

УДК 622.7
 DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-4-32-44

СТРАТЕГИИ РАЦИОНАЛЬНОГО И КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОТХОДОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

STRATEGIES FOR THE RATIONAL AND INTEGRATED USE OF MINERAL RAW MATERIALS BASED ON THE BEST AVAILABLE TECHNOLOGIES AND LIFE CYCLE ASSESSMENT OF MINING WASTE



Л. В. Шумилова,
 Забайкальский государственный
 университет,
 г. Чита
 shumilovalv@mail.ru



А. Н. Хатькова,
 Забайкальский государственный
 университет,
 г. Чита
 alisa1965.65@mail.ru



К. К. Размакнин,
 Институт горного дела
 им. Н. А. Чинакала СО РАН,
 г. Чита
 igdranchita@mail.ru



В. Г. Черкасов,
 Забайкальский государственный
 университет,
 г. Чита
 cherkasov1948@yandex.ru

L. Shumilova,
 Transbaikal State University, Chita **A. Khatkova,**
 Transbaikal State University, Chita

K. Razmakhnin,
 Institute of Mining named after
 N. A. Chinakal SB RAS, Chita

V. Cherkasov,
 Transbaikal State University,
 Chita

Актуальность исследования объясняется необходимостью расширения функциональных возможностей горно-экологической концепции безотходного производства. Цель исследования – разработка новой Стратегии рационального и комплексного использования минерального сырья на основе наилучших доступных технологий (НДТ) и оценки жизненного цикла отходов горного производства. Объект исследования – Наилучшие доступные технологии (НДТ) (*Best Available Technologies*) горных предприятий. Предмет исследования – взаимосвязь основных принципов выбора НДТ из альтернативных вариантов технологий с оценкой жизненного цикла отходов горного производства. Методы и методология исследований – теоретический анализ, системный анализ, разработка блок-схем и новой Стратегии рационального и комплексного использования минерального сырья. Результаты исследования и их обсуждение: проведён многоступенчатый сравнительный анализ систем управления отходами в ЕС и в РФ, который показал, что в России для эффективного функционирования данной системы требуется поиск и реализация таких методов управления, которые позволяют горным предприятиям взаимодействовать с биосферой с наименьшим воздействием на ОС; установлено, что сравнение альтернативных вариантов НДТ является наиболее эффективным решением для обеспечения общего высокого уровня охраны окружающей среды, сбережения материальных и энергетических ресурсов с учётом экономической целесообразности внедрения. При ОВОС с целью выбора экономически оптимальных НДТ из альтернативных вариантов технологий, предприятиям следует выполнить ряд расчётов по рекомендуемым методикам с учётом девяти принципов НДТ. Сформирована оценка жизненного цикла горнопромышленных отходов, которую следует интегрировать в единую систему управления; разработана новая Стратегия рационального и комплексного использования минерального сырья на основе наилучших доступных технологий и оценки жизненного цикла отходов горного производства, которая позволяет обеспечить безотходное или малоотходное производство в рамках горно-экологической концепции

Ключевые слова: горно-экологическая концепция; безотходное производство; малоотходное производство; наилучшие доступные технологии; жизненный цикл; система; управление отходами; стратегия; принципы НДТ; биосфера

The relevance is explained by the need to expand the functionality of the mining and environmental concept of waste-free production. The purpose of the study is to develop a new one Strategy for the rational and integrated use of mineral raw materials based on the best available technologies (BAT) and an assessment of the life cycle of mining waste. The object of research is the Best Available Technologies, BAT (Best Available Technologies) of mining enterprises. The subject of the study is the relationship of the basic principles of the selection of BAT from alternative technology options with the assessment of the life cycle of mining waste. Method and methodology of research – theoretical analysis, system analysis, development of flowcharts and the new one Strategies for rational and integrated use of mineral raw materials. Results and discussion: a multi-stage comparative analysis of waste management systems in the EU and in the Russian Federation was carried out, which showed that in Russia, for the effective functioning of this system, it is necessary to find and implement such management methods that will allow mining enterprises to interact with the biosphere with the least impact on the environment; it is established that the comparison of alternative versions of BAT is the most effective solution for ensuring an overall high level of environmental protection, saving material and energy resources, taking into account the economic feasibility of implementation. During the EIA, in order to select economically optimal BAT from alternative technology options, enterprises should perform a number of calculations according to the recommended methods and taking into account the nine principles of BAT. Conclusions: the life cycle assessment of mining waste should be integrated into a single management system; a new Strategy for the rational and integrated use of mineral raw materials has been developed based on the best available technologies and the life cycle assessment of mining waste, which allows for waste-free or low-waste production within the framework of the mining and environmental concept

Key words: mining and environmental concept; waste-free production; low-waste production; best available technologies; life cycle; system; waste management; strategy; BAT principles; biosphere

Введение. В сфере обращения с отходами горной промышленности важную роль играет анализ материальных потоков (АМП), являющийся базой при оценке жизненного цикла минерального сырья и продуктов его переработки¹.

Такой анализ позволяет достаточно эффективно принимать решения, в первую очередь, при реализации экологической политики предприятия, а также предоставляет возможность исследования причин и степени воздействия производственных факторов на окружающую природную среду. С помощью АМП можно оценивать уровень экологической нагрузки, оказываемой как применяемыми при добыче и переработке минерального сырья технологиями, так и получаемыми с их помощью продуктами². При этом следует отметить, что одной из основных стадий оценки жизненного цикла минерального сырья и отходов горного производства является их инвентаризация, при которой происходит регистрация материальных потоков.

