Дисциплина «Рациональное использование минеральных ресурсов» для магистрантов ОП 7М07203 "Горное дело"

Лекция 1. Концептуальные основы рационального использования минеральных ресурсов

Цель лекции: Сформировать у магистрантов целостное представление о концептуальных основах рационального использования минеральных ресурсов как фундаментальной дисциплины горного дела. Изучить современную классификацию минеральных ресурсов (запасы, ресурсы, резервы) и национальные системы их оценки. Освоить основные принципы рационального недропользования: полноту извлечения, комплексность использования, минимизацию воздействия на окружающую среду. Проанализировать ключевые вызовы современности, такие как истощение богатых руд, рост глубины разработки и ужесточение экологических норм.

План лекции:

1) Определение минеральных ресурсов и их классификация (запасы, ресурсы, резервы).
2) Принципы рационального использования: полнота извлечения, комплексность, минимальное воздействие на окружающую среду.
3) Современные вызовы: истощение богатых руд, рост глубины разработки, ужесточение экологических норм.
4) Индикаторы рациональности: коэффициент извлечения, уровень разубоживания, доля попутных компонентов.

Минеральные ресурсы являются фундаментом современной цивилизации. Горнодобывающая промышленность обеспечивает человечество металлами, минеральным сырьём для производства удобрений, строительства и энергетики. Однако минерально-сырьевая база, в отличие от возобновляемых природных ресурсов, относится к категории исчерпаемых и невозобновляемых. Это накладывает на недропользователей особую ответственность: каждая тонна недобытого или потерянного при добыче полезного ископаемого безвозвратно утрачена для будущих поколений.

В последние десятилетия проблема рационального использования минеральных ресурсов приобрела особую остроту по нескольким причинам. Во-первых, происходит повсеместное истощение богатых, легкодоступных руд и переход к освоению бедных, глубокозалегающих и сложных по горно-геологическим условиям месторождений. Во-вторых, масштабы горного производства продолжают расти, а вместе с ними объёмы отходов и негативное воздействие на окружающую среду. В-третьих, международные стандарты и

ESG-требования предъявляют жёсткие критерии к экологической и социальной ответственности горных компаний.

Рациональное использование минеральных ресурсов представляет собой комплексную задачу, объединяющую технические, экономические, экологические и социальные аспекты недропользования. Его решение требует от горного инженера системного мышления и владения методами количественной оценки эффективности извлечения ценных компонентов из недр.

1. Определение минеральных ресурсов и их классификация

Минеральные ресурсы – это совокупность всех запасов полезных ископаемых в недрах земной коры, пригодных для использования в промышленности в современных условиях или в обозримой перспективе. В международной и отечественной практике принято различать три ключевые категории, отражающие различные уровни геологической изученности и экономической целесообразности освоения.

Запасы – это та часть минеральных ресурсов, которая разведана с высокой степенью достоверности и может быть экономически эффективно извлечена при существующих технических и экономических условиях. Запасы, в свою очередь, делятся на балансовые(можно извлекать с прибылью) и забалансовые (извлечение в настоящее время экономически нецелесообразно, но возможно в будущем при изменении конъюнктуры рынка или развитии технологий).

Ресурсы – это оценённые геологически достоверные концентрации полезных ископаемых, извлечение которых может стать экономически оправданным в будущем при более высоких ценах или внедрении новых технологий.

Резервы – в широком смысле объединяет как запасы, так и ту часть ресурсов, которая обладает потенциалом перехода в категорию запасов в случае изменения экономических условий.

В Казахстане и ряде стран постсоветского пространства действует классификация, делящая запасы на четыре категории по степени геологической изученности и достоверности A, B, C1 и C2, а прогнозные ресурсы на три категории (P1, P2, P3).

- Категория A (достоверные запасы) – наиболее изученные и детально разведанные запасы, оконтуренные горными выработками. Положение, форма и качество руды установлены с высокой точностью.

- Категория B (разведанные) – запасы, оконтуренные преимущественно скважинами и частично выработками. Основные параметры месторождения установлены с учётом возможной вариации свойств.

- Категория C1 (оценённые) – предварительно разведанные запасы, для которых форма залежи и качество руды определены приближённо, но с достаточной достоверностью.

- Категория С2 (прогнозные запасы) – запасы, наличие которых установлено на основе геологических предпосылок, но детально не разведано.

- Ресурсы Р1, Р2, Р3 – прогнозные ресурсы, установленные с различной степенью геологической обоснованности на региональном, локальном или перспективном уровнях.

