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

Лекция 1. Современное состояние и тенденции развития горной промышленности

Цель лекции: Сформировать у магистрантов целостное представление о современном состоянии мировой и казахстанской горной промышленности, идентифицировать ключевые вызовы отрасли, изучить основные технологические тренды (цифровизация, автоматизация, «зелёная» добыча) и ознакомиться со стратегическими документами, определяющими развитие горно-металлургического комплекса (ГМК).

План лекции:

1) Основные вызовы: истощение богатых руд, переход на глубокие горизонты, ухудшение горно-геологических условий.

2) Тренды: цифровизация, автоматизация, роботизация, «зелёная» горная добыча.

3) Анализ мирового и казахстанского опыта. Стратегические документы развития отрасли.

1. Основные вызовы развития горной промышленности

1.1. Истощение запасов и снижение качества руд

Мировая горнодобывающая промышленность сталкивается с фундаментальной проблемой: истощением богатых и легкодоступных месторождений, расположенных вблизи земной поверхности. Согласно отраслевым обзорам, среднее содержание меди в рудах по всему миру снизилось примерно на 40% с 1991 года. Даже на примере рудников Зимбабве, где содержание металлов платиновой группы (6E) за девятимесячный период снизилось на 1% до 3,58 г/т на фоне проблем с электроснабжением и изменчивостью руды. Производителям приходится перерабатывать более чем вдвое больший объём породы для получения той же тонны металла, что неизбежно увеличивает потребление энергии, воды и капитальные затраты, а также экологическую нагрузку.

Кроме падения содержания ценного компонента, менеджмент горных компаний сталкивается с рядом структурных ограничений:

- Снижение эффективности традиционных методов поиска и разведки для восполнения запасов;
- Рост доли упорных (труднообогатимых) и бедных руд, требующих сложных гидрометаллургических или биотехнологических схем переработки;
- Вынужденный переход на подземный способ добычи вместо открытого.

Для Жезказганского медного бассейна, например, запасы Центрального рудного поля, залегавшие ближе к поверхности (до 500 м), практически отработаны, и основная добыча перешла на периферийные участки с более низким содержанием и переходом на глубокие горизонты (>600-800 м).

По оценкам экспертов, наращивание вскрышных работ истощенными запасами создает риски для долгосрочной устойчивости поставок стратегических металлов. Как отмечается в отчётах, геология действует неумолимо: с 1991 года содержания в мировой медной руде упали на 40%, а для восполнения запаса требуется в среднем уже 17 лет от открытия до запуска в эксплуатацию.

1.2. Переход на глубокие горизонты

Современное развитие мировой горнодобывающей промышленности характеризуется постоянным увеличением глубин разработки месторождений. Типичные примеры: рудник Mponeng Gold Mine и TauTona Mine в Южной Африке (глубина около 4,0 км), Kidd Mine и Laronde Mine в Канаде (свыше 3,0 км), комплекс рудников Morro Velho в Бразилии (3,0 км), рудник «Скалистый» ПАО «ГМК «Норильский никель» (свыше 2,0 км).

С ростом глубины гравитационные напряжения возрастают практически линейно. Как следствие:

- Поведение пород и устойчивость выработок всё больше зависят от напряжённого состояния массива, а не только от прочности образца;
- Тектонические воздействия накладываются на гравитационные, создавая сложное негидростатическое поле;
- Формируются зоны концентрации напряжений в окрестности горных выработок.

Всё это является причиной неконтролируемых проявлений горного давления, активизации сейсмических событий (индуцированной сейсмичности), сопровождающихся резким выплеском энергии и, как следствие, горными ударами. Они представляют большую опасность для жизни и здоровья горняков, а также приводят к масштабным повреждениям подземной инфраструктуры и горной техники. Переход на глубины 1,5-2,0 км и более в условиях тектонически активных регионов (включая рудные районы Казахстана) ставит принципиально новые задачи перед геомеханикой.

1.3. Операционная сложность и рост затрат

Согласно опросу EY Top 10 Business Risks and Opportunities for 2026, операционная сложность вышла на первое место в списке рисков для горнодобывающих компаний. Причины:

- Залегание полезных ископаемых на больших глубинах и в более удалённых, геологически сложных регионах, что ведёт к ужесточению логистических и инфраструктурных ограничений;
- Рост корпоративных налогов и роялти (средняя налоговая нагрузка для членов ICMM достигла 40,6% в 2024 году, увеличившись на 7,7% по сравнению с предыдущим годом);

• Дефицит квалифицированных кадров: более половины горняков США и Канады уйдут на пенсию в ближайшее десятилетие, а в Австралии требуется увеличение рабочей силы на 10% для обеспечения новых проектов.

Эти факторы обусловливают необходимость перехода к новым технологическим укладам, где ключевую роль играют цифровизация и автоматизация.

