ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 4

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME - 4

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

УДК 622.272:622.7

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Косимов Мухиддин Одилович
Кандидат экономических наук, доцент кафедры «Горное дело» АФ НИТУ МИСИС, г.Алмалык, Республика Узбекистан;
ORCID 0009-0008-8108-4950,
E-mail: kosimovmuhiddin25@gmail.com
Раимжанов Бахадиржан Раимжанович
Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Горное дело» АФ НИТУ МИСИС, г.Алмалык, Республика Узбекистан;
ORCID 0000-0002-0395-1181, Scopus ID 57206666418;
E-mail: b.raimjanov@mail.ru
Каримова Диёра Абдухамидовна
Студентка кафедры «Горное дело» АФ НИТУ МИСИС, г.Алмалык, Республика Узбекистан;
E-mail: kdiyora5@gmail.com
Малюшенко Даниил Сергеевич
Участковый геолог ООО «Ахангаранцемент»,
E-mail: dmalyushenko.com

Annotatsiya. Tabiiy resurslar taqchilligi ortib borayotgan va ekologik talablar kuchayib borayotgan sharoitda, qimmatli komponentlarni ajratib olishni maksimallashtirish hamda chiqindilarni minimallashtirishga qaratilgan mineral xomashyodan kompleks foydalanish tamoyillarini joriy etish maqsadga muvofiqdir. Maqolada resurslardan foydalanish kompleksliligini baholashning nazariy asoslari va asosiy ko‘rsatkichlari: komplekslilik koeffitsiyenti (Kkom), chiqindisiz ishlab chiqarish koeffitsiyenti (Kb.o), yer ostidan qazib olish koeffitsiyenti (Kn) va yo‘qotish koeffitsiyenti (Kpot) ko‘rib chiqilgan. Baholashning metodik sxemasi (formulalar (1)–(6)) taqdim etilgan, o‘lchov birliklari va hisoblash tartibi asoslab berilgan. Kompleks texnologiyalarni joriy etishdagi muammolar va to‘siqlarning (infratuzilmaviy, texnologik, iqtisodiy va ekologik) tematik tahlili o‘tkazilgan, shuningdek, samaradorlikni oshirishning amaliy yo‘nalishlari — boshqaruvni raqamlashtirishdan tortib, kam chiqindili qayta ishlash texnologiyalarini joriy etishgacha taklif etilgan. Olingan nazariy xulosalar konchilik sanoati korxonalari uchun xomashyoning ikkilamchi va yo‘lakay komponentlarini muomalaga jalb qilish ulushini oshirish bo‘yicha amaliy tavsiyalar shakllantirish imkonini beradi. Ish asosan nazariy xarakterga ega bo‘lib, hisoblash metodikasi elementlarini o‘z ichiga oladi — u keyingi

ISSN 3030-3907

amaliy tadqiqotlar hamda kompleks foydalanish texnologiyalarini joriy etish samaradorligini iqtisodiy-ekologik baholash uchun baza bo‘lib xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: mineral resurslardan kompleks foydalanish, komplekslilik koeffitsiyenti, chiqindisiz ishlab chiqarish koeffitsiyenti, yer qa’ridan qazib olish, texnogen xomashyoni qayta ishlash.

Аннотация. В условиях нарастающего дефицита природных ресурсов и ужесточения экологических требований целесообразно внедрение принципов комплексного использования минерального сырья, направленного на максимизацию извлечения ценных компонентов и минимизацию отходов. В статье рассмотрены теоретические основы и ключевые показатели оценки комплексности использования ресурсов: коэффициент комплексности (Кком), коэффициент безотходности (Кб.о), коэффициент извлечения из недр (Кн) и коэффициент потерь (Кпот). Представлена методическая схема оценки (формулы (1)–(6)), обоснованы единицы измерения и порядок расчёта. Проведён тематический анализ проблем и барьеров внедрения комплексных технологий (инфраструктурные, технологические, экономические и экологические), а также предложены прикладные направления повышения эффективности — от цифровизации управления до внедрения малошумных/малоотходных технологий переработки. Полученные теоретические выводы позволяют сформировать практические рекомендации для предприятий горнодобывающей отрасли по повышению доли вовлечённых в оборот вторичных и попутных компонентов сырья. Работа носит преимущественно теоретический характер с элементами методики расчёта — она полезна как база для последующих прикладных исследований и экономико-экологических оценок эффективности внедрения технологий комплексного использования.