Актуальность исследований. Одним из основных направлений развития науки

и техники в области управления горнoprомышленными отходами является совершенствование технологий по сокращению образующихся отходов за счёт их переработки и утилизации. В этой связи расширение направлений применения горнoprомышленных отходов обусловливается, в первую очередь, их соответствием экологическим нормам, определяющим содержание радиоактивных и токсичных элементов, ртути, мышьяка, примесей тяжёлых металлов и т. д.

Сокращение объёмов накопленных и вновь образуемых отходов может быть организовано, в том числе, за счёт повышения их потребительских качеств путём переработки с максимальным выделением ценных компонентов и утилизацией невостребованной части. Невостребованные отвалы и хвостохранилища могут быть законсервированы с перспективой последующей переработки при достижении определённого уровня развития науки, техники и технологии.

Существенное снижение техногенной нагрузки на окружающую природную среду может быть достигнуто за счёт переработки отходов с использованием наилучших до-

¹ Европейская Комиссия. Окружающая среда: [сайт]. URL: <http://europa.eu.int/comm/environment/impel>. (дата обращения: 17.04.2021). – Текст: электронный.

² Европейское природоохранное агентство: [сайт]. URL: <http://themes.eea.eu.int>. (дата обращения: 17.04.2021). – Текст: электронный.

ступных технологий (НДТ), направленных на комплексное предотвращение и (или) минимизацию негативного воздействия на окружающую среду. Поэтому разработка Стратегии рационального и комплексного использования минерального сырья с учётом экологической составляющей является актуальной научной задачей.

Цель исследования – разработка Стратегии рационального и комплексного использования минерального сырья на основе наилучших доступных технологий и оценки жизненного цикла отходов горного производства для расширения функциональных возможностей горно-экологической концепции безотходного производства.

Задачи исследования:

1) провести многоступенчатый сравнительный анализ систем управления отходами в ЕС и в РФ;

2) проанализировать сущность концепций безотходного производства в горной промышленности в РФ и ЕС;

3) разработать Стратегию рационального и комплексного использования минерального сырья на основе наилучших доступных технологий и оценки жизненного цикла отходов горного производства.

Объект исследования – Наилучшие доступные технологии (НДТ) (*Best Available Technologies*) горных предприятий.

Предмет исследования – взаимосвязь основных принципов выбора НДТ из альтернативных вариантов технологий с оценкой жизненного цикла отходов горного производства.

Методы и методология исследований – теоретический анализ, обобщение научной литературы и нормативно-правовой документации по безотходным технологиям за рубежом и в России; системный анализ требований к безотходному производству; системный анализ концепций безотходного производства; разработка блок-схем алгоритмов решения производственных задач при внедрении НДТ и Стратегии рационального и комплексного использования минерального сырья.

Разработанность темы. Анализ применяемых систем управления отходами в передовых странах, таких как Великобритания и ЕС (Финляндия, Германия, Швеция, Австрия, Бельгия, Хорватия, Эстония и др.), показал, что эти системы имеют иерархии методов и учитывают в комплексе ряд аспектов (управленческие, технические, экономические, нормативно-правовые, социальные).

Концепция управления отходами в странах ЕС основана на целевых показателях развития, характеризующих качественное изменение динамики процесса – показатель степени использования вторичного сырья («...восстановление и вторичная переработка отходов в разумных масштабах, т. е. до того уровня, пока это производит положительный экологический эффект, является экономически выгодным и технически возможным...»³). Этот интегральный показатель включает количественное сокращение объёма отходов; качественное повышение отходов (снижение токсичности); количественное захоронение ядовитых фракций с высоким классом опасности, в случае невозможности их переработки).

Европейская комиссия регулярно выпускает директивы, например: «К тематической стратегии по предотвращению и переработке отходов» от 27 мая 2003 г.; «Обзор стратегии управления отходами в Европейском сообществе» от 30 июля 1997 г.; «Отходы 21» и др.⁴.

Уровень переработки вторичного сырья в ЕС: максимальный (30...50 % и более) – Швеция, Дания, Швейцария, Германия, Бельгия, Норвегия, Австрия и Голландия; минимальный (до 15 %) – Исландия, Португалия и Греция; 15...30 % – остальные страны⁵.

В России пока не эффективно решается проблема переработки накопленных промышленных отходов горной отрасли (в среднем 0...10 %). Проведён многоступенчатый сравнительный анализ систем управления отходами в ЕС и в РФ, результаты которого представлены на рис. 1.

Результаты и их обсуждение. Экологическая составляющая при обращении с отходами горного производства рассматривается,

³Экологическая программа ООН: [сайт]. – URL: www.unep.or.jp. (дата обращения: 07.05.2021). – Текст: электронный.

⁴Европейское природоохранное агентство: [сайт]. – URL: <http://themes.eea.eu.int> (дата обращения: 07.05.2021). – Текст: электронный; Чarterный Институт Управления Отходами: [сайт]. – URL: www.ciwm.co.uk (дата обращения: 07.05.2021). – Текст: электронный.

⁵OECD Environmental Data. Compendium 2002. Waste. – Environmental Performance and Information Division, OECD Environment Directorate, Working Group on Environmental Information and Outlooks // OECD, 2002.

в том числе, и в аспекте жизненного цикла, основанного на информации об их вещественном составе и физическом жизненном цикле от минерального сырья до момента его переработки и утилизации.

Оценка жизненного цикла горнопромышленных отходов регламентируется меж-

динарными стандартами ISO 14040, ISO 14044, руководствами, а также соответствующими методиками, формулирующими её как «...метод определения экологического воздействия продукта, процесса или услуги в течение жизненного цикла»⁶.

