью $-0,5+0,044$ исследован методом автоматического анализа изображений (оптико-геометрический метод) с целью выявления гранулометрических и морфометрических характеристик родохрозита. Установлено, что максимальная длина зерен родохрозита изменяется от 0,18 мм до 0,3 мм (табл.2). Известно, что максимальная длина зерен минерала соответствует крупности измельчения руды, при которой начинается раскрытие этого минерала. В нашем случае, следовательно, раскрытие родохрозита должно начинаться при крупности 0,3 мм, что соответствует действительности. Зерна родохрозита характеризуются средним удлинением (отношением длины к ширине зерна), причем минимальное удлинение, величина которого ниже средней (1,4–1,8), типично для крупных оолитов размером более 0,2 мм, что обусловлено их округлой формой. Максимальное удлинение присуще оолитам эллипсоидальной и лепешковидной формы, имеющим размеры менее 0,2 мм. Невысокие значения удлинения свидетельствуют о достаточно хорошем извлечении родохрозита.

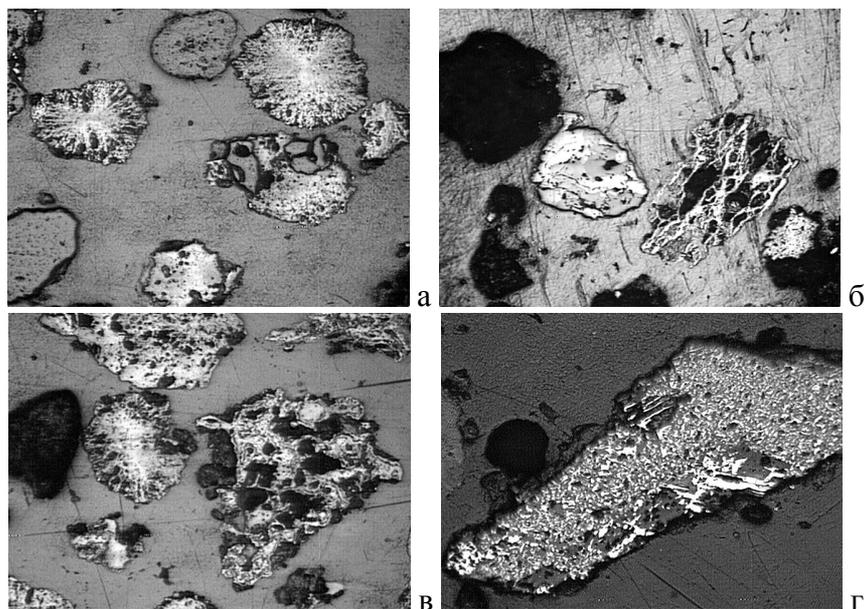


Рис. 3. Родохрозит в материале крупностью $-1+0,5$ мм: а – свободные зерна родохрознта, увел.40; б, в – полиминеральные агрегаты (родохрозит – светло-серое, глинистые минералы – темно-серое), увел.40; г – родохрозит тонко-мелкозернистого строения (светло-серое, белое) с тонкодисперсными включениями глинистых минералов (темно-серое), увел.100

Таблица 2

Морфометрические характеристики родохрознта

Морфология выделений	Размер, мкм			Удлинение
	Средний	Минимальный	Максимальный	
Оолиты округлой формы	200	100	300	1,15
Оолиты эллипсоидальной формы	70	30	180	1,65
Сферолиты	159	88	272	1,41
Зерна панидиоморфной формы	80	40	250	1,55

Особенностью данной руды является значительное количество слоистых алюмосиликатов, которые негативно влияют на процессы рудоподготовки. Глинистые минералы присутствуют как в виде самостоятельных агрегатов, так и в виде включений в родохрознте. Наряду с индивидуализированными агрегатами, представленными, в основном, глауконитом, присутствуют глинистые агрегаты, сложенные монтмориллонитом, каолинитом и хлоритом, идентифицированными рентгенографическим анализом. Большой частью эти минералы находятся в тесной ассоциации с родохрознтом, поэтому при дезинтеграции руды образуются полиминеральные агрегаты с варьирующим содержанием карбонатного, глинистого и реже кремнистого материала. Слоистые алюмосиликаты, с одной стороны, образуют плотные корочки и различного рода примазки на рудообразующих минералах, от которых частично или полностью возможно избавиться. С другой стороны, они входят в состав родохрознтовых агрегатов, обуславливая их неоднородное строение. Как правило, в этом случае даже тонкое измельчение материала не позволяет получить полностью раскрытых зерен родохрознта.

На результаты разделения минералов в первую очередь влияет крупность сепарируемого материала, так как при ее изменении меняются величины и качественная роль сил, участвующих в процессе сепарации, поэтому важно определить роль глинистых минералов при дроблении и измельчении руды. Влияние способов дробления на селективность раскрытия материала и в дальнейшем на эффективность магнитной сепарации и установления оптимальной крупности сепарируемого материала изучено на материале отсева щековой дробилки крупностью $-10+0$ мм и материале, прошедшем оттирку в вибромельнице.

