

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Строительные конструкции, здания и сооружения

<https://doi.org/10.17816/transsyst630095>

© **Е.И. Верех-Белоусова<sup>1</sup>, А.В. Харламова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Луганский государственный университет имени Владимира Даля  
(Луганск, Россия)

<sup>2</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I  
(Санкт-Петербург, Россия)

## ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ УГЛЕДОБЫЧИ В ГРАЖДАНСКОМ И ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**Цель.** Проведение анализа перспектив переработки отходов угледобычи в гражданском и дорожном строительстве.

**Материалы и методы.** Исследования проводились на примере породных отвалов восьми шахт, расположенных на территории Луганской Народной Республики. Согласно действующим методикам, проводился отбор проб отвальной породы с последующим лабораторным исследованием: содержания  $Al_2O_3$  (до 22%) и общей серы (до 4%) в пробах породы различной степени метаморфизма, показателей ее пластичности и радиационных характеристик (до 220 Бк/кг).

**Результаты.** В статье рассмотрены вопросы переработки породных отвалов угольных шахт Луганской Народной Республики в качестве сырья для производства строительных материалов. Проведен краткий анализ существующих на сегодняшний день способов получения различных строительных материалов из отвальных пород. Полученные лабораторные данные, после проведенных исследований проб отвальной породы ряда шахт, доказывают возможность использования углеотходов в гражданском, промышленном и дорожном строительстве.

**Заключение.** Проведенные исследования и детальный анализ различных показателей и свойств отходов угледобычи Луганской Народной Республики, включая удельную эффективную активность и коэффициент эманирования, делают возможным применение отходов угледобычи в промышленном, гражданском и дорожном строительстве.

**Ключевые слова:** отвальная порода; отходы угледобычи; отвалы угольных шахт; сырье; переработка; утилизация; строительные материалы; дорожное строительство.

### Как цитировать:

Верех-Белоусова Е.И., Харламова А.В. Применение отходов угледобычи в гражданском и дорожном строительстве // Инновационные транспортные системы и технологии. 2024. Т. 10. № 3. С. 390–400. doi: 10.17816/transsyst630095

---

## Section 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL RESEARCH

Subject – Building structures, buildings and structures

© E.I. Verekh-Belousova<sup>1</sup>, A.V. Kharlamova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lugansk Vladimir Dahl State University

(Lugansk, Russia)

<sup>2</sup> Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

(St. Petersburg, Russia)

### APPLICATION OF COAL MINING WASTE IN CIVIL AND ROAD CONSTRUCTION

**Aim:** This study analyzes the potential for processing coal mining waste in civil and road construction.

**Materials and Methods.** The research focused on rock dumps from eight mines in the Lugansk People's Republic. According to current methods, samples of dump rock were collected and analyzed in the laboratory for various properties, including Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content (up to 22%), total sulfur (up to 4%) in rock samples of varying degrees of metamorphism, indicators of its plasticity, and radiation characteristics (up to 220 Bq/kg).

**Results.** This study addresses the processing of rock dumps from coal mines in the Lugansk People's Republic as a source of raw materials for building materials. A brief analysis of existing methods for obtaining various building materials from waste rocks was carried out. The laboratory tests on waste rock samples from several mines demonstrated their potential use in civil, industrial, and road construction.

**Conclusion.** The research provides a detailed analysis of various indicators and properties of coal mining waste in the Lugansk People's Republic, including specific effective activity and evaporation coefficient. Findings suggest that the waste rock can be effectively used as raw material in the construction industry, supporting the production of materials for industrial, civil, and road construction.

**Keywords::** dump rock; coal mining waste; coal mine dumps; raw materials; processing; disposal; building materials; road construction.

#### To cite this article:

Verekh-Belousova EI, Kharlamova AV. Application of coal mining waste in civil and road construction. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2024;10(3):390–400. doi: 10.17816/transsyst630095

## ВВЕДЕНИЕ

На территории Луганской Народной Республики функционирует значительное количество предприятий угольной промышленности, которые являются источниками интенсивного химического загрязнения окружающей среды. Так, при добыче угля подземным способом, в результате складирования отходов угледобычи и обогащения растет число насыпей пустой породы – отвалов и терриконов. По последним данным на территории ЛНР их насчитывается 556. Общая площадь занимаемых ими земель составляет 4,8 тыс. га и дополнительно включает 250 плановых накопителей, площадью 980 га. Все это приводит не только к отчуждению значительных территорий, но и к интенсивному загрязнению прилегающих к отвалам земель тяжелыми металлами, соединениями серы и другими химическими соединениями. Решением данной проблемы может выступить использование отвальной породы в качестве строительного сырья с целью дальнейшего применения в строительных отраслях промышленности. Известно, что промышленность строительных материалов и изделий характеризуется высокой материалоемкостью и может обеспечить утилизацию таких крупнотоннажных техногенных отходов, как породные отвалы (терриконы угледобычи).

