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

Лекция 4. Техногенные месторождения как объект рационального природопользования

Цель лекции: Проанализировать ресурсный потенциал отходов горного производства, изучить методы их оценки, технологии переработки и мировой опыт вовлечения техногенных образований в хозяйственный оборот.

План лекции:

1. Классификация техногенных образований (хвосты обогащения, вскрышные породы, шлаки металлургии, золошлаки ТЭС).
2. Геотехнологический аудит техногенных объектов (опробование, картирование, оценка запасов).
3. Технологии доизвлечения металлов из лежалых хвостов (биовыщелачивание, гравитационная сепарация, флотация с механоактивацией).
4. Переработка вскрышных пород в строительные материалы (щебень, песок, цементные смеси).
5. Мировой опыт: Казахстан (Жезказган), Россия (Норильск), Австралия (рудник Мора).

Техногенные месторождения представляют собой скопления минеральных веществ, образовавшиеся в результате антропогенной деятельности, промышленное использование которых (извлечение металлов и других ценных компонентов, получение топлива и строительных материалов) экономически целесообразно и технически возможно. Суммарное количество ценных компонентов, накапливающихся в отходах горного производства за 20-30 лет, сопоставимо с их количеством в ежегодно добываемых рудах. Техногенные образования представляют собой уникальный источник многих редких и рассеянных металлов, которые в природных месторождениях встречаются значительно реже.

1. Классификация техногенных образований

Техногенные отложения классифицируются по происхождению, агрегатному состоянию и отраслевой принадлежности. Среди техногенных отложений выделяют терригенные, хемогенные и биогенные.

1.1. Отходы горнодобывающего производства

К данной группе относятся:

Вскрышные и вмещающие породы – породы, извлекаемые при проходке горных выработок для доступа к рудному телу. Они составляют наиболее масштабную часть техногенных образований и представлены отвалами

вскрышных и вмещающих пород, которые подверглись лишь механическому воздействию (дробление, перемещение). Эти породы могут содержать ценные компоненты в концентрациях, недостаточных для промышленной разработки на момент добычи, но представляющих интерес при изменении экономических условий.

Забалансовые руды – руды с содержанием полезного компонента ниже кондиционного, которые на момент добычи не вовлекались в переработку.

Отходы обогащения – хвосты флотации, гравитации, мокрой и сухой магнитной сепарации, шламы обогатительных фабрик. Хвостохранилища являются крупнейшими по объёму техногенными объектами, содержащими остаточные количества ценных металлов.

1.2. Отходы металлургического производства

Металлургические шлаки – отходы плавильных процессов, содержащие оксиды металлов, сульфиды и другие соединения. В шлаках могут содержаться такие ценные компоненты, как тантал (из шлаков плавки россыпного касситерита), селен и теллур (из отходов переработки сульфидных медных руд), кадмий, таллий и индий (из сульфидных полиметаллических руд).

Шлаки химических производств – фосфогипс, фторогипс, пиритные огарки.

1.3. Отходы энергетического комплекса

Золошлаковые отходы ТЭС – золы и шлаки, образующиеся при сжигании угля на тепловых электростанциях. Они содержат германий (из угольной золы ТЭЦ), а также другие редкие и рассеянные элементы.

2. Геотехнологический аудит техногенных объектов

Для вовлечения техногенных образований в хозяйственный оборот необходимо проведение комплексного геотехнологического аудита, включающего опробование, картирование и оценку запасов.

2.1. Опробование техногенных объектов

Опробование является первым и наиболее ответственным этапом геотехнологического аудита. Оно включает:

- Отбор проб из различных зон техногенного объекта с учётом его неоднородности.
- Лабораторный анализ проб для определения содержания ценных компонентов, минерального состава и физико-механических свойств.
- Оценку технологических свойств сырья – обогатимости, флотационной активности, выщелачиваемости.

Для техногенных россыпей и хвостохранилищ разработаны специальные методики опробования, учитывающие особенности распределения полезных компонентов в техногенных отложениях.

2.2. Картирование и моделирование

Картирование техногенных объектов включает:

- Топографическую съёмку для определения границ и объёмов объекта.
- Геологическое картирование для выделения зон с различным содержанием ценных компонентов.
- Построение трёхмерных геолого-математических моделей запасов и ресурсов.

Картирование опасности объектов горнодобывающей отрасли позволяет ранжировать предприятия по основным индексам и численным значениям геоэкологических индикаторов.

