

ПРИНЦИПЫ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА В УПРАВЛЕНИИ ОТХОДАМИ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ

К.К. Размахнин

Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия, e-mail: constantin-const@mail.ru

Аннотация: Установлено, что рациональность и комплексность использования сырья, показатели ресурсо- и энергоэффективности обуславливаются принципами экономики замкнутого цикла. Приведены данные о запасах полезных ископаемых в регионе, объемах накопления и переработки отходов горной отрасли промышленности. Определены основные виды горнопромышленных отходов Новороссийской промышленной агломерации, места размещения и занимаемая площадь. Рекомендованы методы рекультивации отвалов вскрышных пород и некондиционных мергелей, а также направления их переработки и утилизации. Установлена роль циклической системы обращения с отходами при создании экономики замкнутого цикла горнопромышленных предприятий. Выявлены институциональные барьеры, связанные с нормативно-правовой базой, ограничивающие оборот отходов добычи минерального сырья V класса опасности между недропользователями и иными лицами. Основными принципами экономики замкнутого цикла при обращении с отходами горнодобывающей промышленности в Краснодарском крае являются: ликвидация и сокращение объемов образования отходов, а также вовлечение отходов в экономический оборот. Установлено, что федеральная и региональная нормативно-правовая база должна обеспечить возможности реализации недропользователем отходов вскрыши V класса опасности иным лицам, что позволит эффективнее выстраивать предприятиям горной отрасли промышленности региона устойчивые межотраслевые взаимосвязи. Эффективное формирование модели экономики замкнутого цикла в Краснодарском крае должно осуществляться при взаимодействии предприятий горной, сельскохозяйственной и строительной отраслей промышленности, а также за счет создания симбиотических промышленных кластеров по переработке отходов на территории региона.

Ключевые слова: экономика замкнутого цикла, отходы горнодобывающей промышленности, технологии, системы обращения с отходами, жизненный цикл отходов, ресурсосбережение, переработка, утилизация, рекультивация.

Благодарность: Статья подготовлена при финансовой поддержке РФНФ и КНФ в рамках конкурса 2024 г. «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» (региональный конкурс), проект 24-18-20049 «Региональная система экономики замкнутого цикла: институциональные модели и технологии развития (на примере Краснодарского края)»

Для цитирования: Размахнин К. К. Принципы экономики замкнутого цикла в управлении отходами горнодобывающей промышленности в Краснодарском крае: технологические и институциональные аспекты // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 10. – С. 166–180. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_10_0_166.

Concept of closed-loop economy in mining waste management in the Krasnodar Krai: Technological and institutional aspects

K.K. Razmakhnin

Kuban State University, Krasnodar, Russia,
e-mail: constantin-const@mail.ru

Abstract: The soundness and completeness of utilization of resources, as well as the indicators of resource- and energy-efficiency are conditioned by the closed-loop economy. The data on the mineral resources in the Krasnodar Krai, and on the volumes of accumulation and processing of mining industry waste in the region are given. The main types of mining waste, their location sites and occupied areas are described in terms of the Novorossiysk Industrial Agglomeration. The methods of reclamation of overburden and low-grade marl dumps are recommended, and the ways of waste processing and utilization are identified. The role of a circular waste management system in the closed-loop economy in the mining industry is described. The institutional obstacles connected with the regulatory and legal framework, and limiting circulation of mineral mining waste of hazard class V between subsoil users and other parties of interest are revealed. The basic principles of the closed-loop economy in the mining industry waste management in the Krasnodar Krai are: reduction and elimination of waste, and introduction of waste in the circular economy. The federal and regional regulatory and legal framework should make possible management of subsoil use waste of hazard class V by other parties of interest toward more effective and sustainable cooperation between the mining industry and other industrial branches in the region. Effective shaping of the closed-loop economy in the Krasnodar Krai should integrate business entities from the mining industry, agriculture and construction, alongside with creation of symbiotic industrial clusters engaged in waste management in the region.

Key words: closed-loop economy, mining industry waste, technologies, waste management systems, life cycle of waste, resource-saving, processing, utilization, reclamation.

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Science Foundation and Kuban Science Foundation in the framework of the Contest 2024: Basic and Exploratory Research Implementation by Individual Scientific Teams (Regional Contest), Project 24-18-20049 Regional Closed-Loop Economy: Institutional Models and Developmental Technologies. A Case-Study of the Krasnodar Krai.

For citation: Razmakhnin K. K. Concept of closed-loop economy in mining waste management in the Krasnodar Krai: Technological and institutional aspects. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(10):166-180. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_10_0_166.

Введение

В настоящее время под экономикой замкнутого цикла принято понимать экономику, альтернативную традиционной линейной экономике, которая базируется на возобновлении использованных ресурсов, т.е. на создании, пользовании и захоронении образуемых в процессе

производственной деятельности отходов. Вместе с тем процесс минимизации потребления первичных ресурсов и объемов перерабатываемого минерального сырья определяет существенное сокращение отходов, подлежащих складированию на специализированных полигонах, захоронению и консервации и т.д.,

что приводит к значительному сокращению территорий их размещения. Такой подход обеспечивает снижение затрат на процесс обращения с отходами горнопромышленного комплекса, выраженный в увеличении экономических показателей, в частности, за счет корректировки размеров платежей за негативное воздействие на окружающую среду [1, 2].

