

# К проблеме глубокой утилизации отходов обогащения угля

## To the problem of deep waste disposal coal enrichment

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-5-56-59>

### ГОЛИК В.И.

Доктор техн. наук, профессор  
Московского  
политехнического университета,  
107023, г. Москва, Россия,  
e-mail: v.i.golik@mail.ru

Статья посвящена актуальной проблеме утилизации запасов техногенных месторождений полезных ископаемых Донбасса с выпуском углеродного продукта с добавленной стоимостью. С использованием комплекса методов, включающих в себя: обобщение, анализ, моделирование, инженерное прогнозирование и др., обоснована возможность получения металлов из хвостов добычи и обогащения угля. Детализированы варианты технологий получения металлов в агитаторах, активаторах и дезинтеграторе. Приведено содержание металлов в техногенных месторождениях и в концентрате. Подтверждена возможность минимизации воздействия на экосистемы окружающей природной среды. Охарактеризованы пионерные технологии глубокой утилизации хвостов обогащения угля. Показаны особенности комбинированного использования эффекта механохимической активации процесса. Результаты исследования могут быть востребованы при модернизации технологий разработки твердых полезных ископаемых, а также для подготовки кадров угольной промышленности.

**Ключевые слова:** техногенное месторождение, уголь, утилизация, металл, технология, активация, выщелачивание, природная среда.

**Для цитирования:** Голик В.И. К проблеме глубокой утилизации отходов обогащения угля // Уголь. 2025;(5):56-59. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-5-56-59.

### Abstract

The article is devoted to the urgent problem of utilization of reserves of technogenic mineral deposits of Donbass with the release of a carbon product with added value. Using a set of methods, including: generalization, analysis, modeling, engineering forecasting etc., the possibility of obtaining metals from the tailings of coal mining and enrichment is substantiated. Results. The variants of metal production technologies in agitators, activators and disintegrator are detailed. The content of metals in man-made deposits and in the concentrate of processing of high-grade enrichment waste is given. The possibility of leaching metals from coal enrichment tailings has been confirmed. It is shown that it is necessary to exclude the storage of tailings from enrichment on the Earth's surface with an impact on the ecosystems of the surrounding natural environment. The pioneering technologies of deep utilization of coal enrichment tailings are characterized. The features of the combined use of the effect of mechanochemical activation of

the process are shown. The solution to the problem provides a radical increment of industrial products from recycled mining waste and reduces the burden on the environment. The results of the study may be in demand in the development of solid minerals.

#### Keywords

Technogenic deposit, coal, utilization, metal, technology, activation, leaching, natural environment.

#### For citation

Golik V.I. To the problem of deep waste disposal coal enrichment. *Ugol*. 2025;(5):56-59. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-5-56-59.

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема техногенных месторождений полезных ископаемых появилась в XIX веке вследствие изменения конъюнктуры их качества для нужд промышленности [1, 2, 3]. В Ростовской области хранится около 300 млн куб. м угле содержащих отходов. Хранилищами углеотходов занято 1,3 тыс. га земель, а площадь изъятых из пользования земель достигает 7 тыс. га. Терриконы стали визитной карточкой Донбасса (рис. 1).

Российский Донбасс располагает лучшим в мире по калорийности углем, плотность которого на 20-30% превышает значения этого показателя для других углей. Особенностью отходов обогатительных фабрик является наличие 10-20% угля и 0,6-2,1% серы. Хвосты обогащения харак-

теризуются выходом фракций: более 40 мм – 7,2-62,7%; 20-40 мм – 7,6-45,9%; 10-20 мм – 7,4-26,9%; 5-10 мм – 3,9-30,6%; менее 5 мм – 2,0-34,1%.

В результате реформ конца прошлого века большая часть месторождений угля России стала нерентабельной для эксплуатации, поэтому освоение отходов добычи и переработки формирует новое направление утилизации хвостов обогащения с извлечением из них металлов [4, 5, 6].

Решения об утилизации отходов переработки угля принимаются на основе комплексной геоэкологической оценки ситуации [7, 8]. Перспективы утилизации угольной золы, пути реализации концепции устойчивого развития угледобывающего региона, экономический механизм промышленной экологии, промышленная динамика управления отходами получили новое осмысление в работах зарубежных специалистов [9, 10, 11, 12, 13].

## МЕТОДЫ

Обобщение, анализ, моделирование, экспертиза, инженерное прогнозирование, эколого-экономическая оценка и выдача рекомендаций.