1.4. Экологическая повестка и углеродный след

Горнодобывающая отрасль сталкивается с беспрецедентным давлением со стороны регуляторов и общества по вопросам экологии. Требуется не только сокращать прямые выбросы парниковых газов (Scope 1 и 2), но и обеспечивать прозрачность цепочек поставок (Scope 3). При этом абсолютные выбросы крупнейших золотодобывающих компаний сократились на 2% в годовом исчислении до 29,9 млн тонн CO_2-эквивалента – четвёртый год подряд наблюдается устойчивое снижение. Однако экологическая интенсивность (выбросы на единицу продукции) при падении содержания руд может даже ухудшаться. Отдельно обсуждаются риски перехода: финансирование добычи полезных ископаемых, необходимых для энергетического перехода (литий, кобальт, редкие земли), должно быть экологически и социально ответственным, чтобы не создавать новых «горячих точек» деградации.

2. Тренды: цифровизация, автоматизация, роботизация, «зелёная» добыча

2.1. Искусственный интеллект и предиктивная аналитика

Современные подходы к цифровизации горного производства включают применение искусственного интеллекта (ИИ) – совокупности алгоритмических решений, имитирующих когнитивные функции человека для автоматизации технологических операций. ИИ используется для:

• предиктивной аналитики поломок оборудования и аварийных ситуаций на основе потоковых данных с датчиков (управление состоянием активов EAM);

• оптимизации процессов геологоразведки (обработка геофизических данных, построение 3D-моделей);

• управления обогатительными фабриками (поддержание оптимальных режимов флотации, дозировки реагентов).

Согласно прогнозам, годовой рост данного рынка оценивается более чем в 35%. Ведущие компании (например, ERG) внедряют Manufacturing Execution Systems (MES) с генеративным ИИ, отслеживающие более 7 000 параметров в реальном времени и снабжённые цифровым ассистентом для формирования отчётов и поиска данных о работе оборудования.

2.2. Автономная техника и роботизация

Активно внедряется автономная горная техника. Беспилотные самосвалы, роботизированные экскаваторы и буровые установки становятся реальностью. Рынок подобных решений, по прогнозам, может превысить 12 млрд долларов к 2034 году.

В Казахстане компания ERG (Eurasian Resources Group) стала первой, кто применил беспилотные самосвалы для горных работ на Восточном угольном разрезе (руда транспортируется на обогатительную фабрику). К 2025 году эти автономные системы перевезли более 2 млн тонн породы, совершив 17 000 беспилотных рейсов и преодолев 68 000 км под управлением с помощью частной 5G-сети. Один оператор через сеть Kcell (10 Гбит/с, задержка 1 мс) одновременно управляет тремя грузовиками; водители проходят переобучение для новых должностей операторов автономной техники. Цель ERG – к 2027 году нарастить объёмы транспортировки с использованием роботизированных систем до 115 млн тонн.

2.3. Цифровые двойники и трёхмерное моделирование

Цифровые двойники месторождений и производственных процессов становятся обязательным инструментом управления современным горным предприятием. Они позволяют:

- имитировать варианты отработки запасов и выбирать оптимальный;
- прогнозировать технико-экономические показатели;
- отслеживать состояние оборудования и массива.

Ожидаемый рост рынка цифровых двойников – до 275 млрд долларов к 2030 году.

2.4. Концепция Майнинга 6.0 – природоцентричная геотехнология

Одной из наиболее перспективных парадигм является Майнинг 6.0 – природоцентричный вектор развития добывающей промышленности. Его технологические отличия от Майнинга 5.0 (человекоцентричная модель) и Майнинга 4.0 (максимальная производительность) связаны с соединением цифровых технологий с традиционной геотехнологией для достижения целей устойчивого развития ООН – сокращения выбросов парниковых газов и справедливого обеспечения энергией. Этот подход предполагает экологическую трансформацию не только на уровне «конца трубы», но и на уровне проектирования самой технологии добычи.

2.5. «Зелёная» горная добыча и ESG

Понятие «зелёная» добыча включает:

- декарбонизацию (переход на электромобили, возобновляемую энергию, энергоэффективные процессы);
- водосбережение и управление хвостами;
- утилизацию отходов в закладочных смесях;
- сохранение биоразнообразия и ответственное недропользование.

Примером служит достижение АЛРОСА, которая в 2025 году первой в мире подтвердила углеродную нейтральность своих алмазодобывающих мощностей и отрицательный углеродный след необработанных алмазов за счёт поглощения CO_2 хвостами кимберлитов.

По данным Metals Focus в отчёте Gold ESG Focus 2025, абсолютные выбросы углерода в золотодобывающей отрасли снижаются, но интенсивность выбросов может расти из-за падения содержания руды.

2.6. Рынок критических материалов и энергопереход

Спрос на медь, никель, редкоземельные элементы и литий, необходимые для возобновляемой энергетики и электрификации транспорта, растёт ускоренными темпами. Как отмечается в докладах Бюро экономического анализа, горнодобывающая промышленность претерпевает значительные изменения в связи с переходом к «зелёной» энергетике, фокусируясь на критически важных минералах.