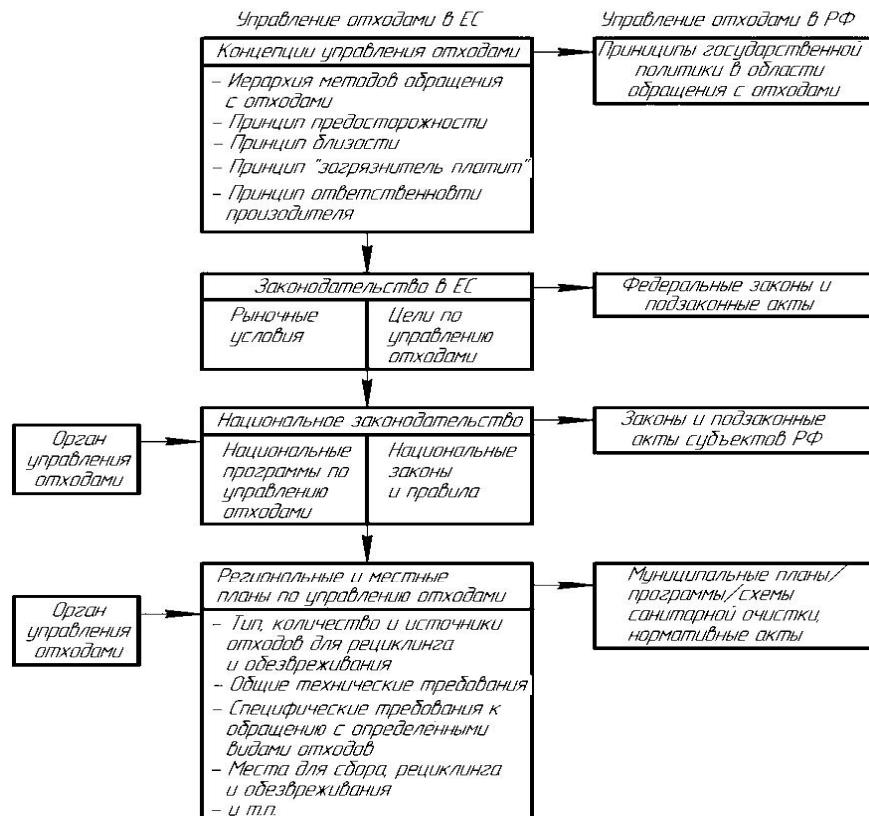


Рис. 1. Многоступенчатый сравнительный анализ управления отходами в ЕС и в РФ /
Fig. 1. Multi-stage comparative analysis of waste management in the EU and in the Russian Federation

В соответствии с нормативными документами ISO, оценка жизненного цикла отходов горного производства (ОЖЦОГП) включает следующие этапы: 1) определение цели и области применения; 2) инвентаризационный анализ; 3) оценка воздействия и интерпретация. Оценка жизненного цикла отходов, образующихся на разных стадиях производства, определяется как выходящий поток технологической системы.

Оценка степени воздействия на всех стадиях жизненного цикла минерального сырья позволяет выработать основные подходы

при организации обращения с отходами горного производства, а также определить возможности снижения экологических рисков.

После ликвидации предприятия, как правило, ограничиваются проведением рекультивационных работ, которые в действительности осуществляются не всеми недропользователями. Отходы, не подвергшиеся рекультивации, представляют собой одну из наиболее существенных экологических проблем для района их расположения.

Дивиденды, которые может получить горное предприятие при внедрении системы

⁶Немчинова Н. В., Шумилова Л. В., Салхофер С. П., Размахнин К. К., Чернова О. А. Комплексное устойчивое управление отходами. Металлургическая промышленность. – М.: ИД Акад. естествознания, 2016. – 494 с.

экологического мониторинга (экономические, экологические, социальные), представлены на рис. 2.

Разработку экологически безопасных технологических решений НДТ в области обогащения полезных ископаемых необходимо осуществлять с учётом физико-географических, геологических, инженерно-геологических, гидрогеологических и горнотехнических факторов, которые оказывают существенное влияние на технико-экономико-социаль-

ные показатели функционирования горного предприятия.

Результаты исследования наиболее известных концепций безотходного горного производства в странах ЕС (экологическая концепция *Zero Waste – ZW*) и России (интенсификации, горно-экологическая) представлены в таблице «Результаты анализа концепций безотходного производства в горной промышленности».



Рис. 2. Результаты внедрения системы экологического мониторинга на горном предприятии / Fig. 2. Results of the environmental monitoring system implementation at the mining enterprise

В соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 19 марта 2014 г. № 398-р (ред. от 29 августа 2015 г.) «Об утверждении комплекса мер, направленных на отказ от использования устаревших и неэффективных технологий», осуществлена разработка Стратегии рационального и комплексного использования минерального сырья на основе наилучших доступных технологий и оценки жизненного цикла отходов горного производства, соответствующая горно-экологической концепции безотходного производства (рис. 3).

При выборе экономически оптимальных НДТ, относящихся к ОВОС, из альтернативных вариантов технологий предприятиям следует выполнить ряд расчётов по рекомендуемым методикам, указанным в экономико-аналитическом блоке (рис. 5), и руководствоваться девятью принципами НДТ (рис. 4).

По завершении выбора НДТ, предприятие оформляет заявку на получение комплексного экологического разрешения (КЭР), которое в соответствии с нормативно-правовыми актами, принятыми в последние два года, также является обязательным.

