**Дисциплина «Актуальные проблемы в горном деле»**
**для магистрантов ОП 7М07203 "Горное дело"**

## Лекция 3. Проблема полноты извлечения полезных ископаемых и пути ее решения

**Цель лекции:** Сформировать у магистрантов системное понимание проблемы полноты извлечения полезных ископаемых при подземной разработке рудных месторождений, выявить основные причины потерь и разубоживания руды, освоить методы оценки и нормирования этих показателей, а также изучить современные технологии (бесцеликовая отработка, системы с закладкой, комбинированные методы), направленные на повышение полноты извлечения запасов.

**План лекции:**

1) Причины потерь и разубоживания: геологические, геомеханические, технологические, организационные.

2) Методы оценки и нормирования потерь. Экономическая эффективность повышения извлечения.

3) Технологии отработки без целиков, с закладкой, комбинированные системы.

### 1. Причины потерь и разубоживания: геологические, геомеханические, технологические, организационные

1.1. Основные понятия и их экономическое значение

Потери полезного ископаемого – часть балансовых запасов, не извлечённая из недр в процессе добычи и не подлежащая дальнейшей отработке по техническим или экономическим причинам. Разубоживание – примешивание пустой породы (или некондиционной руды) к добытой рудной массе, снижающее содержание ценного компонента.

Согласно исследованиям,* для систем разработки с магазинированием руды потери могут достигать 10-15%, а разубоживание 15-20%; для систем подэтажными штреками потери составляют 15-25%, разубоживание 20-35%. В худшем случае, при камерно-столбовой системе разработки, потери руды могут достигать 40-60%. Влияние разубоживания на себестоимость добычи: при разубоживании 15% себестоимость добычи возрастает примерно на 20-25%, при 30% на 50-60%. Потери же означают безвозвратную потерю природного ресурса и снижение налогооблагаемой базы.

1.2. Геологические причины

К геологическим факторам относятся природные особенности рудных тел, которые объективно затрудняют или делают невозможной полную выемку:

• Сложная морфология рудных тел – изменчивость мощности, наличие апофиз, раздувов, пережимов, линзо- и гнездообразное строение. При мощности рудного тела менее 2-3 м селективная выемка руды без захвата вмещающих пород практически невозможна, что приводит к сверхнормативному разубоживанию**.

• Невыдержанность оруденения по падению и простиранию – появление «слепых» участков, безрудных прослоев, резких колебаний содержаний.

• Тектоническая нарушенность – наличие разломов, зон дробления, повышенной трещиноватости, ослабляющих контакты руда-порода и создающих готовые плоскости смещения.

• Постепенные контакты руды с вмещающими породами с наличием зон минерализации (вкрапленность) – граница выемки становится нечёткой, трудно контролируемой, что увеличивает разубоживание на 10-15% по сравнению с резкими контактами.

1.3. Геомеханические причины

• Неустойчивость обнажений вследствие трещиноватости – вывалы породы из кровли и боков прямо увеличивают разубоживание. При оценке трещиноватости в международной практике применяют показатель RQD (Rock Quality Designation). При RQD < 50% (сильнотрещиноватые породы) потери и разубоживание возрастают в 1,5-2 раза.

• Обрушение пород в зонах опорного давления – в выработанное пространство могут попадать крупные блоки пустой породы, создавая дополнительные источники разубоживания.

• Высокая концентрация напряжений – приводит к преждевременному разрушению целиков (потери) и отслоению пород кровли.

• Зависание руды в очистном пространстве – происходит при недостаточной зависающей способности или заклинивании, что приводит к потерям подготовленной к выпуску руды и внезапному обрушению разубоженной массы.

1.4. Технологические причины

Технологические причины – наиболее управляемая группа факторов:

• Недостатки принятой системы разработки. Камерно-столбовая система, несмотря на относительную дешевизну, имеет принципиальный недостаток – высокие потери руды в оставляемых целиках. Причём с ростом глубины ведения горных работ размеры целиков приходится увеличивать, и потери руды соответственно возрастают. Эталоном для сравнения потерь служат системы разработки с закладкой выработанного пространства, где потери могут снижаться до 5-8%.

• Несовершенство буровзрывных работ (БВР):

- Завышенный удельный расход ВВ приводит к излишнему дроблению контакта «руда-порода» и их смешиванию.

- Неправильно выбранные параметры взрывания могут вызывать «переброс» пустой породы в рудную массу и нарушение проектного контура отбойки.