Методика проведения экспериментов включает в себя: измельчение с активацией сырья, например в дезинтеграторе ДЕЗ-11 до размеров не более 2,5 мм; сушка до влажности не более 2%; отбор, измельчение и химический анализ проб.

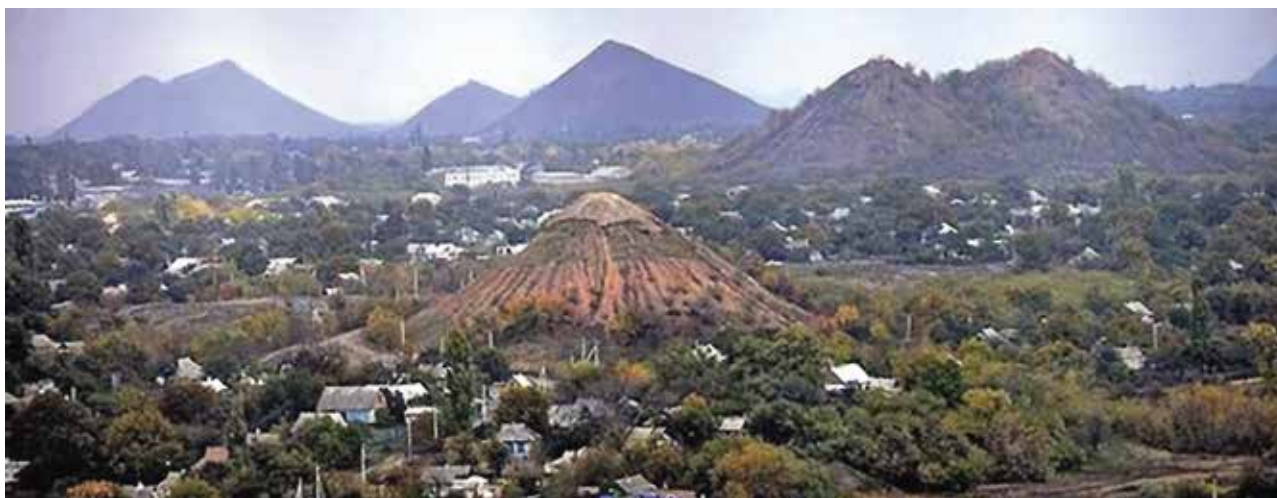


Рис. 1. Вид хранилищ хвостов переработки

Fig. 1. A view of the process tailings dump

Таблица 1

### Содержание некоторых металлов в хвостах обогащения

Content of some metals in mill tailings

Фабрика	Содержание, г/т								
	Марганец	Никель	Кобальт	Ванадий	Хром	Молибден	Циркон	Свинец	Цинк
Донецкая	641	74	17	124	222	5	114	74	149
Гуковская	989	40	15	80	149	6	99	50	84
Шолоховская	324	55	24	242	242	6	104	55	263
Несветаевская	790	50	10	99	198	3	99	40	149

**Кларки некоторых металлов в хвостах обогащения**

Percent abundance of some metals in mill tailings

Район	Металлы								
	Марганец	Никель	Кобальт	Ванадий	Хром	Молибден	Циркон	Свинец	Цинк
Каменско-Гундоровский	0,4	0,7	0,8	1,3	1,7	0,9	0,4	1,2	0,5
Белокалитвинский	0,3	0,2	0,2	0,7	0,8	1,1	0,4	1,3	0,1
Гуково-Зверевский	0,3	0,7	0,6	1,2	1,3	0,9	0,4	1,9	0,4
Краснодонский	0,4	0,3	0,3	0,7	0,6	1,8	0,4	4,4	0,4
Сулино-Садкинский	0,3	0,7	0,7	1,0	0,9	0,8	0,5	1,2	0,5
Шахтино-Несветаевский	0,4	0,7	0,7	0,4	1,4	0,9	0,4	5,6	0,4

**ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ**

В условиях рыночной экономики более половины разведанных месторождений угля стали нерентабельными для эксплуатации, поэтому повышается актуальность развития нового направления получения ценных металлов из хвостов переработки (табл. 1).

Металлы извлекают из минеральной матрицы путем перевода в растворимые соединения с активацией процесса путем перемешивания в активаторах. Перспективно комбинирование технологий механохимической активации в дезинтеграторах, мельницах и т.п.

