

УДК 666.616; 552.11

DOI 10.52928/2070-1616-2025-52-2-81-87

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НОВОДВОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

канд. техн. наук, доц. **С.Е. БАРАНЦЕВА**, канд. техн. наук, доц. **Ю.А. КЛИМОШ**,
канд. техн. наук, доц. **Р.Ю. ПОПОВ**, **А.И. ТАТУР**
(Белорусский государственный технологический университет, Минск)

Приведены результаты исследований комплексного использования полезных ископаемых Новодворского месторождения Республики Беларусь – глауконитсодержащих пород, базальтов и сапонитсодержащих туфов, для получения искусственных пористых заполнителей с требуемыми показателями физико-химических свойств. Данные экспериментальных исследований в комплексе с анализом специфики залегания пород, их минерального и химического состава позволили подтвердить возможность наиболее рационального использования полезных ископаемых и технологических отходов для сокращения их количества и минимизации площадей отвалов.

Ключевые слова: теплоизоляционный материал, глауконитсодержащая порода, базальт, сапонитсодержащий туф, химико-минеральный состав, термообработка, порообразование, структура.

Введение. Республика Беларусь обладает хорошим ресурсным потенциалом, который еще недостаточно широко используется, поэтому необходима постоянная работа по геологическому изучению недр и разработке месторождений полезных ископаемых.

В результате геологоразведочных работ в 2023 г. выполнена детальная разведка Новодворского месторождения базальтов и туфов – первого и единственного месторождения вышеуказанного сырья в Республике Беларусь, выявленного в 2016–2017 гг. в Пинском районе Брестской области [1–3]. При ее проведении использованы материалы предыдущих стадий изучения месторождения, в частности, поисково-оценочных работ 2016–2018 гг., предварительной разведки 2018–2020 гг., а также результаты научно-исследовательских работ Института природопользования НАН Республики Беларусь и кафедры технологии стекла, керамики и вяжущих материалов Белорусского государственного технологического университета.

По итогам проведенных исследований [4; 5] были разработаны составы керамических материалов различного назначения, в т.ч. искусственных пористых заполнителей с комплексом физико-химических свойств, рецептура сырьевых композиций которых обеспечивает показатели свойств, удовлетворяющие требованиям нормативно-технической документации.

Мотивация проведения исследований. Мотивацией для проведения настоящей научно-исследовательской работы является отсутствие в Республике Беларусь производства пористых заполнителей для легких бетонов из сырьевых композиций, в качестве основного компонента которых используются магматические и осадочные горные породы за исключением легкоплавкого глинистого сырья (производство керамзита).

Второй составной частью мотивации для проведения настоящей работы является расширение минерально-сырьевой базы республики за счет использования нетрадиционных для керамической отрасли полезных ископаемых перспективных к разработке месторождений (Новодворское месторождение базальтов и сапонитсодержащих туфов).

Третья составная часть мотивации – уменьшение экологической напряженности регионов, непосредственно прилегающих к горнодобывающим предприятиям, за счет утилизации некондиционных отсевов дробления пород и, соответственно, освобождения земель, занимаемых отходами, и превращения их в полезные сельскохозяйственные площади.

Цель исследования – корректировка качественного и количественного состава сырьевых композиций пористых материалов, обеспечивающего комплексное использование как полезных ископаемых (базальты, туфы), так и попутных (глауконитсодержащие пески, алевроиты и алевролиты); анализ рецептурно-технологических факторов, обеспечивающих формирование необходимой пористой структуры заполнителя и его физико-химических свойств.

Экспериментальная часть. Новодворское месторождение базальтов и туфов отличается специфическим залеганием пород, которые располагаются по высоте толщи сверху вниз в следующем порядке: вскрыша в виде строительных песков с примесью гравия → глауконитсодержащие пески, алевроиты и алевролиты → базальты → сапонитовые туфы. Учитывая разницу минерального (таблица 1) и химического (таблица 2) состава глауконитсодержащих пород, базальтов и сапонитсодержащих туфов [2; 3], представляло интерес комплексное использование пород в сырьевых композициях. Особенно важно использование базальтов в комбинации с глауконитсодержащей породой, а также с сапонитсодержащим туфом, в которых присутствует значительное количество глинистых составляющих.

