

DOI 10.35264/1996-2274-2022-1-106-114

## МАТЕРИАЛЫ ИЗ ГОРЕЛЫХ ПОРОД ДЛЯ БЕТОННОЙ ШАХТНОЙ КРЕПИ

**Н.И. Буравчук**, зав. лаб. ФГАОУ ВО «ЮФУ», канд. хим. наук, [nburavchuk@sfedu.ru](mailto:nburavchuk@sfedu.ru)

**О.В. Гурьянова**, ст. научн. сотр. ФГАОУ ВО «ЮФУ», [oguryanova@sfedu.ru](mailto:oguryanova@sfedu.ru)

Рецензент: Ю.В. Пухаренко

*В работе приведены сведения о свойствах горелых пород шахтных отвалов. Предложена схема получения качественных заполнителей из горелых пород. Подобраны составы бетона на материалах из горелых пород, определены их свойства для изготовления изделий шахтной крепи. Проведено испытание экспериментального бетона в заводских условиях при изготовлении элементов шахтной крепи. Экспериментальная железобетонная затяжка испытана в условиях шахты для крепления горной выработки. Положительные результаты лабораторных, заводских и промышленных испытаний бетона на материалах из горелых пород шахтных отвалов подтверждают возможность использования такого бетона для изготовления изделий шахтной бетонной крепи.*

**Ключевые слова:** горелые породы шахтных отвалов, щебень из горелых пород, отсеvy дробления горелых пород, бетонная крепь, элементы шахтной крепи, железобетонная затяжка.

## MATERIALS FROM BURNT ROCKS FOR CONCRETE SHAFT SUPPORT

**N.I. Buravchuk**, Head of Laboratory, Southern Federal University, Doctor of Chemistry, [nburavchuk@sfedu.ru](mailto:nburavchuk@sfedu.ru)

**O.V. Guryanova**, Senior Researcher, Southern Federal University, [oguryanova@sfedu.ru](mailto:oguryanova@sfedu.ru)

*The paper provides information about the properties of burnt rocks of mine dumps. A scheme for obtaining high-quality aggregates from burnt rocks is proposed. Concrete compositions based on materials from burnt rocks were selected, their properties for the manufacture of mine support products were determined. Experimental concrete was tested in factory conditions during the manufacture of elements of mine support. The experimental reinforced concrete tightening was tested in the conditions of a mine for fixing the mine workings. Positive results of laboratory, factory and industrial tests of concrete on materials from burnt rocks of mine dumps confirm the possibility of using such concrete for the manufacture of products of mine concrete supports.*

**Keywords:** burnt rocks of mine dumps, crushed stone from burnt rocks, screenings of crushing of burnt rocks, concrete support, elements of mine support, reinforced concrete tightening.

### Введение

Потребность в минеральном сырье в любой развитой стране с каждым годом возрастает. Десятилетиями народное хозяйство ориентировалось на использование природных ресурсов. В условиях увеличивающегося спроса на природное сырье проблема комплексного использования всего добытого сырья и охраны окружающей среды приобретает первостепенное значение и с каждым годом становится все острее. В новом тысячелетии минерально-сырьевая база характеризуется дальнейшим снижением качества, сокращением запасов и осложнением условий разработки месторождений полезных ископаемых. Даже при совре-

менной технологии добычи и переработки минерального сырья используется лишь около 5 % полезных ископаемых. Основная же масса переходит в производственные отходы. В результате на земной поверхности в отвалах складированы огромные запасы отходов добычи и переработки природного сырья.

Наибольшая часть отходов приходится на горнодобывающую промышленность, в том числе на топливно-энергетический комплекс. Концепция комплексного освоения природных минеральных ресурсов предполагает обязательную переработку отходов в полезную продукцию как завершающий этап добычи полезных ископаемых. Задача улучшения экологической ситуации в промышленно развитых регионах и расширение ассортимента новых материалов делают этот этап обязательной необходимостью. Темп и масштабы антропогенного воздействия на природную среду в ряде случаев превышают возможности саморегулирования биосферы. Экономическая составляющая концепции устойчивого развития подразумевает оптимальное использование ресурсов и применение эффективных технологий, создание экологически чистой продукции, минимизацию, переработку и уничтожение отходов [1]. Поэтому неотложной задачей становится практическое осуществление концепции устойчивого (самоподдерживающегося) развития, так как только такое развитие способно удовлетворить потребности ныне живущих людей и не ущемлять возможности будущих поколений обеспечить свое существование. Бережное отношение к природе можно выразить латинским изречением: *Natura parendo vincitur* («Покоряют природу, только повинаясь ей»).