• Несовершенство селективной выемки – отсутствие или неправильное использование погрузочно-доставочных машин с селективными ковшами сводит на нет преимущества любой геологической или проектной ситуации.

• Слабая изолирующая способность применяемой крепи – при недостаточной герметизации возможно проникновение пустых пород в рудное пространство.

• Недостатки выпуска руды: неравномерный или несвоевременный выпуск руды приводит к зависаниям и последующему массовому обрушению разубоженной массы. Исследования, проведённые на кимберлитовой трубке «Айхал», показывают, что детальная проработка режимов выпуска имеет первостепенное значение для контроля разубоживания.

1.5. Организационные причины

• Низкая оперативная геометризация залежи – из-за недостатка геологической информации или задержек в маркшейдерском обеспечении происходит отклонение от проектного контура выемки.

• Недостаточная компетентность персонала – низкая квалификация машинистов буровых станков или операторов ПДМ.

• Нарушение паспортов БВР и технологических регламентов, приводящее к подрывке пород висячего или лежачего бока.

• Несовершенство контроля качества – отсутствие экспресс-опробования после каждого уступа или взрыва не позволяет своевременно корректировать параметры БВР.

• Отсутствие экономических стимулов – действующие системы премирования за валовую добычу (тонны) создают антистимулы, способствующие завышению разубоживания на 10-15%.

## 2. Методы оценки и нормирования потерь. Экономическая эффективность повышения извлечения

2.1. Методы оценки потерь и разубоживания

Оценка потерь и разубоживания – обязательный элемент проектирования и эксплуатации:

1. Балансовый метод (самый распространённый):

Потери (%) = $(Q_{баланс} - Q_{добыто}) / Q_{баланс} \times 100\%$

Разубоживание (%) = $(C_{руда} - C_{добытая}) / (C_{руда} - C_{порода}) \times 100\%$

где Q – запасы (объёмы), C – содержание ценного компонента.

2. Метод селективного опробования – отбор проб после каждого цикла отбойки для определения доли примешанной пустой породы.

3. Маркшейдерский метод – замер объёмов добытой рудной массы и породы из кровли/боков с помощью теодолитной съёмки, лазерного сканирования.

4. Геофизические методы – гамма-каротаж для определения оставшихся запасов в целиках.

5. Комбинированный метод – одновременное использование балансового и маркшейдерского подходов для взаимной верификации.

2.2. Нормирование потерь и разубоживания

Нормирование – это установление плановых (допустимых) значений потерь и разубоживания для конкретных горно-геологических условий. В Казахстане нормирование осуществляется на основании:

- «Инструкции по нормированию потерь и разубоживания руды при подземной добыче» (отраслевой документ);
- Проектных решений, разработанных специализированными институтами.
- В работе С.А. Вохмина и др. нормирование определено как «механизм рационального природопользования», позволяющий балансировать экономические и экологические интересы.

Примеры методик нормирования:

- Методика для кимберлитовой трубки «Айхал» учитывает специфику алмазоносных пород.
- Подход для месторождений цементного сырья (открытая разработка) регламентирует потери, возникающие при отработке рудо-породных контактов.
- Модель для систем с открытым очистным пространством позволяет дифференцировать потери по категориям.

2.3. Методология определения нормативов

В современных подходах используется модель определения оптимальных нормативов потерь и разубоживания руды при добыче в «приконтактной зоне» с использованием программных продуктов. Учитываются факторы:

- Изменчивость мощности рудного тела;
- Устойчивость контакта;
- Способ отбойки;
- Экономические параметры (цена металла, себестоимость добычи, затраты на переработку разубоженной руды, стоимость потерянных запасов).

2.4. Экономическая эффективность повышения полноты извлечения

Каждый процент сокращения потерь или разубоживания имеет прямую экономическую выгоду:

- Экономический эффект от снижения потерь = (Прирост извлечённой руды) × (Цена металла) - (Дополнительные затраты на добычу и переработку).

Снижение разубоживания даёт экономию по трём направлениям:

1. Снижение затрат на добычу (уменьшение объёмов извлекаемой породы).
2. Снижение затрат на транспортировку (экономия ГСМ, уменьшение нагрузки на транспортную систему).
3. Снижение затрат на переработку (из-за меньшего объёма отходов обогащения).
4. Снижение затрат на размещение хвостов (экологические платежи).

По данным учёных РФ, новая технология добычи бедных руд по показателям извлечения эффективнее в 3-5 раз: в недрах остаётся только 15-20%

запасов руды (против 40-50% у аналогов), а засорение снижается с 25-30% до 5-6%.