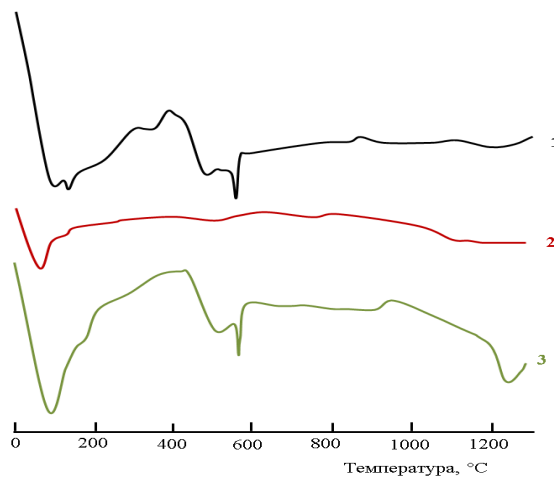
Таблица 1. – Средний минеральный состав используемых пород

Порода	Усредненный минеральный состав, мас. %
Глауконитсодержащая порода (алевриты, пески и алевролиты)	Кварц – 57; глауконит – 17; полевые шпаты (альбит, анортит, ортоклаз) – 11; каолинит – 7; мусковит – 3; сидерит – 3; фосфаты – 2
Базальт толеитовый	Плагиоклаз (андезин-лабрадор) – 30; моноклинный пироксен – 10; рудный (титаномагнетит, ильменит) – 9; цеолиты (клиноптилолит, морденит) – 5; вулканическое стекло, хлорофеит – 15, хлорит – 22,5; монтмориллонит – 17,5; гидрослюда – 5; гематит 3,5; кальцит 2,5; каолинит – 0,5
Туф сапонитсодержащий	Полевые шпаты (плагиоклаз, калиевые полевые шпаты) – 12,5; кварц – 10; биотит, мусковит – 0,5; моноклинный пироксен – 5; рудный (титаномагнетит, ильменит) – 3,5; цеолиты – 0,5; монтмориллонит (сапонит) – 20; гидрослюда 5; гематит – 5, доломит – 2,5; каолинит 2,5; хлорит 2,5; кальцит – 1,5

Таблица 2. – Средний химический состав исходных сырьевых компонентов

Компоненты	Содержание оксидов, мас. %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO+ Fe ₂ O ₃	K ₂ O+ Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	п.п.п.
Глауконитсодержащая порода	73,61	7,45	2,55	3,15	9,55	2,41	0,75	0,06	0,22	0,3
Базальт	46,11	11,49	5,0	7,87	14	4,3	1,74	0,31	–	9,18
Туф, скважина 9Д (10+11)	48,28	13,56	2,79	8,71	12,61	4,04	1,88	0,14	–	7,99
Глина «Лукомль»	55,2	14,1	5,6	–	34,42	7,62	–	–	–	9,0
Глина «Городное»	66,99	16,01	0,7	0,40	7,2	0,57	0,51	–	–	7,62

Сравнительная оценка кривых дифференциально-сканирующей калориметрии (рисунок 1) позволила конкретизировать физико-химические процессы и фазовые превращения при нагревании пород, а также температурные интервалы их плавления, необходимые для оптимизации температурных параметров режима обжига при получении пористых заполнителей.



1 – глауконитсодержащая валовая порода; 2 – базальт; 3 – туф сапонитсодержащий

Рисунок 1. – Кривые ДСК пород, используемых в сырьевых композициях пористых заполнителей

По результатам дифференциальной сканирующей калориметрии (см. рисунок 1, кривые 1, 3) можно отметить аналогию кривых ДСК глауконитсодержащей породы и сапонитсодержащего туфа, проявляющуюся в наличии эндотермических эффектов, соответствующих удалению свободной и физически связанной воды в интервале температур 80–145 °С; экзотермических эффектов, соответствующих окислению структурного железа (II) и переходу его в трехвалентное состояние при 305–410 °С. При температурах 490–540 °С происходит удаление конституционной воды из слоистой структуры глинистых (каолинит, мусковит) и гидрослюдистых минералов (глауконит, сапонит) и их последующее разложение. Эндоэффект в интервале температур 572–578 °С объясняется полиморфным превращением кварца.