Следует отметить, что интенсивное развитие горной промышленности в России характеризуется вовлечением в производство все большего количества месторождений полезных ископаемых, в том числе в регионах с несвойственными для них такими экономическими сферами, как добыча и переработка твердого минерального сырья. К числу таких регионов следует отнести Краснодарский край, известный своими обширными запасами нефти и газа. При этом в регионе ведется добыча следующих видов твердого минерального сырья: мергеля (для крупнотоннажного производства цемента), йода, цветных камней, кварцевых песков, ракушечника, ПГС и др. Кроме того, есть потенциал по расширению добычи соли, железной руды и киновари.

В целом, на территории края находится более 240 месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых, представляющих промышленный интерес в перспективе, зависящей в основном от развития науки и техники. Согласно справке, предоставленной ФГБУ «ВСЕГЕИ» в рамках выполнения Государственного задания Федерального агентства по недропользованию на территории Краснодарского края, добычей полезных ископаемых занимается 340 предприятий. Техногенная нагрузка на окружающую природную среду за счет размещения отходов промышленности характеризуется как очень высокая на территории нескольких районов Краснодарского края. Наиболее сложная экологическая

обстановка при этом наблюдается в районе расположения основных объектов добычи мергелей и производства цемента — Новороссийской промышленной агломерации.

В этой связи развитие нормативно-правовой базы, науки, техники и технологии в области добычи и переработки полезных ископаемых, а также в сфере обращения с образующимися при этом отходами является одним из основных направлений, обуславливающим условия формирования экономики замкнутого цикла в Краснодарском крае с учетом экологической составляющей.

Целями экономики замкнутого цикла в горной отрасли промышленности Краснодарского края являются [3, 4]:

- наличие устойчивой и эффективной нормативно-правовой базы в сфере обращения с отходами;
- межотраслевая коллаборация при обращении с отходами;
- наличие эффективных технологий обращения с отходами;
- малоотходность производства;
- минимизация количества выбросов и сбросов загрязняющих веществ;
- организация систем замкнутого водооборота;
- энергосбережение;
- ресурсосбережение.

Цель и методы исследования

Целью проведенных исследований явилось определение принципов экономики замкнутого цикла в управлении отходами горнодобывающей промышленности в Краснодарском крае с учетом возможности формирования устойчивых межотраслевых связей. В качестве методов исследования были использованы: информационный анализ, ретроспективный анализ, оценка современного состояния научных разработок в области применения технологий обращения с отходами горной промышленности при

формировании экономики замкнутого цикла, синтез, наблюдение.

Наибольший вклад в развитие методической и теоретической основы исследований в области экономики замкнутого цикла регионов внесли такие известные отечественные ученые, как В.Л. Петров, Е.Ю. Сидорова, Л.А. Мочалова, Н.Ю. Титова, А.П. Островский, В.Ф. Протасов, О.Е. Рязанова, В.П. Золотарева и др. [1, 5].

В качестве объектов исследований приняты горнопромышленные предприятия Краснодарского края, а также образующиеся в результате их производственной деятельности техногенные отходы.

Результаты и их обсуждение

В соответствии с Докладом Министерства природных ресурсов Краснодарского края «О состоянии природо-

Минерально-сырьевая база Краснодарского края Mineral-resource base of the Krasnodar region

Минеральное сырье	Месторождение	Суммарные запасы, т	Нахождение в нераспределенном фонде
Ртуть	Белокаменное, Дальнее, Каскадное, Сахалинское	2 963	•
Глины	Черноморское	5 918 000	•
Каменная соль	Шедокское	2 848 800 000	•
Кварцевые пески	47 месторождений	3 533 000 000	•
Известняк	Бесленевское, Правобережное	125 940 000 338 000 000	• •
Цветные камни: мраморный оникс жадеит яшма	Ахметовское, Уривок, Хацавита, Красная Поляна	81 360 346 1266,4	
Йодные воды	Славянско-Троицкое	115 500	
Цементное сырье	Горная площадь, Грушевое, Мессажайская площадь, Отножная площадь, Новороссийское, 2 Атакайское	1 149 625 000	•
	11 месторождений	417 133 400	
Гипса и ангидрит	Шедокское, Бесленевское, Ильичевское, Передовское	242 868 000	
Формовочные пески	Ахтанизовское, Сенное (Таманское)	40 164 000	
Строительные камни	35 месторождений	236 750 000 м ³	14 месторождений
Облицовочные камни	месторождение Гузова Гора (участок Надежный)	100 000	
Морская ракушка	6 месторождений	33 576 000	4 месторождения
Карбонатные породы	Гостагаевское, Шедокское	58 187 000	Удобненское
ПГС	145 месторождений	68 639 000	24 месторождения

пользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2022 году», территория региона характеризуется наличием минерально-сырьевой базы, включающей ряд месторождений полезных ископаемых (таблица).

Следует отметить, что в процессе недропользования в Краснодарском крае образуются отходы преимущественно вскрышных пород, размещаемые в отвалы. Данное сырье представляет собой значительный ресурс для возможного применения при закладке карьеров, рекультивации нарушенных территорий, в строительной индустрии, сельском хозяйстве и т.д. При этом большое значение имеют объемы образования отходов. В 2021 г. на территории Российской Федерации образовалось 9,02 млрд т отходов производства и потребления, из них в Краснодарском крае — 14,96 млн т. Общее количество отходов производства и потребления на территории Краснодарского края на начало 2022 г. — 6,5 млн т. В 2022 г. в регионе обезврежено 2,6 млн т, при этом передано отходов другим организациям для различных целей — 6,9 млн т. Одним из наиболее важных показателей обращения с отходами является количество отходов, размещенных на эксплуатируемых объектах (4,4 млн т).

