

Лекционные и лабораторные материалы по Технологической минералогии для студентов – заочников гр. ОП

Место технологической минералогии в ряду естественных наук

В современной минералогии выделяют следующие основные направления:

- 1) описательная минералогия (статистическая).
- 2) генетическая минералогия (динамическая).
- 3) прикладная минералогия (практическая). В последней в свою очередь намечено три направления: а) поисковая минералогия; б) технологическая минералогия и в) изучение состава, свойств и распространенности минералов с целью изыскания новых видов сырья.

Технологическая минералогия возникла вследствие резкого ухудшения качественных показателей рудного сырья. Эффективная переработка руд стала невозможной без обеспечения технологов достоверной информацией о качестве руд непосредственно в недрах, без постоянного контроля за составом и свойствами руд, которые поступают на обогащение. Поэтому и встала проблема технологической оценки руд на всех стадиях освоения месторождений.

В настоящее время принято считать, что технологическая минералогия – это новое научно-прикладное направление, развивающееся на стыке минералогии и технологии минерального сырья.

Зарождение и развитие технологической минералогии тесно связано с большими успехами в развитии всей минералогической науки и особенно следующих ее разделов.

1. Расшифровка новых структур и оценка свойств минералов на основе разработки теории кристаллохимии и физики минералов (Н.В. Белов, Г.Б. Бокий, А.С. Поваренных, А.Н. Платонов, А.Д. Ракчеев, А.А. Годовиков, А.С. Марфунин, В.М. Авдохин и др.).
2. Развитие проблем неоднородности и типоморфизма минералов (Е.К. Лазаренко, В.И. Павлишин, Н.В. Петровская, Ф.В. Чухров и др.).
3. Учение об онтогении и филогении минералов (Д.П. Григорьев, А.Г. Жабин, Ю.М. Дымков, Б.В. Чесноков, В.А. Попов и др.).
4. Регионально-минералогические исследования (А.А. Кухаренко, Е.К. Лазаренко, Б.И. Пирогов, А.И. Гинзбург, Н.П. Юшкин и др.).
5. Разработка и углубление современных методов анализа минералов (микрорентгеноспектрального, лазерного, ИКС, ЯМР, ЭПР, ЯГР и др.); внедрение их в практику для: а) диагностики и расшифровки конституции минералов; б) решения прикладных вопросов, связанных с обогащением различных типов руд (В.З. Блисковский, Л.А. Барский, А.И. Гинзбург, Д.П. Григорьев, О.П. Иванов, Ю.С. Кушпаренко, В.И. Ре-внивцев, Б.И. Пирогов, Н.Ф. Челищев, В.М. Изойтко, Т.С. Юсупов и др.).

Существуют различные точки зрения на предмет технологической минералогии (ТМ). А.И.Гинзбург и И.Т.Александрова (1974 г.) считают, что технологическая минералогия это научное направление в прикладной минералогии, объединяющее все минералогические исследования для интенсификации использования минеральных ресурсов.

В.З.Блисковский (1975 г.) технологическую минералогию представляет как два самостоятельных раздела: а) обогатительная минералогия, которая изучает процессы перераспределения минеральных фаз в технологическом процессе при условии сохранения их природы; б) техническая минералогия, которая изучает процессы перевода природных соединений в искусственные и образующиеся новые фазы.

Н.Ф.Челищев (119) считает, что технологическая минералогия это наука, основной задачей которой является изучение свойств минералов в связи с возможностью их практического использования.

В.И.Ревнивцев (84 - 86) технологическую минералогию считает частью прикладной минералогии, которая использует минералогические знания на всех стадиях переработки минерального сырья – в разведке, горных работах, рудоподготовке, обогащении, химико-металлургической и других видах переработки, при накоплении техногенных отходов. По его мнению минералог из советчика должен превратиться в активного исследователя, который первым вступает в разработку рациональной технологии.

О.Б.Дудкин (22) считает, что технолог и минералог в технологической минералогии должны считаться равноправными исследователями, хотя было мнение, что технологическая минералогия это минералогия на службе технологии.