На кривой ДСК базальта (см. рисунок 1, кривая 2) также отмечается эндотермический эффект, соответствующий удалению свободной и физически связанной воды в интервале температур 80–145 °С; проявляется

тенденция эндоэффекта, соответствующего полиморфным превращениям кварца (572–578 °С). Отличительным признаком кривой ДСК базальта является отсутствие термоэффектов, соответствующих разложению глинистых минералов и карбонатов.

Температура плавления, согласно кривым ДСК и проведенной многопозиционной термической обработке, фиксируется при следующих температурах: для глауконитсодержащей породы – 1200 °С, базальта – 1195 °С, туфа – 1210 °С.

На первом этапе исследования изучалась возможность совместного использования базальтов и глауконитсодержащих пород. Качественный и количественный состав сырьевых композиций серии ГБ (таблица 4) характеризует вариации их содержания. В качестве пластификатора использовалась глина «Лукомль» в количестве 20 мас.% (сверх 100%). Порообразователем являлся карбид кремния, добавка которого составляла 0,5 мас. % (сверх 100%).

Таблица 4. – Качественный и количественный состав сырьевых композиций серии ГБ

Компоненты	Содержание компонентов, мас. %						
	ГБ-1	ГБ-2	ГБ-3	ГБ-4	ГБ-5	ГБ-6	ГБ-7
Глауконитсодержащая порода	20	30	40	50	60	70	80
Базальт	80	70	60	50	40	30	20
Глина (сверх 100%)	20	20	20	20	20	20	20
Карбид кремния (сверх 100%)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Расчетный химический состав обожженных образцов серии ГБ приведен в таблице 5.

Таблица 5. – Расчетный химический состав образцов серии ГБ

Индекс состава	Массовое содержание оксидов, %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO+Fe ₂ O ₃	K ₂ O+Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Σ
ГБ-1	54,31	11,62	4,86	6,23	16,71	4,62	1,39	0,23	0,04	100
ГБ-2	56,33	11,17	4,60	5,76	16,18	4,41	1,29	0,21	0,06	100
ГБ-3	58,32	10,72	4,35	5,30	15,66	4,21	1,19	0,19	0,08	100
ГБ-4	60,27	10,28	4,10	4,84	15,15	4,01	1,09	0,16	0,10	100
ГБ-5	62,20	9,85	3,85	4,39	14,64	3,81	1,00	0,14	0,12	100
ГБ-6	64,10	9,43	3,61	3,95	14,14	3,62	0,91	0,12	0,13	100
ГБ-7	66,05	8,91	3,40	3,55	13,61	3,42	0,82	0,10	0,14	100

При изготовлении образцов пористых заполнителей исходные сырьевые компоненты измельчались, подвергались сушке до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре (105±5) °С. Приготовление массы осуществлялось поэтапно путем тщательного смешивания компонентов в сухом состоянии и последующем добавлении соответствующего количества воды.

Из массы формовались сырьевые гранулы, которые подсушивались в течение суток в естественных условиях и поступали на термическую обработку (вспучивание) по соответствующему режиму, включающему двухстадийную выдержку при определенных температурах, обеспечивающих переход системы в пиропластическое состояние и поризацию, после чего проводилось инерционное охлаждение. Состояние поверхности гранул пористого заполнителя и скола материала изучалось визуально.

Основными критериальными свойствами пористых заполнителей являются объемная и насыпная плотность, водопоглощение, коэффициент вспучивания, коэффициент теплопроводности и морозостойкость, которые определялись в соответствии с требованиями нормативно-технической документации. На рисунке 2 приведены значения показателей вышеуказанных свойств образцов пористых заполнителей с вариативным содержанием базальта и глауконитсодержащей породы Новодворского месторождения.

