

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ КАК ОСНОВА ОЦЕНКИ ИХ КОМПЛЕКСНОСТИ

*Пирогов Б.И.*

Российский государственный геологоразведочный университет

«Не существует минералов, не имеющих практического значения. Мы просто не умеем еще все их использовать»

*(Гинзбург, 1954)*

Актуальность проблемы комплексности различных видов минерального сырья (МС) тесно связана с девизом Российского минералогического общества (1817) «*Минералогия во всем пространстве сего слова*». Именно это показало годовое собрание РМО при РАН РФ 2001 г. по теме «Минералогия – основа использования комплексных руд». **Мы предлагаем рассматривать систему технологической минералогии (ТМ) как основу оценки комплексности МС**, уточнив, что «технологическая минералогия объединяет минералогические и технологические исследования, связанные с изучением вещественного состава, текстурно-структурных признаков полезных ископаемых, технологических свойств минералов в эволюции единой геолого-техногенной системы на макро-, микро-, наноуровне, направленные на комплексное использование минерального сырья при разработке рациональных, экологически чистых схем обогащения». Она позволяет с единых позиций проследить весь ход изменений минерального вещества литосферы через технологию обработки и переработки до накопления в литосфере отходов [1]. Остановимся подробнее на каждой позиции проблемы.

## **Разработка научно-методологических принципов оценки комплексности МС на базе теории минералогии и достижений сопредельных наук**

При разработке принципов системы комплексности МС следует увязывать их с основами минералогии в целом, физики и химии твердого тела, достижениями таких наук как поиски, разведка и оценка МПИ, геохимия, обогащение, экономика и экология полезных ископаемых (ПИ) через:

– исследование эволюционных закономерностей развития минерального мира во взаимосвязи с живым веществом в единой геолого-техногенной системе (ЕГТС). Последняя охватывает физическое, вещественное и энергетическое пространство, в котором минерал развивается в единой среде – природной и технологической, эволюционируя под действием внешних и внутренних факторов, распадаясь на систему «минерал – среда (в двух подтипах) и взаимосвязи между ними,

– интеграцию минералого-геохимических методов изучения с обогащением МС на основе синтеза минералогических знаний и развития различных экспериментальных направлений в технологии с целью совершенствования системы рудоподготовки и обогащения ПИ в целом, создания новых малоотходных и безотходных экологически чистых технологий,

– понимание, что технологические свойства минералов (ТСМ) имеют двойственную природу [2] – рис.1: с одной стороны, они определяются взаимосвязью с генезисом, конституцией и морфологией минералов, с другой – изменениями морфологии, конституции минералов и, как следствие, природных свойств их при рудоподготовке и обогащении. Информация о свойствах локализуется на различных уровнях минералогической «памяти» – морфологическом, изотопном, молекулярном, структурном, магнитном и т.п. Поэтому минералоги и технологи, изучая различные ПИ, должны понять природу ТСМ – характер и особенности их проявления, чтобы научиться управлять ими в технологических процессах,

– необходимость опираться в оценке ТСМ на основные законы минералогии: **1. принцип наследования в минерогенезисе (в т.ч. и ТСМ); 2. закон инерции – минералогической «памяти»; 3. закон минералогического резонанса. 4. Специальные законы исследования различных форм минералогической информации, отражающие ее «смысл» и длительность времени (геологического и технологического) ее функционирования.** Важно также при этом проводить углубленные исследования по развитию экспериментального технологического направления, обеспечивающего новые технологические решения. С их помощью могут быть выявлены типоморфные и индикаторные признаки минералов и ассоциаций с учетом технологических особенностей ПИ,

– распространение минералого-технологических исследований на все более глубокие уровни дисперсности минерального вещества (МВ) – переход от объектов околомикронной величины к ультрадисперсным (использование в геологических и технологических подсистемах иерархической систематики дискретного состояния вещества). Это позволит проводить исследования и оценку ТСМ (минерального вещества в целом) с учетом размерного фактора на наноуровне (в крупности 1–100 нм и менее),

– комплексное минералого-геохимическое изучение особенностей вещественного состава лежалых хвостов (и других видов отходов), в которых может быть заметно изменена минералого-геохимическая система (минералогия, формы нахождения химических элементов в связи с новыми закономерностями их миграции, а в конечном итоге и ТС минеральных частиц). Это обеспечит создание соответствующих технологических схем,

– внедрение данных по изучению процессов концентрации минералов в природных месторождениях для совершенствования методов их технологической концентрации при разработке технологических схем.

– разработку и обоснование способов и методов направленного изменения природных свойств минералов, что позволит изменять не только обогатимость различных видов ПИ, но и создавать новые процессы извлечения компонентов,

– оценку обогатимости ПИ на основе комплексирования минералого-аналитических, геохимических, технологических, математических методов их исследования и имитационного моделирования.

Таким образом, ЕГТС отражает круговорот МВ в Природе и Технологии на различных уровнях его организации: индивид (кристалл, зерно, частица) – агрегат (технологический агрегат малых частиц) – рудное тело (ПИ) – минералогическая аномалия (включая отвалы пустых пород и некондиционных ПИ, хвостохранилища – потенциальные техногенные МПИ – минералогическое поле. С учетом геолого-технологического комплексирования (ГТК) месторождения обеспечивается выделение технологических типов и сортов ПИ, что позволяет управлять на современном ГОКе технологическим процессом, решая в т.ч. задачи комплексного извлечения полезных компонентов. Ведь еще в 1954 г. А.И. Гинзбург подчеркивал, что «вовлечение в сферу практического использования какого-либо минерала или отыскание новых областей применения минералов, уже используемых в народном хозяйстве, зачастую оказывается равноценным по своему технико-экономическому эффекту открытию и освоению нового крупного месторождения, не требуя к тому же значительных капиталовложений». Именно эта идея сегодня воплощается в жизнь в связи с комплексным использованием МС.