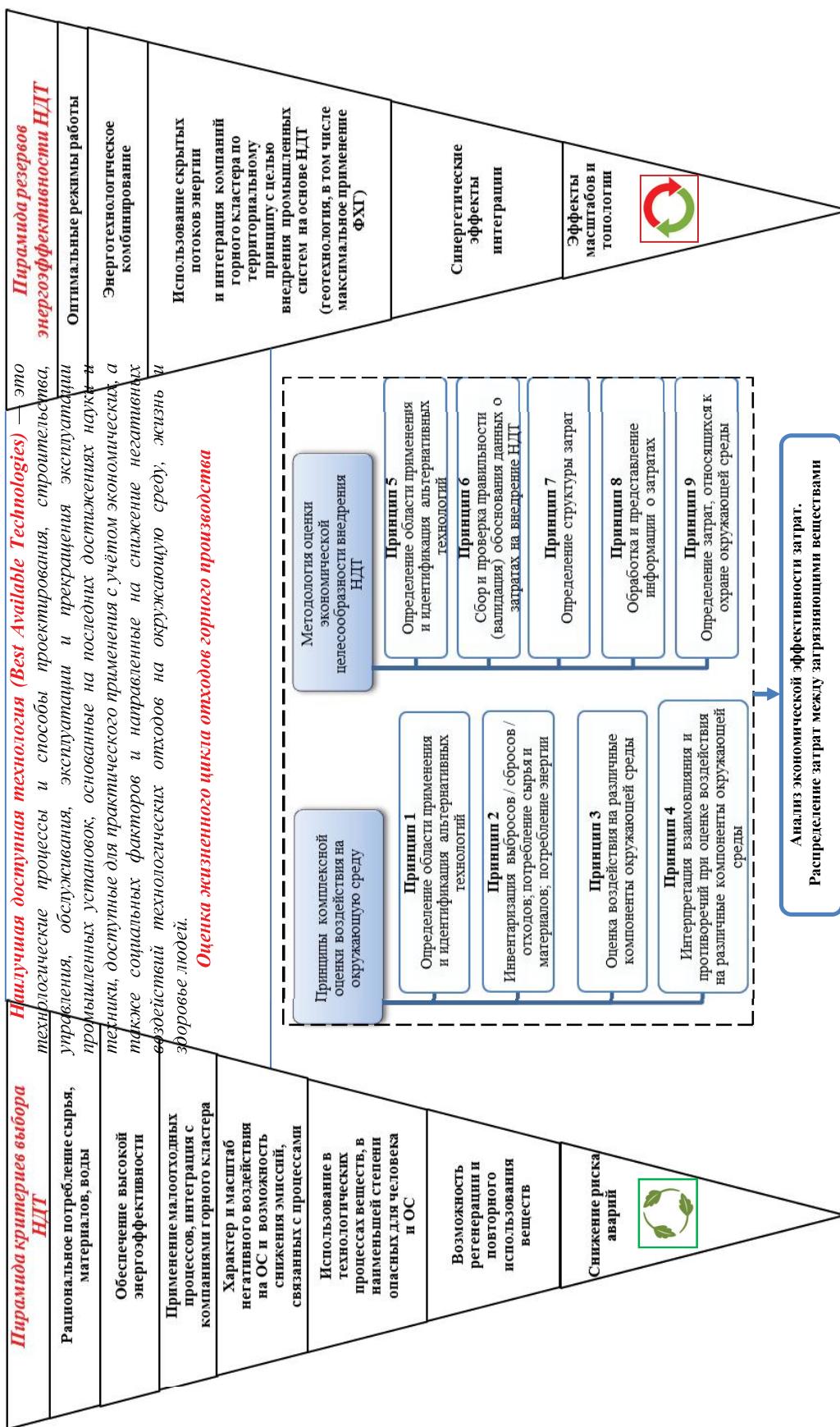


Рис.3. Стратегия рационального и комплексного использования минерального сырья на основе НДТ (геотехнологии) и ОЖЦОГП /
Fig.3. Strategy for the rational and integrated use of mineral raw materials based on BAT (geotechnology) and LCA