Анализ показателей физико-химических свойств образцов серии ГБ, обожженных при температуре 1210 °С (см. рисунок 1), свидетельствует о том, что они несколько ухудшаются при увеличении в сырьевой композиции количества глауконитсодержащей породы. Так, коэффициент вспучивания уменьшается практически в два раза (рисунок 2, б), при этом объемная плотность также монотонно увеличивается, что наглядно прослеживается на рисунке 2, а, в. Существенного изменения водопоглощения не наблюдается, т.к. спекание образцов происходит практически однотипно (рисунок 2, г).

Таким образом, данные свидетельствуют о возможном комплексном использовании базальтовых и глауконитсодержащих пород Новодворского месторождения в различных вариациях, однако, количество глауконитсодержащей породы не должно превышать 50 мас.%. Это обеспечит наиболее рациональное использование полезных ископаемых месторождения и минимизацию площадей отвалов, предусматриваемых для отходов их добычи.

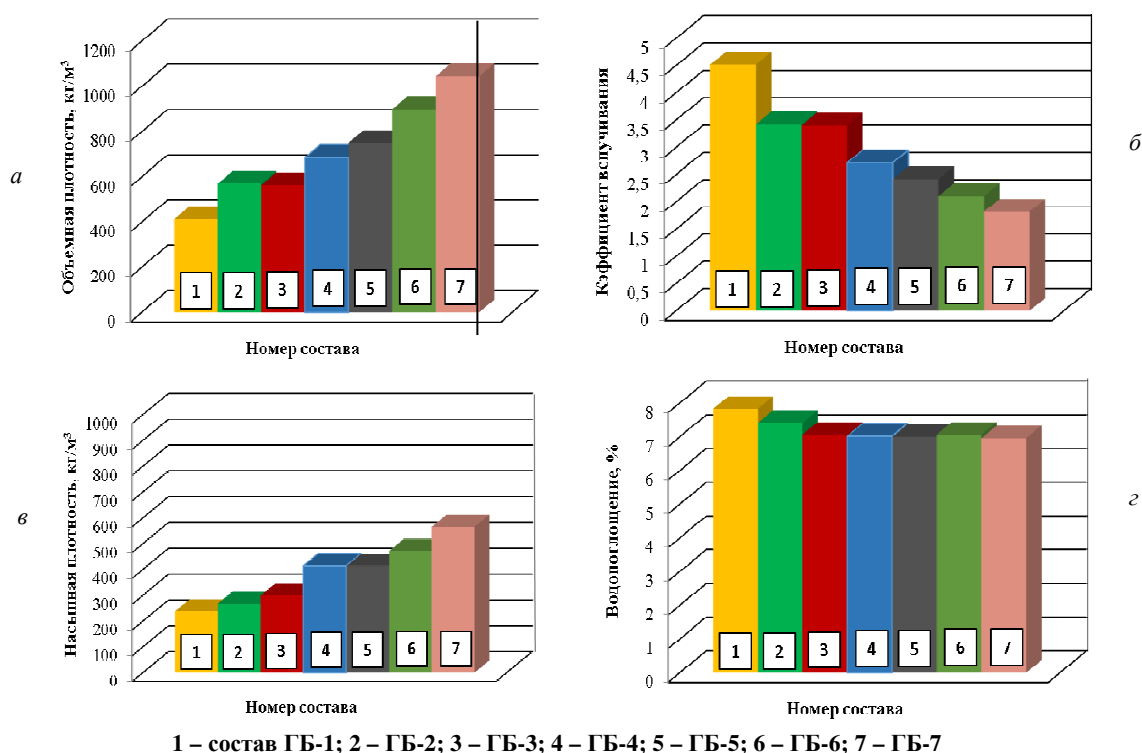


Рисунок 2. – Показатели объемной плотности (а), коэффициента вспучивания (б), насыпной плотности (в) и водопоглощения (г) экспериментальных образцов теплоизоляционных пористых заполнителей

Фотографии образцов пористых заполнителей приведены на рисунке 3.