Из представленных в таблице данных видно, что достаточно большое количество месторождений твердых полезных ископаемых Краснодарского края находится в нераспределенном фонде. При этом в регионе достаточно интенсивно ведется добыча некоторых видов инертного минерального сырья для строительной индустрии: гравия, песка, известняка, мергеля. В результате добычи минерального сырья происходит образование и накопление значительного количества горнопромышленных отходов, к которым в основном относятся вскрышные породы. При этом наиболее высоким

объемом образования отходов горной отрасли промышленности характеризуется процесс добычи мергеля. Следует отметить, что данный вид минерального сырья представляет собой осадочные породы, являющиеся в настоящее время основным сырьем для получения цемента. При этом карьеры по добыче мергеля оказывают существенное негативное влияние на окружающую среду близлежащих территорий, расположенных в основном на побережье Черного моря. Добыча мергеля наиболее интенсивно ведется на Новороссийской группе месторождений (Новороссийский район), где работают несколько карьеров по добыче данного вида минерального сырья. Наиболее крупными из них являются Мефодиевский, Шесхарис и Мирный. Шесхаринский карьер является производственной площадкой для разработки крупнейшего в Краснодарском крае месторождения мергелей, из которых в дальнейшем производится цемент высшей марки.

В результате добычи мергелей на карьерах образуется большое количество мелкодисперсных минеральных отходов, характеризующихся содержанием в них частиц, в том числе крупностью менее 2 мкм, а также частиц размером от 2 до 65 мкм. Химический состав отходов, образуемых при добыче мергеля, характеризуется содержанием кальция (CaO 56%) и диоксида углерода (CO₂ 44%), а также наличием примесей глинистых минералов (известняков). Следует отметить, что данные отходы являются инертными. При этом мелкодисперсные фракции отходов добычи мергелей, размер частиц которых составляет менее 10 мкм, могут оказывать воздействие на здоровье человека, а также на качество поверхностных вод и почвы [6]. В этой связи отходы, образованные при добыче мергелей, представляют угрозу для компонентов окружающей природ-

ной среды вследствие пыления и происходящих интенсивных процессов эрозии. Расположение отвалов отходов вскрышной породы и некондиционного мергеля (общей площадью 15 га) на высоте до 150 м над уровнем Цемесской бухты и преобладание ветров северо-восточного направления обуславливают перенос пыли преимущественно в сторону г. Новороссийск. Пыль с отвалов вскрышных пород, образуемых при добыче мергеля, переносится ветром, в том числе на город Новороссийск, и представляет опасность при попадании в дыхательные пути. Частицы пыли сорбируют содержащиеся в атмосферном воздухе загрязняющие вещества, в частности, свинец, цинк, медь, барий и стронций, и осаждаются на поверхности почвы и водоемов близлежащих территорий, изменяя их химический состав и показатель рН. Особенностью почв данной территории является значительное содержание загрязняющих веществ, т.е. включений техногенного происхождения, связанных непосредственно с добычей мергелей.

Необходимо отметить, что на предприятиях, осуществляющих добычу полезных ископаемых в регионе, показатель утилизации вновь образуемых отходов, как и в среднем по России, составляет менее 30 %. Основной вклад в общий объем образования отходов горной промышленности региона вносят отвалы пород, находящиеся по причине достаточно низкой степени переработки, утилизации и вторичного использования, как правило, в заскладированном виде, занимая значительные площади территорий. В целом, ситуация по утилизации, переработке и вторичному использованию отходов, в том числе горнопромышленных, в Краснодарском крае находится на низком уровне. Кроме того, вновь образующиеся и накопленные горнопромышленные отходы региона, в частности Новороссийской промыш-

ленной агломерации, не только оказывают существенное негативное воздействие на окружающую среду, но и обуславливают достаточно высокие затраты недропользователя, связанные с содержанием отвалов отходов добычи мергелей, в том числе с платежами за негативное воздействие на окружающую среду [7, 8]. В этой связи для интенсификации процесса формирования устойчивой системы обращения с отходами недропользования в регионе наряду с организационно-управленческими мерами необходимо применение эффективных технологий переработки, утилизации и рециклинга техногенного сырья, позволяющих не только в значительной степени снизить негативное воздействие горной отрасли промышленности на окружающую среду, но и способствовать переходу к экономике замкнутого цикла.

В качестве основных направлений устойчивого управления отходами в горной отрасли промышленности являются комплексность использования минерального сырья и малоотходность производства, нацеленные на максимальное извлечение ценных компонентов и рациональное использование техногенных продуктов. Такой подход обуславливает наиболее эффективное недропользование и определяет существенное снижение негативного воздействия горнопромышленного предприятия на компоненты окружающей среды, но зависит от наличия технологий, способных обеспечить необходимые показатели. Из этого вытекает один из основных принципов экономики замкнутого цикла Краснодарского края — применение наиболее доступных технологий управления отходами в горной отрасли промышленности.

К наиболее рациональным направлениям использования эффективных и доступных технологий при обращении

с горнопромышленными отходами в Краснодарском крае следует отнести технологии, позволяющие обеспечить их применение в сельском хозяйстве (наиболее развитой отрасли экономики региона) и стройиндустрии. Снижение негативного воздействия отходов горной промышленности на окружающую среду (при отсутствии возможности их переработки и утилизации) может быть достигнуто, в первую очередь, при применении технологий, обеспечивающих существенное снижение пыления отвалов пустых пород, в том числе образующихся при добыче мергеля.

