

28. *Конев Р.И., Турсебеков А.Х., Кушмурадов О.К.* Микроминералогия: от макроминералогии до наноминералогии // Минералогическое общество и минералогическая наука на пороге XXI века. СПб., 1999. С. 21–22.
29. Фактор размерности индивидов в минералогии / *Силаев В.И., Лютоев В.П., Чайковский И.И. и др.* // Минералогическая интервенция в микро- и наномир. Сыктывкар: Геопринт, 2009. С.67–72.
30. *Петровский В.А., Силаев В.И., Мартинс М., Карфункель Й., Сухарев А.Е.* Нанометровые минеральные включения в алмазной фазе карбонадо // Доклады академии наук. 2008. Т. 421, № 5. С. 658–661.
31. Алабандин с нанометровыми полисульфидными включениями как новый тип промышленного марганцевого оруденения / *Силаев В.И., Кокин А.В., Пискунова Н.Н. и др.* // Геоматериалы для высоких технологий, алмазы, благородные металлы, самоцветы Тимано-Североуральского региона: Материалы Всероссийского минералогического семинара с международным участием. Сыктывкар: Геопринт, 2010. С. 110–114.
32. *Силаев В.И., Кокин А.В., Пискунова Н. Н., Филиппов В.Н.* Рудное месторождение, открытое под микроскопом // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 9/1. С. 14–16
33. Фазовый состав и структурное состояние природных железоксидных пигментов / *Лютоев В.П., Кочергин А.В., Лысюк А.Ю. и др.* // Доклады АН. 2009. Т. 425. № 3. С. 372–377.
34. *Лютоев В. П., Лысюк А. Ю., Силаев В.И.* Микро-нанометрические тайны природных пигментов // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 9/1. С. 18–20.
35. *Юшкин Н.П., Силаев В.И., Плоскова С.И.* Минералогический облик Урала (анализ минеральных кадастров) // К 70-летию академика В.А. Коротеева. Екатеринбург: УрО РАН, 2007.
36. *Силаев В.И.* Кобальтсодержащие квалузиты Полярного Урала. К проблеме минерально-геохимической дифференциации марганца в земной коре. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 132
37. *Силаев В.И., Петровский В.А., Сухарев А.Е., Мартинс М.* Новый вклад в минералогию карбонадо: резюме итогов исследований // Геология алмаза – настоящее и будущее. Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 2005. С. 695–704.
38. *Безруков В.М., Винокуров И.Ю., Суханов А.А.* Антраксолиты Новой земли как ванадийсодержащее сырье // Углерод. Минералогия, геохимия, минералогия: Материалы Международной конференции. Сыктывкар: Геолпринт, 2003. С. 126–127.
39. *Силаев В.И., Ильченко В.О., Лютоев В.П. и др.* Аутигенная псевдоминерализация в антраксолите // Проблемы геологии и минералогии. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 283–314.
40. *Хазов А.Ф., Наумов В.А.* Горные отвалы как среда образования техногенных // рудных месторождений (на примере исовских золотоплатиновых россыпей) // Минералогическая интервенция в микро- и наномир: Материалы Международного минералогического семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2009. С. 506–507.
41. *Хазов А.Ф.* Модифицированные и аутигенные минералы в техногенных комплексах (на примере отвалов Исовского прииска) // Геоматериалы для высоких технологий, алмазы, благородные металлы, самоцветы Тимано-Североуральского региона: Материалы Всероссийского минералогического семинара с международным участием. Сыктывкар: Геопринт, 2010. С. 188–193.
42. *Хазов А.Ф.* Отходы горного производства — важный резерв минеральных ресурсов для будущих поколений // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2010. № 9/2. С. 18–20.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ: НОВЫЕ ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ К ПРОБЛЕМЕ РАСКРЫТИЯ МИНЕРАЛОВ

**Котова О.Б.**

Учреждение Российской академии наук Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

**Современная технологическая минералогия** 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, обогащения и создания новых материалов. **Основной целью** является создание научных и методических предпосылок расширения и укрепление отечественной минерально-сырьевой базы, рационального освоения минерального сырья, эффективного извлечения и комплексного использования всех минералов.