Отечественная и мировая стройиндустрия все активней ориентируется на производство строительных материалов из техногенных отходов, так как сложившиеся современные экологические условия и требования к эффективности экономики устанавливают правила наиболее комплексного потребления сырья и ресурсов, тем самым повышая эффективность их использования и снижая негативное воздействие на окружающую среду.

На данный момент переработка отвальной породы не превышает 20% от общего годового выхода, а применение в качестве сырья для производства строительных материалов не получило широкого распространения на практике [1]. При этом, зная, что более 55% затрат приходится на материальные ресурсы, заложенные в смету стоимости изготовления значительного количества строительных материалов, можно утверждать, что для повышения эффективности их производства целесообразно применение отходов промышленности, как сырья для производства. Тем более внедрение таких малоотходных технологий будет способствовать улучшению состояния окружающей природной среды и уменьшению объемов накопленных отходов [2, 3].

Кроме того, отходы добычи и обогащения угля могут быть успешно использованы в дорожном строительстве и при отсыпке различных

земляных сооружений, в том числе, дамб. Известно, что строительство дорог – это затратное мероприятие, требующее значительных капиталовложений и объемов сырья. Однако, в мире имеется успешная практика применения отходов угледобычи в дорожном строительстве или при отсыпке железнодорожного полотна [1].

Отходы угледобычи состоят из различных горных пород: алюмосиликатов, глинистых сланцев, полевых шпатов, пирита, марказита и др. В составе отвальной породы широко распространены следующие химические соединения:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , а общее содержание серы не превышает 4% [3, 4]. Кроме того, имеет смысл применять горелые породы искусственного обжига (до 1000 °С) при сооружении морозостойкого и несущего слоя дорог (нижних оснований автострад) [1]. В складированной отвальной породе, в результате действия атмосферного воздуха и влаги проходят естественные процессы ее окисления и самонагревания, с последующим горением, в результате чего происходит естественный обжиг. Такие отвалы угольных шахт называют перегоревшими. Данные природные процессы позволяют применять перегоревшие отходы добычи угля без дорогостоящего искусственного обжига, что является еще одной весомой экономической составляющей применения отходов добычи угля в дорожном строительстве [1].

Все это делает возможным рассматривать породные отвалы угольных шахт как техногенное сырье для производства строительных материалов, а также активно применять углеотходы в гражданском и дорожном строительстве.

Целью работы является проведение анализа перспектив переработки отходов угледобычи в гражданском и дорожном строительстве.

Исследования проводились на примере породных отвалов восьми шахт, расположенных на территории Луганской Народной Республики. В частности, отбирались пробы отвальной породы отходов шахт в г. Стаханов («Максимовская», «шахта им. Ильича»), г. Зимогорье («Черкасская»), г. Луганск («Луганская»), г. Лутугино («Машенская»), г. Лисичанск («Матросская»), г. Свердловск («Шахта им. М. Свердлова») и г. Антрацит («Шахта им. Г. Вахрушева»).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор проб отвальной породы осуществлялся согласно утвержденной в Российской Федерации методике апробирования пород отвалов [1, 5]. По данной методике, для анализа отбирался внешний поверхностный слой

породы – первичная проба, составляемая из порционных проб. Для этого поверхность террикона разбивалась на зоны, начиная от вершины и далее к его основанию. Для конических отвалов (терриконов) расстояние между зонами составило 4 м, а для плоских – 1 м. Зона нижнего крупноглыбового (более 1000 мм) и крупновалунного (500–1000 мм) материала опробованию не подлежала, так как современные технические средства пока не позволяют произвести качественный отбор проб.

Углеотходы значительного количества предприятий региона по своему химическому составу минеральных компонентов соответствуют требованиям к химическому составу традиционного глинистого сырья для пористых заполнителей. При этом содержание общей серы в отвальной породе на уровне  $S_t^d > 3\%$  и присутствие органического углерода  $C_o > 20\%$  являются существенными ограничивающими параметрами для дальнейшего использования отвальной породы, как сырья для производства. Однако, следует отметить, что содержание серы и углерода будут зависеть и от стадии метаморфизма породы. Поэтому исследование отобранных образцов отвальной породы на содержание серы ( $S_t^d$ ) проводилось с учетом метаморфизации породы (по стадиям метаморфизма).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты, представленные в Табл. 1 показывают, что среднее содержание серы по всем пробам не превышает 4%. Указанное обстоятельство не является ограничительным показателем для ее переработки как строительного сырья.