В частности, одним из наиболее перспективных направлений применения мергельсодержащего сырья является сельское хозяйство. Проведенный информационный анализ [6] позволил установить, что способность тонкодисперсного мергелевого минерального сырья V класса опасности изменять химический состав и значение pH почв может быть использована для удобрения плодородного почвенного слоя и для регулирования уровня его кислотности. В этой связи отходы, образуемые при добыче мергеля (вскрышные породы, некондиционное мергельсодержащее сырье), рекомендуется применять в сельском хозяйстве региона в качестве удобрения для улучшения качества почв. Такой подход позволит повысить уровень утилизации отходов горной промышленности в Краснодарском крае и в значительной степени снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Вместе с тем существует острая необходимость применения методов инженерной защиты окружающей среды, вызванная сложным экологическим состоянием Новороссийской горнопромышленной агломерации, где находятся основные производственные мощности по добыче мергелей и расположено большое количество отвалов пустых пород,

наносящих существенный вред окружающей среде посредством пыления. В этой связи с целью снижения и предотвращения разноса мелкодисперсных минеральных частиц с отвалов пород на близлежащие территории, включая г. Новороссийск, могут быть использованы такие технологические решения, как техническая и биологическая рекультивации [9]. В частности, в качестве одного из наиболее доступных методов предотвращения эрозионных процессов рекомендуется применение технологии закрепления пылящих поверхностей путем создания защитного слоя (почвенно-грунтового) с устойчивым растительным покровом. Для реализации данного метода рекультивации предлагается использовать мелкодисперсные отходы добычи мергеля с целью улучшения качества почвогрунта, поддержания в нем необходимого уровня кислотности, а также для создания прочной поверхностной корки (за счет вяжущих свойств) для предотвращения выноса пылевидных частиц. В качестве основного оборудования для осуществления процесса закрепления пылящих поверхностей и рекультивации отвалов горных пород возможно использование устройства, разработанного авторами [10]. Преимуществами данного устройства являются: высокая эффективность пылеподавления отвалов горных пород; возможность формирования на их поверхностях прочного влагостойкого слоя, обеспечивающего надежную защиту от пыления. Кроме того, для закрепления пылящих поверхностей отвалов пород рекомендуется применение эффективных геосинтетических материалов (геомат, георешетка) с последующим посевом грунтосмеси и семян многолетних трав и кустарников, предотвращающих вынос мелкодисперсных частиц с поверхности отвалов. При этом грунтосмесь может включать в качестве удобрений и свя-

зывающих материалов отходы добычи мергеля, известняка и шелухи семян подсолнечника, полученной при производстве пищевого масла, улучшающей химический состав почвы, обеспечивающей интенсивное образование корневой системы и способствующей росту многолетних трав и кустарников. Также при формировании почвогрунта может использоваться мульчирующий материал на основе древесных опилок. В качестве связующего вещества при закреплении пылящих поверхностей отвалов пород предлагается использовать в качестве добавки в гидросмесь орошения мелкодисперсные отходы добычи мергелей, разного рода флокулянты, а также клейковину, получаемую в результате производства крахмала. Предполагается, что конечным результатом реализации мероприятий по комбинированной рекультивации отвалов станет трансформация территории, занятой техногенными отходами добычи мергелей, в биогеоценозную систему, характеризующуюся высокой устойчивостью к процессам эрозии и возможностью автономного функционирования.

Важной составляющей экономики замкнутого цикла горной отрасли промышленности является переработка отходов с целью получения дополнительной товарной продукции с учетом формирования межотраслевых связей, в том числе с предприятиями строительной отрасли. Следует отметить, что во многих развитых странах отходы недропользования имеют значительную ресурсную ценность, а степень их использования составляет не менее 60%, что позволяет существенно повысить экономические показатели предприятий, а также в значительной степени минимизировать техногенное воздействие на окружающую среду [11]. Анализ зарубежных и отечественных технологий позволил определить основные процессы

переработки отходов недропользования: рудоподготовка (дробление, измельчение, разделение по классам крупности), магнитная сепарация, промывка, обжиг и др. с последующим получением товарной продукции, в том числе при добавлении различных композиционных и связующих материалов, химических присадок. Таким образом, отходы горной отрасли промышленности Краснодарского края, представленные преимущественно вскрышными породами (V класс опасности), могут быть переработаны путем дробления и отсева на классы крупности с получением товарного щебня и использованы, в частности, при строительстве автодорог, в том числе с добавкой некондиционного мергеля из отвалов, образованных при разработке Новороссийской группы месторождений.

Утилизация горнопромышленных отходов является одним из наиболее важных направлений, обуславливающих возможность формирования модели экономики замкнутого цикла в Краснодарском крае. В этой связи внедряемые технологии утилизации отходов, образовавшихся в результате добычи и переработки мергелей, могут быть связаны с закладкой выработанных пространств при проведении горных работ, изготовлением строительных материалов и использованием отходов в качестве регуляторов качества почв. Такой подход обеспечивает соблюдение важных принципов экономики замкнутого цикла: ресурсосбережения; малоотходности использования ресурсов; минимизации количества выбросов и сбросов загрязняющих веществ; минимизации количества отходов при производстве; межотраслевой коллаборации [12, 13].