По мнению Г.А.Коца и др (43) технологическая минералогия это раздел прикладной минералогии, который объединяет все минералогические исследования, связанные с изучением технологических свойств минералов, разработкой рациональных схем переработки и комплексного использования минерального сырья

Т.С.Юсупов (20, 124) под технологической минералогией понимает науку, изучающую строение и физико - химические свойства минеральных агрегатов с целью эффективного использования минералов и содержащихся в них полезных компонентов. Предметом этой науки являются руды как совокупности минералов, углубленное изучение структуры и свойств которых позволяет совершенствовать процессы разделения и извлечения ценных компонентов физическими, химическими, биологическими и другими методами, комплексного использования минерального сырья и решения экологических проблем при добыче и переработке.

Л.А. Барский (8) к предмету «технологическая минералогия» относит характеристику: а) минералов, их кристаллохимического и морфологического описания, изоморфизма и минеральных разновидностей; б) минералогии полезных ископаемых с разделением на описание минералов в месторождениях и минералогии ценных компонентов (минералы черных, цветных, редких и т.д.

металлов); в) задач и методов технологической минералогии с точки зрения технолога.

А.С. Авдонин с соавторами (1990 г.) считают, что технологическая минералогия должна изучать: 1) химический состав минералов; 2) минеральный состав технологических проб; 3) текстурно-структурную характеристику минерального сырья; 4) энергетическое воздействие на физико-химические свойства минералов; 5) разрабатывать методы: а) фазового анализа руд; б) определения физических свойств минералов; в) энергетического воздействия на минеральное сырье.

В.М. Изюитко (28) технологическую минералогия рассматривает как «мостик» между генетической минералогией и обогащением руд. Поэтому большое внимание, по ее мнению, должно уделяться: 1) свойствам минералов, наиболее важных для технологической переработки, методам их изучения на основе многочисленных справочных данных; 2) влиянию технологических свойств минералов на показатели переработки руд на примере конкретных месторождений, относящихся к различным генетическим типам; 3) выдаче рекомендаций по геолого-технологическому изучению геолого-промышленных типов месторождений на разных стадиях геолого-разведочных работ.

Б.И. Пирогов (78) под технологической минералогией понимает науку, которая объединяет минералогические и технологические исследования, которые связаны с изучением вещественного состава, текстурно-структурных признаков полезных ископаемых технологических свойств минералов в эволюции единой геолого-техногенной системы (ЕГТС) на макро-, микро- и наноровне, направленные на разработку рациональных схем их обогащения и комплексного использования минерального сырья.

В становлении и развитии этой науки им выделяется 3 основных этапа:

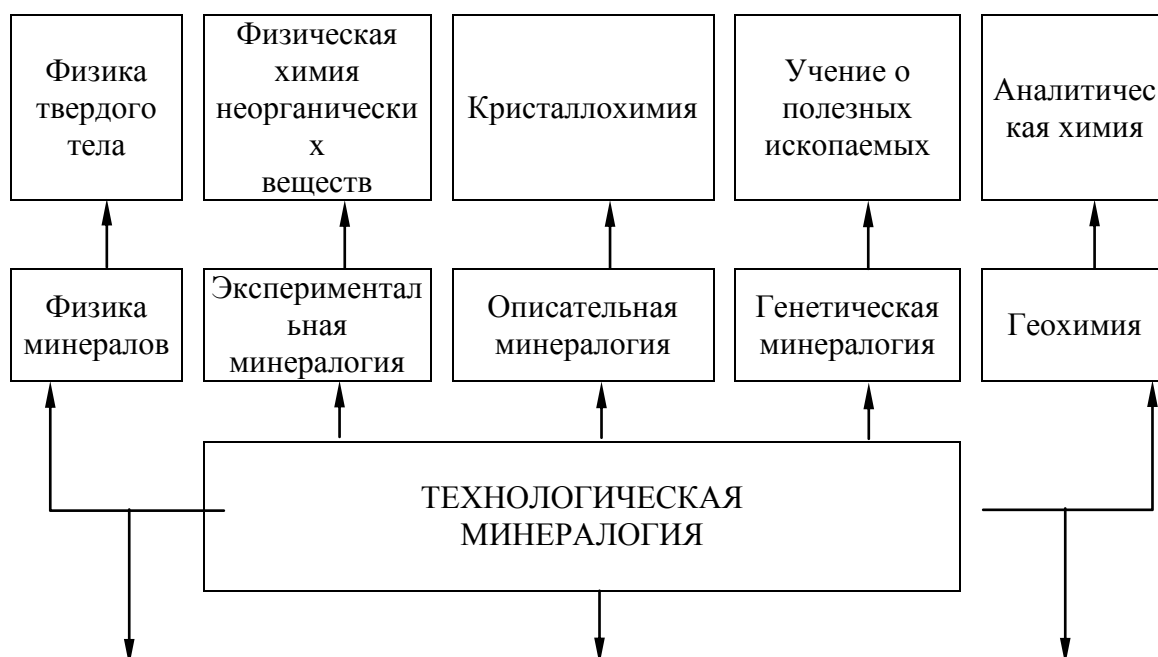
1. 1798 – 1950-е годы. В.М. Севергин в 1798 г. ввел понятие технологической и экологической минералогии и потом в течение длительного времени велось изучение морфологии, кристаллохимии, генезиса минералов, оценивалась обогатимость различных видов минерального сырья. Становление научного направления ТМ состоялось только в 30-е годы XX столетия в ВИМСе по инициативе и участии его директора Н.М. Федоровского. На различных видах полезных ископаемых изучались многие (в том числе и технологические) свойства минералов, разрабатывались минералогические критерии поисков и оценки месторождений полезных ископаемых и рациональные технологические схемы обогащения и создавались минералогические ячейки (лаборатории) во многих институтах – ВИМС, КИМС, САИГИМС, ЦНИГРИ, ДВИМС, ИМР, МЕХАНОБР, ГИГХС, УРАЛМЕХАНОБР, ЦНИИОЛОВО, ГИНЦВЕТМЕТ, ГИРЕДМЕТ, ИПКОН, ИГи Г, ЗАБНИИ, и др. В них был накоплен огромный фактический материал по минералого-технологической оценке минерального сырья.