Рисунок 3. – Фотографии вспученных образцов пористых заполнителей серии ГБ, поверхности гранул и их поперечных срезов

Вторым этапом исследования стало изучение возможности комплексного использования базальта, глауконитсодержащей породы и сапонитсодержащего туфа в сырьевых композициях пористых заполнителей. В качестве пластифицирующего компонента применялась глина месторождения «Городное». Химический состав сырьевых материалов приведен в таблице 2. Качественный и количественный вариативный состав сырьевых композиций с комплексным введением трех пород Новодворского месторождения (базальта, глауконитсодержащей породы и сапонитсодержащего туфа) – в таблице 6 (серия ГБТ). Технологический процесс получения образцов пористых заполнителей серии ГБТ был аналогичен процессу получения образцов серии ГБ.

Таблица 6. – Состав сырьевых композиций пористых заполнителей с комплексным введением пород

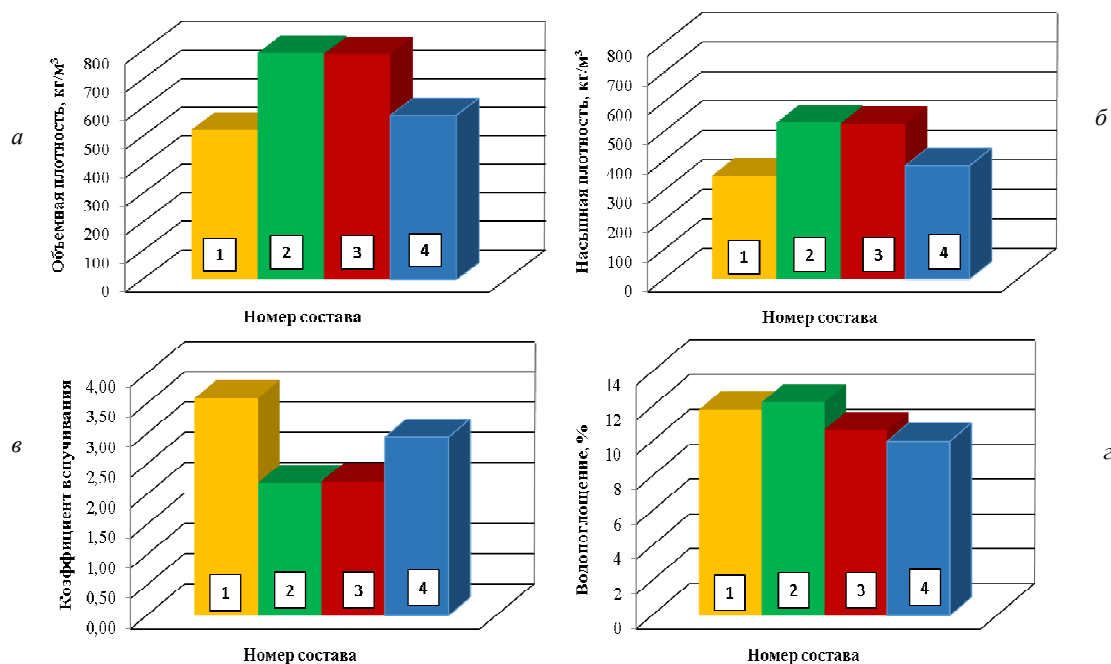
Компоненты	Содержание компонентов, мас. %			
	ГБТ-1	ГБТ-2	ГБТ-3	ГБТ-4
Глауконитовая порода	25	35	25	15
Базальт	25	15	35	25
Туф сапонитсодержащий	25	25	15	35
Глина «Городное»	25	25	25	25
Карбид кремния (сверх 100)	0,5	0,5	0,5	0,5

Расчетный химический состав обожженных образцов серии ГБТ приведен в таблице 7.