Сегодня к ресурсам земных недр причисляются не только разрабатываемые месторождения, но и объекты забалансового минерального сырья, отвалы вскрышных пород, шахтные терриконы, отходы переработки сырья (хвостохранилища и сливы промывочных обогатительных установок, отвалы металлургических шлаков), захоронения отходов и т.д. В этих условиях особую значимость приобретают новые методы и подходы переработки минерального сырья с использованием современных концепций технологической минералогии применительно к процессам вскрытия минеральных компонентов. В переработку вовлекаются упорные ультратонкодисперсные разновидности руд. Для модернизации и оптимизации схемы обогатимости минерального сырья на всех этапах (минеральное сырье → методы исследования → интерпретация и систематизация информации о составе и строении руды → решаемые задачи: создание технологий обогащения и передела, получение концентратов соответствующего качества и товарных продуктов) используются результаты фундаментальных и прикладных исследований целого ряда междисциплинарных научных направлений [1].

Вопросы комплексного минералогического анализа тонкодисперсных руд в последнее время рассматриваются в качестве обязательного раздела исследований. Особое значение приобретает использование современных методов анализа и исследований, при этом следует подчеркнуть, что для каждого объекта необходима своя схема комплексирования методов исследования [2]. Например, структуру, вещественный состав и свойства глин эффективно необходимо изучать с помощью физической сорбции от температур жидкого азота и (или) хемосорбции до высоких температур, используя ИК-спектроскопию, дифференциальный термический анализ, ядерный магнитный резонанс  $^{29}\text{Si}$ ,  $^{27}\text{Al}$ , просвечивающую электронную микроскопию. Применяются как современные аналитические методы - лазерная гранулометрия, сканирующая электронная микроскопия, рентгеновские методы, так и стандартные приемы – разные типы термогравиметрических анализов (DTA и TG), спектроскопические исследования (NIR и ATR), измерения удельной поверхности с помощью адсорбции-десорбции газов. К анализу результатов микроскопического исследования привлекаются возможности цифровых изображений. Достаточно популярным остаются оптическая микроскопия, газовая хроматография. Образцы изучаются с использованием синхротронного излучения в комбинации с электронной микроскопией (TEM и SEM). Современная аналитика - это направление, которое постоянно развивается и совершенствуется. Ученые получают возможность на новом более высоком уровне провести минералогические исследования при оценке качества полезных ископаемых.

Установлено, что максимальная эффективность горно-обогатительного комплекса достигается при выполнении обязательных условий по качеству руд, направляемых на обогащение. Современные аналитические изыскания особенно четко высвечивают проблемы вскрытия минерального сырья сложного как по вещественным характеристикам, так и по взаимоотношениям входящих минералов. Доля тонких минеральных частиц, сбрасываемых в настоящее время огромна: в конечном итоге от 20 до 50% ценных минералов теряется при обогащении многих руд. Можно выделить два основных направления исследований с целью решения этих проблем:

- механический способ (применение тонкого измельчения и поиск технических решений для раскрытия минеральных частиц-сростков и проблем переизмельчения);
- немеханический способ (для преодоления физической упорности геоматериалов и раскрытия тонковкрапленных минеральных систем в последнее время получили развитие немеханические способы энергетического воздействия, при этом реализация процесса селективной дезинтеграции проходит минуя проблему излишнего переизмельчения минералов).

В любом случае важна как величина вновь образованной в ходе рудоподготовки поверхности, так и полнота раскрытия отдельных рудообразующих минералов. Для более полной характеристики продукта измельчения конкретной руды необходимо учитывать: крупность частичек отдельных свободных минералов, а также сростков, характер срастания, характер поверхности свободных зерен и сростков, гранулометрический состав продукта измельчения и др. Интересно отметить, что с точки зрения раскрытия разные способы воздействия приводят к различным результатам, связанным с изменениями в структуре руд и отдельных минералов [3].

Активирование твердых веществ механической обработкой, когда измельчение в ударном, ударно-истирательном или истирательном режимах приводит к накоплению структурных дефектов, увеличению кривизны поверхности, фазовым превращениям и т.д. началось в промышленном масштабе в 1988 году в рамках государственной программы Госкомитета по науке и технике СССР ведущими научно-исследовательскими институтами страны и продолжается по сегодняшний день.