В угольно-промышленных регионах сосредоточены в отвалах огромные запасы шахтных пород, попутно добываемых при разработке угольных месторождений, извлекаемых на поверхность и складированных в отвалах. Продукты сжигания мелкозернистого и пылевидного угля представлены золой сухого отбора, шлаком и золошлаковыми смесями. Отходы топливно-энергетического комплекса – это новый вид техногенного сырья. Скопления этих отходов по количеству и качеству содержащегося минерального сырья, пригодного для выпуска полезной продукции, следует отнести к техногенным месторождениям [2, 3]. Огромные запасы горелых шахтных пород и золошлаковых отходов остаются пока маловостребованными и создают экологическую напряженность в местах их расположения.

Ростовская область традиционно является угольным регионом. В результате деятельности этой отрасли в области накопились огромные запасы техногенного сырья, потенциально пригодного для производства строительных материалов. Таким многотоннажным техногенным сырьем являются запасы шахтных пород и золошлаковых отходов, складированные в терриконах и золоотвалах. Огромные запасы этого техногенного сырья создают экологическую напряженность в местах их расположения. На строительство и содержание отвалов, складирование отходов, проведение природоохранных мероприятий по снижению их негативного воздействия на окружающую среду тратятся огромные средства. Под отвалы отводятся значительные площади земель. Поэтому технологические решения по рациональному использованию данных минеральных отходов приобретают все большую актуальность.

### **Методика**

В данной работе представлены исследования и практические результаты применения горелых пород шахтных отвалов в изготовлении изделий для шахтного строительства. Объектами исследования были горелые породы шахты № 26 Гуково-Зверевского промышленного района Ростовской области.

Проведены аналитико-лабораторные исследования по комплексной оценке качества техногенного сырья, разработаны составы горелопородного бетона гарантированного качества для работы в условиях повышенных нагрузок и воздействия агрессивных сред, определены их физико-механические свойства, изготовлены в производственных условиях опытные партии изделий шахтной крепи. Для установления возможности использования горелых пород для шахтного бетона разработки велись по схеме: исходное сырье + состав материала + технология изготовления = структура свойства. Проведение комплекса методов исследо-

ваний и технологических испытаний позволило установить применимость техногенного сырья в изделиях для бетонной шахтной крепи.

Для исследований использованы заполнители из горелых пород шахтного отвала: щебень и песчано-гравийная смесь, полученные при дроблении горелых пород шахтного отвала.

### Результаты и обсуждение

Горелые породы – это продукт длительного самообжига коренных шахтных пород, складированных на земной поверхности в терриконах. Исходными материалами для их образования являются метаморфизованные углистые породы карбонового возраста, которые образовались в результате дегидратации и цементации первичных глинистых минералов. Комплексное физико-химическое исследование горелых пород шахтных отвалов Ростовской области приведено в работе [4]. Вещественный состав горелых пород определяется минеральным составом углевмещающих пород. Породы угленосных отложений сложены в основном песчаником, аргиллитами и алевролитами, иногда встречаются известняки, глинистые и углисто-глинистые сланцы. Песчаник представляет собой сцементированный кремнекислотой или глиной песок; аргиллит – уплотненную, обезвоженную и сцементированную глину с частицами размером менее 0,01 мм; алевролит – сцементированную породу, промежуточную между песчаником и аргиллитом, с частицами размером 0,01–0,1 мм. Минеральный состав песчаника, аргиллита и алевролита – в основном кварц, обломки полевого шпата, каолинит, гидрослюда и монтмориллонит с примесью хлорита и гидроксидов железа, алюминия и кремния. Известняк состоит в основном из кальцита с примесью доломита, глинистых и песчаных частиц.