Данным принципам должны соответствовать и системы управления отходами на предприятиях горнопромышленной отрасли региона, на которых в настоящее время в основном применяется

«линейная система», подразумевающая их складирование и дальнейшую рекультивацию [2, 14]. Линейность обращения с отходами добычи полезных ископаемых, как правило, не предполагает переработку техногенного сырья, что определяет этап рекультивации как конец его жизненного цикла. При этом в условиях современного развития техники и технологии наиболее рациональным видится использование «циклической системы» обращения с отходами, имеющей значительные преимущества перед линейным вариантом за счет обеспечения возможности переработки отходов на каждом этапе производства, в том числе, путем применения инновационных технологий, базирующихся на принципах максимальной экологичности, ресурсо- и энергосбережения. Такая форма системы обращения с отходами обеспечивает получение дополнительной товарной продукции, что, в свою очередь, положительно влияет на экономические показатели горнопромышленного предприятия и способствует формированию модели экономики замкнутого цикла. В этой связи «циклическая система» обращения с отходами выглядит наиболее рациональной для внедрения на предприятиях горной промышленности Краснодарского края, что связано с возможностью использования техногенного сырья в качестве дополнительной продукции. В частности, как уже указывалось, отходы, образующиеся при добыче мергелей, могут применяться в качестве основы для закладочных смесей, в стройиндустрии (связующее вещество) и сельском хозяйстве (удобрения) и т.п., что обуславливает пролонгацию жизненного цикла отходов с существенным эколого-экономическим эффектом для всех участников межотраслевой связи. Таким образом, для формирования устойчивой системы обращения с отходами в регионе, их эффектив-

ной переработки, утилизации и, в целом, применения рециклинга необходимо использования соответствующих эффективных технологий и оборудования.

Таким образом, возможность переработки, утилизации и рекультивации отходов горной отрасли промышленности Краснодарского края, в целом, способствует формированию межотраслевых взаимосвязей между различными сферами экономики региона: стройиндустрией и сельским хозяйством. Кроме того, в симбиотическую структуру промышленных отраслей региона должны войти научные и образовательные организации, обеспечивающие разработку эффективных технологий и кадровое обеспечение.

Эффективные инженерные решения для экономики замкнутого цикла имеют основополагающий характер, по той причине, что позволяют обеспечить достижение необходимой глубины переработки как сырья, так и отходов [2, 15]. В этой связи применение доступных технологий и оборудования обуславливает значительный уровень минимизации или предотвращения образования отходов, что определяет показатель комплексности использования сырья, а также влияет на основные эколого-экономические показатели работы предприятий и региона в целом.

При этом региональная концепция экономики замкнутого цикла должна включать эколого-экономическую оценку внедряемых на предприятиях технологических решений. В этой связи большое значение имеет прогнозная оценка эколого-экономической эффективности внедрения технологий, основанная на их эколого-экономических, технико-технологических и региональных особенностях [16, 17]. В процессе проведения такой оценки важную роль играют следующие факторы: жизненный цикл технологии; учет рисков; прогнозирование

финансовых затрат; экономическая обеспеченность и учет экономических показателей; оценка экономических и внеэкономических последствий внедрения технологий; инвестиционная обоснованность; сравнительный анализ и условия применения различных вариантов технологий (при сравнении двух вариантов и более); ожидаемый эффект от внедрения технологий; анализ временных показателей внедрения технологии; экономический мониторинг.

Необходимо отметить, что оценка эффективности внедрения технологий на горнопромышленных предприятиях осуществляется путем сравнения экономических показателей до и после применения технологии, в частности такого параметра, как выручка на единицу стоимости основных фондов. Одними из наиболее значимых параметров такой оценки при внедрении технологий являются капитальные вложения и ежегодные издержки (суммарные затраты при реализации технологий, при их запуске, эксплуатации и функционировании) [18, 19], а также доходы (полная стоимостная оценка результатов при внедрении технологий) и социально-экономические выгоды (трудова занятость населения, повышение уровня стабилизации и диверсификации экономики Краснодарского края и т. д.) [5, 20].

Следует отметить, что внедрение инновационных технологий на предприятиях горной промышленности характеризуется следующими достоинствами [2, 19]: эффективное применение технологий, высокий стимул к импортозамещению, существенное улучшение экологической обстановки в районе размещения предприятия, интенсивное развитие техники и технологии, глубокая модернизация оборудования и технологий, снижение платежей за негативное воздействие на окружающую среду, увеличение количества рабочих мест и т.д.

Одним из основных критериев, обеспечивающих необходимые условия для формирования модели экономики замкнутого цикла в регионе, является возможность кооперации (коллораации) между предприятиями как одной отрасли экономики, так и на межотраслевом уровне. При этом важную роль играет наличие эффективной нормативно-правовой базы в области обращения с отходами недропользования. Вместе с тем нормативно-правовая база экономики замкнутого цикла России предполагает наличие законов, регламентирующих использование инновационных технологий в горной отрасли промышленности, и является достаточно эффективной, с отчетливым и работоспособным механизмом действия законодательства. Нормы права в области обращения с отходами горной отрасли промышленности, в целом, направлены на рациональное и эффективное использование ресурсов и сырья, а также на высокую экологичность производства.

Следует отметить ряд законов, регламентирующих обращение с отходами в РФ и принятых в последнее время: Постановление Правительства РФ от 28.02.2022 № 271 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 26 декабря 2020 г. № 2290» (обновлен порядок лицензирования деятельности по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов I–IV классов опасности); Федеральный закон от 14.07.2022 № 268-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» (Принят закон об обращении с вторичными ресурсами и их вовлечении в хозяйственный оборот); Федеральный закон от 14.07.2022 № 343-ФЗ «О внесении изменений в Закон Российской Федерации

«О недрах» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» (Подписан закон о стимулировании использования отходов недропользования).