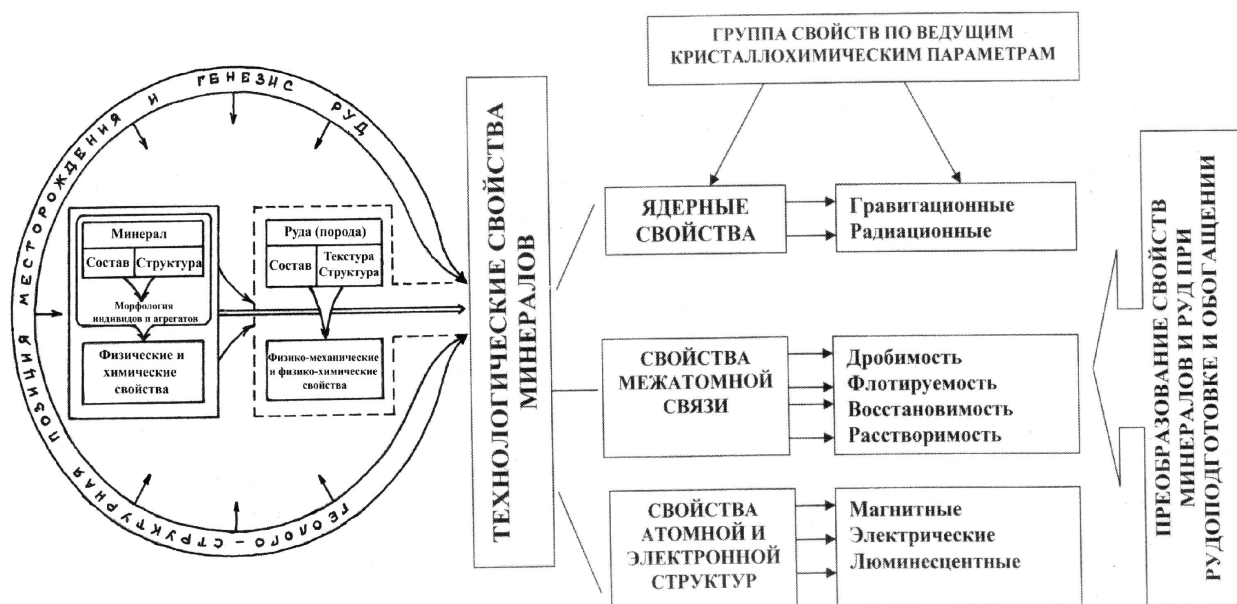


Рис. 1. Двойственная природа технологических свойств минералов

**Выявление и оценка типоморфных признаков (ТП), определяющих природу ТСМ ПИ различных генетических типов, с учетом характера и глубины изменений их на разных уровнях минералогической «памяти».**

Типоморфные признаки минералов (в т.ч. технологические) выявляются при сочетании минералогических (с учетом онтогении индивидов и агрегатов) исследований с комплексом современных физико-химических методов изучения вещества и технологическим экспериментом, предопределяя выбор схемы обогащения. На их основе оцениваются ведущие геолого-структурные и минералого-технологические факторы обогатимости ПИ. При этом необходимо учитывать, что они:

– отражают систему взаимосвязанных ТП минералов и ассоциаций, дифференцированных с жизнью индивидов и их агрегатов в ЕГТС,

– наследуются в проявлении двойственной природы свойств минералов и определяют выбор оптимальной технологии обогащения различных видов ПИ,  
– формируются и изменяются в природном и технологическом спектрах granulometрии, что крайне важно учитывать в технологической схеме обогащения (ТСО),  
– существенно отличаются на наноуровне, т.к. в ТСО все большую роль начинает играть размерный фактор сосуществующих минералов. *Наноуровень*, отвечая граничному, переходному характеру, объединяет и *минералообразующие элементы* (атомы, ионы, молекулы, кластеры...) и *наноиндивиды*, и *наноагрегаты*. Этой размерности соответствуют *наноблоки*, *анатомические элементы*, *дефекты*, «*наноорганы*» *минеральных индивидов*. Поэтому при выявлении характерных ТП минералов потребуются новый подход к получению и оценке минералого-технологической информации. *Сегодня важен комплексный подход к исследованию и оценке ТП минералов с учетом эволюции природных и технологических свойств (отдельных их характеристик)*.

В.М. Изоитко [3] обобщила представления о ТП руд, непосредственно влияющих на технологический процесс, выделив такие факторы, как:

- качественно-количественный состав исходной руды;
- структурно-текстурные особенности;
- физические свойства (цвет, плотность, электрические, магнитные, люминесцентные и др.);
- состав самих минералов;
- форма нахождения полезных компонентов;
- присутствие минералов, близких по свойствам, используемым в технологии обогащения;
- наличие «активных» минералов (легко растворимых или сильно сорбирующих реагенты и тонко-раздробленных).

*Необходимо также учитывать факторы, влияющие на показатели переработки руд по существующим схемам* – крупность выделений, наличие генераций и модификаций минералов, габитус кристаллов, особенности их структуры, наличие примесей и т.д. *Немаловажно изучение и таких характеристик, как: унаследованность состава руд от вмещающих пород; характер и степень тектонической деятельности (особенно микротектоники – Б.П.) с учетом крепости и степени ошламования руд, окисленности поверхности минералов и др.* В.М. Изоитко подчеркивает, что эти характеристики, определяя ТП руд и минералов, сказываются на технологических процессах через уже отмеченные выше факторы. *Важно иметь ввиду, что для каждого генетического типа ПИ характерны свои ТМ.* Так, изучение ТП индустриальных минералов позволило В.В. Щипцову [4] конкретизировать их в 2-х порядках:

**1 порядок** (ТП, связанные с условиями образования) – *химический состав, элементы – примеси, текстурно-структурные особенности породы (морфологический тип текстуры, типы срастания минералов, морфология и granulometрия минеральных агрегатов), особенности конституции минералов в целом (с акцентом прежде всего на параметры структуры, дислокации и т.п.), степень выветривания, поверхностные пленки и другие свойства минералов и пород;*

**2 порядок** (ТП, производные от 1-го), к ним относятся *физические и механические ТС – цвет, прозрачность, контактная электризация, твердость, микротвердость, хрупкость, упругость, пластичность, пористость, сорбция, адсорбция, растворимость, реакционная способность, коэффициент анизотропии, люминесцентность, радиоактивность и др.).*

Важную роль ТП 1-го порядка играют при оценке практической значимости концентратов индустриальных минералов. Так, применение в промышленности кианитового концентрата ограничивается из-за трудно извлекаемых тонкодисперсных включений рутила в кианите (в керамических материалах содержание  $TiO_2$  не должно превышать 0,2, в некоторых случаях 0,01%); резко сужают возможности использования тонкомолотого мусковита в производстве красок, пластиков и бумаги из-за трудно раскрываемых природных срастаний мусковита с биотитом. **Глубина метаморфизма** существенно влияет на granulometрию, типы срастаний графита в породах Приладожья, предопределяя эффективность их флотации [5] от низкометаморфизованных разновидностей (содержание тонкодисперсного графита > 60%) к высокометаморфизованным амфиболитовой фации (содержание крупночешуйчатого графита 2,8–5,9%). ТП 2-го порядка индустриальных минералов часто являются определяющими в их технологическом использовании. Например, контрастные свойства микроклина из пегматитов при обогащении методом рентгенорадиометрической сепарации обеспечивают более эффективное получение готового продукта, чем при ручной рудоразборке. Наиболее важными ТП природного кварца, определяющими его технологические показатели, являются [6]: структурно-текстурные особенности его выделений и элементы-примеси в различных формах (минеральной, флюидной, структурной – в решетке). Учет их позволяет разделить кварцевое сырье по степени перспективности получения высококачественного концентрата. Перспективным по этим признакам является гранулированный кварц уфалейского типа. В нем меньше структурных примесей и газовой-жидких включений по сравнению с кыштымским типом. Вторым перспективным является кварц суперкварцитов месторождения Бурал-Сардык (типа БС-47) с небольшим содержанием структурных и минеральных примесей, газовой-жидких включений. Понижает качество сырья

повышенное содержание СО и углеводов в составе остаточной флюидной фазы и неравномернозернистая структура кварцитов. Возможна разбраковка труднообогатимого сырья экспресс-методами – петрографическим, минералогическим, термо- и рентгенолюминесцентным, хроматографическим, избегая обработки технологических проб и опытных плавок, заведомо непригодного сырья. Данилевская Л.А. и Раков Л.Т. [7], изучая кварцевое сырье различных генетических типов Карелии, справедливо отмечают, что структурные примеси в кварце определяют предел обогатимости сырья, т.к. практически не удаляются при обогащении. Установлено, что кварц, претерпевший низкотемпературный метаморфизм с образованием вторичного рекристаллизованного кварца, содержит минимальное количество структурных примесей. Наиболее загрязнен ими гранулированный кварц.