Ключевые слова: комплексное использование минеральных ресурсов; коэффициент комплексности; коэффициент безотходности; извлечение из недр; переработка техногенного сырья.

Abstract. In the context of increasing scarcity of natural resources and increasing environmental requirements, it is advisable to introduce principles of integrated use of mineral raw materials, aimed at maximizing the extraction of valuable components and minimizing waste. The article presents the theoretical foundations and main indicators for assessing the complexity of resource use: the complexity coefficient (Kkom), the waste-free production coefficient (Kb.o), the underground mining coefficient (Kn) and the loss coefficient (Kpot) were considered. The methodological scheme of the assessment (formulas (1)–(6)) is presented, the units of measurement and the calculation procedure are justified. A

thematic analysis of the problems and barriers (infrastructure, technological, economic, and environmental) to the introduction of complex technologies was conducted, and practical areas for increasing efficiency were proposed, from digitalization of management to the introduction of low-emission processing technologies. The obtained theoretical conclusions make it possible to formulate practical recommendations for enterprises of the mining industry to increase the share of involvement of secondary and on-the-go components of raw materials in circulation. The work is mainly theoretical in nature and includes elements of computational methodology - it serves as a basis for further practical research and economic-ecological assessment of the effectiveness of the introduction of complex use technologies.

Keywords: integrated use of mineral resources, coefficient of integration, coefficient of waste-free production, mining, processing of man-made raw materials.

ВВЕДЕНИЕ.

Минеральные ресурсы являются фундаментальной основой промышленного развития и важнейшим фактором экономического роста. Горнодобывающая отрасль обеспечивает сырьевую базу для металлургии, энергетики, строительной индустрии и химического производства. В то же время традиционные подходы к освоению месторождений часто сопровождаются значительными потерями полезных компонентов, накоплением больших объёмов отходов и повышенной нагрузкой на окружающую среду.

В современных условиях ограниченности природных ресурсов и усиления экологических требований особое значение приобретает концепция комплексного использования минерального сырья. Она предполагает максимально полное извлечение всех ценных компонентов из добываемого сырья, вовлечение отходов в повторную переработку и снижение потерь полезных ископаемых на всех стадиях технологического цикла.

Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых рациональному недропользованию, остаются актуальными вопросы количественной оценки уровня комплексности использования сырья, а также совершенствования методических подходов к анализу эффективности переработки минеральных ресурсов. Ключевые проблемы комплексного использования минеральных ресурсов горнодобывающей отрасли приведены в таблице №1.

Таблица 1.

ISSN 3030-3907

Ключевые проблемы комплексного использования минеральных ресурсов

Проблема	Описание	Примеры
Моносырьевой подход	Добывается основной компонент, попутные полезные ископаемые теряются в отходах	В железных рудах присутствуют титан, ванадий, кобальт, медь, цинк, никель, сера, фосфор; в рудах цветных металлов — олово, медь, никель, кобальт, вольфрам, молибден, золото, серебро, платиноиды, редкие металлы
Отсутствие единой системы управления отходами	Нет нормативно закреплённых понятий «вторичные минеральные ресурсы», «техногенное месторождение»	Отходы добычи приравниваются к природным ресурсам недр, низкая инвестиционная привлекательность переработки техногенного сырья
Технологические ограничения	Недостаточный уровень разработок для переработки сложных полиметаллических руд	Высокая стоимость внедрения малоотходных и безотходных технологий, несовершенство методов извлечения ценных компонентов из отходов
Экологические вызовы	Накопление промышленных отходов,	Угольная, чёрная и цветная металлургия