При этом существует ряд институциональных ограничений, связанных с несовершенством действующего законодательства, в частности, у недропользователей возникают сложности при попытке возмездной передачи отходов горной промышленности в качестве товарной продукции. Принятый в 2022 г. ФЗ РФ «О внесении изменений в Закон Российской Федерации «О недрах» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» предполагает добычу полезных ископаемых и полезных компонентов из отходов недропользования, в том числе вскрышных и вмещающих пород, использование отходов недропользования для собственных производственных и технологических нужд, предусмотренных проектной документацией, для ликвидации горных выработок и иных сооружений (отходы V класса опасности), а также для рекультивации нарушенных земель и ведения горных работ. Также статья 23.5 данного закона предполагает возможность передачи иному пользователю недр вскрышных и вмещающих горных пород с целью использования для тех же нужд, а также для целей, не связанных с осуществлением пользования недрами. Однако данный закон, как и ФЗ № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», не регламентирует порядок передачи отходов недропользования в виде товарной продукции. Соответственно, отходы недропользования могут быть переданы иному лицу только при наличии проектной документации по вовлечению в оборот и/или при наличии у данного лица лицензии по обращению с отходами. В этой связи нормативно-правовая база России не в полной мере стимулирует торгово-рыночные отношения меж-

ду предприятиями разных отраслей промышленности, что накладывает некоторые ограничения на формирование экономики замкнутого цикла. Таким образом, в Краснодарском крае, как и на территории всей России, существуют институциональные барьеры при реализации иным лицам отходов горной отрасли промышленности (V класс опасности), в том числе наиболее распространенных в регионе вскрышных пород и некондиционных мергелей.

Вместе с тем определяемое в нормативно-правовой базе России и Краснодарского края требование к максимальной комплексности использования сырья обуславливает необходимость вовлечения в оборот огромного количества потенциально полезных для экономики регионов и страны в целом ресурсов, содержащихся в промышленных отходах. Формирование устойчивой системы рециклинга данных видов отходов, представляющих собой ценный вторичный ресурс, окажет позитивное влияние на окружающую среду региона, экономические показатели работы предприятий и социальное развитие общества. Соответственно, одной из основ экономики замкнутого цикла Краснодарского края должна стать максимальная вовлеченность отходов горной отрасли промышленности, сельского хозяйства и туристической отрасли во вторичный оборот с получением востребованной товарной продукции. Таким образом, речь идет о формировании циркулярных промышленных кластеров на территории региона, представляющих собой экологические симбиозы, которые позволяют предприятиям вовлекать в переработку отходы друг друга. Такой подход соответствует одному из основных принципов экономики замкнутого цикла — коллаборации (collaboration). Кроме того, применение эффективных организационно-управленческих решений, направ-

ленных на развитие модели экономики замкнутого цикла Краснодарского края позволит выстроить систему взаимосвязей между предприятиями и в значительной степени будет способствовать развитию их бизнес-моделей.

Важную роль при этом играет формирование процесса устойчивого управления отходами горной отрасли промышленности. При этом должны быть определены источники образования отходов, а вторичное сырье расклассифицировано по фазовому состоянию, вещественному составу и содержащимся в нем загрязняющим примесям. Для организации эффективной системы обращения с отходами в Краснодарском крае, а также для предотвращения или существенной минимизации их образования, как уже указывалось выше, необходимо наличие эффективных технологий. В данном случае возможность достижения показателей, характеризующих малоотходные производства, определяется применением технических и технологических решений, направленных на вовлечение отходов в рециклинг, утилизацию, а также на их очистку. Обезвреживание отходов обуславливает возможность снижения их класса опасности, вовлечения в процесс вторичного использования и получения дополнительных востребованных товарных продуктов, обеспечивая замкнутость системы управления отходами.

При этом утилизация оставшейся при переработке части отходов должна быть направлена на их практическое применение в экономике Краснодарского края, в частности, в качестве материала для рекультивации нарушенных земель, в строительной и горной отрасли промышленности и сельском хозяйстве. Данный подход также может предполагать сохранение отходов как вторичного ресурса на перспективу, т.е. для последующей переработки при наличии

соответствующих технологий и оборудования. В этой связи наличие технических и технологических решений для создания экологически безопасных и природоподобных способов консервации, хранения и размещения отходов в регионе приобретает важное значение.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что основными принципами экономики замкнутого цикла в управлении отходами горной отрасли промышленности в Краснодарском крае являются: ликвидация и сокращение объемов образования отходов, применение доступных технологий, а также вовлечение отходов в экономический оборот. Следование данным принципам обуславливает устойчивое формирование модели экономики замкнутого цикла горнопромышленной отрасли региона, так как определяет малоотходность производства, минимизацию количества выбросов и сбросов загрязняющих веществ, сокращение количества образуемых отходов, рациональность использования минерального сырья, повышение показателей ресурсо- и энергоэффективности. Наибольшее внимание в регионе должно уделяться вовлечению в переработку и утилизации отходов, образуемых в результате добычи мергелей в Новороссийской промышленной агломерации. К основным видам отходов при этом относятся вскрышные породы и некондиционное мергельсодержащее сырье, представляющие серьезную экологическую опасность районам расположения карьеров по добыче данного вида минерального сырья. Федеральная и региональная нормативно-правовая база должна обеспечить возможности реализации недропользователем отходов вскрыши V класса опасности иным лицам, что позволит эффективнее выстраивать предприятиям

горной отрасли промышленности региона устойчивые межотраслевые взаимосвязи.

Эффективное формирование модели экономики замкнутого цикла в Краснодарском крае должно осуществляться при взаимодействии предприятий горной, сельскохозяйственной и строительной отраслей промышленности, а также

за счет создания симбиотических промышленных кластеров по переработке отходов на территории региона. При этом основными аспектами устойчивого развития горнопромышленного сектора региона в рамках экономики замкнутого цикла являются экономический, социальный, экологический и организационно-управленческий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мочалова Л. А., Соколова О. Г., Подкорытов В. Н., Еремеева О. С. Организация циркулярного промышленного кластера в условиях минерально-сырьевого комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 11-1. — С. 374–387. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_374.

