

УДК 504:691:614.8.086.5

## Перспектива переработки отвальной породы угольных шахт с последующим применением в строительстве

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

<sup>1</sup> ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», Россия, 291034, ЛНР, Луганск, кв. Молодежный, 20а

<sup>2</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Верех-Белоусова Е. И., Харламова А. В. Перспектива переработки отвальной породы угольных шахт с последующим применением в строительстве // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2024. Т. 21, вып. 2. С. 391–397. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-02-391-397

### Аннотация

**Цель:** исследование и обоснование перспектив переработки отвальной породы угольных шахт Луганской Народной Республики с дальнейшим ее применением в строительной индустрии. **Методы:** 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:** 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. Лабораторные данные, полученные после проведенных исследований проб отвальной породы ряда шахт, доказывают возможность использования углеотходов в гражданском, промышленном и дорожном строительстве. **Практическая значимость:** проведенные исследования и детальный анализ различных показателей и свойств отходов угледобычи Луганской Народной Республики, включая удельную эффективную активность и коэффициент эманирования, делают возможным применение отвальной породы в качестве сырья в строительной отрасли при производстве материалов для промышленного, гражданского и дорожного строительства.

**Ключевые слова:** отвальная порода, отвалы угольных шахт, сырье, отходы, переработка, утилизация, строительные материалы.

### Введение

На территории Луганской Народной Республики (ЛНР) располагается участок Донецкого угольного бассейна и функционирует значительное количество предприятий угольной промышленности, которые, в свою очередь, являются источниками интенсивного химического загрязнения окружающей среды. Добыча угля в регионе осуществляется преимущественно подземным способом с изъятием и отчуждением

значительных по размеру земельных угодий для складирования отвальной пустой породы. Количество таких насыпей (отвалов и терриконов) только возрастает и на данный момент достигает уже порядка 556. Суммарная площадь отчужденных под них земель составляет 4,8 тыс. га и дополнительно включает 250 плановых накопителей площадью 980 га. Все это приводит не только к отчуждению больших территорий,

но и к интенсивному загрязнению прилегающих к отвалам земель тяжелыми металлами, соединениями серы и другими химическими соединениями. Альтернативой для урегулирования существующей проблемы может стать переработка отвальной породы с дальнейшим ее использованием как сырья для производства стройматериалов промышленности, которая, в свою очередь, характеризуются высокой материалоемкостью и позволит утилизировать техногенные отходы угледобычи (породные отвалы и терриконы).

Отечественная и мировая стройиндустрия все в большей степени ориентируется на производство строительных материалов из техногенных отходов, так как требования к эффективности экономики, а также имеющийся на данный момент уровень экологической безопасности диктуют правила все более комплексного и рационального использования ресурсов, что закономерно повысит уровень их эффективного применения и снизит негативное воздействие на окружающую среду.

На сегодняшний день в стране поддается переработке около 20 % от всей ежегодной выработки отвальной породы, и не получило активного внедрения ее использование для производства строительных материалов [1]. Известно, что на материальные ресурсы, заложенные в смету стоимости изготовления стройматериалов, приходится более 55 % затрат. Таким образом, вполне целесообразно применение отходов угледобывающей отрасли промышленности как сырья для производства строительных материалов. Тем более внедрение таких малоотходных технологий будет способствовать улучшению состояния окружающей природной среды и уменьшению объемов накопленных отходов [2, 3].

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, в результате развития эндогенных термических процессов внутри отвала запускается цепь реакций биохимического превращения отвальной породы, то есть порода подвергается процессу горения при температуре до 1000 °С. Такая горелая порода обогащена каолином и другими новыми техногенными минералами, которые могут активно использоваться в строительстве.

Все это делает возможным рассматривать углепородные отвалы и терриконы шахт как техногенное сырье для производства строительных материалов.

Целью работы является исследование и обоснование перспектив переработки отвальной породы угольных шахт с дальнейшим ее применением в строительной индустрии на примере Донецкого угольного бассейна региона ЛНР.

В качестве объекта исследований были выбраны восемь породных отвалов шахт Донецкого угольного бассейна, расположенных на территории Луганской Народной Республики. В частности, отбирались пробы отвальной породы отходов шахт в городах: Стаханов («Максимовская», «шахта им. Ильича»), Зимогорье («Черкасская»), Луганск («Луганская»), Лутугино («Машенская»), Лисичанск («Матросская»), Свердловск («Шахта им. М. Свердлова») и 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 отбиралась первичная проба (внешний поверхностный слой), состоящая из порционных проб.