ISSN 3030-3907

Проблема	Описание	Примеры
	загрязнение почв, водоёмов и атмосферы	— лидеры по объёму отходов
Экономические барьеры	Высокие капитальные вложения, длительный срок окупаемости	Отсутствие экономических стимулов для недропользователей

2. Методика определения показателя оценки комплексности использования ресурсов

1. Показатель эффективности

Главным критерием эффективности является **коэффициент комплексности** (*К*к), рассчитываемый как отношение стоимости извлечённых компонентов к их общей стоимости в сырье:

$$К_к = \frac{\text{суммарная стоимость извлеченных полезных компонентов}}{\text{суммарная стоимость компонентов в сырье}} \quad (1)$$

Для горнодобывающих предприятий уровень комплексности определяется:

количеством добываемых полезных ископаемых и компонентов;

степенью полноты их извлечения;

уровнем реализации извлечённых компонентов.

2. Коэффициент комплексности извлечения полезных компонентов ($K_{ком}$)

$$K_{ком} = \frac{\sum(qj \times Цj)}{\sum(pi \times Цi)} \quad (2)$$

где, $K_{ком}$-коэффициент комплексности извлечения (безразмерная величина, обычно от 0 до 1);

p_i—количество (масса/объём) *i*-го извлечённого полезного компонента в товарной продукции (например, т, кг);

$Ц_i$—цена (стоимость) единицы *i*-го компонента (например, руб./т, долл./кг);

q_j—количество (масса/объём) *j*го полезного компонента, содержащегося в исходном сырье (в недрах/в руде);

$Ц_j$— цена (стоимость) единицы *j*-го компонента в сырье.

Смысл: отношение суммарной стоимости всех извлечённых компонентов к суммарной стоимости тех же компонентов в исходном сырье. Чем ближе *К*ком к 1, тем полнее используется сырьё.

3. Коэффициент безотходности производства ($К_{б.о}$)

ISSN 3030-3907

$$K_{б.о}=\frac{\sum Bi}{V} \quad (3)$$

где, Кб.о -коэффициент безотходности (безразмерная величина, от 0 до 1);

Bi—масса (объём) i-го вида продукции, полученной из сырья (включая побочные продукты, строй материалы и т. п.);

V — общая масса (объём) исходного добытого сырья.

Смысл: доля сырья, превращённая в полезную продукцию (без учёта безвозвратных потерь). Чем выше Кб.о, тем меньше отходов.

4.Коэффициент извлечения полезного ископаемого из недр (Кн)

$$Кн=\frac{Д}{Б\cdot С} \quad (4)$$

где,

Кн – коэффициент извлечения из недр (безразмерная величина, от 0 до 1);

Д-количество добытого полезного ископаемого (масса/объём, т, м³);

Б-балансовые запасы полезного ископаемого в недрах (масса/объём);

С – коэффициент разубоживания (доля пустой породы безразмерный, от 0 до 1).

Смысл: показывает, какая часть балансовых запасов фактически извлечена с учётом разубоживания руд.

5. Коэффициент потерь полезного компонента при добыче (Кпот)

$$Кпот=\frac{В_{пап}}{Б_{об}} \quad (5)$$

где,

Кпот – коэффициент потерь (безразмерная величина, от 0 до 1);

Впап- масса потерянного полезного компонента (например, в отвалах, хвостах, при транспортировке);

Боб-общее количество полезного компонента в отрабатываемом блоке/ Залежи (балансовое содержание).

Смысл: доля потерянного компонента от его исходного количества в отрабатываемом объёме.

6. Показатель безотходности (Кб)

$$Кб=\frac{Мв}{Му}\times 100\% \quad (6)$$

где, $K_б$-показатель безотходности (в %);

$M_у$-масса утилизированных (переработанных) отходов производства;

$M_в$-общая масса образовавшихся отходов.

Смысл: процент отходов, вовлечённых в переработку/утилизацию. Чем выше *К*б, тем меньше складируемых/ захороненных отходов.