2.3. Оценка запасов

Оценка запасов техногенных месторождений производится с учётом:

- Геологической изученности объекта.
- Технологической изученности – возможности извлечения ценных компонентов.
- Экономической целесообразности переработки при текущих ценах на сырьё.

Материалы по оперативному изменению состояния запасов полезных ископаемых техногенных объектов представляются на государственную экспертизу.

3. Технологии доизвлечения металлов из лежалых хвостов

Лежалые хвосты обогащения представляют собой ценный вторичный источник металлов. Для их переработки применяются различные технологии, выбор которых зависит от минерального состава и степени окисления хвостов.

3.1. Биовыщелачивание

Биовыщелачивание - метод извлечения металлов из руд и отходов с использованием микроорганизмов, способных окислять сульфидные минералы.

Сущность процесса: Бактерии *Acidithiobacillus ferrooxidans* окисляют сульфиды железа и других металлов, переводя их в растворимую форму. Металлы переходят в раствор, из которого затем извлекаются сорбцией, экстракцией или цементацией.

Применение для переработки хвостов: Для извлечения цветных металлов из лежалых хвостов предложен метод кучного биовыщелачивания предварительно гранулированных хвостов. В качестве связующих компонентов при грануляции используются раствор серной кислоты, бактериальный раствор и поливинилацетатный клей.

Эффективность: Применение 10 %-го раствора серной кислоты в качестве связующего с использованием нитрит-иона в качестве окислителя позволяет извлечь свыше 50 % никеля и 47,8 % меди на стадии кучного выщелачивания. Метод биовыщелачивания предварительно укреплённых полимерным связующим гранул хвостов позволяет извлечь 11,6 % никеля и 13,5 % меди.

3.2. Гравитационная сепарация

Гравитационная сепарация основана на различии в плотности минеральных частиц и применяется для извлечения тяжёлых металлов (золото, платина, вольфрам, олово) из хвостов.

Центробежная сепарация – один из наиболее эффективных методов гравитационного обогащения. Полупромышленные испытания на лежалых хвостах в районе г. Норильска показали перспективность использования технологии центробежной сепарации с непрерывной варьируемой разгрузкой.

3.3. Флотация с механоактивацией

Флотация с механоактивацией - метод, сочетающий механическую активацию поверхности минеральных частиц (измельчение, истирание) с последующей флотацией.

Применение: Для извлечения золота из лежалых хвостов сорбционного выщелачивания применяется метод обратной угольной флотации с использованием керосина. Механоактивация позволяет повысить флотационную активность минералов за счёт обновления поверхности и создания дефектов кристаллической решётки.

4. Переработка вскрышных пород в строительные материалы

Вскрышные породы являются ценным сырьём для производства строительных материалов. В промышленно развитых странах подавляющая часть нерудных строительных материалов производится из вскрышных пород.

4.1. Производство щебня и песка

Вскрышные породы и крупные куски отходов дробятся на щебень, гравий и песок различных фракций. Щебень и песок являются высококачественными заполнителями в асфальтовый бетон и бетонные смеси. Крупная фракция, получаемая при переработке, может заменить традиционный щебень.

Технология: Щебень из горных пород получают дроблением горных пород, гравия и валунов, попутно добываемых вскрышных и вмещающих пород или некондиционных отходов горных предприятий по переработке руд.

4.2. Производство цементных смесей

Вскрышные породы могут использоваться в качестве заполнителя для бетонов и асфальтобетонных смесей. Учёные Южно-Уральского государственного университета разработали технологию использования вскрышной породы, образующейся при добыче порфирита, для производства тяжелых бетонов и штукатурных смесей.

Отсевами дробления кристаллических сланцев заменяется природный песок при производстве силикатного кирпича. Пески в составе вскрышных пород подходят для приготовления строительных растворов и бетонов, закладки горных выработок, получения силикатного кирпича.

5. Мировой опыт переработки техногенных месторождений

5.1. Казахстан (Жезказган)

Казахстан располагает огромным потенциалом техногенных минеральных образований. По данным на 2025 год, в стране накоплено более 55 млрд тонн техногенных минеральных образований - результат десятилетий интенсивной добычи и переработки полезных ископаемых. Ежегодно этот объём увеличивается на 300-700 млн тонн.

Проблемы и перспективы: Уровень переработки техногенных образований в Казахстане составляет около 11 %, в то время как в развитых странах достигает 70-80 %. Техногенные образования (хвосты, шлаки, золы, вскрышные породы) часто содержат остаточные ценные металлы, такие как медь, цинк и редкоземельные элементы.