2. Размахнин К. К. Обоснование и разработка технологий обогащения и модификации целитсодержащих пород Восточного Забайкалья // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2021. — № 3. — С. 148–157. DOI: 10.15372/FTPRI20210314.

3. Ignatyeva M., Yurak V., Dushin A., Strovsky V., Zavyalov S., Malyshev A. How far away are world economies from circularity: Assessing the capacity of circular economy policy packages in the operation of raw materials and industrial wastes // Sustainability. 2021, vol. 13, no. 8. DOI: 10.3390/su13084394.

4. Dushin A. V., Ignatyeva M. N., Yurak V. V., Ivanov A. N. Economic evaluation of environmental impact of mining: Ecosystem approach // Eurasian Mining. 2020, vol. 1, pp. 30–36. DOI: 10.17580/em.2020.01.06.

5. Dovgal O., Goncharenko N., Reshetnyak O., Dovgal G., Danko N., Shuba T. Sustainable ecological development of the global economic system. The institutional aspect // Journal of Environmental Management and Tourism. 2020, vol. 11, no. 3, pp. 728–740. DOI: 10.14505//jemt.v11.3(43).27.

6. Антоненко Н. А., Дергунов Д. В., Шейнкман Л. Э. Исследование влияния известняковой мелкодисперсной пыли, образующейся при открытых горных работах, на свойства почвы // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2017. — № 2. — С. 3–17.

7. Ignatyeva M., Yurak V., Pustokhina N. Recultivation of post-mining disturbed land: Review of content and comparative law and feasibility study // Resources. 2020, vol. 9, no. 6. DOI: 10.3390/RESOURCES9060073.

8. Чантурия В. А., Шадрунова И. В., Горлова О. Е. Инновационные процессы глубокой и экологически безопасной переработки техногенного сырья в условиях новых экономических вызовов // Устойчивое развитие горных территорий. — 2021. — Т. 13. — № 2 (48). — С. 224–237. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-2-224-237.

9. Алексеенко А. В., Дребенштедт К. Оценка воздействия на окружающую среду и рекультивация отвалов карьера по добыче мергеля // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. — 2018. — Т. 42. — № 3. — С. 467–477. DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-3-467-477.

10. Мязин В. П., Бабелло В. А., Офицеров В. Ф., Ходкевич Д. В. Патент РФ № 2175065. Устройство для закрепления пылящих поверхностей и отвалов горных пород. 20.10.2001, 7 с.

11. Шадрунова И. В., Горлова О. Е., Колодежная Е. В. Технология получения высококачественных концентратов из отвальных металлургических шлаков // Обогащение руд. — 2019. — № 4. — С. 54–60. DOI: 10.17580/or.2019.04.10.

12. Мочалова Л. А. Нормативно-правовое обеспечение перехода горных предприятий на наилучшие доступные технологии // Горный журнал. — 2019. — № 1. — С. 28–33. DOI: 10.17580/gzh.2019.01.06.

13. Преображенский Б. Г., Толстых Т. О., Шмелева Н. В. Промышленный симбиоз как инструмент циркулярной экономики // Регион: системы, экономика, управление. — 2020. — № 4 (51). — С. 37–48.

14. Мочалова Л. А., Соколова О. Г. Теория, методология и методика перехода к циркулярной экономике в сфере недропользования: научная монография. — Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2021. — 147 с.

15. Захарьян С. В., Гедгагов Э. И., Юн А. Б. Повышение экологической безопасности на предприятиях цветной металлургии за счет использования сорбционных процессов // Экология и промышленность России. — 2018. — Т. 22. — № 1. — С. 26–32. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-1-26-32.

16. Shadrinova I. V., Gorlova O. E., Zhilina V. A. The new paradigm of an environmentally-oriented resourcesaving technologies for processing of mining // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019, vol. 687, no. 6, article 066048. DOI: 10.1088/1757-899X/687/6/066048.

17. Li H., Watson J., Zhang Y., Haifeng L., Zhidan L. Environment-enhancing process for algal wastewater treatment, heavy metal control and hydrothermal biofuel production. A critical review // Bioresource Technology. 2020, vol. 298, article 122421. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.122421.

18. Шушков Д. А., Шуктомова И. И. Сорбция радиоактивных элементов цеолитсодержащими породами // Известия Коми научного центра УрО РАН. — 2013. — № 1. — С. 69–73.

19. Yiping Su, Jing Wang, Shun Li Self-templated microwave-assisted hydrothermal synthesis of two-dimensional holey hydroxyapatite nanosheets for efficient heavy metal removal // Environmental Science and Pollution Research. 2019, vol. 26, no. 29, pp. 30076–30086. DOI: 10.1007/s11356-019-06160-4.

20. Milyutin V. V., Razmakhnin K. K., Khatkova A. N., Nekrasova N. A. Natural zeolites of Eastern Transbaikalia in technologies for mining enterprises wastewater treatment // Journal of Environmental Research, Engineering and Management. 2020, vol. 76, no. 3, pp. 62–70. DOI: 10.5755/j01.irem.76.3.24220. **MIAB**

REFERENCES

1. Mochalova L. A., Sokolova O. G., Podkorytov V. N., Ereemeeva O. S. Circulation industry cluster management within the mineral mining and processing sector. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 11-1, pp. 374–387. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_374.

2. Razmakhnin K. K. Justification and development of technologies for enrichment and modification of zeolite-containing rocks in Eastern Transbaikalia. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh.* 2021, no. 3, pp. 148–157. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPRPI20210314.