При обжиге пород в массивах терриконов в алюмосиликатных минералах происходят довольно глубокие изменения (прежде всего в каолините), что во многом определяет их последующие физико-механические свойства и гидравлическую активность горелых пород. Горелые породы содержат активный глинозем в виде радикалов дегидратированных глинистых минералов, а также активные кремнезем и железистые соединения. В отличие от шлаков и зол, они почти не содержат стекловидных компонентов. В обожженных аргиллитах и алевролитах термическим воздействиям подвергается в основном глинистое вещество: оно частично аморфизовано и покрыто пленками гидроксидов железа. В песчаниках затронуты в основном обломки пород. Текстурно-структурные изменения песчаников и алевролитов остались без изменений. В горелых породах можно выделить две группы минералов: минералы исходных пород и вновь образованные [5]. К первой группе относятся кварц, полевые шпаты, слюда, гематит, обломки пород, гидрослюда, каолинит. Во вторую группу входят муллит, форстерит, кордиерит, шпинель, тридимит, силлиманит, андалузит и др.

Несгоревшие частицы топлива присутствуют в качестве примесей. Они в разной степени метаморфизованы, отличны от исходного состояния и находятся в виде кокса, полукокса и графитизированного углистого вещества. Отвальные породы шахты № 26 складировались при отработке угольных пластов, расположенных в углевмещающих породах, в основном глинистого состава. По литологическому составу преобладают глинисто-аргиллитовые породы с примесью алевролитов и песчаников. Содержание песчаников – менее 10 %. Главным пороодообразующим минералом глинистого вещества является гидрослюда. Содержание кремнистых пород составляет примерно 10–13 % по объему. Большинство минералов, слагающих породы, видоизменено в процессе самообжига. Судя по окраске от красно-бурого до кирпично-красного цвета с темно-коричневыми и лиловыми оттенками, плотности и прочности пород, можно предположить, что обжиг пород происходил длительно и в основном равномерно при температурах, близких к 1000 °С.

По химическому составу исследуемое техногенное сырье является кислым, содержание оксида кремния – более 50 %. Это сырье представлено в основном из свободных и связанных в соединения оксидов кремния, алюминия, железа, кальция, магния, калия, натрия, серы (табл. 1).

Таблица 1

**Химический состав горелой породы отвала № 26, вес. %**

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O+ K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Потери при прокаливании
55,50	21,12	6,58	2,47	1,07	0,96	4,64	0,17	2,18	5,27

Физико-механические свойства пород в отвале различны. Например, прочность пород находится в пределах 10–100 МПа; объемная масса в кусках – 1400–2500 кг/м<sup>3</sup>; морозостойкость (марка) – F10–F100; истираемость (марка) – И1, И2; водопоглощение – 0,5–17,5%. Горелые породы, имеющие водопоглощение в пределах 5–10 %, относятся к умеренно обожженным, а при водопоглощении менее 5 % – к хорошо обожженным. По результатам радиологических исследований по величине эффективной удельной активности радионуклидов горелые породы отвала шахты № 26 относятся к I классу материалов, на применение которых нет ограничений.