Механические воздействия приводят к многим физическим и химическим процессам, которые целесообразно рассматривать как проявляющиеся в период действия механических сил и некоторое время после снятия нагрузки и структурные преобразования, сохраняющиеся длительное время (месяцы, годы) и необратимые механохимические изменения.

Ряд структурно-химических изменений рассматривается как возможность совершенствования методов переработки минерального сырья. Например, в Институте геологии и минералогии СО РАН разработаны технологические решения максимального извлечения глинозема в раствор из Al-содержащего сырья без применения высоких температур и давления [4]. Показано, что механохимическая активация, осуществляемая в мельницах повышенной энергонапряженности, - эффективный метод повышения реакционной способности при растворимости различных классов Al-содержащих минералов. В Институте геологии Коми НЦ УрО РАН разработана методика разрушения по границам минеральных зерен в результате акустического воздействия, которая является эффективным способом раскрытия сростков и получения свободных агрегатов анальцима. В результате проведенных исследований предложена технологическая схема обогащения анальцимсодержащих пород, позволяющая получить концентрат с содержанием анальцима до 95%.

Для труднораскрываемых руд при сложной форме границ срастания и высокой энергии связи атомов на границе, механические способы разрушения не обеспечивают эффективного вскрытия минералов. В таких случаях улучшить раскрытие может обработка руды в различных физических полях – температурных, электромагнитных, радиационных (или их комбинации). Так повышенная эффективность температурного воздействия может наблюдаться при избирательном нагреве рудных минералов при обработке руды в высокочастотном электромагнитном поле. В результате этого развивающаяся по границам зерен интенсивная микротрещиноватость приводит к эффективному вскрытию минералов при измельчении.

С помощью высокочастотного электромагнитного поля можно изменять флотационные свойства минералов, избирательно воздействуя только на поверхность минеральных зерен за счет малой глубины проникновения электромагнитного поля в электропроводные рудные минералы.

Работы в этом направлении активно ведутся в ведущих институтах страны (Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Институте горного дела СО РАН, Институте геологии Коми НЦ УрО РАН и др.), координируя свои исследования в рамках проводимых совместных совещаний. Большой интерес представляют методы, использующие плазменное состояние вещества. Так называемые импульсные технологии «Pulsed Power» входят сегодня в применяемые технологии горно-перерабатывающей промышленности. В Институте геологии Коми НЦ УрО РАН разрабатываются плазменные методы переработки минерального сырья (рис. 1). В частности, установлена возможность наноструктурной трансформации природных углеводородов под действием плазмы. Действие плазмы заключается в эффективном отделении атомных структур природных углеводородов с последующим быстрым рекомбинированием в наночастицы. Например, при воздействии лазерного излучения на нефть (Ярега, Республика Коми) наблюдается изменение электронной плотности поверхности алмазной подложки. Механизмы трансформации углеводородного сырья – могут стать основой решения многих технологических проблем, включая извлечение алмазов, покрытых нефтяной пленкой, которую можно не удалить, как это делают, а использовать для наращивания граней алмаза [5].

В продолжение этих исследований начаты работы по изучению движения частиц в условиях плазмы в электромагнитных полях. При рассмотрении взаимодействий слабых электромагнитных полей с плазмой влияние магнитного поля волны по сравнению с электрическим незначительно, и им можно пренебречь. В тоже время многие плазменные образования реализуются в присутствии относительно сильных статических магнитных полей. Поскольку магнитное поле оказывает влияние на движение заряженных частиц, присутствие постоянных магнитных полей относительно высокой интенсивности может не только значительно изменить свойства плазмы, но и управлять процессами. В зависимости от задачи применяется либо только магнитное поле, либо скрещенные электрическое и магнитное поля, либо последовательно расположенные электрическое и магнитное поля различной конфигурации. Во всех этих случаях поля выполняют функции линз и призмы, формирующих определенные траектории ионов вещества.