2. 1951 – 2000 г. При обогащении железистых кварцитов в КМА и Криворожье и ряда других полезных ископаемых на первое место встали вопросы достоверности данных по минералого-технологической оценке руд при разведке, эксплуатации и технологическом опробовании, выявлению причин расхождения проектных и фактических данных.

Появилась необходимость изучения геолого-минералогических факторов обогатимости руд и целесообразность геолого-технологического картирования месторождений (работы А.И.Гинзбурга, Б.И.Пирогова, И.Т.Александровой, О.П.Иванова, Н.П.Юшкина и др.) Особый размах развитию теории ТМ придали большие успехи кристаллохимии, физики минералов, онтогении, филогении, топоминералогии и применение новых методов исследования. Все это было объединено в Комиссии по ТМ при ВМО и Механобре (В.И.Ревнивцев, А.И.Гинзбург, Б.И.Пирогов, В.М.Изоитко и др.). В этот этап в ТМ широко используются данные по изучению процессов формирования минералов для совершенствования рудоподготовки и технологической концентрации. С применением

3 этап начался с 2001 г. – это этап наноразмерных технологий. Они предполагают изучение и внедрение механизмов извлечения ценных компонент на молекулярном, атомарном, электронном уровнях и появляется возможность управлять технологическими процессами на уровне формирования полезных ископаемых. Проявление необычных физических, химических и механических свойств наноминералов приводит к изменению кинетических и динамических характеристик при обогащении. Различные методы получения наноминералов (плазменный, осаждение из газов, фотосорбция, синтез из гелевых растворов, электроосаждение, ударное и импульсное измельчение, природное образование) – это составные части технологии комплексной разработкой нанотехнологий по извлечению многих полезных ископаемых – золото, платиноиды, цеолиты и др. За нанотехнологиями будущее ТМ.

Технологическая минералогия тесно связана со многими другими науками (рис. 1.1). Минералогические знания в технологии минерального сырья используются на всех стадиях разведки месторождений, проведения горных работ, рудоподготовки, обогащения с учетом системы минералогического контроля на обогатительной фабрике, химико-металлургической переработки, накопления техногенных отходов.



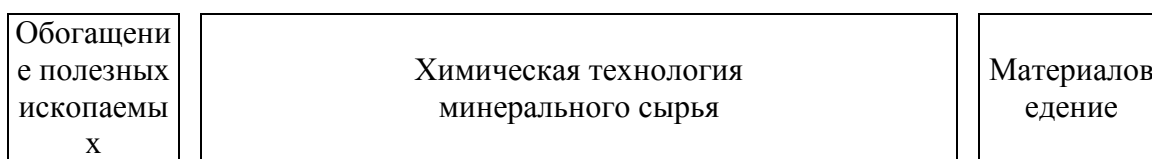


Рис. 1.1. Связь технологической минералогии с другими науками

Методология технологической минералогии базируется на зависимости технологических свойств минералов от их конституции и генезиса, т.е. технологические свойства минералов имеют двойственную природу: с одной стороны, эти свойства взаимосвязаны с их генезисом, конституцией и морфологией, а с другой – с изменением морфологии, конституции и, как следствие, природных свойств при рудоподготовке и обогащении (рис. 1.2).