Товарными продуктами переработки техногенного сырья являются кирпич, аглопорит, керамзит, бетон, блоки и шлакоблоки, фильтры, минеральное волокно, пигменты, адсорбенты и др.

Для Восточного Донбасса характерно повышенное содержание свинца, кларки которого изменяются от 1,22 (Сулино-Садкинский район) до 5,63 (Шахтинско-Несветаевский район) (табл. 2).

Перспективы глубокой переработки углей связывают с факторами:

- комплексность переработки;
- освоение инновационных технологий;
- ориентация на улучшение экологической обстановки.

Глубокая утилизация хвостов обогащения угля в определенных условиях может обеспечить прибыль как от реализации товарных продуктов, так и за счет снижения нагрузки на экосистемы окружающей среды.

Комплекс глубокой переработки, позволяет производить тонкодисперсное угольное топливо с минимальным содержанием металлов.

Другой комплекс обогащения угольных отвалов с извлечением металлов обеспечивает параметры: содержание в концентрате 15-25% для класса 0,5-40 мм при зольности 5-12%.

Третий комплекс обеспечивает извлечение металлов из хвостов обогащения выщелачиванием с механохимической активацией процессов (табл. 3).

Утилизация металлосодержащих хвостов обогащения угля должна осуществляться при условии извлечения из них металлов до нормируемого уровня. Такую возможность предоставляет выщелачивание в быстроходных мельницах с механохимической активацией процессов (рис. 2).

Таблица 3

**Состав сухого концентрата из хвостов обогащения угля**

Composition of dry concentrate from coal mill tailings

Металл, %	Горелые хвосты	Негорелые хвосты
Хром	0,10	0,15
Железо	2,75	3,06
Никель	0,30	0,17
Марганец	0,10	0,10
Кобальт	0,10	0,12
Медь	0,40	0,30
Свинец	0,1	0,1
Цинк	0,30	0,14

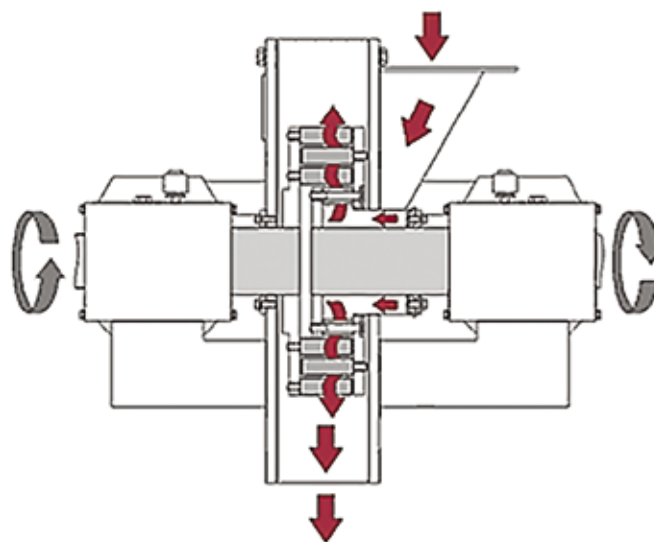


Рис. 2. Схема работы дезинтегратора

Fig. 2. A schematic diagram of the disintegrator operation

Механохимически активированные отходы обогащения угля представляют собой дисперсную массу, сложенную частицами размерами около 0,1 мм с более равномерной структурой, что существенно повышает ее качество при дальнейшей утилизации.

Эффект активации в дезинтеграторе иллюстрируется увеличением прочности бетона, изготовленного при про-

чих равных условиях на основе шлака, приготовленного разными способами: размолотого в мельнице и активированного в дезинтеграторе.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание металлов в техногенных месторождениях и в концентрате переработки отходов обогащения нередко сопоставимы.

Проблема глубокой утилизации запасов техногенных месторождений углей решается путем выпуска углеродных продуктов с добавленной стоимостью после извлечения из хвостов добычи и обогащения металлов в агитаторах, активаторах и дезинтеграторе.

Результаты исследования могут быть востребованы при разработке твердых полезных ископаемых в процессах модернизации действующих предприятий и строительства новых.