Известно, что в процессах *минералообразования и преобразования* всегда **физика управляет химией**. Поэтому, познавая генезис минералов в природе [8], а также и в технологии [2], важно придать понятию наряду с химическим четкий физический смысл. Это позволит выразить те или иные особенности неоднородности химического состава и структуры различных порядков в анатомии реальных кристаллов и частиц; учесть различные по составу включения, поры, трещины, покрытие адсорбционным слоем, различные пленки, синтаксию, эпитаксию и др. особенности. Следует также иметь в виду, что она отражает историю их роста, неоднократную смену габитуса, трансформацию скелетного роста в полногранный и наоборот. Необходимо выявить и проследить особенности изменений, связанные с этапами их син - и эпигенетического метаморфизма [9]. Важно учитывать, какие признаки и как проявят себя в различных стадиях схем и технологических процессах в целом, отражая характер эволюции преобразований. В частности, *для любых видов ПИ уже давно замечено, что в природном гранулометрическом спектре по составу и структуре в целом более однородными являются мелкие выделения. Этот ТП минералов также следует иметь в виду при разработке технологической схемы в связи с перераспределением фракций в различных ее узлах.* Нами [10] это было выявлено в связи с обогащением метасоматически преобразованных магнетитовых разновидностей кварцитов (Михайловское месторождение, КМА – МихГОК; Первомайское и Ановское месторождения, Кривой Рог – СевГОК), окисных Mn руд Никопольского месторождения – Чкаловский ГОК (Украина). Аналогичные наблюдения известны и по другим видам ПИ

Особое место в оценке ТС минералов и руд принадлежит заключительным этапам минерагенеза, фрагментарно «замораживающих» информацию в морфолого-структурных количественных параметрах (прежде всего, в сростаниях минералов, позволяющих оценивать эффективность их раскрытия при измельчении). Несомненно, один из наиболее эффективных методов познания ТСМ заключен в онтогенетическом подходе [11–13]. Именно этот подход к оценке технологических особенностей минералов ПИ (в т.ч. ТП), с учетом данных технологического эксперимента, обеспечивает: а) *выбор оптимальных условий раскрытия зерен полезного компонента*, отражая природу сростаний – гранулометрию, форму зерен сростающихся минералов, особенности их границ и физико-механических свойств. В конечном итоге, как показывают наши наблюдения [10], Т.С. Юсупова и др. [14], особенности раскрытия минералов характеризуют пути повышения извлечения ценных компонентов руд на основе управления селективностью измельчения «с сохранением геометрической целостности раскрываемых минералов и их структурно-химических характеристик»; б) *оптимизацию технологического процесса* с учетом контрастности свойств разделения минералов на основе особенностей их конституции – неременной неоднородности состава и свойств мономинеральных зерен (выявляются при комплексном анализе анатомии индивидов и измельченных частиц); в) *последовательность технологических операций*; г) *выделение при геолого (минералого)-технологическом картировании типов и сортов ПИ* с получением их всесторонней минералого-технологической характеристики. **Важно оценить эволюцию типоморфизма сростаний и свойств минералов** (микротвердость, спайность, хрупкость, высокая концентрация дислокаций, иного рода дефектов на межзерновых границах) **различных генетических типов ПИ**. При этом следует иметь в виду, что **в большинстве случаев необходимые начальные условия для дезинтеграции минералов сростаний созданы природой и отражены в особенностях их типоморфизма. Именно это позволит наметить наиболее рациональный способ рудоподготовки ПИ и обеспечить оптимальное раскрытие сростаний минералов по стадиям их измельчения в технологической схеме.**

***Разработка и внедрение комплекса минералого-технологических и физико-химических методов анализа различных видов МС в связи с экономотехнологической и экологической оценкой их комплексности.***

Поиск нетрадиционных областей комплексного использования МС требует новых подходов и совершенствования уже существующих комплексов минералого-аналитических и технологических методов, позволяющих оценить специфику того или иного вида сырья. Особая роль при этом отводится глубоким минералогическим исследованиям с привлечением современных высокоточных, чувствительных и экспрессных методов, обеспечивающих выявление весьма тонких минеральных фаз на микро- и нануровне.