**Таблица 1.** Содержание общей серы ( $S_t^d$ ) в образцах отвальной породы по стадиям метаморфизма

**Table 1.** Content of total sulfur ( $S_t^d$ ) in waste rock samples by metamorphic stages

Стадия метаморфизма отвальной породы	Содержание $S_t^d$ , %
Слабая	3,6
Средняя	1,48
Сильная	0,57

Старые и полностью перегоревшие отвалы и терриконы содержат горелые породы высокого качества (имеют низкое содержание оксидов железа и высокое – оксидов алюминия, высокую микропористость

и адсорбционную активность) и могут использоваться как наполнители для мастик, заполнители в бетонах, для производства легких жаростойких бетонов, так как после автоклавной переработки приобретают прочность до 30 МПа [1].

Известно также, что отвальная порода угледобычи может быть утилизирована при производстве кремнеалюминиевых сплавов, звуко- и теплоизоляционных материалов, материалов и конструкций, имеющих высокую износостойкость [1, 6, 7].

Помимо этого, перегоревшие отвальные породы, имеющие в своем составе  $>14\%$   $Al_2O_3$ , имеют высокую жаропрочность и применимы при создании жаростойких бетонов. Поэтому интерес представляло провести исследование на определение валового содержания  $Al_2O_3$  в образцах перегоревшей и неперегоревшей породы (Табл. 2).

**Таблица 2.** Валовое содержание  $Al_2O_3$  в исследованных образцах отвальной породы

**Table 2.** Gross  $Al_2O_3$  content in the studied waste rock samples

Шахта	Отвальная порода	Содержание $Al_2O_3$ , %
г. Луганск	Неперегоревшая	13,79
г. Лисичанск	Перегоревшая	18,30
г. Антрацит		19,80
г. Свердловск		20,87

По результатам настоящей работы установлено, что перегоревшие отвальные породы угольных шахт Луганской Народной Республики могут активно применяться вместе со связующими на их основе для изготовления жаропрочных бетонов.

Проведенные исследования показывают, что горелые породы после измельчения могут добавляться в качестве наполнителей в растворы и бетоны. В угледобывающих районах Луганской Народной Республики также целесообразно применять в подземных выработках крепежные блоки из бетонов разного веса и размера, выполненных на основе горелой измельченной породы. Таким образом, угледобывающее предприятие может частично утилизировать свои отходы угледобычи для собственных строительных нужд.

Если рассматривать минеральный состав не горелых пород (свежеотсыпанную породу), то она представлена широким составом:

песчаниками и песком, глинами, сланцами, аргиллитами, алевролитами, которые применяются как сырье для производства строительных материалов. Например, алевролиты такой породы довольно устойчивы при намокании в воде. Подробный анализ источников доказывает активное использование отходов добычи угля в промышленных масштабах для производства пористых заполнителей для бетономастиков, а также для производства кирпича, так как в отвальную породу входят алюмосиликаты и до 22%  $Al_2O_3$ . Данные способы и процессы довольно хорошо проработаны в промышленных масштабах и могут использоваться повсеместно [1, 3].

Что касается сланцев и глин, входящих в состав породы, то они формируют определенную пластичность последней, что увеличивает возможность производства строительных материалов. После дополнительного измельчения углеотходов, сланцевые и глинистые компоненты проявляют свойства глинистых веществ. Результаты исследования пластичности грубо измельченной неперегоревшей и перегоревшей отвальной породы представлены в Табл. 3.

**Таблица 3.** Данные по пластичности исследованной отвальной породы

**Table 3.** Data on the plasticity of the studied waste rock

Отвальная порода	Группа сырья по дисперсности фракций	Группа пластичности	Пластичность		
			предел раскатывания, %	число пластичности, %	нижний предел текучести, %
Перегоревшая	Грубо-дисперсная	Умеренно пластичная	19,80	10,34	30,14
Неперегоревшая			20,03	11,22	31,25

По полученным результатам, касающихся пластичности различных дисперсных фракций породы (включая перегоревшую и неперегоревшую), видно, что в породе обнаруживаются литифицированные глины. В случае их тонкого измельчения (<1 мм) они вполне применимы при производстве керамических материалов [8].

Также является экономически оправданным применение отвальной пустой породы шахт и в дорожном строительстве при отсыпке автодорог, устройства тротуаров, насыпных грунтов и т.п.