Данная классификация может быть сопоставлена с международной системой, принятой в США, где выделяются: достоверные запасы (proved, measured), вероятные запасы (probable, indicated), возможные ресурсы (inferred, possible), выявленные ресурсы (identified) и гипотетические ресурсы (hypothetical). Для обеспечения международной сопоставимости разработана Международная рамочная классификация ООН (МРК ООН), основанная на трёх параметрах: степень геологической изученности, экономическая и технологическая изученность, экономическая эффективность разработки.

Кодекс Республики Казахстан «О недрах и недропользовании» устанавливает, что по своему экономическому значению и в целях установления соответствующих условий недропользования полезные ископаемые делятся на три группы:

1. Подземные воды (грунтовые, межпластовые, артезианские и пр.).
2. Углеводородные полезные ископаемые (нефть, газовый конденсат, природный газ, включая сланцевый газ, шахтный метан, угольные метан, природные битумы и пр.).
3. Твёрдые полезные ископаемые, которые, в свою очередь, делятся на рудные (местные металлы, руды чёрных, цветных, редких, радиоактивных металлов и редкоземельных элементов) и нерудные.

Казахстанский государственный баланс учитывает запасы по 102 видам минерального сырья, включая 40 видов твёрдых полезных ископаемых. По запасам хромовых руд страна занимает первое место в мире, по урану и серебру – второе, по свинцу и марганцевым рудам – третье.

2. Принципы рационального использования минеральных ресурсов

Рациональное недропользование представляет собой концепцию, альтернативную традиционному экстенсивному подходу, и предполагает учёт экологических, экономических и социальных целей при принятии управленческих решений.

2.1. Принцип полноты извлечения полезных ископаемых из недр

Полнота извлечения является важнейшим технологическим и экономическим требованием. Каждый процент потерь полезного ископаемого при добыче означает не только недополученную прибыль недропользователем, но и невосполнимую утрату национального минерального богатства. Потери обусловлены технологическими особенностями принятой системы разработки (целики, оставляемые для поддержания кровли), сложностью горно-геологического строения, недостаточной точностью оконтуривания рудных тел.

Нормирование потерь и разубоживания рассматривается в научной литературе как эффективный механизм рационального природопользования, позволяющий оценивать ущерб и планировать мероприятия по его снижению.

2.2. Принцип комплексности использования минерального сырья

Большинство рудных месторождений являются многокомпонентными: медно-порфировые руды содержат золото, серебро, молибден, рений; полиметаллические – свинец, цинк, медь, драгоценные металлы; алюминиевые – галлий, скандий и другие редкие металлы. Комплексное использование означает, что из рудного сырья должны извлекаться все ценные компоненты, содержащиеся в промышленных концентрациях, а не только основной полезный ископаемый. В отраслевой литературе подчёркивается, что современный уровень развития обогатительных и гидрометаллургических технологий позволяет достигать высоких степеней комплексности, что даёт дополнительный экономический эффект и уменьшает объёмы отходов.

2.3. Принцип минимального воздействия на окружающую среду

Горные работы неизбежно сопровождаются нарушением земель, загрязнением атмосферы, гидросферы и накоплением отходов. Ежегодно горными работами нарушается около 150 тысяч гектаров земель, из которых около 40% приходится на сельскохозяйственные угодья. Кроме того, в России накоплен солидный объём отходов, и эта цифра лишь возрастает. В этих условиях принцип минимизации экологического воздействия требует:

- максимального сокращения площадей, отводимых под отвалы и хвостохранилища;
- переработки максимально возможной части отходов в строительные продукты или закладочные материалы;
- предотвращения кислых дренажных вод (AMD) и загрязнения подземных вод;
- обязательной рекультивации нарушенных земель после завершения эксплуатации месторождения.

2.4. Принцип многокритериальности и учёта социальных целей

Современная концепция рационального недропользования рассматривается не изолированно, а как многокритериальная система, учитывающая экологические, экономические и социальные цели. Как подчёркивается в научной литературе, речь идёт о стремлении к получению достаточной прибыли при соответствии социальным и экологическим стандартам, а не о максимизации прибыли любой ценой. Этот принцип корреспондирует с международными подходами ESG: компании, интегрирующие устойчивое развитие в свою бизнес-стратегию, получают доступ к международным инвестициям, улучшают репутацию и могут рассчитывать на «социальную лицензию» от местных сообществ.