Изучение минерального вещества связано с развитием прямых методов: структурных, морфологических исследований, различных видов микроскопии (электронной, туннельной, атомно-силовой), позволяющих изучать отдельные атомы и их мельчайшие закономерные группировки; тонких особенностей конституции, закономерностей изменчивости свойств минералов в практике поисково-оценочных и технологических работ [15]. В оценке индикаторных типоморфных признаков минералов все более важной становится их гетерогенность, что предопределяет необходимость оценки в технологических процессах роли весьма тонких частиц (<10–20 мкм). С появлением их, наряду с объемными преобразованиями, более значимым выявляется вклад измененных свойств поверхности, влияющих на изменчивость технологических свойств минералов [16]. Количественный фазовый анализ как химическими, так и физическими методами в оценке минерального сырья стал определяющим [17]. С ним связана оценка содержания минеральных и синтетических, кристаллических и аморфных фаз (соединений) природных и техногенных объектов. Выбор метода определяется объектом и требованиями к точности анализа, т. к. даже в одном объекте формы проявления элементов могут существенно отличаться. Сегодня используется высокий уровень комплексирования различных видов анализа. Достоверность оценки обогатимости МС зависит от полноты изучения вещественного состава и точности определения его технологически значимых параметров – текстурно-структурных, морфометрических, являющихся наиболее динамичными и важными, широко изменяющимися в технологическом процессе. ВИМСом [18 и др.] рекомендован комплексный подход к оценке рудных и нерудных ПИ с учетом их специфики. Одним из ведущих методов экспрессной минералого-технологической оценки выступает оптико-геометрический, позволяющий получать из автоматизированных компьютерных систем анализа изображений – морфоструктурные данные (вкрапленность в связи с гранулометрией, формой и типом сростаний с другими минералами, а также такие характеристики, как минеральный (фазовый) состав в исходном, измельченном материалах и технологических продуктах; гранулометрический состав (массовый и количественный) в тех же продуктах; начало раскрытия сростков; модальность (стадиальность) раскрытия; неоднородность минералов и степень их окисления; степень контрастности технологических свойств. По этой информации определяются: оптимальные режимы рудоподготовки с полным раскрытием рудных минералов и глубина обогащения по сочетанию механического и химико-металлургического переделов; рациональная схема обогащения, основные технологические показатели, которые могут быть получены при переработке по рекомендуемой схеме; неизбежные технологические потери. Также комплексно используются методы: РВТВ – рентгеновской вычислительной микротомографии (при послойном сканировании объекта выявляются особенности распределения минеральных фаз – форма и размеры, характер сростаний и др.), ЭМ и РЭМ, ИКС, РКФА, ЯГРС, ЯМР, ЭПР, ИТЛ, ТЭДС, КФА, термохимический, радиографический, рентгеноспектральный, микронзондовый (протонный), люминесцентный, термобарогеохимический и др. Использование онтогенического подхода в комплексе с традиционными минералогическими, а также современными физическими и физико-химическими методами анализа вещества при телесном исследовании индивидов, агрегатов минералов и ПИ в целом. Обработка полученной информации с помощью компьютера для выявления тонких особенностей конституции минералов, а также детальное изучение минеральных ассоциаций, выявление закономерностей изменчивости минералов в морфолого-структурном ряду с учетом технологических данных; получение информации о типоморфных признаках и свойствах минералов, определяющих обогатимость рудных и нерудных ПИ. Здесь следует помнить замечание Ю. Кэмерона (Рудная микроскопия, 1966, с. 262) о том, что *«подобно Клеопатре Шекспира, руды металлов бесконечны в своем разнообразии. Имеется мало «стандартных» методов обработки, и технология успешна только в том случае, если она согласована с минералогией и структурой руды»*. Несомненно, замечание справедливо для любых видов ПИ. Тем не менее, **для рудных, нерудных, техногенных ПИ определяется свой комплекс минералогических и других методов минералого-технологической оценки с учетом их генетических особенностей и преобразований при обогащении.**

*В связи с тем, что сегодня объектом изучения становятся все более бедные руды, разнообразные отходы обогащения и металлургии со сложным вещественным составом, требующие и более тонких методов исследований, и принципиально новых технологических решений.* В связи с этим Ю.С. Кушпаренко предлагает проводить более глубокое изучение руд в рамках **нового научного направления – минералогической технологии** [19]: обеспечивать определение количественных значений параметров вещественного состава технологическими методами (химическими, основными и вспомогательными в различных сочетаниях обогатительными). Это касается сложных, мелко- и тонковкрапленных руд, трудно диагностируемых, прежде всего минералогическими методами. Дополняя прямые минералогические наблюдения, предлагаемая методика позволяет получить полную информацию по раскрываемости тонкодисперсных минералов. В частности, доказано, что с использованием гидравлической классификации минеральной смеси одной крупности (при равенстве и постоянстве плотностей) разделение будет происходить только по плотности зерен и количество осевшего в крупную фракцию каждого минерала при полном раскрытии их взаимных сростаний будет зависеть лишь от его плотности, а при неполном – от плотности и полноты раскрытия. Ю.С. Кушпаренко теоретически обоснованы (на примере технологической оценки обогатимости Sn и Ta-Nb руд) условия гравитационного разделения минеральных смесей и предложены границы разделения руд разной крупности на гравитационных

аппаратах, способы прогнозирования возможности разделения минеральных частиц, сростков тяжелых и легких минералов. Им доказана эффективность тонкого грохочения в схемах обогащения руд с тяжелыми ценными тонковкрапленными минералами, позволяющего снизить их переизмельчение, нагрузки на мельницы, улучшить процесс обогащения шламового материала и флотацию мелких частиц (< 40 мкм), выделенных гидравлической классификацией. Определены условия реализации тонкого грохочения (0,5...0,07 мм) на основе отсадки: достигнуто увеличение удельной производительности в 1,5–2 раза в сравнении с вибрационными грохотами, на порядок уменьшились износ сетки, расход электроэнергии в 3–4 раза, воды на 25–30%, уровень шума и вибрации. В конечном итоге, контроль за изменением количественных значений минералого-технологических параметров обогащения в связи с использованием метода минералогической технологии позволяет более глубоко оценивать эволюцию ТС минералов.

### ***Современные минералого-технологические разработки по комплексному извлечению полезных компонентов, использующие различные особенности ТМ минерально-го сырья***

Это направление становится стратегическим в развитии минерально-сырьевой базы России в XXI в. [20-21 и др.]. ИЗОИТКО В.М. и ЩИПЦОВ В.В. [21] на основе анализа минерально-сырьевой базы страны предлагают выделять в зависимости от форм нахождения полезных компонентов следующие типы комплексных месторождений, руды которых содержат:

- 1) один главный рудный (или нерудный) минерал, содержащий несколько ценных примесей (скарновый халькопирит – Cu, Au, Ag, Se, Te и др., грейзеновый вольфрамит – W, Nb, Ta, Sc);
- 2) несколько ценных рудных (нерудных) минералов (апатит-нефелиновые, сульфидные Cu-Ni руды);
- 3) совокупность используемых рудных и нерудных минералов и пород (скарновые шеелитовые – шеелит + мрамор, Ковдорский массив ультраосновных пород – титаномагнетит, бадделеит, халькопирит, апатит, флогопит, вмещающие оливиниты и меллилиты);
- 4) нерудное многокомпонентное сырье (керамические пегматиты Чупино-Лоухского района, Шабровское месторождение тальк-магнезитовых пород, соли Кара-Богаз-Гола и др.);
- 5) ценный минерал и горючее ПИ (Ягерское нефтетитановое месторождение).

**Перспективы освоения минеральных ресурсов России связаны, прежде всего, с развитием ее различных провинций, в которых комплексность ПИ определяется их минерально-сырьевой специализацией.** Так, в Мурманской области [20] – крупнейшей редкометалльной провинции, наряду с Fe, Ni, апатитом, слюдами, именно редкие элементы определяют ее специализацию (АО «Севредмет» и «Ковдор-ГОК»). Месторождения Ловозерское (Nb, Ta, Zr, REE<sub>Ce</sub>), Колмозерское (Li, Cs), Васин-мыльк (Cs, Li), Сахарйорк (Zr, Y), Плоскогорское (Yb, Y, Ta), связанные с плутонами нефелиновых сиенитов, щелочных гранитов, редкометалльными и редкоземельными пегматитами, карбонатитами, являются уникальными. По промышленной значимости в регионе выделяются 6 геолого-промышленных типов (ГПТ) месторождений редких металлов: I – редкометалльно-пегматитовый, II – редкометалльно-карбонатитовый, III – редкометалльно-щелочно-метасоматический, IV – миаскитовый, нефелин-сиенитовый, V – ультраагпаитовый нефелин-сиенитовый, VI – россыпной. Целесообразно выделение VII ГПТ – редкометалльно-щелочно-гранитного типа. Разрабатываются V и отчасти II типы. *Перспективность разработки связана с необходимостью углубленных минералого-технологических исследований.* В этой же провинции весьма перспективны исследования и разработки редких металлов литофильной и сидеро-халькофильной ориентации (REEY, Zr, Sr, Se, Hf, Ga, V, Te, Cd, Re).