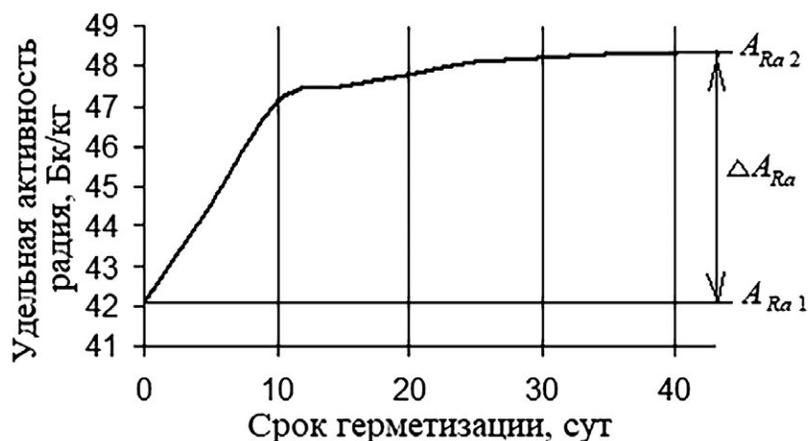
Важным фактором ограничения применения отвальной породы угольных шахт для производства стройматериалов может стать высокая радиоактивность отвальной породы [9]. Учитывая нормы радиационной безопасности при производстве строительных материалов [10], в частности из отходов добычи угля, проведено измерение удельной эффективной активности ( $A_{эфф}$ ) отобранных образцов (Табл. 4.) на основании активности цезия-137, тория-232, радия-226, калия-40 и коэффициента эманирования ( $k_{эм}$ ) отвальной породы (Рис.) на примере угольного аргиллита шахты «Черкасская».

**Таблица 4.** Результаты гамма-спектрометрического исследования образцов отвальной породы

**Table 4.** Results of gamma spectrometric study of waste rock samples

Расположение шахты	Место отбора образца	$A_{Cs-137}$ , Бк/кг	$A_{Th-232}$ , Бк/кг	$A_{Ra-226}$ , Бк/кг	$A_{K-40}$ , Бк/кг	$A_{эфф}$ , Бк/кг
г. Стаханов	шахта «Максимовская» – перегоревшая отвальная порода	0,9	29,2	29,7	306,7	<b>95,3</b>
	шахта «им. Ильича» – отвальная порода	1,5	43,9	44,8	395,1	<b>137,4</b>
г. Зимогорье	шахта «Черкасская» – аргиллит из отвала	0,5	68,3	56,1	813	<b>218,1</b>
	шахта «Черкасская» – перегоревшая отвальная порода	0,7	46,7	44,4	528,8	<b>152,7</b>
г. Луганск	шахта «Луганская» – отвальная порода	3,0	22,7	51,2	41,6	<b>84,5</b>
г. Лутугино	шахта «Мащенская» – отвальная порода	9,3	3,3	13,5	0,9	<b>14,8</b>

Показатели удельной эффективной активности породы не превышают допустимых норм [10], а результаты расчета  $k_{эм}$  свидетельствуют об умеренной эманирующей способности пород угольных шахт Луганской Народной Республики, что также делает оправданным и перспективным повсеместное использование отходов добычи и обогащения угля в строительной индустрии.



**Рис.** Удельная активность радия для расчета  $k_{эм}$  отвальной породы шахты «Черкасская»:  $A_{Ra1}$  – удельная активность радия, измеренная в аэрированной пробе, Бк/кг;  $A_{Ra2}$  – удельная активность радия, измеренная для загерметизированной пробы после установления радиоактивного равновесия в измерительной емкости, Бк/кг

**Fig.** Specific activity of radium for calculating  $k_{em}$  of the dump rock of the Cherkasskaya mine:  $A_{Ra1}$  – specific activity of radium, measured in an aerated sample, Bq/kg;  $A_{Ra2}$  – specific activity of radium, measured for a sealed sample after establishing radioactive equilibrium in the measuring container, Bq/kg

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования и детальный анализ различных показателей и свойств отходов угледобычи Луганской Народной Республики, включая удельную эффективную активность и коэффициент эманирования, делают возможным применение отходов угледобычи в строительной отрасли: для гражданского и дорожного строительства, а также при отсыпке различных земляных сооружений, в том числе, дамб.

**Авторы заявляют что:**

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

**The authors state that:**

1. They have no conflict of interest;
2. This article does not contain any studies involving human subjects.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шпирт М.Я., Артемьев В.Б., Силютин С.А. Использование твердых отходов добычи и переработки углей. Москва: Горное дело, ООО «Кимирийский центр», 2013.