Химический состав отвальной породы исследуемых угольных шахт региона по минеральному составу входящих в породу компонентов соответствует существующим требованиям, которые предъявляются к химическому составу глинистого сырья, обычно используемого в качестве пористых заполнителей. Однако существует ряд ограничений, который сделает невозможным такое применение, так как будет значительно ухудшаться качество строительных материалов: высокое содержание общей серы в составе отвальной породы на уровне более 4 % и высокое содержание органического углерода при значениях в составе более 20 %.

Так как отвальная порода может проходить различные стадии метаморфизации, то и процентное соотношение данных показателей будет неоднородным в зависимости от степени превращения породы. В связи с этим исследовано содержание общей серы ( $S_t^d$ ) в отобранных образцах с учетом данного критерия.

## Результаты

Полученные в ходе лабораторного опыта данные по содержанию общей серы в отвальной породе угольных шахт (табл. 1) показывают, что  $S_t^d < 4\%$  по всем пробам в учетом стадии метаморфизации, то есть по данному показателю не создается ограничений по применению отвальной породы как строительного сырья.

ТАБЛИЦА 1. Содержание общей серы ( $S_t^d$ ) в зависимости от стадии метаморфизма отвальной породы в исследуемых образцах

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

После отсыпки на отвалах угольных шахт происходят процессы горения отвальной породы. С течением длительного времени эти процессы постепенно затухают и окончательно завершаются. Такая отвальная порода будет относиться к полностью горелой (перегоревшей) породе, имеющей следующие свойства: высокую адсорбционную активность, за счет значительной микропористости, высокое содержание оксидов алюминия и, напротив, низкое — оксидов железа. Данные характеристики свидетельствуют о том, что отвальная порода угольных шахт применима в строительной отрасли промышленности как заполнитель в бетонах, что позволит минимизировать применение вяжущих средств, также подходит в качестве наполнителя для мастик, что повысит их твердость [1, 6, 7].

Для создания жаростойких бетонов может использоваться отвальная порода, которая имеет в составе  $Al_2O_3 > 14\%$ , так как этот показатель характеризует жаропрочность породы. В связи с чем было проведено исследование образцов отвальной породы угольных шахт ЛНР на валовое содержание  $Al_2O_3$ , полученные результаты сведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Валовое содержание  $Al_2O_3$  в исследованных образцах отвальной породы

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

По результатам установлено, что перегоревшие отвальные породы исследованных шахт могут применяться с добавлением связующих материалов для изготовления жаропрочных бетонов.

Кроме того, на основании выполненных исследований установлено, что полностью перегоревшие отвальные породы после измельчения могут служить наполнителями для бетонов и растворов. 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.

По своему минеральному составу отвальная порода сразу после отсыпки обычно характеризуется наличием глин, песчаников, аргиллитов, сланцев, песка, алевролитов, которые используются в качестве сырья для производства стройматериалов [1, 3].

Глины и сланцы, находящиеся в составе отвальной породы угольных шахт, способствуют формированию ее пластичности, что, в свою очередь, повышает возможность дальнейшего использования в строительстве. В табл. 3 представлены полученные данные по пластичности, грубо измельченной горелой и негорелой отвальной породы в исследованных образцах.

По полученным результатам пластичности различных дисперсных фракций породы (включая перегоревшую и неперегоревшую) видно, что в ней 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.

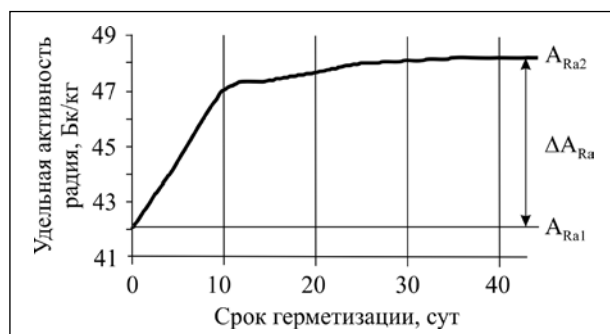
Важным фактором ограничения применения отвальной породы угольных шахт для производства стройматериалов может стать высокая радиоактивность отвальной породы [9]. Учитывая нормы радиационной безопасности при производстве строительных материалов [10], в частности из отходов добычи угля, проведено измерение 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. 1) на примере угольного аргиллита шахты «Черкасская».