**Особое место сегодня в стратегии комплексного использования и развития минерально-сырьевой базы нашей страны занимают именно редкие металлы [20].** Оценивая состояние и перспективы развития технологии переработки редкометалльных руд, специалисты ВИМСа Соколов Ю.Ф., Кушпаренко Ю.С., Тютюнник Н.Д. и др. [20] отмечают, что производство и потребление редких металлов – показатель промышленной и интеллектуальной мощи страны, поэтому применение их в развитых странах увеличилось в несколько раз. *Большинство месторождений редких металлов России, подготовленных к промышленному освоению, высококомплексны, но в сравнении с зарубежными аналогами бедны по содержанию полезных компонентов и характеризуются тонкой вкрапленностью минералов, склонных к переизмельчению, близостью физических и химических свойств.* Переработка их экономически целесообразна только при максимальном использовании основных и попутных полезных компонентов, что обеспечивается новыми нетрадиционными технологическими решениями: *радиометрическим обогащением крупнокускового материала; селективной флотацией тонких (<20 мкм) частиц, увеличившей на 15–20% извлечение полезных компонентов; сухой магнитной сепарацией в поле высокой напряженности исходных руд с извлечением (рост на 20–30% по сравнению с гравитацией) слабомагнитных редкометалльных минералов; применением химико-металлургических методов в новых направлениях.* Здесь же успешно используются методы предварительной обработки минералов для изменения их физико-механических и химических свойств – *селективная магнетитизация сильно-*

магнитными тонкодисперсными веществами, ультразвуковая, электрохимическая, термическая и реагентная обработка. Авторами также предложены новые технологические решения для некондиционных продуктов обогащения с учетом особенностей их ТМ.

Наш опыт изучения различных генетических типов Fe, Mn, а также Cu-Mo руд порфирирового типа свидетельствует о том, что методами ТМ с использованием онтогенетического подхода и тонкого технологического эксперимента и современных физико-химических методов анализа возможна всесторонняя оценка комплексности руд. При этом важно учитывать иерархическую систематику дискретного состояния вещества ЕГТС в природных геологических и технологических системах в ряду образований [22]: *минерал – микроминерал – квазикристаллы – фуллерены – аморфное вещество – коллоиды – наночастицы – кластеры*. Это позволяет по-новому подойти к минералого-технологической оценке комплексности, экологичности ПИ и отходов, разработке нестандартных методик их оценки, технологии добычи и обогащения; обеспечить разработку экономо-экологических технологий получения новых нетрадиционных видов МС (цеолиты, сапонит, полевые шпаты, дистен, гранаты и др.), постоянно расширяя области их применения.

А.В. Бортниковым и А.Д. Самуковым [23] показано, что *результаты сверхтонкого измельчения зависят от способов и режимов измельчения, соотвествующих структурным особенностям измельчаемых материалов*. При этом активация обрабатываемой поверхности зависит не столько от продолжительности измельчения, сколько от способа дезинтеграции и интенсивности процесса. Результаты сравнительных исследований по использованию обычных шаровых мельниц и энергонапряженного типа (струйных, планетарных мельниц, дезинтегратора-активатора и др.) показали, что в схемах подготовки МС к последующей флотации и гидрометаллургической переработке **проявляется эффект механической активации, вызывающий изменение ТСМ**. Рентгенорадиометрическими методами доказано, что при механообработке твердых тел происходит изменение кристаллической решетки поверхностных слоев и образование аморфного слоя с отличными от основной матрицы физико-механическими свойствами. Так, при использовании газоструйного измельчения с горячим энергоносителем для обработки W-Mo руд Тырнаузского месторождения перед автоклавно-содовым выщелачиванием **за счет термохимической активации большая часть нерастворимого сульфида Мо в концентрате перешла в окисленную форму**. Это позволило в совокупности с активацией поверхности минералов повысить извлечение Мо с 86 до 95–97%. Весьма труднообогащаемые комплексные барит-полиметаллические руды Жайремского месторождения при значительных запасах не дают высокого извлечения Pb и Zn по многостадийной флотационной схеме. Л.Б.Чистовым и др. [21] в Гиредмете предложена новая технология переработки, учитывающая следующие минералого-технологические характеристики: – *разнообразие минерального состава минералов и сложные сростания сульфидов, затрудняющие их разделение*. Помимо основных промышленно-ценных минералов (сфалерита, галенита, барита) в существенном количестве находятся другие сульфиды, окислы и гидроокислы, сульфаты, полевые шпаты). *Разделение механическими методами тонких и тесных прорастаний – пойкилитовый тип по Б.П. – малоэффективно*. *Черновые коллективные галенит-сфалеритовые концентраты технологически и экономически эффективнее перерабатывать гидрометаллургическими методами, особенно автоклавным с отдельным получением металлического Pb и Zn;*

– *мелко- и тонкозернистость, сложная морфология выделений и типов сростаний сульфидов (0,005–0,5 мм; до 90% из них – тесно сростшиеся агрегаты и скопления с густой вкрапленностью в виде линз, гнезд, полос и прожилков в десятых долях и целых мм);*

– *крупные выделения барита с особыми технологическими свойствами*. Сульфиды и барит за счет преобладания такситовых текстур при дроблении в виде крупных агрегатов извлекаются гравитацией в грубые коллективные концентраты. Барит, отличающийся от сульфидов по электропроводности и флотационным свойствам выделяется из коллективного в самостоятельный концентрат.

Предложенная авторами схема обогащения обеспечивает: 1) *совместную переработку всех разновидностей руд*; 2) *комплексное извлечение всех полезных компонентов с высокими технологическими показателями (извлечение Pb 67,6–77,5%, Zn 87,1–85,7%, BaSO<sub>4</sub> –48%)*; 3) *существенное снижение объема руды, подвергаемой тонкому измельчению, что дает большой экономический эффект*; 4) *значительное сбрасывание пустой породы (22–37% от исходной руды) в голову процесса в отвальные хвосты*; 5) *применение ксантогенатов вместо сильно токсичных флотореагентов, резко улучшающее экологическую безопасность предприятия*.