Объекты технологической минералогии и ее основные направления

Основными объектами технологической минералогии являются: минеральные виды, их парагенезисы, минеральные индивиды, минеральные агрегаты, продукты их дробления, измельчения и обогащения. На этих объектах технологическая минералогия объединяет все исследования, связанные: а) с изучением технологических свойств минералов и руд и их обогатимости; б) с разработкой рациональных схем обогащения, обеспечивающих наиболее полное извлечение полезного компонента; в) с комплексным использованием минерального сырья; г) с интенсификацией геологоразведочных работ по приросту запасов. Решение этих вопросов требует познания природы минерала на уровне *микромра*, так как по мере изменения их природной гранулометрии многие первичные свойства существенно изменяются.

По мнению Б.И. Пирогова, в технологической минералогии можно наметить следующие основные направления.

1. Выявление взаимосвязей технологических свойств минералов с их конституцией и генезисом с целью разработки минералогических критериев оценки руд.
2. Изучение контрастности свойств минералов и их раскрытия при дроблении и измельчении с помощью комплекса современных методов исследования (фазовый анализ, микронзондовый, лазерный, ИКС, ЭПР, ЯКР и др.).
3. Геолого-технологическое картирование месторождений с выделением и оконтуриванием технологических типов руд.
4. Исследование изменчивости свойств минералов при подготовке руд к обогащению и в самом технологическом процессе с целью контроля управления этим процессом.
5. Исследование отвальных технологических продуктов для разработки безотвальной технологии с учетом окружающей среды. В громадных отвалах ГОКов накопилось огромное количество многих руд, в которых содержание

металлов выше, чем в обрабатываемых месторождениях. В то же время отвалы сильно загрязняют окружающую среду. Изучение этих техногенных продуктов – важнейшая народно-хозяйственная и научная задача. Здесь скрыты многие резервы разработки безотвальной технологии. Повышение извлечения полезных компонентов из руд, как и разработка новых эффективных схем их обогащения, равносильно открытию новых месторождений.

6. Разработка различных методов воздействия на минералы (радиационных, электрических, термических и др.), которые приведут к изменению их свойств в заданном направлении.

По мнению Т.С.Юсупова (124) к основным направлениям этой науки относятся:

1. Изучение минерального и химического состава руд монопродуктов с целью определения возможного извлечения из них минералов и элементов;
2. Изучение вкрапленности и характера сростания минералов с целью выбора методов разупрочнения, раскрытия сростков и подбора режимов измельчения,
3. Изучение форм нахождения ценных компонентов в рудах и выбор методов извлечения,
4. Минералого-технологическое картирование с выделением типов и сортов руд с целью их эффективного обогащения с учетом экологических требований,
5. Разработка рациональных методов энергетического воздействия на минеральное сырье на основе установления структурно-чувствительных свойств минералов с целью создания их контрастности,
6. Создание малоотходной технологии переработки сырья на основе минералогического и химического изучения,
7. Решение экологических проблем – выявление токсичных минералов и элементов и разработка мероприятий по их обезвреживанию.

На современном этапе перед ТМ и вообще перед учеными - обогатителями стоит сложнейшая задача – разработка научных основ и технологических решений сепарации минералов и извлечение элементов из бедных, труднообогатимых, упорных руд и из техногенного сырья. Для этого необходимо проводить исследования структуры и свойств минералов на атомно-молекулярном уровне с целью изменения существующих и создание новых разделительных свойств, а также изучение изменчивости минералов и их агрегатов в процессах рудоподготовки и обогащения после механических и физико-химических воздействий. Ныне в развитии ТМ четко намечено 2 направления: а) стереологическое (главное) – это исследование раскрытия минералов при измельчении; наиболее эффективным методом освобождения минералов из сростков считается классификация сростков по крупности и доизмельчение только их крупных классов.; стереологические исследования природных структур руд, сростков и раскрытых фаз во всех циклах переработки дают важную информацию о технологических свойствах руд и работе оборудования, что дает возможность все время совершенствовать процессы рудоподготовки; б) физико-химическое направление – это исследование руд и продуктов их переработки многими методами: оптическая и электронная микроскопия, микрозондовый анализ, ОЖЕ-спектроскопия, ИКС, рентгенография, ДТА, радиочастотная (ЭПР, ЯМР, ЯКР), мессбауровская спектроскопия, электронография, люминесцентные, электро- и магнитостатические анализы и др.