Таблица 7. – Расчетный химический состав образцов серии ГБТ

Индекс состава	Массовое содержание оксидов, %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO+ Fe ₂ O ₃	K ₂ O+ Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Σ
ГБТ-1	62,66	12,94	2,94	5,37	11,57	3,02	1,30	0,14	0,66	100
ГБТ-2	61,50	12,1	2,60	7,02	10,73	2,72	1,16	0,10	0,08	100
ГБТ-3	58,53	12,73	3,18	5,29	11,73	3,05	1,29	0,15	0,06	100
ГБТ-4	56,21	13,71	2,99	6,01	12,0	3,22	1,43	0,16	0,03	100

На рисунке 4 приведены значения показателей основных физико-химических свойств образцов пористых заполнителей с вариативным содержанием трех пород Новодворского месторождения (серия ГБТ).



1 – состав ГБТ-1; 2 – ГБТ-2; 3 – ГБТ-3; 4 – ГБТ-4

Рисунок 4. – Показатели объемной плотности (а), насыпной плотности (б), коэффициента вспучивания (в) и водопоглощения (г) экспериментальных образцов пористых заполнителей серии ГБТ

Анализ показателей физико-химических свойств образцов серии ГБТ, обожженных при температуре 1210 °С с выдержкой 5 мин (см. рисунок 4), свидетельствует о том, что все экспериментальные составы с вариативным содержанием составляющих компонентов (базальт, глауконитсодержащая порода, сапонитсодержащий туф и глинистый компонент) обеспечивают получение теплоизоляционных пористых заполнителей с показателями физико-химических свойств, удовлетворяющими требованиям стандартов к материалам аналогичного назначения.

Вместе с тем следует отметить, что увеличение количества глауконитсодержащей породы (см. рисунок 4, составы 2, 3) вызывает некоторое незначительное ухудшение показателей объемной и насыпной плотности, а также коэффициента вспучивания. Существенного изменения водопоглощения не наблюдается (см. рисунок 4, г), так как спекание образцов происходит практически однотипно и аналогично составам серии ГБ (см. рисунок 2, г).

Фотографии образцов пористых заполнителей серии ГБТ приведены на рисунке 5.

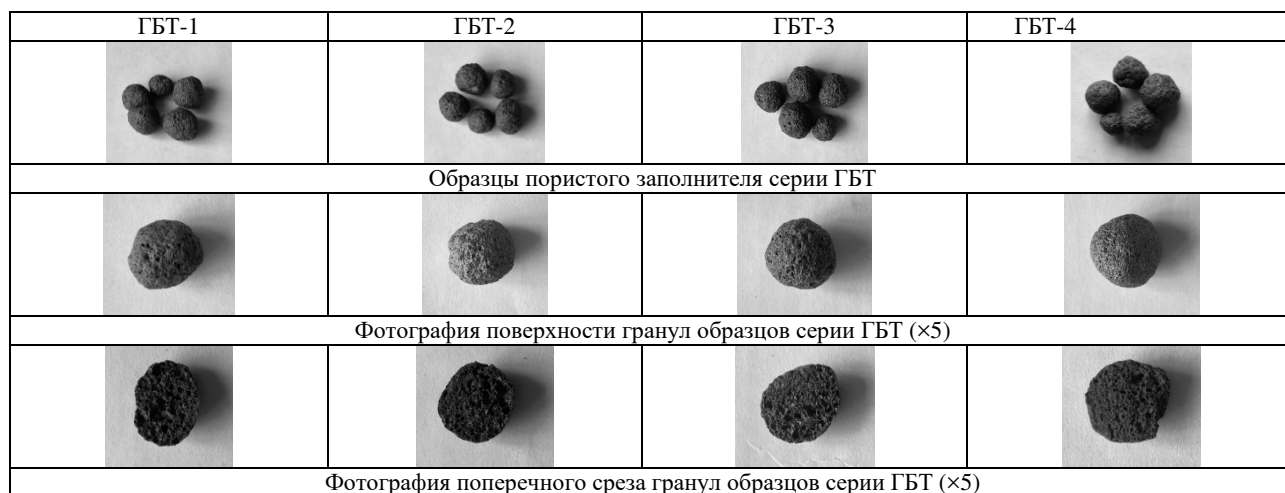


Рисунок 5. – Фотографии вспученных образцов пористых материалов серии ГБТ, поверхности гранул и их поперечных срезов

Вышеприведенные данные свидетельствуют о возможном комплексном использовании базальтовых, глауконитсодержащих пород и сапонитсодержащих туфов Новодворского месторождения в различных вариациях (см. таблицу 6), при этом составы ГБТ-1 и ГБТ-4 практически одинаковы по показателям технологических и физико-химических свойств.