Инициативы: Президент Касым-Жомарт Токаев подчеркнул важность перехода от накопления техногенных образований к их использованию. Переработка техногенных отходов рассматривается как возможность снизить экологическую нагрузку, поддержать моногорода, создать рабочие места и диверсифицировать экономику.

Законодательные барьеры: В настоящее время техногенные образования одновременно классифицируются как отходы и как недра, что создаёт двойное налогообложение: компания, перерабатывающая техногенные отходы, должна платить налог на добычу полезных ископаемых за доизвлечённые компоненты, а также вносить экологические платежи за размещение отходов. Это является дестимулирующим фактором.

Практические проекты: Промышленные предприятия уже инвестируют в переработку техногенных образований. Qarmet реализует 10 проектов по переработке на сумму свыше $137 млн, а ERG Recycling перерабатывает более 1 млн тонн техногенных образований ежегодно, разрабатывая новые материалы для строительства и металлургии. Учёные Национального центра разрабатывают безопасные и эффективные методы повторной отработки оставленных целиков на Жезказганском месторождении. Новый Налоговый кодекс Казахстана предусматривает пониженную ставку налога на добычу полезных ископаемых (коэффициент 0,1) для материалов, извлечённых из техногенных образований.

5.2. Россия (Норильск)

В России востребованы два основных вида техногенных месторождений: техногенные россыпи золота, платиноидов и олова – как источник дополнительного извлечения этих металлов; и отвалы вскрышных пород месторождений – для производства строительных материалов.

Норильский регион является одним из крупнейших центров накопления техногенных образований. Полупромышленные испытания на лежалых хвостах в пойме р. Щучья в районе г. Норильска показали эффективность технологии центробежной сепарации с непрерывной варьируемой разгрузкой для доизвлечения ценных компонентов.

Переработка лежалых хвостов: Рассмотрена возможность переработки лежалых хвостов обогащения медно-никелевых руд с извлечением цветных

металлов и получением кристаллогидратов сульфата железа. Метод кучного биовыщелачивания позволяет извлекать цветные металлы из предварительно гранулированных хвостов.

5.3. Австралия (рудник Мора)

Международный контекст: В промышленно развитых странах переработка техногенных образований достигла высокого уровня. В США более 30 % меди получают из отвалов окисленных медных руд и хвостов обогащения бактериальным и кислотным выщелачиванием. В КНР налажено производство глинозёма из угольной золы ТЭЦ. В Канаде разработана малоотходная технология переработки «красных шламов» (отходы получения глинозёма из бокситов) с извлечением скандия, галлия, оксида алюминия, оксида магния, диоксида титана, редких металлов и редкоземельных элементов.

По мере истощения традиционных запасов руд техногенные образования становятся значительным источником критических ресурсов. Эксперты подчёркивают, что раскрытие полного потенциала техногенных образований требует налоговых стимулов, «зелёных» инвестиций и эффективной координации науки, бизнеса и государства. Переработка техногенных отходов должна стать ключевым элементом промышленной политики.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение техногенного месторождения. Какие основные виды техногенных образований выделяют по отраслевой принадлежности?
2. Что включает в себя геотехнологический аудит техногенных объектов? Каковы цели опробования, картирования и оценки запасов?
3. Опишите технологии доизвлечения металлов из лежалых хвостов: биовыщелачивание, гравитационную сепарацию и флотацию с механоактивацией. В чём преимущества и ограничения каждой из них?
4. Как вскрышные породы перерабатываются в строительные материалы? Какие виды продукции могут быть получены?
5. Каков масштаб накопления техногенных образований в Казахстане и каков текущий уровень их переработки? Какие законодательные барьеры препятствуют развитию этой отрасли?
6. Приведите примеры успешной переработки техногенных образований в России (Норильск) и в других странах.

Список использованной литературы

1. Техногенные месторождения // Большая Российская Энциклопедия.
2. Техногенные отложения // Большая Российская Энциклопедия.
3. Классификация некондиционных медно-никелевых руд и техногенных образований

4. Горячев А.А., Дубровина В.Н., Невзорова Ю.В., Макаров Д.В., Компанченко А.А. Комплексная переработка лежалых хвостов обогащения медно-никелевых руд с извлечением цветных металлов и получением сульфата железа // CyberLeninka

5. Разработка подхода к извлечению цветных металлов из лежалых медно-никелевых хвостов методом кучного выщелачивания // Экология и промышленность России. - 2025. - Т. 29, № 9

6. Kazakhstan Eyes Industrial Revolution Through Waste Mineral Reprocessing // MINEX Eurasia, 2025