Однако максимальный экономический эффект от применения таких технологий требует оценки эколого-экономической эффективности, базирующейся на учёте полноты использования извлечённых из недр ресурсов.

## 3. Технологии отработки без целиков, с закладкой, комбинированные системы

3.1. Отработка без целиков

Бесцеликовые технологии направлены на максимальное извлечение полезного ископаемого:

- Сплошная (столбовая) выемка с обрушением кровли используется на пологих залежах. Позволяет полностью извлечь руду, но приводит к сдвижению земной поверхности.
- Системы с обрушением руды и вмещающих пород (этажное обрушение) подходят для мощных залежей.
- Бесцеликовая отработка в углепромышленности (метод 110/N00), разработанный в Китае, полностью устраняет угольные целики и значительно увеличивает извлечение.
- Системы отработки «вслепую» без оставления целиков применяются при использовании закладочных материалов или управляемом обрушении.

3.2. Системы разработки с закладкой выработанного пространства

Закладка выработанного пространства – наиболее прогрессивное направление:

- Твёрдеющая закладка (цементно-песчаная смесь) – прочность закладочного массива 2-5 МПа. Позволяет отрабатывать целики, ранее считавшиеся потерянными. На рудниках Казахстана (Жезказган, Нурказган) применяется твёрдеющая закладка на основе хвостов обогащения и доменных шлаков.
- Гидравлическая закладка – песчано-гравийная смесь, подаваемая по трубопроводу. Потери руды при мелком закладочном материале (типа гранулированного шлака) 5-6%.
- Сухая закладка – скальная порода (вскрышные породы, отходы дробления). Наиболее дешёвая, но оставляет до 8-13% потерь.
- Утилизация отходов в закладке – комплексное решение экологических и технологических задач.

Удельный вес систем разработки с закладкой выработанного пространства непрерывно увеличивается практически во всех странах.

3.3. Комбинированные системы

Комбинированные системы позволяют учитывать сложную морфологию и неоднородность рудных тел:

- Сочетание систем: горизонтальная слоевая заходка с закладкой + система разработки подэтажным магазинированием.

- Камерно-столбовая система с последующей закладкой: сначала отрабатываются камеры (целики остаются временными), после закладки целики извлекаются.
- Камерно-столбовая система с селективной выемкой: для залежей с неравномерным распределением ценных компонентов позволяет извлекать богатые участки, оставляя бедные руды в массиве с возможностью последующей отработки.

3.4. Примеры практической реализации

- Жезказганское месторождение (Казахмыс): камерно-столбовая система преобладает, но из-за истощения центральных участков развиваются технологии с закладкой на основе отходов обогащения.
- Рудник «Анненский» (Казахмыс): Камерно-столбовая система.
- Кимберлитовая трубка «Айхал» (Якутия): испытана технология комбайновой выемки руды с закладкой выработанного пространства.
- Almalyk Mining (Узбекистан): внедрение подэтажного обрушения с дистанционным выпуском руды.

**Контрольные вопросы для самопроверки**

1. Назовите основные группы причин потерь и разубоживания руды. В чём состоит принципиальная разница между геомеханическими и организационными причинами?
2. Какие методы используются для количественной оценки потерь и разубоживания? В чём преимущество балансового метода перед маркшейдерским?
3. Почему нормирование потерь и разубоживания является механизмом рационального природопользования, а не просто административной мерой?
4. Сравните системы разработки с закладкой и бесцеликовые системы. В чём преимущества каждой из них? В каких условиях они наиболее эффективны?
5. Объясните, каким образом снижение разубоживания руды на 5% может дать экономический эффект, превышающий экономию на добыче этих 5% рудной массы.

**Рекомендуемая литература:**

1. Курчин Г.С. и др. Систематизация факторов, влияющих на величину потерь и разубоживания руды при подземной добыче системами разработки с закладкой выработанного пространства // Маркшейдерия и недропользование. 2023. № 5. С. 24–34.
2. 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. 2015.

3. Specific features of assessing losses and dilution of mineral raw materials in the integrated development of polymetallic ore deposits and associated man-made formations // Science Mining Media, 2026.
4. Уральские учёные разработали новый способ подземной добычи бедных руд // Недра ДВ, 2024.
5. Повышение полноты извлечения нерудного сырья при подземной добыче камерно-столбовыми системами разработки // Siberian Federal University, 2025.