Концепция безотходного производства. Сущность концепции / The concept of waste-free production. The essence of the concept		
Концепция интенсификации / The concept of intensification	Горно-экологическая концепция / Mining and environmental concept	Экологическая концепция ZW / ZW Environmental Concept
Комплексное освоение крупных сырьевых ресурсов с полным использованием попутных или побочных продуктов и вторичных материалов; оптимизация потерь при добыче и переработке минерального сырья; комплексное использование сырья, утилизация отходов производства; периодический пересмотр кондиций в зависимости от уровня развития техники и технологий, систематическое снижение расхода сырья на единицу производимой продукции; использование вторичного сырья и отходов в других производственных отраслях и др. [3; 4, с. 53–54; 5; 11, с. 4–7]	Горно-экологический мониторинг (наблюдение, контроль, управление); контроль реализации плана действий по охране окружающей среды предпринятия и принятие корректирующих мер; независимая оценка результатов выполнения целей и задач экологической политики; оптимизация воздействия горного производства на окружающую среду; совершенствование системы управления районального рециркулирования; уменьшение до (или ниже) регионализированного уровня или полная ликвидация загрязнения атмо-, гидро-, лито- и биосфера выбросами и сбросами [10, с. 704–737; 7, с. 314–320; 17, р. 529–532; 8, с. 22–27]	Безотходная добыча, разработка и производство – различные методы добчи полезных ископаемых и экологические принципы (<i>Industrial Ecology</i> , <i>Cradle-to-Cradle</i> , <i>Green Engineering</i>), применяемые для обеспечения промышленного симбиоза и процессов вторичной переработки с целью использования уже имеющихся техногенных отходов вместо отработки новых месторождений, минимизация воздействия на природную среду на основе инновационных технологий, соответствующих интегрированным экологическим принципам (<i>Industrial Ecology</i> , <i>Cradle-to-Cradle</i> , <i>Green Engineering</i>) [19, р. 12–25; 13, р. 68–72; 11, р. 192–197; 12, р. 293–306; 13, р. 260–269; 14, р. 1240–1252].
Общие проблемы / Common problems		
Качественные различия кругооборота вещества и энергии в горном производстве (техносфера) с низким коэффициентом выхода готовой продукции по сравнению с экологическими системами (биосфера), когда внутри циклической цепи питания, отходы, производимые одним организмом, перерабатываются или используются другими организмами. Противоречия между требованиями улучшения технико-экономических показателей горного производства (снижение себестоимости продукции) и необходимостью поддержания оптимального состояния окружающей среды. Несовершенство существующей системы сбора данных об отходах, что не позволяет сделать точную оценку уровня переработки отходов из различных потоков. Программы управления отходами должны разрабатываться с учётом новых планируемых проектов, процессов, услуг. Необходимость постоянного пересмотра и адаптации концепций к изменяющимся горно-геологическим условиям, необходимость систематической оценки безотходного производства в течение всего жизненного цикла горного предприятия	Общие задачи, которые необходимо решить в ЕС, США, Канаде и других странах / Common tasks to be solved in the EU, USA, Canada, and other countries	Осуществление безотходной добычи с соблюдением экологических принципов (<i>Industrial Ecology</i> , <i>Cradle-to-Cradle</i> , <i>Green Engineering</i>) для обеспечения промышленного симбиоза и процессов вторичной переработки сырьём по ряду направлений: 1. <i>Zero waste design</i> («безотходная разработка») должна стать фундаментальным аспектом достижения целей концепции ZW на основе применения экологических принципов (<i>Green Engineering and Production</i>). 2. Интегрированный подход к планированию управления техногенными отходами для создания комплексной стратегии ZW of Resources, «безотходность ресурсов» (энергия, материалы, человеческие ресурсы).
Общие задачи, которые необходимо решить в России / Common tasks to be solved in Russia	Предотвращение или минимизация генерации отходов в технологических процессах добычи и переработки за счёт изменения качества сырья и готовой продукции. Совершенствование качества проектной документации и организаций управления производственным процессом или эксплуатацией технологических агрегатов. Применение рациональных систем складирования и хранения отходов с целью дальнейшей переработки, предупреждающих большие отчуждения земель. Создание эффективных газоочистных и других систем во избежание загрязнения водой, почвы и атмосферы. Рациональное использование техногенных месторождений. Проведение инвентаризации и разработка классификации техногенных отходов. Проведение общей оценки минерально-сырьевого потенциала техногенных отходов. Проведение районирования техногенных месторождений и выделение первоочередных объектов для возможной эксплуатации	

Окончание таблицы

<p>Выполнение геолого-экономической и стоимостной оценки первоочередных вовлекаемых в разработку технологических месторождений. Разработка предложений по созданию геолого-экономических и правовых основ подготовки техногенных месторождений к промышленному освоению в меняющихся условиях. Анализ и оценка действующих нормативно-правовых документов на соответствие их стратегическим целям государства, предложенные по их усовершенствованию. Оценка воздействия жизненного цикла предприятия на здоровье людей, окружающую природную среду и природные ресурсы в части экономической целесообразности в четыре этапа: классификация, характеристика, нормализация, анализ решений (ISO 14000) [1–2]</p>	<p>3. <i>Zero emissions</i>, («ноль выбросов») (в воздух, в воду, твёрдых и т. д.). 4. <i>ZW in activities</i>, («безотходная деятельность») (административная, производственная). 5. <i>ZW in product life</i>, («безотходный жизненный цикл товара») (транспортировка, использование, утилизация). 6. <i>Zero use of toxics</i>, («ноль токсичных веществ») (в процессах и продуктах) [19, p. 12–25; 6; 9]</p>
<p>Требования, предъявляемые к организации безотходного производства / Requirements for the organization of waste-free production</p>	<p>Обновление технически устаревших аспектов производства; развитие материальной базы производства, экономически оправданное извлечение из сырья сопутствующих компонентов; кооперация с другими отраслями промышленности (строительная, дорожная, закладка выработанного пространства и т. д.), включая территориальный принцип; модернизация экономики – экологизированная экономика; разработка (при участии ведущих предпринимательских объединений зелёных) финансовых инструментов институтами развития и публичными компаниями; зелёные инвестиции, зелёные доступные технологии, зелёные инвестиции общего толка, зелёные займы, зелёные фундации, индекс устойчивости, интегрированная отчётность, корпоративная социальная ответственность, окружающая среда, общество и корпоративное управление, облигации по продвижению устойчивого развития, стимулирование деятельности в сфере промышленности путём предоставления её субъектам финансовой, информационно-консультационной поддержки.</p>
<p>Требования, предъявляемые при добыве полезных ископаемых / Requirements for mining operations</p>	<p>Выбор рациональных систем разработки, снижение потерь сырья в недрах и разубоживание руд, обеспечение максимальной экономически целесообразной полноты отработки месторождений. Обеспечение комплексности отработки месторождений, использование полностью добываемого рудного и нерудного сырья путём его селективной выемки и складирования. Выбор рациональных систем разработки месторождений с целью дальнейшей переработки, рекультивации нарушенных земель, очистка инейтрализация шахтных и других сточных вод, предотвращение утечки нефти при морской добыче и т.п.</p>
<p>Требования, предъявляемые при переработке природного и техногенного сырья (обогащение, металлообработка) / Requirements for processing natural and man-made raw materials (processing, metallurgy)</p>	<p>Обоснованность особенностями вещественного состава исходного сырья. Минимальные потери ценных компонентов в отходах обогащения. Полное использование сопутствующих компонентов сырья, а также полезных ископаемых в составе вскрышных и вмещающих пород. Сокращение потерь при металлоизвлечении. Максимальное внедрение методов физико-химической геотехнологии как для природных месторождений, включая россыпи, так и для техногенного минерального сырья. Универсальность по отношению к различным литологическим разновидностям руд, фракциям руды и технологическим продуктам первичного обогащения, в том числе крупнокускового. Рациональность и мобильность по схемным и компоновочным решениям. Эффективное действие систем контроля и управления элементами окружающей среды с её взаимодействием со службами всех подразделений горнодобывающих и горноперерабатывающих объединений и предприятий.</p> <p>Оптимальность по глубине обогащения (рациональное соотношение механических, пиро-, гидро- и биологометаллургических методов). Использование комбинированных технологий – классических методов обогащения с физико-химической геотехнологией.</p> <p>Получение высококачественной товарной продукции.</p> <p>Экологическая безопасность, соблюдение экологических обоснованных требований к продукции предприятий горного кластера.</p> <p>Устойчивость по отношению к изменениям фазового состава и степени окисления, содержаний ценных, полупрочных компонентов и т. д.).</p> <p>Экономическая целесообразность, обеспечивающая максимальное извлечение при оптимальных капитальных и эксплуатационных затратах.</p> <p>Обучение студентов рациональному и комплексному использованию минерального сырья, владению наилучшими доступными технологиями горнодобывающей и горноперерабатывающей отраслей, владение экологической сознанием и риск-ориентированым мышлением, воспитание культуры безопасности [1; 2; 6; 18]</p>