Для оптимальных составов ГБ-4, ГБ-5 и ГБТ-1 дополнительно определены эксплуатационные свойства, показатели которых представлены в таблице 8. Согласно результатам, разработанные пористые заполнители соответствуют требованиям, предъявляемым к материалам аналогичного назначения.

Таблица 8. – Усредненные показатели свойств разработанных пористых заполнителей составов ГБ-4, ГБ-5 и ГБТ-1

Свойства	Показатели свойств
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	0,075–0,085
Прочность при сжатии, МПа	2,3 –2,5
Высота падения сырьевых гранул без разрушения, см	90–100
Морозостойкость, циклов	130–160
Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, Бк/кг	90,0–93,0

Заключение. В результате проведенных исследований определены основные рецептурно-технологические факторы получения искусственных пористых заполнителей посредством комплексного и комбинированного использования полезных ископаемых Новодворского месторождения в экспериментально подтвержденных вариативных количествах. Разработанные материалы рекомендуются в качестве пористых заполнителей в производстве легких бетонов, блоков «термокомфорт», а также в качестве теплоизоляционной засыпки в индивидуальном строительстве.

При промышленной разработке Новодворского месторождения будет обеспечиваться наиболее рациональное и эффективное использование полезных ископаемых, их техногенных отходов – некондиционных отсеков дробления базальтов, отходов добычи глауконитсодержащих пород и туфов. Это внесет определенный вклад в расширение минерально-сырьевой базы республики, улучшение экологической ситуации прилегающих к горнопромышленному предприятию территорий и будет способствовать сокращению и минимизации площадей, занимаемых отвалами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вендские траппы Беларуси – перспективное сырье для силикатной промышленности / О.Ф. Кузьменкова, И.А. Левицкий, С.Е. Баранцева, Позняк А.И. и др. // Літасфера. – 2012. – № 2(37). – С. 130–137.
2. Базальты Пинской поисковой площади: геология и перспективы использования / О.Ф. Кузьменкова, В.П. Дашкевич, Г.Б. Качанко и др. // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сб. докл. Междунар. науч. конф. / Минск (14–17 сент. 2016 г.). – Минск: Бел. навука, 2016. – Т. 1. – С. 544–550.
3. Глауконитсодержащие породы поискового участка Пинский (Беларусь) / О.Ф. Кузьменкова, Г.Д. Стрельцова, Т.М. Миненкова и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования: материалы Междунар. науч. конф., посвященной 215-летию со дня рождения И. Домейко / Минск (31 июля – 3 авг. 2017 г.). – Минск: СтройМедиаПроект, 2017. – С. 172–176.

4. Магматические и осадочные породы Республики Беларусь – сырьевая основа для получения теплоизоляционных пористых материалов / С.Е. Баранцева, А.И. Позняк, Ю.А. Климош и др. // Научно-технологические и инновационные (XXIV научные чтения): сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. / Белгород (22–22 окт. 2021 г.). – Белгород: БГТУ, 2021. – С. 12–16.
5. Теплоизоляционный пористый материал на основе глауконитсодержащих песков и алевритов Новодворского месторождения Республики Беларусь / С.Е. Баранцева, А.И. Позняк, Ю.А. Климош и др. // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. хим. наук. – 2021. – Т. 57, № 4. – С. 463–471. DOI: 10/29235/1561-8331-2021-4-463-471