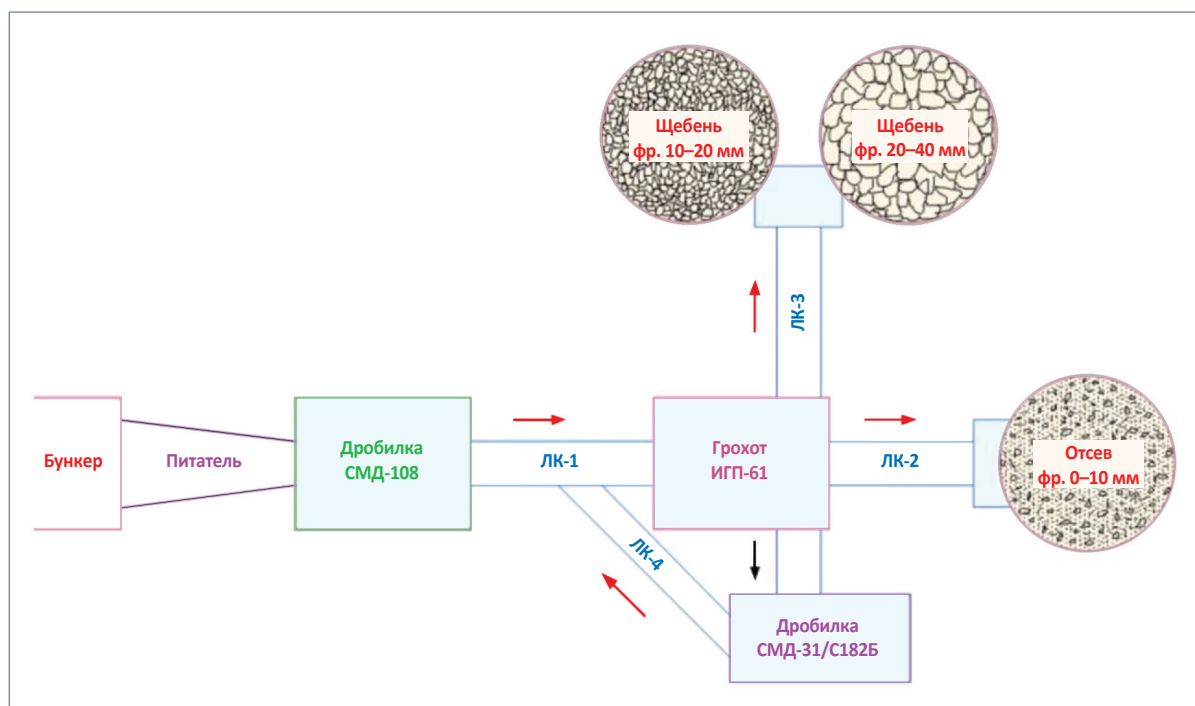
По агрегатному состоянию исследуемые породы относятся к твердым образованиям – сыпучие (глыбообразные кусковые, дисперсные и мелкодисперсные). Фракционный состав пород, слагающих отвал, колеблется в широком диапазоне – от крупных кусков до мелкого щебня, гравия и песка, а также пылевато-зольной массы. В отвале содержание крупных кусков породы размером более 150 мм составляет 15–25 %, щебеночной фракции – 20–35 %, остальное – мелочь (табл. 2)

Таблица 2

**Ситовый анализ породной массы отвала шахты № 26**

Номер пробы	Выход по классам, %			
	+150	50–150	25–50	0–25
1	21,5	45,3	23,7	9,5
2	20,8	50,2	22,8	6,2
3	17,8	52,0	20,2	10,0
4	15,9	44,3	28,7	11,1
5	17,7	48,8	23,7	9,8
6	23,0	46,5	21,7	8,8
7	27,4	34,4	25,6	12,6
8	13,3	42,1	32,8	11,8
9	22,6	37,9	28,8	10,7

Техногенное сырье в отвалах для использования требует предварительной подготовки. Прежде всего следует провести обогащение (грохочение) от слабых пород. Углистые и глинистые примеси обладают пониженной механической прочностью по сравнению с твердым керамическим черепком обожженной части и частично измельчаются естественным путем уже в отвале. При грохочении эти породы отделяются от основной массы как первичный отсев. Накопленный практический опыт [6] получения кондиционного материала из горелых пород подтверждает, что заполнители из этого минерального сырья, близкие по свойствам к щебню и песку из природного сырья, можно получить при двухстадийной схеме дробления пород. Вариант технологической схемы переработки горелых пород на щебень и отсеvy дробления, пригодные в качестве крупнозернистого песка, приведен на рис. 1. Подобные дробильно-сортировочные комплексы работают на некоторых шахтных отвалах в Ростовской области.



**Рис. 1. Технологическая схема расположения оборудования дробильно-сортировочного комплекса для переработки горелых пород шахтного отвала**

Для получения заполнителей пригодны горелые, перегорелые шахтные породы, пред- ставленные аргиллитами, алевролитами, песчаниками с прочностью при сжатии в водона- сыщенном состоянии не менее  $200 \text{ кг/см}^2$ . Материалы из горелых шахтных пород пред- ставлены крупным заполнителем – фракционированным щебнем – и мелким (в виде отсе- вов дробления горелых пород). Заполнители из горелых шахтных пород по качеству не уступа- ют аналогичной продукции из традиционно используемого сырья и даже имеют некоторые преимущества: не содержат илстых и глинистых частиц и других засоряющих примесей, глины в комках; из-за микропористости частиц – легче по насыпному весу; отличаются хорошим сцеплением с растворной частью.

Зерна щебня по форме – кубовидные, пластинчатые и игловатые. Поверхность частиц – неокатанная, рваная, шероховатая, чистая, т. е. на поверхности частиц не содержатся глини- стые и другие засоряющие примеси. Щебень выдерживает испытания на устойчивость структуры против всех видов распада.