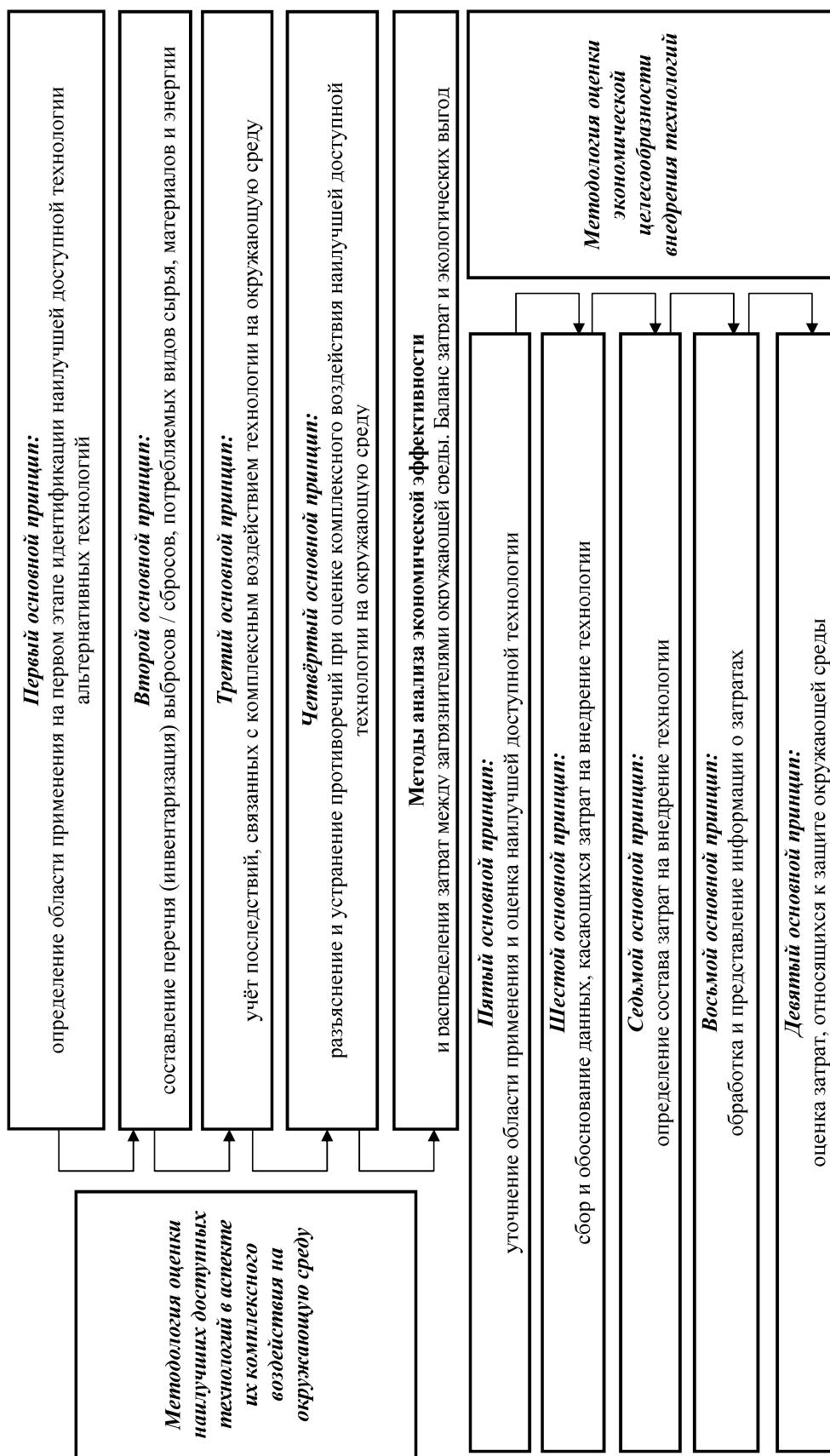


Рис. 4. Основные принципы выбора НДТ из альтернативных вариантов технологий /
Fig. 4. Basic principles for selecting BAT from alternative technology options



Рис. 5. Экономико-аналитический блок по определению затрат, относящихся к ОВОС при выборе НДТ из альтернативных вариантов технологии / Fig. 5. Economic and analytical block for determining the costs related to the EIA when selecting BAT from alternative technological options

Выводы

1. Оценку жизненного цикла горнопромышленных отходов следует интегрировать в единую систему управления, определяющую необходимость их комплексного использования и переработки, эффективность которых, в свою очередь, зависит от уровня развития техники и технологии в области обогащения полезных ископаемых и обращения с отходами и вторичным сырьем с учётом девяти принципов НДТ.