### Список литературы • References

- Каплунов Д.Р., Радченко Д.Н. Обоснование полного цикла комплексного освоения недр при разработке месторождений твердых полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 1 (отдельный выпуск).  
Kaplunov D.R., Radchenko D.N. Substantiation of the full cycle of integrated subsoil development in the development of deposits of solid minerals. *Gornyj informatsionno-analyticheskij byulleten'*. 2011;(1) (separate issue). (In Russ.).
- Таразанов И.Г., Губанов Д.А. Итоги работы угольной промышленности России за январь-июнь 2021 года // Уголь. 2021. № 9. С. 25-36. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-9-25-36.  
Tarazanov I.G., Gubanov D.A. Russia's coal industry performance for January – June, 2021. *Ugol'*. 2021;(9):25-36. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-9-25-36.
- Сендецкий И.И. Геологическое изучение с подсчетом запасов техногенного сырья породного отвала бывшей шахты Воровского. Новочеркасск, 2010.
- Golik V.I., Klyuev R.V., Martyushev N.V., Zyukin D.A., Karlina A.I. Technology for nonwaste recovery of tailings of the mizur mining and processing plant. *Metallurgist*. 2023;66(11-12):1476-1480. DOI: 10.1007/s11015-023-01462-y.
- Brigida V.S., Golik V.I., Klyuev R.V., Sabirova L.B., Mambetalieva A.R., Karlina Yu.I. Efficiency gains when using activated mill tailings in underground mining. *Metallurgist*. 2023;67(3-4). DOI: 10.1007/s11015-023-01526-z.
- Кашина Н., Конюшок А. Новые технологии извлечения ценных металлов из бурых углей в Амурской области: перспективы применения // Известия ДВФУ. Экономика и управление. 2018. № 1. С. 124-132.  
Kashina N., Konyushok A. New technologies for extracting valuable metals from brown coals in the Amur region: application prospects. *Izvestiya DVFU. Ekonomika i upravlenie*. 2018;(1):124-132. (In Russ.).
- Геоэкологическая оценка эффективности защиты окружающей среды и природоохранных мероприятий при подземной добыче угля / Н.М. Качурин, Г.В. Стась, С.З. Калаева и др. // Известия Тульского государственного университета. Сер. Науки о Земле. 2016. Вып. 3. С. 62-79.  
Kachurin N.M., Stas' G.V., Kalaeva S.Z., Korchagina T.V. Geocological assessment of the effectiveness of environmental protection and nature protection measures in underground coal mining. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Nauki o Zemle*. 2016;(3):62-79. (In Russ.).
- Дмитрак Ю.В., Камнев Е.Н. АО «Ведущий проектно-исследовательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» – путь длиной в 65 лет // Горный журнал. 2016. № 3. С. 6-12.  
Dmitrak Yu.V., Kamnev E.N. JSC "Leading Design and Survey and Research Institute of Industrial Technology" – a path of 65 years in length. *Gornyj zhurnal*. 2016;(3):6-12. (In Russ.).
- Gollakota A.R.K., Valli V., Zhu C.M. Progressive utilisation prospects of coal fly ash: A review. *Sci. Total Environ*. 2019;(672):951-989.
- Zonova O.V., Kudrevatykh N.V., Sheveleva O.B. et al. Limitations of the implementation of the concept of sustainable development in a coal mining region (the case of the Kemerovo region – Kuzbass). E3S Web of Conferences. VIth International Innovative Mining Symposium, 2021, pp. 04021.
- Xiang Y., Yongsheng Z. An economic mechanism of industrial ecology: theory and evidence. *Structural change and economic dynamics*. 2021;(58):14-22.
- Отдельные результаты геоэкологического мониторинга рельефа поверхности Унальского хвостохранилища / В.А. Фоменко, А.Б. Лолаев, А.А. Соколов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2024. № 8. С. 38-50. DOI: 10.25018/0236-1493-2024-8-0-38.  
Fomenko V.A., Lolaev A.B., Sokolov A.A., Kuz O.V., Plakhotin D.A. Selected results of geocological monitoring of the surface relief of the Unal tailings dump. *Gornyj informatsionno-analyticheskij byulleten'*. 2024;(8):38-50. DOI: 10.25018/0236-1493-2024-8-0-38. (In Russ.).
- Nogueira L.A. Exploring the industrial dynamics of waste management and recycling: A call for research and a proposed agenda. *Waste Management*. 2023;(170):33-39.

#### Authors Information

**Golik V.I.** – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Moscow Polytechnic University, Moscow, 107023, Russian Federation, e-mail: v.i.golik@mail.ru

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 9.01.2025

Поступила после рецензирования: 16.04.2025

Принята к публикации: 26.04.2025

#### Paper info

Received January 9, 2025

Reviewed April 16, 2025

Accepted April 26, 2025