Все показатели ($K_{ком}$, $K_{б.о}$, *Кн* и др.) — безразмерные либо выражаются в %;

ISSN 3030-3907

Единицы измерения p_i, q_j, $M_у$, $M_в$ и т. п. должны быть согласованы в тоннах.

Цены ($Ц_i$, $Ц_j$) обычно берутся на момент оценки (рыночные, контрактные и пр).

Представленные расчётные выражения формируют систему количественных показателей, характеризующих эффективность освоения минеральных ресурсов и степень комплексности их использования. Применение данных зависимостей позволяет проводить сравнительный анализ технологических решений, оценивать уровень рациональности недропользования и определять направления повышения полноты извлечения ценных компонентов.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ.

3.1. Анализ проблем комплексного использования полезных ископаемых

На современном этапе развития горнодобывающей отрасли основной преградой на пути к рациональному недропользованию остается исторически сложившийся принцип «моно сырьевой» добычи. Технологические регламенты большинства действующих предприятий ориентированы на извлечение 1–2 базовых компонентов, что приводит к колоссальным потерям сопутствующей ценной продукции.

Статистические данные и минералогические исследования показывают, что в железных рудах, помимо основного металла, содержатся промышленные концентрации титана, ванадия, кобальта, меди и фосфора. В рудах цветных металлов ситуация еще более показательна: здесь присутствуют золото, серебро, платиноиды, селен, теллур и широкий спектр редких металлов%, на рисунке 1 изображено распределение минеральных ресурсов по классам. На сегодняшний день мировая практика позволяет извлекать более 70 видов попутных компонентов из комплексных руд, однако на большинстве отечественных предприятий этот потенциал реализуется менее чем на 30–40. Основными причинами являются:

1. Несовершенство флотационных и гравитационных схем, не позволяющих разделять мелкодисперсные включения;
2. Отсутствие экономической мотивации у недропользователей при низких штрафах за накопление отходов;
3. Недостаточная изученность техногенных массивов как вторичных месторождений.

ISSN 3030-3907



Рис.1. Распределение минеральных ресурсов по классам

3.2. Предлагаемые аспекты реализации модели комплексности и безотходного производства

Для качественного изменения ситуации предлагается внедрение комплексной модели, охватывающей все стадии жизненного цикла месторождения (рис. 2):

- Модернизация процесса разработки: Четкое разделение границ валовой выемки и селективной добычи. Это позволяет на ранней стадии разделять рудные потоки с разным содержанием полезных компонентов. Ключевым аспектом здесь является сохранение некондиционных руд и вскрышных пород в специальных хранилищах с целью их последующего использования, когда технологии станут более эффективными.
- Глубокая переработка и интенсификация извлечения: внедрение комбинированных методов (гидрометаллургия совместно с пирометаллургией). Например, при переработке медных концентратов необходимо использовать автоклавное выщелачивание для извлечения благородных металлов и элементов платиновой группы, которые ранее уходили в хвосты. Это превращает обогатительную фабрику в многопрофильный химико-металлургический комплекс.
- Рециклинг и системное управление отходами: хвосты обогащения и шлаки должны рассматриваться не как мусор, а как подготовленное сырье. Шахтные породы и отвалы могут быть полностью переработаны в закладочные смеси для упрочнения выработанного пространства, а также в высококачественные строительные материалы (цементный клинкер,

ISSN 3030-3907

дорожные основания, керамический кирпич). Это создает замкнутый цикл производства.

3.3. Экономико-экологическая значимость и стратегические векторы развития

Комплексный подход кардинально меняет экономику предприятия. Опыт передовых комбинатов показывает, что диверсификация производства позволяет распределять затраты на геологоразведочные и вскрышные работы между несколькими видами товарной продукции. В ряде случаев выручка от реализации попутных компонентов (например, редких земель) полностью покрывает операционные расходы на добычу основного сырья.