3. Ignatyeva M., Yurak V., Dushin A., Strovsky V., Zavyalov S., Malyshev A. How far away are world economies from circularity: Assessing the capacity of circular economy policy packages in the operation of raw materials and industrial wastes. *Sustainability.* 2021, vol. 13, no. 8. DOI: 10.3390/su13084394.

4. Dushin A. V., Ignatyeva M. N., Yurak V. V., Ivanov A. N. Economic evaluation of environmental impact of mining: Ecosystem approach. *Eurasian Mining.* 2020, vol. 1, pp. 30–36. DOI: 10.17580/em.2020.01.06.

5. Dovgal O., Goncharenko N., Reshetnyak O., Dovgal G., Danko N., Shuba T. Sustainable ecological development of the global economic system. The institutional aspect. *Journal of Environmental Management and Tourism.* 2020, vol. 11, no. 3, pp. 728–740. DOI: 10.14505//jemt.v11.3(43).27.

6. Antonenko N. A., Dergunov D. V., Shejnkman L. E. Study of the influence of limestone fine dust generated in open mining, on soil properties. *News of the Tula state university. Sciences of Earth.* 2017, no. 2, pp. 3–17. [In Russ].

7. Ignatyeva M., Yurak V., Pustokhina N. Recultivation of post-mining disturbed land: Review of content and comparative law and feasibility study. *Resources.* 2020, vol. 9, no. 6. DOI: 10.3390/RESOURCES9060073.

8. Chanturia V. A., Shadrinova I. V., Gorlova O. E. Innovative processes of deep and environmentally safe processing of technogenic raw materials in the context of new economic challenges. *Sustainable Development of Mountain Territories.* 2021, vol. 13, no. 2 (48), pp. 224–237. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-2-224-237.

9. Alekseenko A. V., Drebenshtedt K. Environmental impact assessment and reclamation of marl dumps. *Belgorod state university scientific bulletin. Natural sciences.* 2018, vol. 42, no. 3, pp. 467–477. [In Russ]. DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-3-467-477.

10. Myazin V. P., Babello V. A., Oficerov V. F., Hodkevich D. V. *Patent RU 2175065.* 20.10.2001. [In Russ].

11. Shadrinova I. V., Gorlova O. E., Kolodezhnaya E. V. Technology for producing high-quality concentrates from waste metallurgical slags. *Obogashchenie Rud.* 2019, no. 4, pp. 54–60. [In Russ]. DOI: 10.17580/or.2019.04.10.

12. Mochalova L. A. Regulatory and legal framework for transition to the best available techniques in mining. *Gornyi Zhurnal.* 2019, no. 1, pp. 28–33. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2019.01.06.

13. Preobrazhenskiy B. G., Tolstyh T. O., Shmeleva N. V. Industrial symbiosis as a tool for the circular economy. *Region: systems, economics, management.* 2020, no. 4 (51), pp. 37–48. [In Russ].

14. Mochalova L. A., Sokolova O. G. *Teoriya, metodologiya i metodika perekhoda k tsirkulyarnoy ekonomike v sfere nedropol'zovaniya*: nauchnaya monografiya [Theory, methodology and methodology for the transition to a circular economy in the field of subsoil use: scientific monograph], Ekaterinburg, Izd-vo UGGU, 2021, 147 p.

15. Zahar'yan S. V., Gedgagov E. I., Yun A. B. Increasing environmental safety at non-ferrous metallurgy enterprises through the use of sorption processes. *Ecology and Industry of Russia.* 2018, vol. 22, no. 1, pp. 26–32. [In Russ]. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-1-26-32.

16. Shadrinova I. V., Gorlova O. E., Zhilina V. A. The new paradigm of an environmentally-oriented resourcesaving technologies for processing of mining. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2019, vol. 687, no. 6, article 066048. DOI: 10.1088/1757-899X/687/6/066048.

17. Li H., Watson J., Zhang Y., Haifeng L., Zhidan L. Environment-enhancing process for algal wastewater treatment, heavy metal control and hydrothermal biofuel production. A critical review. *Bioresource Technology.* 2020, vol. 298, article 122421. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.122421.

18. Shushkov D. A., Shuktomova I. I. Sorption of radioactive elements by zeolite-containing rocks. *Izvestiya Komi nauchnogo centra UrO RAN.* 2013, no. 1, pp. 69–73. [In Russ].

19. Yiping Su, Jing Wang, Shun Li Self-templated microwave-assisted hydrothermal synthesis of two-dimensional holey hydroxyapatite nanosheets for efficient heavy metal removal. *Environmental Science and Pollution Research.* 2019, vol. 26, no. 29, pp. 30076–30086. DOI: 10.1007/s11356-019-06160-4.

20. Milyutin V. V., Razmakhnin K. K., Khatkova A. N., Nekrasova N. A. Natural zeolites of Eastern Transbaikalia in technologies for mining enterprises wastewater treatment. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management.* 2020, vol. 76, no. 3, pp. 62–70. DOI: 10.5755/j01.erem.76.3.24220.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Размахнин Константин Константинович — д-р техн. наук,
Кубанский государственный университет,
e-mail: constantin-const@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-2944-7642.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

K.K. Razmakhnin, Dr. Sci. (Eng.),
Kuban State University, 350040, Krasnodar, Russia,
e-mail: constantin-const@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-2944-7642.

Получена редакцией 06.05.2024; получена после рецензии 07.06.2024; принята к печати 10.09.2024.
Received by the editors 06.05.2024; received after the review 07.06.2024; accepted for printing 10.09.2024.