Л.К. Яхонтова [21] справедливо замечает, что **для выбора экономически выгодной биотехнологии руд необходимо**: 1) *исследование тонких особенностей конституции рудных минералов с выявлением типов руд разной биотехнологической ориентации*, 2) *проведение специального картирования месторождения*. Согласно современной концепции, взаимодействие минерального субстрата с микроорганизмами, является донорно-акцепторным процессом: микроорганизмы – окислители структур минералов (акцепторы энергии), а минерал (донор энергии), подвергающийся деградации и обеспечивающий жизнедеятельность организмов. Чем выше донорное качество минералов, тем интенсивней их деструкция и биологическая переработка руд. Теоретически устойчивость минерала при окислении определяется «работой выхода» электронов из его структуры (чем больше работа, тем труднее «выход»), что обусловлено тонкими особенностями конституции

минералов. К примеру, при извлечении Au из упорных пирит-арсенопиритовых руд прогнозировать результаты их выщелачивания позволяет такие экспериментально определяемые свойства сульфидов, как тип проводимости, величины электродных потенциалов и полупроводниковые свойства – электрохимические потенциалы ( $\mu$ ), концентрация ( $n$ ) и подвижность ( $Un$ ) носителей, электродвижущая сила (ТЭДС). Так, при бактериальном выщелачивании проб арсенопирита электронного типа проводимости из месторождений Тетюхе, Тырныауз, Зармитан (Узбекистан), Депутатское, Дружба и Укачилкан (Якутия) установлена прямая зависимость извлечения Fe (Au) от величин  $Un$  и ТЭДС и обратная от  $\mu$  и  $n$  сульфоарсенида. Дырочный и смешанного типа проводимости арсенопирит характеризуется иными полупроводниковыми свойствами, в частности более высокой «работой выхода» электронов и более высокой деструктурирующей энергией. Второй пример касается бактериального обогащения нерентабельных для традиционных технологий высококаолинизированных бокситов, когда процесс обуславливается конституционной спецификой каолинита – степенью структурной упорядоченности, с размером структурных блоков и их повторяемостью (самоподобием) в слоях (фрактальность), со скоростью проникновения органики в структурном пространстве (интеркаляция). Эти зависимости были получены при бактериальной деструкции каолинита из Просановского, Дубровского и Глуховецкого месторождений Украины и использованы при бактериальной обработке проб силикатными бактериями забалансовых бокситов из месторождений Красный Октябрь, В. Аят (Казахстан) и С. Онега. В результате увеличилось отношение  $Al_2O_3/SiO_2$  в пробах с 3 до 7 (Красный Октябрь) и с 5 до 10 (В.Аят). Бокситы С. Онеги из-за высокой разупорядоченности каолинита обогатить не удалось.

Как показал О.А. Толканов [21], изучая вещественный состав и его влияние на технологические свойства «хромовых концентратов» – обогащенных и необогащенных мелкозернистых Cr руд различных генетических типов ряда уральских месторождений, представляется перспективной разработка на их основе комплексных технологий производства Cr сплавов и сталей на ЧЭМК.

### ***Выявление и создание новых видов МС с учетом наноминералогии (размерного фактора индивидов) и разработкой альтернативных технологий***

***В организации системы рудоподготовки и выбора наиболее эффективных методов сепарации ПИ важна оценка типоморфных признаков и свойств минералов, определяющих минералого-технологические особенности типов и сортов руд по глубине и экономичности их переработки.*** Чтобы учесть динамику изменения свойств за счет внешнего энергетического воздействия, в том числе направленного на повышение степени их контрастности в технологическом режиме, необходимо учитывать, что ТС минералов формируются в широком природно-технологическом гранулометрическом спектре ЕГТС как на стадии рудоподготовки, так и в различных узлах схемы обогащения. Ведущим фактором здесь выступает, прежде всего, крупность измельчения руд [23], верхний предел которой в начале XX в. составлял 1 мм, в 30-е годы для всех типов руд он был снижен на порядок – до 100 мкм, а в настоящее время многие руды измельчаются до 50 мкм, т.к. существенно ухудшились их текстурно-структурные признаки. Суммарная поверхность измельченной руды при переходе 1мм → 100 мкм крупности возрастает на 2 порядка, а при снижении линейных размеров до 50 мкм она увеличивается уже на 4 порядка (преодолевается качественный барьер). Изменения связаны с вовлечением все большего количества «труднообогащаемых руд» с неблагоприятными характеристиками: тонкозернистые со сложными сростаниями минералов и текстурами, обогащаемые с большим количеством шламов (частицы < 20–10 мкм), не имеющих эффективных методов обогащения. В этих рудах ассоциации минералов имеют близкие ТС и обуславливают низкую их контрастность при сепарации. Например, ассоциации хризоколлы, халькантиста, брошантита, полевых шпатов и кварца затрудняют флотуемость окислов и сульфидов ряда Cu-Mo и Cu руд [21]. При тонком измельчении (< 44 мкм) могут значительно изменяться природные признаки ПИ – морфология, гранулометрия и конституция минералов, вплоть до появления новообразованных фаз, явлений аморфизации, псевдоморфизации, полиморфизма [10]. Преобразования минералов при измельчении обычно начинается и заканчивается под воздействием нагрузок (тектонических в природе и механических в измельчительных аппаратах), обуславливая различную степень их диспергированиях). **В конечном итоге, новые подходы к изучению и оценке МС с учетом тонкого технологического эксперимента способствуют созданию новых технологий их переработки и расширению областей использования.**

Как уже подчеркивалось выше, учет в природных геологических и технологических системах иерархической систематики дискретного состояния вещества, позволяет по-новому подойти к минералого-технологической оценке комплексности, экологичности ПИ и отходов, разработке нестандартных методик их оценки, технологии добычи и обогащения; обеспечить разработку экономо-экологических технологий получения новых нетрадиционных видов МС. Н.П. Юшкин [24] справедливо заметил, что «...минералогия, раскрывая тайны мельчайших минеральных индивидов и минеральных структур, не только далеко раздвинет границы минерального мира, но и внесет весомый вклад в познание ультрадисперсного состояния вещества». Определяя тенденции развития минералогии на современном этапе, он подчеркивает значение интервенции минералогического познания во все области естествознания, в микромир, развитие таких направлений, как микро- и



наноминералогия. Минералогия активно входит в понятия пограничья минерального мира – структурно-конституционные и пространственно-временные. Этому способствует мощный технический прогресс в развитии прямых методов структурных и морфологических исследований, особенно различных видов микроскопии (электронной, туннельной, атомно-силовой), позволяющих исследовать отдельные атомы и их мельчайшие закономерные группировки. «Расширяются и расплываются границы представлений о дисперсных объектах. К ним сегодня относятся не только фазовоиндивидуализированные малые и сверхмалые частицы с отчетливыми поверхностными ограничениями, но и внутрифазные структурированные элементы (многоядерные соединения, молекулярные и надмолекулярные группировки, кластеры и т.п.), кратко живущие структурные ансамбли, биологические структуры соответствующих размеров и даже продукты нано- и микроинженерии ...» [25]. К наиболее характерным проявлениям «наномира» относится [26] следующие характеристики:

- проявление нетрадиционных видов симметрии и особых сопряжений границ раздела, конфигураций с динамически перестраиваемой структурой;
- доминирование над процессами искусственного упорядочения явлений самоупорядочения и самоорганизации, как проявления матричного копирования и особенностей синтеза в неравновесных условиях;
- высокая электрическая, магнитная и каталитическая (химическая) избирательность поверхности ансамблей на основе наночастиц, включая композиции неорганической и органической природы;
- особый характер протекания процессов передачи энергии, заряда и кофигурационных изменений с низким энергопотреблением, высокой скоростью и носящих признаки кооперативного синергетического процесса.