С экологической точки зрения, внедрение принципов циркулярной экономики ведет к:

- Радикальному сокращению площадей, отчуждаемых под хвостохранилища (решение проблемы «пылящих пляжей»);
- Снижению риска загрязнения подземных вод за счет утилизации агрессивных шлаков;
- Восстановлению ландшафтов через использование вскрыши для рекультивации.

Перспективными направлениями, способными обеспечить технологический прорыв, являются внедрение систем искусственного интеллекта для онлайн-контроля состава руды на конвейере (Big Data), создание межотраслевых кластеров (где отходы горного дела потребляются строительной отраслью) и международное сотрудничество в области трансфера «зеленых» технологий переработки техногенного сырья.

ISSN 3030-3907



Рис.2. Незамкнутый цикл полного использования материалов [7]

Практика показывает, что в связи с постоянным снижением содержания полезных компонентов в минеральном сырье его переработка становиться дорогостоящей по сравнению с простыми методами механического обогащения и переработкой меньшего объема сырья с более высоким содержанием. Пример успешного комплексного использования природных ресурсов приведена в табл.2.

Таблица 2.

Примеры успешного комплексного использования минеральных ресурсов

Отрасль	**Продукт/технология**	**Результат**
Угольная промышленность	Переработка золошлаковых отходов	Производство строительных материалов, снижение объёмов отходов
Цветная металлургия	Извлечение редких металлов из отходов	Повышение рентабельности, диверсификация продукции
Фосфорная промышленность	Использование фосфогипса	Применение в сельском хозяйстве и строительстве,

ISSN 3030-3907

Отрасль	Продукт/технология	Результат
		снижение экологического ущерба
Цементная промышленность	Использование карбонатных пород и суглинков	Снижение затрат на сырьё, уменьшение экологического следа
Горнодобывающая промышленность	Переработка техногенных месторождений	Вовлечение в производство ранее утерянных ценных компонентов

4. ОБСУЖДЕНИЕ.

Результаты проведенного исследования подтверждают гипотезу о том, что современная парадигма недропользования находится в стадии глубокой трансформации. Как показал анализ проблем в разделе 3.1, традиционный моно-ресурсный подход исчерпал свою эффективность не только с экологической, но и с экономической точки зрения.

Сравнивая предложенную нами модель (раздел 3.2) с классическими трудами ведущих ученых в области горного дела можно отметить, если в начале XX века комплексность рассматривалась преимущественно как извлечение максимального количества химических элементов, здесь речь идет о создании «экологосбалансированных технологий». Это означает, что конечным продуктом горного предприятия должен стать не только концентрат, но и рекультивированный ландшафт, а также полное отсутствие техногенных накоплений на земной поверхности.

Особого внимания заслуживает вопрос экономической целесообразности глубокой переработки. Существует мнение, что при постоянном снижении содержания полезных компонентов в минеральном сырье (тренд, отмеченный во многих работах последних десятилетий), затраты на извлечение попутных микро-компонентов становятся критическими. Однако наше исследование показывает, что внедрение цифровых систем управления и Big Data позволяет нивелировать этот фактор за счет точной настройки технологических процессов и снижения удельных энергозатрат.

Важным аспектом обсуждения является легитимация техногенного сырья. Мы предлагаем рассматривать хвосты обогащения не как «отходы», а как «техногенные месторождения» с уже подготовленным

ISSN 3030-3907

(измельченным) материалом, что дополняет её необходимостью интеграции горного кластера со строительной отраслью. Практика показывает, что использование вскрышных пород для производства цемента или дорожного щебня позволяет окупить затраты на добычу основного компонента на 15–20%. Таким образом, обсуждаемые направления развития — от селективной добычи до полной утилизации хвостов — не являются лишь теоретическим идеалом. Это насущная необходимость для обеспечения выживаемости горнодобывающего сектора в условиях глобальной конкуренции и жестких климатических протоколов. Дальнейшие исследования в этой области должны быть сосредоточены на разработке нанотехнологий для извлечения ультра-мелких включений редких металлов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В ходе проведенного исследования были сделаны следующие выводы, имеющие как теоретическое, так и практическое значение для горнодобывающей отрасли:

1. Традиционная модель недропользования, ориентированная на добычу моно-сырья, в современных условиях ведет к потере до 60–70% потенциальной ценности месторождений. Переход к комплексной модели (раздел 3.2) является единственным способом обеспечения экономической устойчивости предприятий на фоне снижения содержания полезных компонентов в первичных рудах.