ТАБЛИЦА 3. Пластичность отвальной породы в исследованных образцах

Отвальная порода	Группа пластичности	Пластичность		
		Число пластичности, %	Предел раскатывания, %	Нижний предел текучести, %
Негорелая	Умеренно пластичная	11,22	20,03	31,25
Горелая	Умеренно пластичная	10,34	19,8	30,14

ТАБЛИЦА 4. Полученные данные в ходе гамма-спектрометрического исследования образцов отвальной породы

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>



**Рис. 1.** Значения удельной активности радия для расчета  $k_{эм}$  отвальной породы шахты «Черкасская»:  $A_{Ra1}$  — удельная активность радия (в аэрированной пробе); Бк/кг;  $A_{Ra2}$  — удельная активность радия (в загерметизированной пробе), Бк/кг

Значения удельной эффективной активности породы не превышают допустимых норм [10], а результаты расчета  $k_{эм}$  свидетельствуют об умеренной эманулирующей способности отвальных пород угольных шахт Донецкого угольного бассейна региона Луганской Народной Республики. Таким образом, использование отходов добычи и обогащения угля в строительной индустрии является оправданным и перспективным.

## Заключение

Проведенные исследования и детальный анализ различных показателей и свойств отходов угледобычи Луганской Народной Республики, включая удельную эффективную активность и коэффициент эмануирования, делают возможным применение отвальной породы в качестве сырья в строительной отрасли при производстве материалов для промышленного, гражданского и дорожного строительства.

## Библиографический список

1. Куманева М. К., Шевелева О. Б., Зонина О. Б. Управление отходами производства в угольной отрасли: ресурсно-экологический аспект // Уголь. 2024. № 2. С. 74–78.
2. Бабак Н. А., Масленикова Л. Л. Геоэкологический резерв промышленных минеральных отходов // Безопасность жизнедеятельности. 2018. № 10 (214). С. 57–64.
3. Шаймартьянов Т. Э. К проблеме рекультивации хранилищ хвостов обогащения углей Донбасса // Вектор Геонаук, 2018. № 1 (3). С. 53–64.
4. Буравчук Н. И., Гурьянова О. В. Использование техногенного сырья в производстве нерудных строительных материалов // Известия вузов. Северо-Кавказский регион (Технические науки). 2015. № 1. С. 111–117.

5. Васильев П. В., Рыбак В. Л., Егорова Т. А. Методика оценки воздействий породных отвалов шахт на окружающую среду и мероприятия по их локализации // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2016. Вып. 2. С. 3–19.
6. Ахтямов Р. Г., Сеньюшкин Н. С., Суханов А. В. Разработка методики выявления потенциально опасных объектов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 5. С. 192–197.
7. Ахтямов Р. Г. Оценка и пути уменьшения экологической опасности объектов автотранспортной инфраструктуры урбанизированной территории: автореферат дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2009. 19 с.
8. Баталин Б. С., Белозерова Т. А., Гайдай М. Ф. Строительная керамика из терриконников Кизеловского угольного бассейна // Стекло и керамика. 2014. № 3. С. 8–10.
9. Радиоактивность отвалов угольных шахт Донбасса / Л. Г. Зубова, С. Г. Воробьев, В. А. Гречка, и др. // Вестник Восточноукраинского национального университета им. В. Даля. 2014. № 6. С. 166–172.
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. М.: Минюст России, 2010. 98 с.

Дата поступления: 14.04.2024

Решение о публикации: 31.05.2024

**Контактная информация:**

ВЕРЕХ-БЕЛОУСОВА Екатерина Иосифовна —

канд. техн. наук, доцент; kate3152@yandex.ru

ХАРЛАМОВА Алина Вадимовна —

канд. техн. наук, доцент; alavina@yandex.ru

## The prospect of processing waste rock from coal mines with subsequent use in construction

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

<sup>1</sup> Lugansk Vladimir Dahl State University, 20a, Molodezhny kv., Lugansk, LPR, 91034, Russia