Правильно поставленные минералого-технологические исследования могут оказать существенную помощь технологам: а) в разработке таких

технологических схем, которые позволят полно и комплексно переработать руды с максимальным извлечением всех компонентов; б) в осуществлении контроля и управления процессом обогащения на ГОКах.

1.3. Основные задачи технологической минералогии

Главная задача технологической минералогии заключается в прослеживании всего хода изменения минерального вещества по цепочке: генезис – извлечение минерала из литосферы технологическими способами – переработка вещества – накопление отходов.

Поскольку рассматриваемая наука развивалась технологами и геологами-минералогами одновременно, то этими исследователями ставились свои конкретные задачи, которые хотя и различаются в деталях, в целом дополняют друг друга и составляют единое целое. В качестве примера рассмотрим точки зрения ведущих технологов-обогащителей (Л.А. Барский, В.И. Ревнивцев) и геологов (А.И. Гинзбург).

Л.А. Барский все задачи этой науки подразделяет по основным стадиям обогатительного и химико-металлургического процесса переработки минерального сырья.

I. На стадии **рудоподготовки**, которая включает операции усреднения, дробления, грохочения, предварительной сортировки и классификации:

- 1) выделение технологических типов руд для отдельного обогащения и внутритипового усреднения. При этом необходимо учитывать пространственное распределение рудных минералов, полезных и вредных компонентов, зональность минералогическую, геохимическую, гипергенную и др.;
- 2) геолого-технологическое картирование месторождений: установление типоморфизма минералов, особенностей минерального состава, выделение минеральных парагенезисов, и все это в связи с обогатимостью руд;
- 3) предварительная сортировка руд по концентрации компонентов, вещественному составу, обогатимости, выделение отвальных продуктов на стадии первичного или среднего дробления с выделением отдельных минералов или ассоциаций, цвету, блеску, люминесценции, радиоактивности и т.д.;
- 4) предварительное обогащение минералов по форме, коэффициенту трения, измельчаемости, размеру частиц и т.д.;
- 5) оценка твердости минералов, механической прочности агрегатов, измельчаемости, вкрапленности, взаимопрорастания минералов, контрастности руд для выбора оптимальной степени измельчения.

II. На стадии **разработки технологических схем обогащения руд**:

- 1) изучение состава руд с целью получения селективных и коллективных концентратов методом обогащения, определение комплексности руд (в минерале, агрегате, рассеянном состоянии);
- 2) изучение состава пород с целью разработки схемы безотходной технологии;
- 3) изучение свойств минералов и возможности их выделения на гравитационных, электрических, магнитных аппаратах, методом флотации и др.;
- 4) возможное изменение свойств минералов с целью применения механических, термических, акустических, химических, радиационных воздействий для повышения селективности разделения минералов.

III. На стадии *химико-металлургических и комбинированных технологических схем переработки*:

- 1) изучение растворимости минералов в различных растворителях с целью гидрометаллургического извлечения компонентов и доводки концентратов;
- 2) возможность изменения растворимости минералов путем термических, бактериальных, автоклавных, механических и других методов с целью повышения извлечения компонентов и комплексной переработки руд, применимости геотехнологической разработки месторождений.

IV. При *флотационном обогащении*:

- 1) исследование кристаллохимических особенностей минералов, поверхностных свойств, типа проводимости, природы сорбционно-активных центров, структуры связей атомов в поверхностном слое - все это с целью выбора флотореагентов для флотационной селекции минералов;
- 2) исследование гидратации поверхности минералов в водной суспензии в присутствии флотореагентов для регулирования селективной флотации;
- 3) исследование влияния состава количества изоморфных примесей, структурных дефектов, типа проводимости и других особенностей минералов, которые меняются в пределах месторождения, на их сорбционные и флотационные свойства с целью организации системы управления режимом флотации и прогнозирования показателей обогащения.