3. Современные вызовы: истощение богатых руд, рост глубины разработки, ужесточение экологических норм

3.1. Истощение богатых и легкодоступных руд

Мир вступает в эпоху, когда традиционные месторождения с высокими содержаниями и простыми горно-геологическими условиями практически исчерпаны. В области золотодобычи, как отмечают исследователи, в условиях постоянного истощения богатых и легкодоступных к разработке золоторудных месторождений происходит изменение категории запасов и прогнозных ресурсов. Компании вынуждены переходить к освоению руд с более низкими содержаниями, сложной вкрапленностью и упорным характером минерального сырья.

Особенно показателен пример меди: по данным исследования EY (2026 год), среднее содержание меди в добываемой руде снизилось примерно на 40% с 1990-х годов. Сегодня на многих крупных рудниках перерабатывается руда с содержанием менее 0,5% меди. Если раньше такие руды считались забалансовыми, то сегодня они стали основной кормовой базой для обогатительных фабрик.

3.2. Рост глубины разработки карьеров и шахт

Падение содержаний компенсируется увеличением масштабов и глубины горных работ. Мировые тренды свидетельствуют о постоянном росте глубины как открытых, так и подземных работ. Исследование, охватившее 20 лет мировой горной активности и 366 проектов расширения на 57 стран, показало, что расширение рудников обычно сопряжено с падением содержаний, увеличением размеров карьеров или ростом глубины подземных выработок. Это приводит к:

- резкому увеличению коэффициента вскрыши (отношения объёма пустой породы к объёму руды);
- усложнению геомеханической обстановки (рост горного давления, риск горных ударов);
- удорожанию водоотлива и транспортировки;
- удорожанию добычи в целом.

3.3. Ужесточение экологических норм и переход к ESG

Экологическое законодательство практически во всех странах мира стремительно ужесточается. В Казахстане в 2025 году принят новый Водный кодекс (№ 178-VIII от 9 апреля 2025 г.), направленный на более рациональное управление водными ресурсами и борьбу с дефицитом воды, что напрямую затрагивает горные предприятия как крупных водопотребителей. В России ужесточаются требования к углеродной отчётности, усиливается контроль за выбросами метана.

Одновременно с государственным регулированием усиливается влияние добровольных ESG-стандартов, которые предъявляют крупнейшие институциональные инвесторы и банки. Для казахстанских компаний ESG-факторы становятся критическими для доступа на международные рынки и привлечения инвестиций. Компании, внедряющие лучшие ESG-практики и

международные стандарты (IRMA, Towards Sustainable Mining), получают конкурентные преимущества.

3.4. Взаимосвязь полноты извлечения и экологического ущерба

Исследования показывают прямую корреляцию между полнотой подземной разработки минеральных ресурсов и экологическим ущербом, вызываемым горнодобывающими операциями. Низкое извлечение металлов при обогащении (особенно из упорных руд) означает, что значительная часть ценных компонентов остаётся в хвостах, которые затем годами хранятся в хвостохранилищах, создавая угрозу кислотного дренажа и загрязнения подземных вод. Таким образом, недропользователь сталкивается с необходимостью одновременно решать задачу повышения технологического извлечения и минимизации долгосрочных экологических последствий.

4. Индикаторы рациональности: коэффициент извлечения, уровень разубоживания, доля попутных компонентов

Одной из ключевых компетенций магистранта является умение количественно оценивать рациональность использования минеральных ресурсов с помощью объективных показателей.

4.1. Коэффициент извлечения полезного ископаемого из недр (полнота извлечения)

Коэффициент извлечения – это отношение количества полезного компонента (или руды), извлечённого из недр, к количеству, содержавшемуся в балансовых запасах. Он включает в себя потери на всех этапах: геологических, эксплуатационных, потери в целиках, при оконтуривании, транспортировке.

Формула:

$$K_{\text{изв}} = \frac{(S_{\text{бал}} \cdot \bar{C}) - (S_{\text{пот}} \cdot \bar{C}_{\text{пот}})}{S_{\text{бал}} \cdot \bar{C}} \times 100\%$$

где $S_{\text{бал}}$ - балансовые запасы руды, т;

$\bar{C}$ - среднее содержание полезного компонента в балансовых запасах;

$S_{\text{пот}}$ - потери руды при добыче, т;

$\bar{C}_{\text{пот}}$ - среднее содержание полезного компонента в потерянной руде.

4.2. Уровень разубоживания

Под разубоживанием понимается смешивание добытой руды с вмещающими пустыми породами или некондиционными рудами, что снижает среднее содержание полезного компонента в массе, поступающей на обогащение. Разубоживание может быть:

- приконтурным (при врезке очистных выработок во вмещающие породы);
- междупластовым (при отработке крутопадающих залежей);
- технологическим (при погрузке, транспортировке, откатке).