Отсевы дробления горелых пород по зерновому составу соответствуют песчано-гравий- ной смеси. Песчаная фракция отсе- вов дробления пород по физико-механическим свойст- вам может соответствовать пескам I или II класса. По модулю крупности пески относятся к крупному и среднему. Песок из горелых пород имеет модуль крупности от 2,3 до 3,5, насып- ную массу –  $1250\text{--}1420 \text{ кг/м}^3$ . Отсевы дробления представляют собой смесь песчаной фрак- ции и заполнителя фракции 5–10 мм. Содержание щебеночной фракции колеблется в пре- делах от 10 до 30 %. Марка по прочности щебеночной фракции – не менее 800. Пылевидная фракция менее 0,1 мм, присутствующая в заполнителях из горелых шахтных пород, являет- ся гидравлической добавкой с пуццолановой активностью. В бетонах такая добавка заменя- ет часть вяжущего. Показатели качества заполнителей детально описаны в работах [7, 8]. Получаемые из горелых пород шахтных отвалов щебень, песок и щебеночно-песчаные



смеси по техническим характеристикам и показателям качества соответствуют требованиям нормативных документов.

На Гуковском заводе железобетонной шахтной крепи проведены испытания горелопородного бетона при выпуске изделий шахтной крепи на материалах из горелых пород отвала шахты № 26. Щебень фракции 5–15 мм имел марку по прочности 1000–1200, по морозостойкости – F50, по истираемости – И1, насыпной вес – 1230–1270 кг/м<sup>3</sup>, пустотность – 45–47 %. Предварительно в лабораторных условиях были подобраны и откорректированы составы бетона (табл. 3). В составах бетонов использовался цемент М500 завода «Октябрь» ОАО «Новоросцемент».

Таблица 3

Состав и свойства тяжелого бетона для изделий шахтной крепи

Класс бетона, осадка конуса	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>				Прочность, МПа			
	цемент	отсев дробления горелых пород	щебень из горелых пород	вода	после тепловой обработки		через 28 сут.	
					на сжатие	при изгибе	на сжатие	при изгибе
B25, ОК 1 см	450	560	1210	194	24,4	3,10	34,0	4,62
B22,5, ОК 1 см	390	600	1220	185	22,4	2,63	31,9	4,37
B15, ОК 1 см	300	640	1280	165	16,6	2,47	23,1	3,30
B10, ОК 1–2 см	260	650	1320	154	14,2	2,43	18,6	2,58

Отпускная прочность для всех классов бетона составляла 70 % от проектной прочности. Набор прочности горелопородного бетона может происходить как в условиях нормального твердения при относительной влажности не менее 90 % и температуре 18 (±2) °С, так и при тепловлажностной обработке. Гидравлическая активность горелых пород, как следует из практического опыта, в наибольшей степени проявляется при тепловой обработке. Режим термообработки: выдержка свежесформованных изделий – не менее 2 ч, подъем температуры до начала изотермического прогрева – 3 ч, выдержка при температуре изотермического прогрева – 8 ч, охлаждение изделий – не менее 3 ч. Температура изотермического прогрева должна составлять не менее 80–85 °С.

В заводских условиях были выпущены опытные партии элементов шахтной крепи. Изготовление изделий из горелопородного бетона принципиально не отличалось от традиционной технологии. Технология включала следующие операции: дозирование компонентов, приготовление бетонной смеси в бетономешалке принудительного действия, изготовление изделий виброформованием, набор прочности при тепловой обработке и в условиях естественного твердения. Тепловая обработка изделий выполнялась по режиму, принятому в технологии завода. Параллельно с изготовлением изделий изготавливались контрольные кубы из тех же бетонных смесей и при тех же условиях формирования и термообработки. Контроль прочности и других показателей физико-механических свойств бетона проводился на кубах-образцах по методикам, приведенным в нормативных документах; изделий – методами неразрушающего контроля и на стенде. Результаты испытаний представлены в табл. 4.

При испытании контрольных кубов и изделий установлено, что бетоны на заполнителях из горелых пород после тепловой обработки показывают превышение отпускной прочности от 10 до 33 %. Превышение разрушающей нагрузки при испытании затяжки на стенде составляет до 10 %. Прирост прочности бетона составил до 20 % после достижения проектной марки. Через три месяца хранения изделий на открытом складе для бетонов различных марок прирост прочности составил от 7 до 25 %. По отпускной прочности, трещиностойкости экспериментальные изделия превосходят базовые образцы.