Следует иметь в виду, что *проявление новых свойств и необычных характеристик у наноструктурированных материалов в основном связывается тремя причинами:*

1) с каждым свойством вещества связана характеристическая или критическая длина, и основные физические и химические свойства меняются, когда размеры твердых тел становятся сравнимыми с характеристическими длинами, большинство из которых лежит в нанометровом диапазоне;

2) возникновение размерных эффектов, как комплекса явлений, связанных с изменением свойств вещества вследствие собственно изменения размера частиц и одновременного возрастания доли поверхностного вклада в общие свойства системы;

3) возрастание роли поверхности частицы по сравнению с ее объемом в наноразмерных системах, являющейся определяющей характеристикой в изменении свойств вещества.

Считается, что поверхность твердого тела представляет собой особый мир, где проявляются не только твердотельные свойства, но также свойства жидкости и газовой фазы. Изменяются при этом симметрия поверхностной фазы или межфазных границ, повышается энергия по сравнению с внутренней частью твердого тела. Поэтому, свежесколотые поверхности имеют большую энергию и химическую реакционную способность, что четко фиксируется в изменении удельной поверхностной энергии (избыток поверхностной энергии, отнесенный к единице площади). Последняя увеличивается обратно-пропорционально размеру твердого тела, поэтому микро- и наночастицы будут иметь наибольшую энергонасыщенность и реакционную способность. Важным фактором оценки раскрытия сростаний минералов ПИ в связи с изменением размера их частиц при измельчении и эффективности процессов сепарации выступает также величина удельной поверхности. Следовательно, изменение размерного фактора в конечном итоге приводит к кардинальному изменению физических, химических, в целом технологических, и других свойств наноматериалов. Именно поэтому принцип «размер – свойства» лежит в основе современных нанотехнологий. Методы получения наноминералов (плазменный; осаждение из газовой фазы, включая диссоциативную фотосорбцию; синтез из гелевых растворов; электроосаждение; ударное и электроимпульсное измельчение; природное образование) становятся составной частью технологии комплексной переработки природного и техногенного МС. Огромные возможности энергии поверхностных процессов просматриваются в адсорбционных методах сепарации, базирующихся на кристаллохимических и кристаллофизических процессах в гетерогенных системах при различных воздействиях. Серия методов направленного изменения технологических свойств обеспечивает повышение эффективности технологий их обогащения, прежде всего, нанотехнологий. Эффективно используются многие приемы ТМ при изучении вещественного состава руд и различных нетрадиционных видов МС в связи с разработкой нанотехнологий по извлечению полезных компонентов (Au, Pt, сульфиды, минералы глин, цеолитов и др.). *За нанотехнологиями будущее нашей науки и практики.*

### ***Минералого-геохимическое изучение и оценка техногенных МПИ с разработкой комплексных решений по утилизации отходов для получения новых видов МС***

С.Т. Бадалов, подчеркивая особо геохимические методы изучения комплексности руд (роль технологической геохимии), справедливо замечает [21], что «проблема комплексного использования из руд всех ценных элементов заключается не только в их извлечении из специализированных концентратов, но и при попутном извлечении их из всех других минералов-носителей. Только в этом случае, т.е. с учетом

**всех форм нахождения и распределения каждого ценного элемента в рудах, проблему комплексности использования руд можно считать решенной».** Именно комплексный минералого-геохимический и технологический подход к изучению, оценке и переработке различных видов МС является оптимальным в решении многих эколого-экономических проблем и прежде всего на ГОКах.

В.Г. Моисеенко и др. [21] на основании комплексной переработки отходов горнодобывающих предприятий Приамурья (сложного минерального состава, строения – морфологии и granulometрии выделений, геохимии, пролежавших много лет и претерпевших порой существенные минералого-технологические изменения за счет окисления, уплотнения, переотложения и др. явлений) разработана разветвленная технология (с полным извлечением Au, платиноидов, Ag, Hg, радиоактивных минералов, кварца и др.), включающая следующие блоки извлечения: *свободного и связанного Au и других компонентов в коллективный гравитационный концентрат* → *выщелачивание Au из вторичных иловых фракций, образовавшихся при переизмельчении части отходов на стадии высвобождения связанного Au,* → *пирогидрометаллургия и пирометаллургия концентратов с получением сплавов Дорэ, ртути, платиноидов.* Технология экологически безопасна, т.к. переработка ведется в закрытой системе с многократным использованием технологических вод и растворов.

Л.Г. Виноградова [21], изучая отходы Орловского ГОКА, перерабатывающие комплексные W-редкометалльные руды (грейзенизированные граниты) месторождения Спокойное, рассматривает сформированное крупное техногенное МПИ. Изучение песков и донных осадков хвостохранилища атомно-абсорбционным и количественным спектральным анализами показало, что они, как и исходные руды, обогащены (г/т) W – 1300, Bi – 77, Pb – 80, Zn – 300, Nb – 200, Cd – 8, Be – 200, значительно превышая их кларки. Обнаружена определенная закономерность в распределении элементов. Так, Li, Be, Ga, Mn, Zn, входящие в минералы с небольшой плотностью – берилл, полевой шпат, слюды, гидроокислы Mn, распределены по хвостохранилищу относительно равномерно, образуя лишь отдельные участки, обогащенные Li и Be. Вторая группа включает W, Nb, Y, Bi, Pb, образующие тесные корреляционные связи между собой, – это элементы, входящие в минералы с очень высокой плотностью, – вольфрамит, Pb-Bi-сульфосоли, штольцит, русселит, галенит. Их содержание повышено в непосредственной близости от сброса пульпы в песках образованного намывного пляжа и здесь же заметно увеличение их содержания с глубиной. Постепенное выравнивание их содержания на всю глубину прослеживается по мере продвижения к отстойному пруду в целом уменьшение их общего содержания, а затем вновь резко увеличение в донных осадках пруда. Таким образом прослеживаются определенные закономерности в распределении минералов с учетом их конституции, свойств и granulometрии, обуславливая их перенос и накопление. Однако, по мере старения осадков происходит постепенное растворение и окисление всех минералов в зоне гипергенеза с переходом элементов в легкоподвижные формы. Например, заметно повышается содержание Bi и W в воде хвостохранилища, а также в почвах по берегу ручья за счет просачивания сквозь дамбу. При этом содержание наиболее опасных ионно-подвижных форм рудных элементов в почвенном горизонте на порядок превышает содержание их в почвах, не подверженных влиянию хвостохранилища. Несомненно, возможное использование такого техногенного МПИ потребует перед разработкой технологии обогащения лежалых хвостов предварительного детального исследования вновь образованных форм нахождения всех рудных элементов. Следует согласиться с мнением А.В. Богдановича [21], что на большинстве ГОКов возможно существенное повышение комплексности использования МС с одновременным ростом рентабельности всего производства в целом. Здесь перспективны два направления: попутное извлечение благородных металлов и использование с разработкой соответствующих технологий для отвальных продуктов передела – различного рода балластных и строительных материалов (щебня, цемента, каменных блоков, стекловаты, аглопорита, каменного литья и т.д.). Кроме экономической выгоды, повышение комплексности использования руд способствует улучшению экологии на ГОКах и в целом в районах их нахождения.

