УДК 622.2:504.06

Огнев Александр Максимович, студент
Ионина Анна Валерьевна, доцент, к.т.н.
(СибГИУ, г. Новокузнецк)
Ognev Aleksandr Maksimovich, student
Ionina Anna Valeryevna, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences
(SibGIU, Novokuznetsk)

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

MODERN TECHNOLOGIES OF MINING AND PROCESSING OF MINERAL RESOURCES: TECHNOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL ASPECTS

Аннотация. Рассмотрены этапы добычи, подготовки, обогащения и переработки минерального сырья, влияние оборотного водоснабжения и реагентного режима на показатели флотации. Обоснованы направления снижения экологической нагрузки. Приведены требования действующих нормативных документов к рекультивации нарушенных земель.

Annotation. The stages of mining, preparation, enrichment and processing of mineral raw materials, the impact of water recycling and reagent regime on flotation performance are considered. Directions for reducing the environmental load are substantiated. The requirements of current regulatory documents for the reclamation of disturbed lands are presented.

Добыча и переработка полезных ископаемых остаются основой сырьевой базы промышленности. От полноты извлечения и качества подготовки сырья зависят себестоимость продукции и объём отходов, которые приходится размещать в отвалах и хвостохранилищах [1]. Правовые основы недропользования определяет Закон РФ «О недрах» [2], а общие требования к охране окружающей среды при хозяйственной деятельности установлены Федеральным законом «Об охране окружающей среды» [3]. Поэтому технологические решения на горном предприятии принимаются с учётом экологических ограничений уже на стадии проектирования.

Современная ситуация в горнодобывающей отрасли характеризуется устойчивой тенденцией к снижению содержания полезных компонентов в добываемом сырье и росту объёмов отходов обогащения. Это делает особенно актуальным поиск технологических решений, позволяющих повысить полноту извлечения ценных компонентов при одновременном сокращении воздействия на окружающую среду.

Целью настоящей работы является систематизация технологических и экологических аспектов добычи и переработки минерального сырья для выявления направлений снижения нагрузки на окружающую среду.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Рассмотреть основные этапы добычи, подготовки, обогащения и переработки сырья.
2. Проанализировать влияние оборотного водоснабжения и реагентного режима на показатели обогащения.
3. Изучить действующие нормативные требования к рекультивации нарушенных земель.

Способ разработки выбирают по условиям залегания полезного ископаемого: при небольшой глубине и значительных запасах применяют открытые горные работы с комплексами механизации, при глубоком залегании – подземный способ [1]. Добытая горная масса поступает на подготовку: дробление и измельчение доводят материал до крупности, при которой зёрна полезного минерала освобождаются от породы [4, 5]. После этого применяют обогащение – гравитационное, магнитное, флотационное и другие методы [6].

Наиболее распространённым методом обогащения тонкоизмельчённых руд является флотация. Она основана на различной смачиваемости частиц: гидрофобные частицы закрепляются на пузырьках газа и переходят в пенный продукт, а гидрофильные остаются в камерном продукте [7]. Так, для апатито-нефелиновых руд Хибинского массива флотация остаётся практически единственным способом получения высококачественных апатитовых концентратов с содержанием около 39 % P_2O_5 [8].

Результат флотации зависит не только от выбранной схемы, но и от стабильности режима: на полноту разделения влияют реагентный режим и степень измельчения, а также качество оборотной воды [9]. В исследовании флотации вольфрамовых руд с исходным содержанием ценного компонента 0,35–0,42 % показано, что показатели обогащения в условиях замкнутого водооборота определяются составом воды [10]. Это объясняет, почему контроль параметров оборудования, механизация и автоматизация процессов остаются необходимой частью современной технологии. Последовательное выполнение операций добычи, подготовки, обогащения и переработки (таблица 1) позволяет полнее использовать сырьё и сокращать количество отходов.

Таблица 1 – Основные этапы добычи и переработки полезного сырья

Этап	**Основная операция**	**Результат**	**Примеры методов и оборудования**
Добыча	Извлечение сырья из месторождения	Горная масса	Открытый и подземный способы; буровзрывные работы,

Этап	Основная операция	Результат	Примеры методов и оборудования
			экскаваторно-автомобильный транспорт
Подготовка	Дробление и измельчение	Материал заданной крупности	Дробилки, мельницы, грохоты
Обогащение	Разделение полезного компонента и пустой породы	Концентрат и отходы	Флотация, гравитационное и магнитное обогащение
Переработка	Получение промышленного продукта	Продукт для дальнейшего использования	Металлургические и химические процессы
Рекультивация	Восстановление нарушенной территории	Подготовленная территория	Технический и биологический этапы

Основными источниками воздействия горного производства на землю, воздух и воды являются отвалы, хвостохранилища, пылевые выбросы и сточные воды. Обогатительные фабрики потребляют большие объёмы воды, поэтому одним из главных способов снизить нагрузку становится оборотное водоснабжение [11]. В качестве примера можно привести исследования внутреннего водооборота при флотации апатита Ковдорского месторождения: слив фабрики не направляют во внешнее хвостохранилище, а возвращают в процесс [8]. При этом в оборотной воде накапливаются примеси, и для её очистки изучают действие полиэлектролитов [9].