Изучение гранулометрической характеристики руды, отобранной при разгрузке щековой дробилки, проведено при мокром и сухом способе отсева. При сухом отсеве практически 90% материала сосредоточено в крупных классах руды ($+1$ мм). При мокром отсеве выход крупного класса ($-10+6$ мм) снижается до 41%. Выход класса $-0,5+0$ мм существенно увеличивается и составляет 42,3%. Методом рентгеновской микротомографии установлено, что в мытой пробе содержание глинистых минералов значительно ниже (рис. 4). Однако при уменьшении крупности зерен в дезинтегрированном материале различие в фазовом составе материала исходной (сухой отсев) и мытой руды нивелируется. В материале крупностью менее 1 мм значительно увеличивается количество родохрознта. Текстурно-структурные характеристики и минеральный состав руд Тынинского месторождения предопределяют комбинированную технологию их обогащения, в которой впервые технологами ВИМСа использованы сухие методы [4].

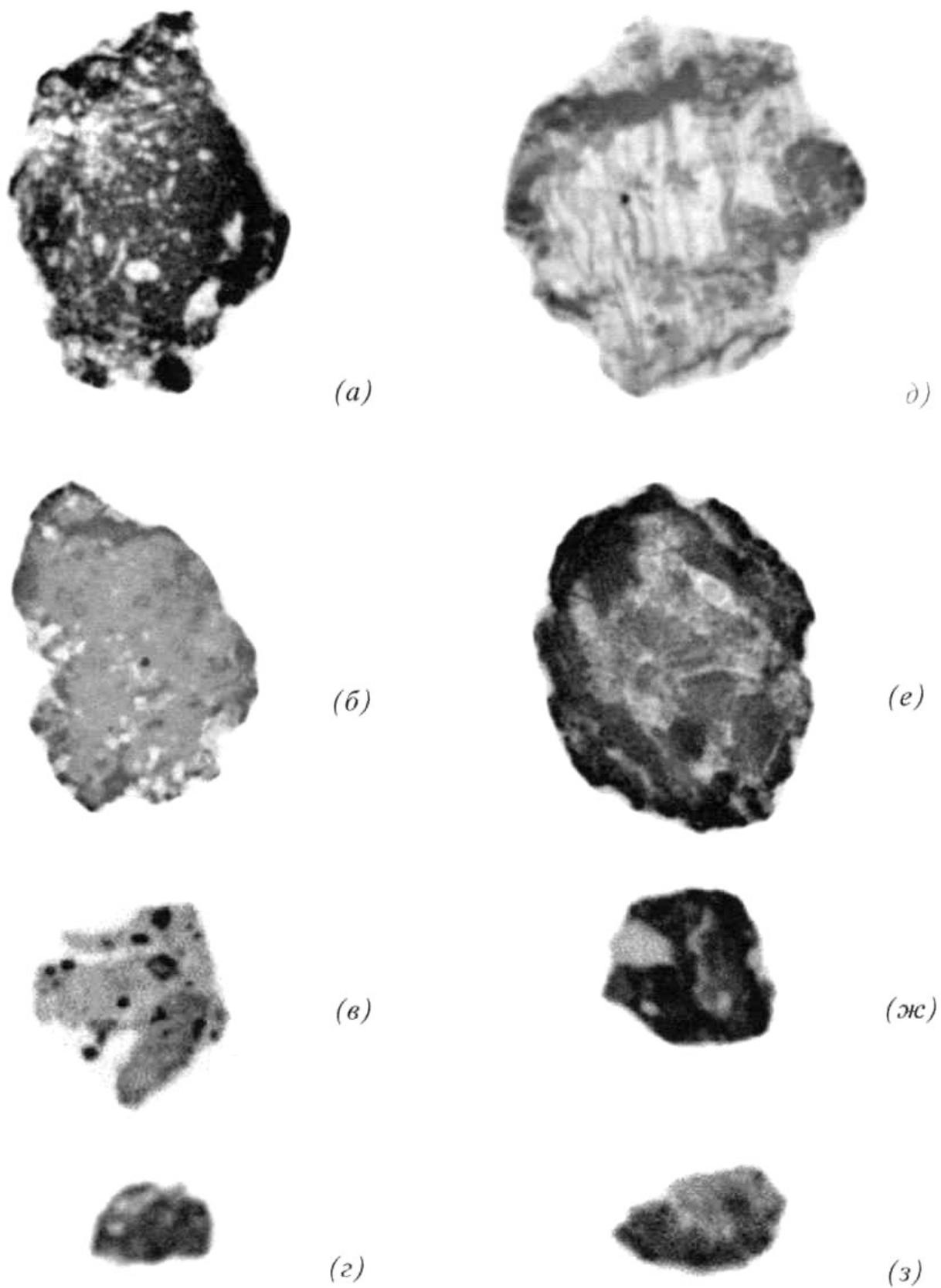


Рис. 4. Томограммы карбонатной марганцевой руды (родохрозит – темно-серое, глинистые минералы – серое, опал, кварц – белое). Исходная руда (а–г): а) класс –10+6 мм; б) класс –6,3+3,2 мм; в) класс –3,2+1 мм; г) класс –1+0,5 мм. «Мытая руда» (д–з): д) класс –10+6 мм; е) класс –6,3+3,2 мм; ж) класс –3,2+1 мм; з) класс –1+0,5 мм)

Морфоструктурные исследования сегодня широко используются в практике геологоразведочных работ. Совмещение автоматических систем анализа изображений с современными высокоразрешающими оптическими микроскопами позволило поднять минералогические исследования на современный уровень и сделать их неотъемлемой частью комплекса методов исследования не только для изучения текстурно-структурного рисунка руд и пород, но и их фазового состава. Комплексирующие методы оптической микроскопии с рентгеномографией позволило снять ограничения, связанные с близостью оптических свойств минералов, что в значительной степени затрудняло определение их морфометрических характеристик. Технологическая оценка тонкодисперсного сырья требует привлечение морфоструктурного анализа, проводимого с помощью электронных систем анализа изображений (электронная микроскопия и микрорентгеноспектральный анализ), необходимого, прежде всего, для определения размерности зерен (или частиц) минералов и их морфометрии, оценка которых сегодня становится определяющим фактором в технологиях обогащения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ изображения для решения теоретических и практических минералого-технологических задач / под. ред. В.И. Кузьмина. М.: изд. ВИМС, 1991. 125 с.
2. *Салтыков С.А.* Стереологическая металлография (стереология металлических материалов). М.: изд. Metallургия, 1976. 90 с.
3. *Марганец* / Трубецкой К.Н., Чантурия В.А., Воробьев А.Е. и др. М.: изд. Академия горных наук, 1999. 271 с.