Показатели разубоживания:

- Коэффициент разубоживания R – отношение объёма (массы) пустой породы, попавшей в руду, к общему объёму (массе) рудной массы;

- Процент снижения содержания – насколько фактическое содержание полезного компонента в товарной руде ниже среднего содержания в балансовых запасах.

Нормирование потерь и разубоживания – это эффективный механизм рационального природопользования, позволяющий устанавливать нормативные величины показателей извлечения, адаптированные к конкретным условиям работы горных предприятий. Современные методики определения нормативных величин взаимосвязанных потерь и разубоживания основываются на критерии максимальной прибыли с 1 тонны погашенных балансовых запасов полезного ископаемого.

4.3. Доля попутных компонентов

Данный показатель отражает степень комплексности использования многокомпонентного минерального сырья. Он может быть представлен в двух формах:

- Количество элементов (или металлов), извлекаемых в самостоятельные концентраторы (товарные продукты). Идеальная комплексная переработка предполагает извлечение всех ценных компонентов, содержащихся в руде в промышленных количествах.

- Экономический показатель: доля стоимости попутных компонентов в общей стоимости товарной продукции горно-обогатительного комбината.

Важно подчеркнуть, что комплексное использование – это не только экологический императив, но и экономическая выгода. Извлечение драгоценных металлов из медных руд часто окупает всё производство, даже если основная медь имеет низкую рентабельность при падении цен.

Вопросы для самоконтроля

1. В чём принципиальная разница между понятиями «запасы», «ресурсы» и «резервы»? Какие категории геологической изученности (A, B, C1, C2, P1, P2, P3) существуют в российской классификации, и как они соотносятся с Международной рамочной классификацией ООН?
2. Опишите четыре ключевых принципа рационального использования минеральных ресурсов. В чём заключается системный характер принципа многокритериальности (экологические + экономические + социальные цели)?
3. Каковы масштабы истощения богатых руд на примере медной отрасли? Приведите конкретные цифры: на сколько процентов снизилось среднее содержание меди с 1990-х годов, и какие содержания считаются сегодня стандартными?
4. Напишите формулы коэффициента извлечения полезного ископаемого из недр и коэффициента разубоживания. Объясните, каким образом нормирование потерь и разубоживания позволяет повысить эффективность горного производства.

5. Какое влияние оказывают ESG-критерии на горнодобывающие компании Казахстана в 2025-2026 гг. Какие примеры внедрения международных стандартов (IRMA, Towards Sustainable Mining) можно привести из практики?

Список использованной литературы

1. Кодекс Республики Казахстан «О недрах и недропользовании» от 27 декабря 2017 года № 125-VI.
2. Водный кодекс Республики Казахстан от 9 апреля 2025 года № 178-VIII.
3. Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых // Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского.
4. Современная эколого-экономическая концепция горной промышленности // library.volnc.ru. Аннотация научной статьи.
5. Рациональное использование и охрана природных ресурсов: учебно-методическое пособие / Е.Л. Морозова, Ю.П. Пташник, В.Н. Морозов. Красноярск: СФУ, 2023.
6. Вохмин С.А., Загиров Н.Х., Требуш Ю.П., Курчин Г.С., Майоров Е.С. Нормирование потерь и разубоживания как механизм рационального природопользования // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2013.
7. Вохмин С.А., Требуш Ю.П., Курчин Г.С. Методика расчета показателей извлечения нерудных полезных ископаемых при подземной добыче // Горный журнал. 2012. № 9.
8. Рыльникова М.В., Рыжов С.В., Есина Е.Н. Особенности горно-геологических и горнотехнических условий освоения золоторудных месторождений Нижнеякокитского рудного поля // Горная промышленность. 2020. № 2. С. 115-120.
9. Nurboboev Y. Critical analysis of environmental risks in the mining industry // CyberLeninka. № 6. июнь 2025.
10. Mining Law 2020: Kazakhstan // GRATA International, Mondaq. 2020. (статистика по запасам Казахстана)
11. Code on Subsoil and Subsoil Use Republic of Kazakhstan, Article 12 «Minerals and their classification».
12. Commodity Watch: Bigger Isn‘t Better, Smarter Is // Gemcorp Capital. 2025. (снижение содержания меди)
13. Miners dig deeper as brownfield investment accelerates worldwide // Australian Mining. 2026. (глобальные тренды роста глубины)
14. ESG подход KAZ Minerals // KAZ Minerals официальный сайт.
15. Методика оценки эколого-экономической эффективности комплексного использования минерального сырья // rudmet.ru.
16. IRMA Standard for Responsible Mining // Initiative for Responsible Mining Assurance.