REFERENCES

1. Kuz'menkova, O.F., Levitskii, I.A., Barantseva, S.E. & Poznyak, A.I. (2012). Vendские trappy Belarusi – perspektivnoe syr'e dlya silikatnoi promyshlennosti [Vendian traps of Belarus – promising raw material for silicate industry]. *Litasfera*, 2(37), 130–137. (In Russ., abstr. in Belarus., in Engl.).
2. Kuz'menkova, O.F., Dashkevich, V.P., Kachanko, G.B., Strel'tsova, G.D. & Mankevich, S.S. (2016). Bazal'ty Pinskoi poiskovoi ploshchadi: geologiya i perspektivy is-pol'zovaniya [Basalts of the Pinsk Search Area (Geology, Prospects)]. In: *Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya prirodnikh resursov i ustoychivoe razvitiye Poles'ya: sb. dokl. Mezhdunar. nauch. konf. / Minsk (14–17 sent. 2016 g.). V 2 t. T. 1* (544–550). Minsk: Belaruskaya navuka. (In Russ., abstr. in Belarus., in Engl.).
3. Kuz'menkova, O.F., Strel'tsova, G.D., Minenkova, T.M., Lappo, G.A., Kachanko, G.B., Laptsevich, A.G., ... & Mankevich, S.S. (2017). Glaukonitsoderzhashchie porody poiskovogo uchastka Pinskii (Belarus') [Glauconite Containing Rocks of Pinsk Search Area (Belarus)]. In: *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy zapada Vostochno-Evropeiskoi platformy: problemy izucheniya i ratsional'nogo ispol'zovaniya: materialy Mezhdunar. nauch. konf., posvyashchennoi 215-letiyu so dnya rozhdeniya I. Domeiko / Minsk (31 iyulya – 3 avg. 2017 g.)* (172–176). Minsk: StroiMediaProekt. (In Russ., abstr. in Belarus., in Engl.).
4. Barantseva, S.E., Poznyak, A.I., Klimosh, Yu.A. (2021). Magmaticheskie i osadochnye porody Respubliki Belarus' – syr'evaya osnova dlya polucheniya teploizolyatsionnykh poristyykh materialov. In: *Naukoemkie tekhnologii i innovatsii (XXIV nauchnye chteniya): sb. докладов Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. / Belgorod (22–22 okt. 2021 g.)*. (12–16). Belgorod: BGUTU. (In Russ.).
5. Barantseva, S.E., Poznyak, A.I., Klimosh, Yu.A., Azarenko, I.M., Gundilovich, N.N. & Pospelov, A.V. (2021). Teploizolyatsionnyy poristy material na osnove glaukonitsoderzhashchikh peskov i alevritov Novodvorskogo mestorozhdeniya Respubliki Belarus'[Heat-insulating porous material based on glauconite-containing sands and aleurites of the Novodvorskoye deposit of the Republic of Belarus]. *Vestnik Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya khimicheskikh nauk [Bulletin of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Chemical Sciences]*, 57(4), 463–471 DOI: 10/29235/1561-8331-2021-4-463-471 (In Russ., abstr. in Belarus., in Engl.).

Поступила 30.06.2025

**COMPREHENSIVE USE OF MINERAL RESOURCES
OF THE NOVODVORSKY DEPOSIT
FOR THE PRODUCTION OF ARTIFICIAL POROUS AGGREGATES**

S. BARANTSEVA, Y. KLIMOSH, R. POPOV, A. TATUR
(Belarusian State Technological University, Minsk)

The results of studies of the integrated use of minerals from the Novodvorskoye deposit of the Republic of Belarus – glauconite-containing rocks, basalts and saponite-containing tuffs for the production of porous aggregates with the required physical and chemical properties are presented. Data from experimental studies, combined with an analysis of the specific occurrence of rocks, their mineral and chemical composition, made it possible to confirm the possibility of the most rational use of minerals and technological waste to reduce their quantity and minimize dump areas.

Key words: thermal insulation material, glauconite-containing rock, basalt, saponite-containing tuff, chemical and mineral composition, heat treatment, pore formation, structure.