2. Разработана Стратегия рационального и комплексного использования минерального сырья на основе лучших доступных технологий и оценки жизненного цикла отходов горного производства (добыча, переработка, утилизация), позволяющая обеспечить безотходное или малоотходное производство и расширение функциональных возможностей горно-экологической концепции безотходного производства.

Список литературы

1. Аренс В. Ж. Геотехнология. М.: МИСиС., 2018. 100 с.
2. Аренс В. Ж., Шумилова Л. В., Фазуллин М. И., Хчаян Г. Х. Перспективные направления химической и микробиологической переработки минерального сырья цветных и благородных металлов // Металлург. 2017. № 9. С. 82–89.
3. Борисович В. Т., Чайников В. В. Геолого-экономическая оценка техногенных месторождений. Серия «Техника геологоразведочных работ». Т. 15. М.: ВНИТИ, 1991. 138 с.
4. Гуменик И. Л., Матвеев А. С., Панасенко А. И. Классификация техногенных формирований при открытых горных работах // Известия вузов. Горный журнал. 1988. № 12. С. 53–54.
5. Дополнительные требования к изучению и порядку утверждения кондиций и запасов минерального сырья, представленного отходами основного производства. М.: ГКЗ СССР, 1996. 28 с.

6. Европейский опыт обращения с отходами производства и потребления / под ред. Т. В. Боравской. М.: Изд. Торгово-промышленной палаты РФ, 2010. 212 с.
7. Савон Д. Ю. Совершенствование системы платного природопользования // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 6. С. 314–320.
8. Савон Д. Ю., Абрамова М. А. Переработка и утилизация отходов промышленных предприятий как метод ресурсосбережения // Экологический вестник России. 2014. № 6. С. 22–27.
9. Справочник наилучших доступных технологий / под ред. Министерства природных ресурсов и экологии РФ// Некоммерческое партнерство «Центр экологической сертификации – Зеленые стандарты». М.: Изд-во ЦЭС, 2011. 838 с.
10. Ферсман А. Е. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1955. Т. 3. С. 704–737.
11. Ферсман А. Е. Химические проблемы промышленности. Ленинград: Науч. хим.-техн. изд-во, 1924. С. 4–7.
12. Ahmed H.M., Viswanathan N., Bjorkman B. Composite pellets – a potential raw material for iron-making. Steel Res. 2014. Int. 85. P. 293–306.
13. Antrekowitsch J., Steinlechner S. The recycling of heavy-metal-containing wastes: mass balances and economical estimations // JOM. 2011. № 63. P. 68–72.
14. Bochek A. M. Prospects for use of polysaccharides of different origin and environmental problems in processing them // Fibre Chem. 2008. № 40. P. 192–197.
15. Chiang Y.W., Santos R.M., Elsen J., Meesschaert B., Martens J.A., Van Gerven T. Towards zero-waste mineral carbon sequestration via two-way valorization of ironmaking slag // Chem. Eng. J. 2014. № 249. P. 260–269.
16. Krajnc D., Mele M., Glavic P. Improving the economic and environmental performances of the beet sugar industry in Slovenia: increasing fuel efficiency and using by-products for ethanol // J. Clean. Prod. 2007. № 15. P. 1240–1252.
17. Matthews T. Dilution and ore loss projections: Strategies and considerations // SME Annual Conference and Expo and CMA 117th National Western Mining Conference. Mining: Navigating the Global Waters. Denver, 2015. P. 529–532.
18. Wang P., Sun, Z., Hu Y., Cheng H. Eaching of heavy metals from abandoned mine tailings brought by precipitation and the associated environmental impact // Science of the Total Environment. 2019 10 December. Vol. 695, no. 133893.
19. Zaman A.U. A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines // Journal of Cleaner Production. 2015. № 91. PP. 12–25.
20. Ziout A., Azab A., Atwan M. A holistic approach for decision on selection of end-of-life products recovery options. // J. Clean. Prod. 2014. № 65. P 497–516.