Таблица 4

**Результаты испытаний бетона на заполнителях из горелых пород для элементов шахтной крепи**

Класс бетона, осадка конуса, изделие	Прочность на сжатие, МПа			Водонепро- ницаемость, марка	Морозо- стойкость, марка	
	после тепловой обработки	естественное твердение, через сут.				
		28	60			180
B25; ОК 1 см Затяжка	27,0	33,0	39,4	41,4	W6	F300
B22,5; ОК 1 см Элементы шахтной крепи	25,4	31,2	35,5	36,7	W4	F300
B22,5; ОК 1 см Лотки и плиты перекрытия лотков	17,9	23,5	25,6	27,9	W4	F200
B10; ОК 1–2 см Бетониты	14,0	15,9	17,0	18,9	W2	F75

Испытание опытной партии железобетонной затяжки на материалах из горелых пород проведено на шахте «Гуковская» (Гуково-Зверевский промышленный район Ростовской области). Затяжка уложена в штреке, который проводится по угольному пласту с подрывкой пород почвы и кровли. Было уложено 9500 шт. экспериментальных затяжек. При осмотре выработки спустя три года после крепления установлено, что состояние крепи и затяжки на всем протяжении, включая и экспериментальный участок, – удовлетворительное. Повреждений в затяжках не обнаружено. Использование заполнителей из горелых пород позволяет без ухудшения свойств бетона экономить цемент от 10 до 30 %; природные щебень и песок – 100 %. Бетоны, содержащие горелые шахтные породы, имеют высокие показатели прочности при изгибе. Горелопородные бетоны отличаются повышенной морозостойкостью и водонепроницаемостью. Повышенные показатели свойств горелопородных бетонов по сравнению с традиционным бетоном связаны с особенностями горелопородных заполнителей. Лещадные частицы в заполнителях в определенном смысле выполняют роль короткой арматуры, создавая эффект дисперсного армирования [9]. «Армирующий» эффект может проявляться в повышении прочности бетона по сравнению с прочностью входящего в его состав раствора примерно на 25–32 %. Отсутствие глинистых и илистых примесей, прочность зерен щебня, шероховатая поверхность частиц, обеспечивающих хорошее сцепление щебня с цементным камнем, оптимальный зерновой состав способствуют формированию оптимальной структуры бетона с плотной упаковкой частиц. Дополнительная прочность достигается за счет наличия активных компонентов в составах горелых пород и тонкой фракции, проявляющей пуццолановую активность, участвующих в процессах твердения бетона.

Проведенные лабораторные исследования и производственные испытания бетонов на материалах из горелых пород подтверждают возможность использования заполнителей из горелых пород (фракционированный щебень и отсеы дробления) с определенным технико-экономическим эффектом в бетонах для шахтного строительства. Использование горелых пород приводит к повышению прочности, плотности, водонепроницаемости, морозостойкости бетонов. Эти показатели служат оценкой долговечности бетонов и изделий из них.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Южного федерального университета, 2020 г. (Министерство науки и высшего образования Российской Федерации) по проекту ВнГр-07/2020-04-ИМ.*

### Список литературы

1. Декларация Рио-де-Жанейро по окружающей среде и развитию 14.06.1992. URL: <http://www.un.org/ru> (дата обращения: 27.04.2022).
2. Шпирт М.Я., Артемьев В.Б., Селютин С.А. Использование твердых отходов добычи и переработки углей. М.: Горное дело, ООО «Киммерийский центр», 2013. 432 с.
3. Жукова И.А. Теоретические аспекты управления техногенными отходами как производственными ресурсами добывающих регионов // *Terra Economicus*. 2012. Т. 10. № 4. Ч. 2. С. 123–126.
4. Lyapin A.A., Parinov I.A., Buravchuk N.I., Cherpakov A.V., Shilyaeva O.V., Guryanova O.V. Improving Road Pavement Characteristics. Applications of Industrial Waste and Finite Element Modelling. Series: Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering. Springer Cham, Switzerland. 30.11.2020. P. 41–75.
5. Гипич Л.В. Вещественный состав пород горелых отвалов шахт Восточного Донбасса как критерий выбора направлений их технологического использования // Ресурсный потенциал твердых горючих ископаемых на рубеже XXI века: тр. X Всероссийского угольного совещания. Ростов н/Д: ВНИГРИУголь, 2001. С. 169–170.
6. Буравчук Н.И. Ресурсосбережение в технологии строительных материалов. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2009. 224 с.
7. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. Исследование и применение материалов из горелых пород шахтных отвалов // *Экология и промышленность России*. 2020. Т. 24. № 10. С. 26–32.
8. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. Использование техногенного сырья в производстве нерудных строительных материалов // *Изв. Сев-Кавк. техн. науки*. 2015. № 1. С. 111–117.
9. Кузнецов В.Д. Бетоны на отходах дробления скальных пород вскрыши Курской магнитной аномалии // *Изв. вузов. Строительство*. 1998. № 10. С. 73–75.