## Плазменные методы переработки минерального сырья

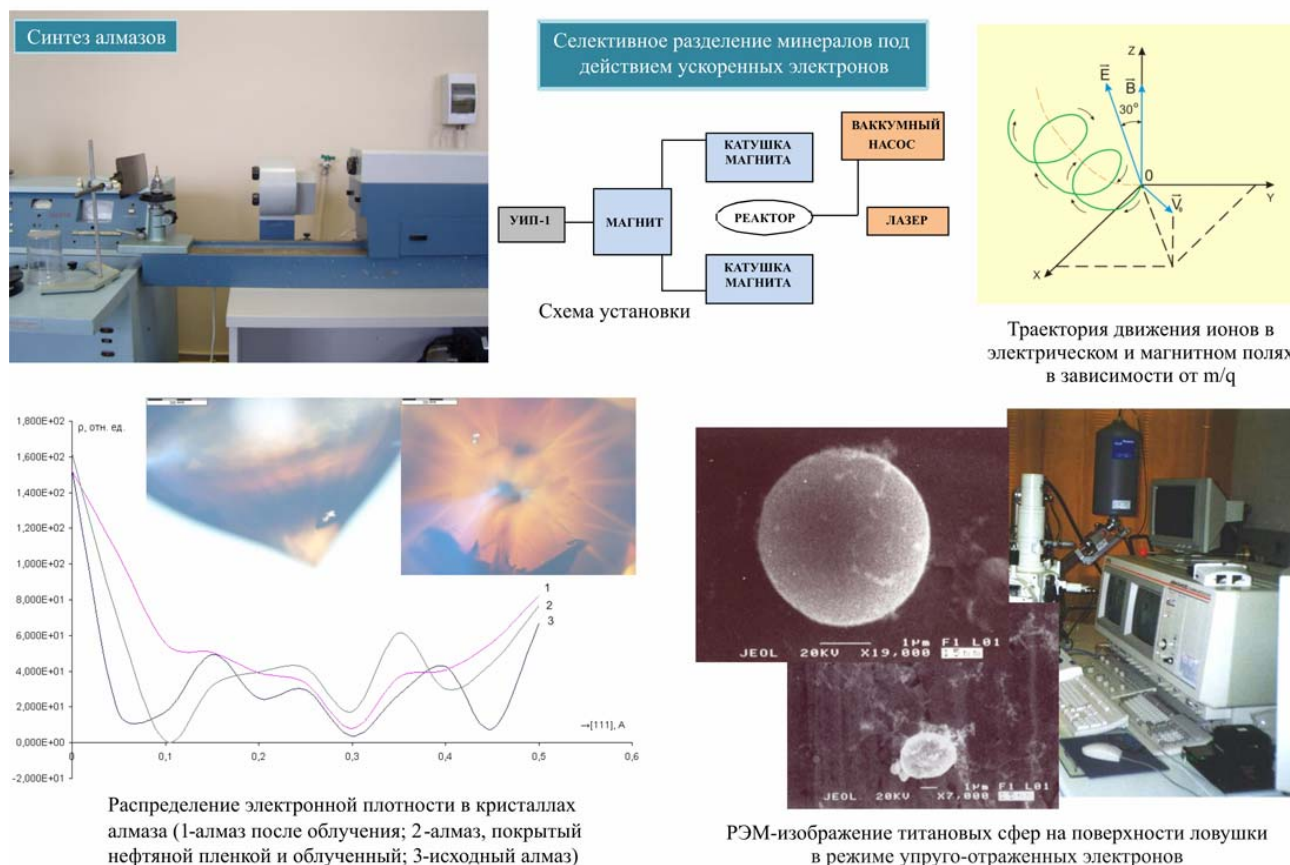


Рис. 1. Плазменные методы переработки минерального сырья

Особенно следует отметить роль поверхности и границ при решении проблем раскрытия минералов. Взаимный контакт зерен по границе срастания минералов приводит к перераспределению электронов и переносу их через границу, возникновению контактной разности потенциалов и электрических полей, образованию валентных связей. Контактные явления на межфазной границе определяются электропроводностью минералов, их диэлектрической проницаемостью и сродством к электрону, работой выхода электронов, типом проводимости, концентрацией носителей зарядов, шириной запрещенной зоны. При

переходе к наноразмерным частицам необходимо учитывать особенность физических и химических свойств на межфазных границах, включая квантовые эффекты.

*Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН № 14 (проект 09-П-5-1006).*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Котова О.Б.* Технологическая минералогия – основа комплексного использования сырьевого потенциала Европейского Северо-Востока // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар: Геопринт, 2010. № 9. Вып. 2. С. 36–38.
2. *Котова О.Б., Ожогина Е.Г., Рогожин А.А.* Количественные минералогические методы оценки технологических свойств минерального сырья. Современная минералогия: от теории к практике. Материалы XI Съезда Российского минералогического общества. Спб., 2010. С. 338–340.
3. *Котова О.Б., Ожогина Е.Г., Кондратьев С.А., Ростовцев В.И.* Современные направления по переработке труднообогатимого минерального сырья // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды: труды конференции с участием иностранных ученых в 3-х томах. Т. I. Прикладная геомеханика. Обогащение полезных ископаемых, экология. Новосибирск: Институт горного дела СО РАН, 2010. С. 204–208.
4. *Юсупов Т.С., Шумская Л.Г.* Новая концепция производства алюминия и его соединений из нетрадиционного алюмосиликатного сырья // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2009. № 2. С. 96–100.
5. *Котова О.Б.* Современная технологическая минералогия и аспекты геоматериаловедения // Геоматериалы для высоких технологий, алмазы, благородные металлы, самоцветы Тимано-Североуральского региона: Материалы Всероссийского минералогического семинара с международным участием. Сыктывкар: Геопринт, 2010. С. 193–194.

## СВОЙСТВА И НАНОМИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПРИРОДНЫХ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПИГМЕНТОВ

*Лютюев В.П.<sup>1</sup>, Грановская Н.В.<sup>2</sup>, Силаев В.И.<sup>1</sup>, Кочергин А.В.<sup>2</sup>, Лысюк А.Ю.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Учреждение Российской академии наук Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; silaev@geo.komisc.ru, vlutoev@geo.komisc.ru

<sup>2</sup> Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону; grannv@mail.ru

В настоящее время лидером потребления лакокрасочной материалов (ЛКМ) являются США, где на душу населения приходится 23 кг в год. В очень перспективном в этом отношении Азиатском регионе тот же показатель не превышает 2.7 кг. Значительную часть упомянутого потребления составляет продукция, производимая из природных пигментов, мировая добыча которых оценивается в 500 тыс. тонн в год (около 40% этого составляют железистоокисные пигменты). Лидирующие страны-производители природных пигментов – Индия, Испания, Украина, США, Франция, Австрия. Основной объем добычи природных руд приходится на красные железистоокисные пигменты из зон окисления железистых кварцитов и сидеритов (350–400 тыс. т) и желтые железистоокисные охры (около 100 тыс. т). В более ограниченных количествах производятся железистоокисные пигменты коричневого цвета. ЛКМ, полученные за счет природных пигментов обладают значительными преимуществами перед аналогичными синтетическими материалами, а именно, безвредностью, устойчивостью к действию атмосферы, света и щелочей, антикоррозионными свойствами, экологической безопасностью и относительной дешевизной производства. Предполагается [1], что в ближайшие годы потребление ЛКМ, производимых из природных пигментов, будет расти на 8–10% в год, особенно в азиатском регионе.

В России современное подушевое потребление ЛКМ приближается к среднеевропейскому, но обеспечивается в основном за счет синтетических материалов китайского и украинского производства. Природных железистоокисных пигментов, из которых на пигменты российского происхождения приходится не более 10%, отечественные предприятия лакокрасочной и строительной отраслей перерабатывают год порядка 60 тыс. т, что составляет примерно 0.4 кг на человека. При этом учтенные запасы природных пигментов у нас уже достигают семи млн. тонн, составляя более 45 кг на душу населения. Серьезным препятствием на пути реализации такого потенциала является относительно низкое качество российского природного сырья. Очевидно, что компенсировать такого рода объективный недостаток отечественной сырьевой базы природных пигментов можно только резко повысив уровень их минералогических исследований.

Опыт показывает, что из-за ультрадисперсности и плохой окристаллизованности вещества природных пигментов их изучение возможно лишь с применением высоких научных технологий, в частности, высокоразрешающей электронной и атомно-силовой микроскопии, а также мессбауэровской спектроскопии <sup>57</sup>Fe, чувствительной к локальному атомному окружению ионов железа [2–4]. Хорошо известно, что вариации