В.И. Ревнивцев (85) определил технологическую минералогию как «раздел прикладной минералогии, использующей минералогические знания в технологии минерального сырья на всех стадиях разведки, проведения горных работ, рудоподготовки, обогащения, химико-металлургический и других видов переработки, накопления техногенных отходов». По его мнению, главными задачами этой науки являются: 1 Комплексное изучение технических и технологических свойств минерального сырья как функции его состава и строения: а) на атомно-молекулярном уровне кристаллической решетки минералов; б) на микроуровне отдельных кристаллов; в) на макроуровне горной породы и руды; г) в пределах природного типа руды и в объеме месторождения; 2 Использование полученных знаний для объяснения закономерностей поведения минералов в технологических процессах; 3. Нахождение способов направленного изменения технических и технологических свойств с целью расширения возможностей использования минеральных продуктов или разработки более рациональных схем извлечения полезных компонентов.

В.З. Блисковский к задачам ТМ относит: а) изучение текстурно-структурных и гранулометрических особенностей руд при разной степени дробления и измельчения, б) определение минерального и химического состава руд, формы присутствия химических компонентов, химизм реальных минералов, в) определение физических и физико-химических свойств минералов и руд, г) изучение характера взаимодействия руд и минералов с водой, воздухом, флотореагентами; д) оценка обогатимости и типизация руд.

По мнению О.Б. Дудкина (1983 г.) к основным задачам ТМ следует отнести: а) обобщение и использование всей информации о минерале по всем циклам его вовлечения в производственный процесс, б) учет характеристик минерала на всех уровнях его изучения, в) последовательный анализ погрешностей при организации минералогических определений, г) рациональный подбор методик, их эталонирование, контроль и развитие всех возможных видов моделирования с разработкой количественных оценок.

Г.А.Митенков и др.(61) к задачам ТМ относят: а)изучение минералов в качестве объектов разнообразных технологий, б) изучение минералов как объектов экологии, в) разработка теоретических основ и изучение закономерностей поведения минералов в различных процессах обогащения и металлургии ,г)разработка методов экспрессного количественного определения минералогических параметров, обуславливающих технологические показатели, д)проведение исследований по направленному изменению технологических свойств минералов, е) разработка математических моделей взаимосвязи между свойствами минералов и показателями переработки руд.

А.И. Гинзбург в 1984 г. наметил следующие задачи технологической минералогии.

1. Минералого-технологическое картирование с целью выделения типов и сортов руд, уточнение их пространственного распределения.
2. Выяснение основных и попутных компонентов для комплексного использования сырья и создания безотходной технологии.
3. Выяснение формы вхождения полезного компонента и составление баланса его распределения по минералам с целью выбора схем переработки сырья и определения возможного извлечения при обогащении.
4. Минералогические исследования при радиометрической сортировке.
5. Направленное изменение технологических свойств минералов.
6. Изучение раскрываемости зерен полезных минералов при дроблении.
7. Минералогические исследования при разработке схем обогащения руд.
8. Минералогические исследования при разработке и усовершенствовании гидрометаллургических схем переработки минерального сырья.
9. Минералогическое изучение отходов производства для разработки безотходной технологии и создания новых материалов.

По мнению В.И.Кузьмина, Е.Г.Ожогойной (45) основной задачей ТМ является оценка технологических свойств минерального сырья на разных стадиях геологического изучения и освоения месторождений полезных ископаемых. Это позволяет: а) прогнозировать экономическую целесообразность вовлечения сырья в переработку, б) предлагать методы и способы обогащения, в) контролировать и управлять технологическим производством и учитывать его экологические последствия, г) разрабатывать природоохранные мероприятия. ТМ позволяет определять вещественный состав месторождения; выдержанность качества руд в его пределах; выявлять свойства минералов, влияющих на технологические процессы; прогнозировать и контролировать технологические показатели обогащения с помощью минералого-аналитических методов; давать рекомендации по направленному изменению технологических свойств руд. ные продукты: концентраты (коллективные и селективные), промпродукты, хвосты. Главными технологическими показателями считаются выход продуктов, извлечение в них компонентов и их содержание, извлекаемое содержание, расход руды на единицу продукции, потери компонентов (28). Все эти показатели зависят от вещественного состава и технологических свойств руды.