2. Бабак Н.А., Масленникова Л.Л. Геоэкологический резерв промышленных минеральных отходов // *Безопасность жизнедеятельности*. 2018. №10 (214). С. 57–64.
3. Зубова Л. Г., Зубов А.Р., Верех-Белоусова Е.И., Олейник Н.В. Получение металлов из терриконов угольных шахт Донбасса. Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2012.
4. Зборщик М.П., Осокин В.В. Предотвращение экологически вредных проявлений в породах угольных месторождений. Донецк: ДонГТУ, 1996.
5. Методика апробирования текущих отходов обогащения углей и породных отвалов шахт и углеобогатительных фабрик. Пермь: ВНИИОСуголь, 1982.
6. Ахтямов Р.Г., Сенюшкин Н.С., Суханов А.В. Разработка методики выявления потенциально опасных объектов // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2011. Т. 7. №5. С. 192–197. EDN: NTPHR
7. Ахтямов Р.Г. Оценка и пути уменьшения экологической опасности объектов автотранспортной инфраструктуры урбанизированной территории: автореферат дисс. ... канд. техн. наук. Казань, 2009. EDN: NLFGLX
8. Баталин Б.С., Белозерова Т.А., Гайдай М.Ф. Строительная керамика из терриконников Кизеловского угольного бассейна // *Стекло и керамика*. 2014. Т. 87. № 3. С. 8–10.
9. Зубова Л.Г., Зубов А.Р. Оценка радиоактивности породных отвалов угольных шахт ПАО «Лисичанскуголь» // *Уголь Украины*. 2016. №2. С. 59–65.
10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): (Ионизирующее излучение, радиационная безопасность СП 2.6.1.2612-10): зарегистрирован 11 августа 2010 г. Регистрационный № 18115 Москва: Минюст России, 2010.

## REFERENCES

1. Shpirt MYa, Artemyev VB, Silyutin SA. *Use of solid waste from coal mining and processing*. Moscow: Mining, LLC Kimiriysky Center; 2013. (In Russ.)
2. Babak NA, Maslenikova LL. Geocological Reserve of Industrial Mineral Wastes. *Life safety*. 2018;10(214):57–64. (In Russ.)
3. Zubova LG, Zubov AR, Verch-Belousova EI, Oleinik NV. *Obtaining metals from waste heaps of Donbass coal mines: monograph*. Lugansk: V Dahl East Ukrainian national university; 2012. (In Russ.)
4. Zborshchik MP, Osokin VV. *Prevention of environmentally harmful manifestations in the rocks of coal deposits*. Donetsk: DonGTU; 1996. (In Russ.)
5. *Methodology for testing current waste from coal processing and rock dumps from mines and coal processing plants*. Perm: VNIIOСugol; 1982. (In Russ.)
6. Ahtyamov RG, Senyushkin NS, Suhanov AV. Elaboration of potentially dangerous objects recognition principles. *Bulletin of the Voronezh State Technical University*. 2011;7(5):192–197. (In Russ.) EDN: NTPHR
7. Ahtyamov RG. *Assessment and ways to reduce the environmental hazard of motor transport infrastructure objects in an urbanized area* [abstract of dissertation]. Kazan; 2009. (In Russ). EDN: NLFGLX

8. Batalin BS, Belozeroва TA, Gaidai MF. Construction ceramics made from Kizelovskiy coal field refuse. *Glass and Ceramics*. 2014;87(3):8–10. (In Russ.)
9. Zubova LG, Zubov AR. Assessment of radioactivity of rock dumps of coal mines of PJSC “Lisichanskugol”. *Ukrainian coal*. 2016;2:59–65. (In Russ.)
10. Basic sanitary rules for ensuring radiation safety (OSPORB-99/2010): (Ionizing radiation, radiation safety SP 2.6.1.2612-10): registered on August 11, 2010. Registration No. 18115; 2010. (In Russ.)

**Сведения об авторах:**

**Верех-Белюсова Екатерина Иосифовна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры химии и инновационных химических технологий;  
eLibrary SPIN: 4623-1246;  
E-mail: kate3152@yandex.ru

**Харламова Алина Вадимовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная и экологическая безопасность»;  
eLibrary SPIN: 6997-5427; ORCID: 0009-0008-5786-1203;  
E-mail: alavina@yandex.ru

**Information about the authors:**

**Ekaterina I. Verekh-Belousova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry and Innovative Chemical Technologies;  
eLibrary SPIN: 4623-1246;  
E-mail: kate3152@yandex.ru

**Alina V. Kharlamova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere and Environmental Safety;  
eLibrary SPIN: 6997-5427; ORCID: 0009-0008-5786-1203;  
E-mail: alavina@yandex.ru