2. Предложенная система коэффициентов (формулы 1–6) позволяет объективно оценивать уровень рациональности использования недр. Коэффициенты комплексности и безотходности должны стать базовыми индикаторами при аудите деятельности горно-обогатительных комбинатов, позволяя выявлять скрытые резервы производства.

3. Хвосты обогащения и вскрышные породы следует рассматривать как «техногенные месторождения» второго порядка. Интеграция горнодобывающих предприятий со строительной и химической отраслями позволяет не только диверсифицировать товарную продукцию, но и решить острые экологические проблемы, связанные с накоплением отходов и отчуждением земель под хвостохранилища.

4. Внедрение в производство технологий индустрии 4.0 (Big Data, интеллектуальные системы управления) признано ключевым фактором, позволяющим сделать глубокую переработку бедных руд рентабельной. Автоматизация контроля качества рудопотока в режиме реального времени минимизирует потери ценных сопутствующих элементов. Таким образом, комплексное использование минеральных ресурсов — это многофакторная задача, требующая пересмотра технологических схем и создания новых

ISSN 3030-3907

логистических цепочек. Реализация предложенных в работе аспектных направлений позволит горнодобывающему сектору не только снизить экологическую «цену» продукции, но и выйти на новый уровень ресурсоэффективности в рамках глобальной циркулярной экономики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев, П. Ю. Рациональное использование минеральных ресурсов / П. Ю. Алексеев. — М.: Недра, 2019. — 240 с.
2. Иванов, С. Н. Горная промышленность России: проблемы и перспективы / С. Н. Иванов. — СПб.: ГИОРД, 2021. — 312 с.
3. Комплексное использование минерального сырья // Записки Горного института. — 2020. — Т. 245. — С. 144–158.
4. Кузнецов, В. А. Экологические аспекты недропользования / В. А. Кузнецов. — Екатеринбург: УрОРАН, 2018. — 198 с.
5. Нечаев, А. В. Основы устойчивого развития в горной отрасли / А. В. Нечаев, Л. С. Михайлова. — М.: ГЕОС, 2022. — 280 с.
6. https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-effektivnost-kompleksnogo-ispolzovaniya-mestorozhdeniy-poleznyh-iskopaemyh
7. Верхотуров А.Д. Минералогическое материаловедение как раздел науки о материалах //Химическая технология. 2002. № 6. С. 2-8; № 7. С. 2–8.
8. Чантурия В.А. Основные направления комплексной переработки минерального сырья // Горный журнал. 1995. № 1. С. 50–54.
9. Чантурия В.А. Теоретические основы повышения контрастности свойств и эффективности разделения минеральных компонентов // Цветные металлы. 1998. № 9. С. 11–17.
10. Горные науки, освоение и сохранение недр Земли / под ред. акад. К.Н. Трубецкого. М.: Изд. АГН, 1997. 475с.
11. Достижения и приоритеты горных наук в России / К.Н. Трубецкой, В.А. Чантурия, Д.Р. Каплунов, Н.Н. Чаплыгин // Горный журнал. 2000. № 6. С. 22–27
12. Комплексное использование руд и концентратов / В.А. Резниченко, М.С. Липихина, А.А. Морозов и др. М.: Наука, 1989. 172с.
13. Ларичкин, Ф. Д. Эволюция и формирование современной парадигмы (модели) комплексного использования минерального сырья / Ф. Д. Ларичкин // Север и рынок: формирование экономического порядка. — 2011. — № 1 (27). — С. 8–14.

ISSN 3030-3907