### References

1. *Deklaratsiya Rio-de-Zhaneyro po okruzhayushchey srede i razvitiyu 14.06.1992* [Rio de Janeiro Declaration on Environment and Development 14.06.1992]. Available at: <http://www.un.org/ru> (date of access: 27.04.2022).
2. Shpirt M.Ya., Artemyev V.B., Selyutin S.A. (2013) *Ispol'zovanie tverdykh otkhodov dobychi i pererabotki ugley* [The use of solid waste from coal mining and processing] *Gornoe delo, OOO «Kimmeriyskiy tsentr»* [Mining, LLC «Cimmerian Center»]. Moscow. P. 432.
3. Zhukova I.A. (2012) *Teoreticheskie aspekty upravleniya tekhnogennymi otkhodami kak proizvodstvennymi resursami dobyvayushchikh regionov* [Theoretical aspects of man-made waste management as production resources of mining regions] *Terra Economicus* [Terra Economicus]. Vol. 10. No. 4. Part 2. P. 123–126.
4. Lyapin A.A., Parinov I.A., Buravchuk N.I., Cherpakov A.V., Shilyaeva O.V., Guryanova O.V. (2020) *Improving Road Pavement Characteristics. Applications of Industrial Waste and Finite Element Modelling. Series: Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering*. Springer Cham, Switzerland. 30.11.2020. P. 41–75.
5. Gipich L.V. (2001) *Veshchestvennyy sostav porod gorelykh otvalov shakht Vostochnogo Donbassa kak kriteriy vzbora napravleniy ikh tekhnologicheskogo ispol'zovaniya* [The material composition of the rocks of the burnt dumps of the mines of Eastern Donbass as a criterion for choosing the directions of their technological use] *Resursnyy potentsial tverdykh goryuchikh iskopaemykh na rubezhe XXI veka: tr. X Vserossiyskogo ugol'nogo soveshchaniya VNIGRIUgol'* [Resource potential of solid combustible minerals at the turn of the XXI century: tr. X of the All-Russian Coal Meeting. Vnigriugol]. Rostov n/A: P. 169–170.
6. Buravchuk N.I. (2009) *Resursoberezhenie v tekhnologii stroitel'nykh materialov* [Resource conservation in the technology of building materials] *Izd-vo YuFUR* [Publishing house of the Southern Federal University]. Rostov n/A. P. 224.
7. Buravchuk N.I., Guryanova O.V. (2020) *Issledovanie i primeneniye materialov iz gorelykh porod shakhtnykh otvalov* [Research and application of materials from burnt rocks of mine dumps] *Ekologiya i promyshlennost'* [Ecology and industry of Russia]. Vol. 24. No. 10. P. 26–32.



8. Buravchuk N.I., Guryanova O.V. (2015) *Ispol'zovanie tekhnogenogo syr'ya v proizvodstve nerudnykh stroitel'nykh materialov* [The use of technogenic raw materials in the production of non-metallic building materials] *Izv. Sev-Kavk. tekhn. nauki* [News. North Caucasus. tech. sci.] No. 1. P. 111–117.
9. Kuznetsov V.D. (1998) *Betony na otkhodakh drobleniya skal'nykh porod vskryshi Kurskoy magnitnoy anomalii* [Concretes on rock crushing waste overburden of the Kursk magnetic anomaly] *Izv. vuzov. Stroitel'stvo* [Un-ty News. Construction]. No. 10. P. 73–75.