<sup>2</sup> Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

**For citation:** Verekh-Belousova E. I., Kharlamova A. V. The prospect of processing waste rock from coal mines with subsequent use in construction // *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2024. Vol. 21, iss. 2. P. 391–397. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2024-02-391-397

### Abstract

**Objective:** research and justification of the prospects for processing waste rock from coal mines of the Lugansk People's Republic with its further use in the construction industry. **Methods:** sampling of the dump rock was carried out, followed by laboratory research:  $Al_2O_3$  content (up to 22 %) and total sulfur (up to 4 %) in rock samples of varying degrees of metamorphism, indicators of its plasticity and radiation characteristics (up to 220 Bk/kg). **Results:** the issues of processing rock dumps from coal mines of the Lugansk People's Republic as raw materials for the production of building materials are considered. A brief analysis of the currently existing methods for obtaining various building materials from waste rocks has been carried out. The laboratory data obtained, after studies of samples of waste rock from a number of mines, prove the possibility of using coal waste in civil, industrial and road construction. **Practical importance:** the research and detailed analysis

of various indicators and properties of coal mining waste in the Lugansk People's Republic, including specific effective activity and evaporation coefficient, make it possible to use waste rock as a raw material in the construction industry in the production of materials for industrial, civil and road construction.

**Keywords:** dump rock, coal mine dumps, raw materials, waste, processing, disposal, construction materials.

## References

1. Kumaneva M. K., Sheveleva O. B., Zonova O. B. Upravlenie otkodami proizvodstva v ugol'noj otrasli: resursno-ekologicheskij aspekt // Ugol'. 2024. № 2. S. 74–78. (In Russian)
2. Babak N. A., Maslenikova L. L. Geoekologicheskij rezerv promyshlennyx mineral'nyx otkodov // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2018. № 10 (214). S. 57–64. (In Russian)
3. Shyajmartdyanov T. E'. K probleme rekul'tivacii xranilishh xvostov obogasheniya uglej Donbassa // Vektor Geonauk, 2018. № 1 (3). S. 53–64. (In Russian)
4. Buravchuk N. I., Gur'yanova O. V. Ispol'zovanie texnogennogo syr'ya v proizvodstve nerudnyx stroitel'nyx materialov // Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region (Texnicheskie nauki). 2015. № 1. S. 111–117. (In Russian)
5. Vasil'ev P. V., Ry'bak V. L., Egorova T. A. Metodika ocenki vozdeystvij porodnyx otvalov shaxta na okruzhayushhuyu sredu i meropriyatiya po ix lokalizacii // Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle. 2016. Vy'p. 2. S. 3–19. (In Russian)
6. Axtyamov R. G., Senyushkin N. S., Suxanov A. V. Razrabotka metodiki vy'yavleniya potencial'no opasnyx ob'ektov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. 2011. T. 7. № 5. S. 192–197. (In Russian)
7. Axtyamov R. G. Ocenka i puti umen'sheniya ekologicheskoy opasnosti ob'ektov avtotransportnoj infrastruktury urbanizirovannoj territorii: avtoreferat dis. ... kand. texn. nauk. Kazan', 2009. 19 s.
8. Batalin B. S., Belozerova T. A., Gajdaj M. F. Stroitel'naya keramika iz terrikonnikov Kizelovskogo ugol'nogo bassejna // Steklo i keramika. 2014. № 3. S. 8–10. (In Russian)
9. Radoaktivnost' otvalov ugol'nyx shaxta Donbassa / L. G. Zubova, S. G. Vorob'ev, V. A. Grechka, i dr. // Vestnik Vostochnoukrainskogo nacional'nogo universiteta im. V. Dal'ya. 2014. № 6. S. 166–172. (In Russian)
10. Osnovny'e sanitarnye pravila obespecheniya radiacionnoj bezopasnosti (OSPORB-99/2010): (Ioniziruyushhee izluchenie, radiacionnaya bezopasnost' SP 2.6.1. 2612–10): zaregistririvan 11 avgusta 2010 g. Registracionnyj № 18115. M.: Minyust Rossii, 2010. 98 s. (In Russian)

Received: 14.04.2024

Accepted: 31.05.2024

### Author's information:

Ekaterina I. VEREKH-BELOUSOVA —  
PhD in Engineering; Associate Professor;  
kate3152@yandex.ru

Alina V. KHARLAMOVA — PhD in Engineering,  
Associate Professor; alavina@yandex.ru