## ЛИТЕРАТУРА

4. Ревнивцев В.И. Роль технологической минералогии в обогащении полезных ископаемых // ЗВМО. 1982, вып. 4. С. 4–20.
5. Пирогов Б.И. Роль минералогических исследований в обогащении руд // Минерал. журнал. 1982. № 1. С. 81–92.
6. Изютко В.М. Технологическая минералогия и оценка руд. СПб.: Наука, 1997. 582 с.
7. Щицов В.В. Технологическая минералогия промышленных минералов Карелии // Минералогия, петрология и минералогия докембрийских комплексов Карелии. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2007. С. 119–123.
8. Бискэ Н.С. Влияние регионального метаморфизма на технологические свойства графитоносных пород // Технологическая минералогия главнейших промышленных типов месторождений. Л.: Наука, 1987. С. 183–188.
9. Быдтаева Н.Г., Киселева Р.А., Милеева И.М. Предварительная оценка качества кварцевого сырья с целью прогноза его технологических показателей // Резулт. фонд. и прикл. иссл. по разраб. методик технолог. оценки руд металлов и промышл. минералов на ранних стадиях геол.разв. работ. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2006. С. 112–119.
10. Данилевская Л.А., Раков Л.Т. Структурные примеси в кварце как важный критерий оценки качества кварцевого сырья и прогноза его технологических свойств // Резулт. фонд. и прикл. иссл. по разраб. методик технолог. оценки руд металлов и промышл. минералов на ранних стадиях геол.разв. работ. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2006. С. 119–124.
11. Григорьев Д.П. Позиции онтогении минералов // ЗВМО, 1978. Ч. 107. Вып. 4. С. 407–415.

12. Руденко С.А., Иванов М.А., Романов В.А. Метаморфизм минералов – важное явление в истории их формирования // ЗВМО, 1978. № 6. С. 698–710.
13. Пирогов Б.И., Поротов Г.С., Холошин И.В., Тарасенко В.Н. Технологическая минералогия железных руд. Л.: Наука, 1988. 304 с.
14. Пирогов Б.И. Онтогенический метод в познании технологических свойств минералов // Проблемы онтогении минералов. Л.: Наука, 1985. С. 22–30.
15. Григорьев Д.П. Соотношение технологической минералогии с сопредельными отраслями знания // Онтогения минералов и технологическая минералогия. Киев: Наукова Думка, 1988. С. 11–15.
16. Григорьев Д.П. Рассуждения о минералогии. Сыктывкар: Геопринт, 1998. 88 с.
17. Современные методы оценки технологических свойств труднообогатимого и нетрадиционного минерального сырья благородных металлов и алмазов и прогрессивные технологии их переработки // Плаксинские чтения (Иркутск). М.: Альтекс, 2004. 232 с.
18. Юшкин Н.П. Наноминералогия: объекты, функции, перспективы // Минералогическое общество и минералогическая наука на пороге XXI века. СПб.: Мин. об-во при РАН, 1999. 20 с.
19. Котова О.Б. Поверхностные процессы в тонкодисперсных минеральных системах. - Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 194 с.
20. Сидоренко Г.А. Современный фазовый анализ как средство оценки качества и обоснования путей технологической переработки минерального сырья // Обогащение руд. 1996. № 1. С. 32–35.
21. Ожогина Е.Г., Рогожин А.А. Применение комплекса минералого-аналитических методов для технологической оценки руд черных и цветных металлов // Разведка и охрана недр. 2005. № 4. С. 33–36.
22. Кушпаренко Ю.С. Минералогическая технология – новое направление изучения вещественного состава минерального сырья. М.: РИЦ ВИМСа, 1997. 40 с.
23. Стратегия использования и развития минерально-сырьевой базы редких металлов России в XXI веке // Тез. докл. Международ. симпозиума. М.: Изд. ВИМС МПР, 1998. 384 с.
24. Минералогия – основа использования комплексных руд // СПб.: Мин. об-во при РАН, 2001. 218 с.
25. Туресебеков А.Х., Конеев Р.И., Каширский С.А., Ахмедов А.М. Дискретное состояние вещества в рудных и техногенных системах // Минералогическое общество и минералогическая наука на пороге XXI века. СПб.: Мин. об-во при РАН, 1999. С. 174–175.
26. Ревнищев В.И. Рудоподготовка как новое направление горных наук // Основные направления развития техники и технологии обогащения ПИ. Л., 1983. С. 3–22.
27. Наноминералогия. Ультра- и микродисперсное состояние минерального вещества. СПб.: Наука, 2005. 581 с.
28. Лучинин В.В. Индустрия наносистем. Системный подход. // Дополнение к книге Ч. Пула, Ф. Оуэнса Мир материалов и нанотехнологий. М.: Техносфера, 2005. С. 319–327.
29. Конеев Р.И. Наноминералогия золота эпитеpmальных месторождений Чаткало-Кураминского региона (Узбекистан). СПб.: DELTA, 2006. 206 с.

## **РОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ ПРИ ОЦЕНКЕ МНОГОЦЕЛЕВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МИНЕРАЛОВ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ**

***Щипцов В.В.***

Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск

### ***Введение***

За длительный период изучения индустриальных минералов Карелии выполнены геологические исследования различных видов (групп) месторождений и проявлений полезных ископаемых. В течение многих лет в Институте геологии КарНЦ РАН проводится систематическое изучение вещественного состава и технологических свойств индустриальных минералов Карелии. Этот научный потенциал и практический опыт большого коллектива исследователей и положен в основу анализа состояния и прогноза потенциальных возможностей продуктов обогащения индустриальных минералов Республики Карелия для многоцелевого использования в различных отраслях народного хозяйства.

Систематизация является неотъемлемой частью динамической оценки состояния запасов или ресурсов и обоснования стратегий их разработки с учетом критерия доступности запасов (*minerals availability*), т.е. доступность минеральных ресурсов в системе «общество – минеральные ресурсы», характеризующее возможность их эффективного и безопасного использования в зависимости от состояния ресурсов, потребности в них и достигнутого технологического уровня [1].

В общей схеме информационных потоков важное место занимают базовые ресурсы результатов научно-исследовательских работ в области геологии, технологической минералогии, обогащения индустриальных минералов [2] и создания на их основе строительных, технических и другого назначения материалов.