Требования к предприятию закреплены в законодательстве. Порядок рекультивации нарушенных земель устанавливают Правила проведения рекультивации и консервации земель, утверждённые постановлением Правительства РФ от 29.05.2025 № 781 [12]. Они действуют с 1 сентября 2025 г. вместо правил 2018 г. (постановление № 800) и рассчитаны до 1 сентября 2031 г.; проекты, утверждённые по прежним правилам, продолжают выполняться в прежнем порядке. Рекультивацию проводят в два этапа – технический и биологический, а её проект должен учитывать природные условия района и характер нарушений, возникших при открытых горных работах [12].

Повышение эффективности производства и снижение его экологической нагрузки опираются на три взаимосвязанных направления. Первое – автоматизация контроля: датчики и системы мониторинга позволяют вовремя выявлять отклонения в работе оборудования, которые ведут к потерям полезного компонента. Второе – замкнутый водооборот с очисткой оборотной воды, который сокращает потребление свежей воды и сброс сточных

вод, но требует управления составом воды, как показывают примеры флотации [9, 10]. Третье – экологический мониторинг, по данным которого оценивают состояние территории и результативность природоохранных мероприятий, в том числе рекультивации.

Эти меры не требуют отказа от промышленного использования минерального сырья: их цель – извлечь больше полезного компонента на единицу переработанной руды и оставить меньше отходов.

Технологические и экологические задачи горного предприятия решаются совместно: от полноты извлечения и устойчивости режима обогащения зависят и экономические показатели, и объём отходов. Практический эффект дают контроль параметров процессов, оборотное водоснабжение с очисткой воды и своевременная рекультивация нарушенных земель в соответствии с действующими правилами [12]. Дальнейшее развитие отрасли связано с применением этих мер в единой технологической цепочке от добычи до восстановления территории.

В заключении можно сделать следующие выводы:

– систематизированы этапы технологической цепочки «добыча – подготовка – обогащение – переработка – рекультивация», показана их взаимосвязь с экологическими требованиями;

– установлено, что устойчивость флотационного обогащения определяется не только схемой процесса, но и составом оборотной воды, что делает управление водооборотом критическим фактором;

– показано, что действующие нормативные требования к рекультивации (постановление Правительства РФ № 781) задают обязательные ориентиры для проектирования горных предприятий;

– обоснованы три взаимосвязанных направления снижения экологической нагрузки: автоматизация контроля, замкнутый водооборот с очисткой воды, своевременная рекультивация нарушенных земель.

Список литературы

1. Новожилов М. Г. Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Ч. 1: Технология, механизация и автоматизация производственных процессов на открытых горных работах / М. Г. Новожилов, Ф. И. Кучерявый, В. С. Хохряков [и др.]. – М.: Недра, 1971. – 535 с.

2. О недрах: Закон РФ от 21.02.1992 № 2395-1 // Собрание законодательства РФ. – 1995. – № 10. – Ст. 823.

3. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ // Собрание законодательства РФ. – 2002. – № 2. – Ст. 133.

4. Андреев Е. Е. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению / Е. Е. Андреев, О. Н. Тихонов. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт, 2007. – 439 с.

5. Цыгалов А. М. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению / А. М. Цыгалов, Н. И. Елисеев, И. А. Гришин. – Магнитогорск: МГТУ им. Г. И. Носова, 2005. – 135 с.
6. Обогащение полезных ископаемых: учебник. – СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2020. – URL: https://elib.spbstu.ru/doc/info?url=https%3A%2F%2Fprofspo.ru%2Fbooks%2F71699 (дата обращения: 11.10.2026).
7. Флотация // Большая российская энциклопедия. – URL: https://bigenc.ru/c/flotatsiia-408926 (дата обращения: 11.10.2026).
8. Козлов Д. Е. Разработка и обоснование оптимальных условий флотации апатита из апатито-нефелиновых руд в условиях оборотного водоснабжения: дис. … канд. техн. наук: 25.00.13 / Козлов Д. Е. – СПб., 2020. – 135 с.
9. Митрофанова Г. В. Исследование свойств и действия полиэлектролитов при очистке сливов обогатительной фабрики / Г. В. Митрофанова, Е. В. Черноусенко, А. В. Артемьев [и др.] // Записки Горного института. – 2024. – Т. 265. – С. 95–103.
10. Уразова Ю. В. Флотационное обогащение вольфрамовых руд в условиях замкнутого водооборота / Ю. В. Уразова, М. Ю. Тиунов, А. Ю. Чикин // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2023. – Т. 29, № 2. – С. 70–78. DOI: 10.21209/2227-9245-2023-29-2-70-78.
11. Зеньков И. В. Технологии рекультивации земель и формирования архитектуры техногенных ландшафтов для предприятий горнодобывающей промышленности с открытыми горными работами / И. В. Зеньков. – Красноярск: СФУ, 2022. – 200 с.
12. Правила проведения рекультивации и консервации земель: утв. постановлением Правительства РФ от 29.05.2025 № 781. – URL: https://rpn.gov.ru/upload/iblock/3d3/wjlbx0g0468vr0e9y9km0p2koarrcprv/PP-RF_781.pdf (дата обращения: 11.10.2026).