3. Анализ опыта Казахстана и стратегические документы развития

3.1. Значение ГМК для экономики Казахстана

Горно-металлургический комплекс является основой экономики республики: его доля в ВВП составляет 8-9%, а с учётом смежных отраслей – до 25%. За 2024 год объём продукции отрасли превысил 14 трлн тенге, было инвестировано более 1,7 трлн тенге, а производительность труда выросла на 9,4%, составив $102 тыс. на одного работника. Занято в отрасли порядка 196-224 тыс. человек (около 42,5% в добыче металлических руд).

3.2. Стратегические вызовы Казахстана

Главным вызовом является истощение действующих месторождений. Согласно данным национального плана развития, разведанных запасов меди в РК хватит на 10-12 лет, железа – на 20-25 лет. Высока доля «бумажных» ресурсов (предварительно оценённых, но не подтверждённых и не вовлечённых в оборот). Поэтому ключевым приоритетом становится форсированное воспроизводство минерально-сырьевой базы и технологическая модернизация, включая цифровизацию и переход на автоматизированные системы управления (от диспетчеризации к интеллектуальным рудникам).

3.3. Цифровизация горнорудной отрасли в РК

На заседании Правительства РК 22 июля 2025 года Министр цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Жаслан Мадиев доложил о ключевых направлениях цифровизации ГМК:

- онлайн-формат государственных услуг в сфере недропользования;
- внедрение цифровых двойников месторождений и систем мониторинга в экосистеме Astana Hub;
- стимулирование локализации IT-решений для горной отрасли.

В декабре 2025 года Казахстан и Япония запустили совместный проект SmartMining Plus нового поколения, направленный на цифровизацию производственных процессов и повышение экологической устойчивости. Президент Касым-Жомарт Токаев подчеркнул ключевую роль цифровизации, автономных транспортных систем и «зелёных» технологий в модернизации отрасли.

В Послании народу Казахстана «Казахстан в эпоху искусственного интеллекта: актуальные задачи и их решения через цифровую трансформацию» Глава государства отдельно отметил необходимость создания высокотехнологичных кластеров на базе ГМК. Также было заявлено, что особую

значимость приобретают редкоземельные металлы и критические материалы – сектор, в котором РК имеет большой потенциал для встраивания в глобальные производственные и торговые цепочки.

3.4. Национальный план развития до 2029 года

Ключевым программным документом является Национальный план развития Республики Казахстан до 2029 года, утверждённый в 2024 году (продолжение стратегии «Казахстан 2030»). Предусмотрен рост ВВП до $450 млрд к 2029 году. Приоритетами для ГМК определены:

- переход от простой добычи к созданию высокотехнологичных кластеров полного цикла;
- углубление переработки минерального сырья и развитие проектов высоких переделов;
- привлечение частных инвестиций в геологоразведку на малоизученных территориях (около $1 млрд);
- повышение инвестиционной привлекательности через налоговые стимулы и приоритетное право недропользования для инвесторов, вкладывающих >50 млрд тенге.

3.5. Институциональная поддержка

Согласно данным Института энергетических исследований, сооснователями современной системы стратегического планирования являются НПП «Атамекен», которая инициирует разработку отраслевой стратегии до 2029 года и внедрение Цифровой карты бизнеса (ЦКБ) для предприятий ГМК. Также планируется разработка Стратегии развития горно-металлургической отрасли, синхронизированной с Национальным планом. Прямой вклад ГМК в экономику составляет 9% ВВП, а с учётом мультипликативных эффектов смежных отраслей – до 25%.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Назовите основные причины ухудшения качества рудной базы в мире и в Казахстане. Как это влияет на себестоимость добычи?
2. Какие риски несёт переход на глубокие горизонты (более 800-1000 м) с точки зрения геомеханики и безопасности?
3. Перечислите ключевые направления цифровой трансформации горного производства (цифровые двойники, автономная техника, ИИ). Приведите примеры из мировой и казахстанской практики.
4. В чём суть концепции «зелёной» горной добычи и стандартов ESG? Почему это становится критическим фактором для доступа горных компаний к финансированию?
5. Каковы целевые показатели Национального плана развития РК до 2029 года для горно-металлургического комплекса? Какие меры предусмотрены для привлечения инвестиций в геологоразведку?

Рекомендуемая литература:

1. Национальный план развития Республики Казахстан до 2029 года (утверждён Указом Президента РК, 2024).
2. EY Top 10 Business Risks and Opportunities for Mining and Metals, 2026.
3. Жиронкин С.А., Жиронкина О.В., Коновалова М.Е., Ху Т. К вопросу о перспективах майнинга 6.0 – природоцентричной геотехнологии второй половины 21 в. // Вестник КузГТУ. – 2025. – № 2. – С. 144-154.
4. Hoek E., Brown E.T. Underground Excavations in Rock. – London: IMM, 1980.
5. Metals Focus. Gold ESG Focus 2025 (Отчёт об устойчивом развитии золотодобывающей отрасли).
6. BDO Global Annual Mining Report 2025.
7. Доклад Министра цифрового развития РК о цифровизации ГМК // primeminister.kz,22.07.2025.