References

1. Arens V. Zh. Geotekhnologiya (Geotechnology). Moscow: MISiS. 2018. 100 p.
2. Arens V. Zh., Shumilova L. V., Fazlullin M. I., Khcheyan G. H. Metallurg (Metallurgist), 2017, no. 9, pp. 8289.
3. Borisovich V. T., Chaynikov V. V. Geologo-ekonomiceskaya otsenka tehnogennyh mestorozhdeniy. Seriya "Tekhnika geologorazvedochnyh rabot" (Geological and economic assessment of technogenic deposits. Series "Technique of Geological Prospecting"). Moscow: VINITI, 1991, vol. 15, 138 p.
4. Gumenik I. L., Matveev A. S., Panasenko A. I. Izvestiya vuzov. Gorny zhurnal (Proceedings of universities. Mining Journal), 1988, no. 12, pp. 53–54.
5. Dopolnitelnye trebovaniya k izucheniyu i poryadku utverzhdeniya konditsiy i zapasov mineralnogo sryiya, predstavленного othodami osnovnogo proizvodstva (Additional requirements for the study and approval of the conditions and reserves of mineral raw materials represented by waste from the main production). Moscow: GKZ of the USSR, 1996. 28 p.
6. Evropeyskiy opyt obrashcheniya s othodami proizvodstva i potrebleniya (European experience with production and consumption waste management / Edited by T. V. Boravskaya). Chamber of commerce and industry of the RF. Moscow, 2010, 212 p.
7. Savon D. Yu. Gorniy informatsionno-analiticheskiy byulleten (Mining Information and Analytical Bulletin), 2014, no. 6, pp. 314–320.
8. Savon D. Yu., Abramova M. A. Ekologicheskiy vestnik Rossii (Ecological Bulletin of Russia), 2014, no 6, pp. 22–27.
9. Nekommercheskoe partnerstvo "Tsentr ekologicheskoy sertifikatsii – Zelenye standarty" (non-profit partnership "Center for environmental certification-Green standards"). Moscow: Central Electric Networks Publishing House, 2011. 838 p.

10. Fersman A. E. *Izbrannye trudy* (Selected works). Moscow: Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1955, vol. 3, pp. 704–737.
11. Fersman A. E. *Himicheskie problemy promyshlennosti* (Chemical problems of industry). Leningrad: Scientific. chem.-tech. publishing house, 1924, p. 4–7.
12. Ahmed H.M., Viswanathan N., Bjorkman B. *Steel Res* (Steel Res), 2014, Int. 85, pp. 293–306.
13. Antrekowitsch J., Steinlechner S. *JOM* (JOM), 2011, no. 63, pp. 68–72.
14. Bochek A.M. *Fibre Chem* (Fibre Chem), 2008, no. 40, pp. 192–197.
15. Chiang Y.W., Santos R.M., Elsen J., Meesschaert B., Martens J.A., Van Gerven T. *Chem. Eng. J. (Chem. Eng. J.)*, 2014, no. 249, pp. 260–269.
16. Krajnc D., Mele M., Glavic P. *J. Clean. Prod.* (Clean. Prod.), 2007, 15, pp. 1240–1252.
17. Matthews T. *Annual Conference and Expo and CMA 117th National Western Mining Conference* (Annual Conference and Expo and CMA 117th National Western). Mining Conference. Mining: Navigating the Global Waters. Denver, 2015, P. 529–532.
18. Wang P., Sun, Z., Hu Y., Cheng H. *Science of the Total Environment* (Science of the Total Environment), 2019, vol. 695, 10 December, no. 133893.
19. Zaman A.U. *Journal of Cleaner Production*, 2015, no. 91, pp. 12–25.
20. Ziout A., Azab A., Atwan M. *J. Clean. Prod* (J. Clean. Prod.), 2014, no. 65, pp. 497–516.

Информация об авторе

Шумилова Лидия Владимировна, д-р техн. наук, доцент, профессор, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых, физико-химическая геотехнология, инновационные технологии, экоинженерия.
shumilovalv@mail.ru

Хаткова Алиса Николаевна, д-р техн. наук, профессор, проректор по научной и инновационной работе, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: минералого-технологическая оценка неметаллических полезных ископаемых, обоснование методов обогащения и разработка современных технологий переработки нетрадиционных видов минерального сырья для расширения сфер их практического применения.
alisa1965.65@mail.ru

Размакнин Константин Константинович, канд. техн. наук, доцент, руководитель Читинского филиала, Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Чита, Россия. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых, геоэкология, сорбционные технологии, гидрометаллургия.
igdranchita@mail.ru

Черкасов Валерий Георгиевич, д-р техн. наук, доцент, профессор, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: машины и аппараты горно-обогатительного производства.
cherkasov1948@yandex.ru

Information about the author

Lidiya Shumilova, doctor of technical sciences, associate professor, professor, Transbaikal State University, Chita, Russia. Scientific interests: mineral processing, physical and chemical geotechnology, innovative technologies, eco-engineering.

Alisa Khatkova, doctor of technical sciences, professor, Chemistry department, Vice-Rector for Scientific and Innovation Work, Transbaikal State University, Chita, Russia. Scientific interests: research interests: mineral and technological assessment of non-metallic minerals, justification of enrichment methods and development of modern technologies for processing non-traditional types of mineral raw materials to expand their practical application.

Konstantin Razmakhnin, candidate of technical sciences, associate professor, Head of the Chita Branch, Institute of Mining named after N.A. Chinakal SB RAS, Chita, Russia. Scientific interests: mineral processing, geoecology, sorption technologies, hydrometallurgy

Valery Cherkasov, doctor of technical sciences, associate professor, professor, Transbaikal State University, Chita, Russia. Scientific interests: machines and devices for mining and processing industry.

Для цитирования

Шумилова Л. В., Хатькова А. Н., Размакнин К. К., Черкасов В. Г. Стратегии рационального и комплексного использования минерального сырья на основе наилучших доступных технологий и оценки жизненного цикла отходов горного производства // Вестник Забайкальского государственного университета. 2021. Т. 27, № 4. С. 32-44. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-4-32-44.

Shumilova L., Khatkova A., Razmakhnin K., Cherkasov V. Strategies for the rational and integrated use of mineral raw materials based on the best available technologies and life cycle assessment of mining waste // Transbaikal State University Journal, 2021, vol. 27, no. 4, pp. 32-44. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-4-32-44.

Статья поступила в редакцию: 24.05.2021 г.
Статья принята к публикации: 28.05.2021 г.