4. *Литвинцев Э.Г., Тигунов Л.П.* Рациональные методы обогащения карбонатных и смешанных марганцевых руд // Состояние марганцеворудной базы России: промышленности марганца. Екатеринбург, 2000. С. 171–176.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НАНОРАЗМЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Котова О.Б., Понарядов А.В.

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН

В современных условиях от геотехнологий требуется эффективное использование минерального сырья на основе не только глубокого понимания его физико-химических свойств, но и умения целенаправленно, иногда на наноуровне, изменять эти свойства, что, несомненно, даст толчок к разработке принципиально новых технологий комплексного использования минерального сырья, в том числе с привлечением нетрадиционных видов. Нетрадиционные ресурсы, благодаря своей специфике, приносят много нового, поэтому вовлечение такого сырья в промышленную переработку предшествуют исследованию состава, строения и физико-химических свойств современными аналитическими методами. Выявление связей и природы зависимости технологических свойств сырья от особенностей их вещественного состава, обусловленных генезисом и последующими техногенными воздействиями, в настоящее время является одной из главных задач технологической минералогии, решение которой позволяет прогнозировать поведение сырья в технологических процессах и качество получаемых продуктов. Результаты подобного рода исследований генерируют новые технологии, которые в свою очередь ставят новые задачи перед технологической минералогией. Примером такой обратной связи служит введение в технологии обогащения нового поколения минерального сырья – индустриальных наноминералов [1, 2, 3].

Нами опробована методика формирования наноструктур, разработаны приемы и методы модификации свойств поверхности наноразмерных оксидных минералов на примере диоксида титана. Выявлена кинетика сорбции CO_2 для нано- TiO_2 . Проводимые исследования позволяют модифицировать свойства поверхности минерального сырья в нанотехнологических процессах, в том числе при формировании полезного компонента.

Существует три основных метода получения наноструктурированных материалов на основе диоксида титана: темплатный метод, анодное окисление, химический метод. Последний метод используется для получения наночастиц слоистой структуры. Впервые нанотрубки диоксида титана были получены с помощью химического метода в 1998 году [4]. С этого момента было опубликовано достаточно большое количество данных по исследованию механизма формирования и особенностей кристаллической структуры нанотрубок. Гидротермический метод получения нанотрубок основан на щелочном воздействии на микрочастицы диоксида титана (аморфные или кристаллические) в интервале температур 110–150 °С. Отношение между весом TiO_2 и раствором NaOH обычно находится в пределах 0.0025–0.125 г (TiO_2) / мл (NaOH).

В качестве исходного материала использовался порошок диоксида титана структуры анатаза фирмы MERCK и тетрагидрид титана фирмы Aldrich. Образцы были получены двумя способами.