

Научная статья
УДК 691.3
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-1-148-158>
EDN: FWXZVC



КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫВЕТРЕННЫХ КВАРЦИТОПЕСЧАНИКОВ КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ

И.А. Столетова (И.А. Черепанова) ✉, **В.С. Лесовик, Е.В. Фомина**
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород, Россия
✉ ответственный автор
irinadiusa@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Введение. Актуальные проблемы качества жизни человека принимают глобальный характер и проявляются в деградации окружающей среды и активизации аномальных техногенных и природных процессов. Решение проблемы по созданию комфортных условий жизни человека возможно путем применения новых технологий и подходов; рационального использования минерального сырья с учетом его генезиса. Особо актуально применение горных пород, специально подготовленных геологическими процессами.

Методика исследования. Исследование характеристик сырьевых материалов осуществлялось при помощи растровой микроскопии и рентгенофазового анализа. Определялись также сравнительные показатели кварцитопесчаников, что позволило всесторонне оценить свойства этого сырья.

Результаты. Установлено, что состав и свойства выветренных кварцитопесчаников оказывают существенное влияние на процессы структурирования композиционного вяжущего. Выделяющийся при гидратации клинкерных минералов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ взаимодействует с аморфными фазами этой породы с образованием гидросиликатов кальция второй генерации, что приводит к оптимизации структуры цементного камня.

Заключение. Результаты научных исследований говорят об улучшении прочностных характеристик композиционных вяжущих с использованием выветренного кварцитопесчаника во всех случаях по сравнению с вяжущими на невыветренном кварцитопесчанике. Максимальное значение достигается у композиционного вяжущего КВ20 (при расходе наполнителя в количестве 20%) и превышает прочностные показатели цемента на 23% при увеличении удельной поверхности цемента с 500 до 700 м²/кг, при этом происходит уплотнение композита.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: техногенное сырье, отходы производства, безопасность среды, минеральное сырье, отсеб дробления кварцитопесчаника, выветренные кварцитопесчаники, архитектурный бетон, композиционные вяжущие

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. В.С. Лесовик – член редакционного совета журнала «Вестник СиБАДИ». Журнал «Вестник СиБАДИ» не освобождает от рецензирования рукописи ученых вне зависимости от их статуса.

БЛАГОДАРНОСТИ: исследование выполнено за счет гранта РНФ № 22-19-20115, <https://rscf.ru/project/22-19-20115/> и Правительства Белгородской области, Соглашение № 3 от 24.03.2022.

Статья поступила в редакцию 11.10.2024; одобрена после рецензирования 27.11.2024; принята к публикации 24.02.2025.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Столетова И.А. (Черепанова И.А.), Лесовик В.С., Фомина Е.В. Композиционные вяжущие с использованием выветренных кварцитопесчаников курской магнитной аномалии // Вестник СиБАДИ. 2025. Т. 22, № 1. С. 148-158. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-1-148-158>

© Столетова И.А. (Черепанова И.А.), Лесовик В.С., Фомина Е.В., 2025



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-1-148-158>

EDN: FWXZVC

COMPOSITE BINDERS BASED ON WEATHERED QUARTZITE SANDSTONES OF THE KURSK MAGNETIC ANOMALY

Irina A. Stoletova (Irina A. Cherepanova) ✉, Valery S. Lesovik, Ekaterina V. Fomina

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Belgorod, Russia*

✉ *corresponding author
irinadiusa@gmail.com*

ABSTRACT

Introduction. Current problems of human life quality are taking on a global character and manifest themselves in environmental degradation and the activation of abnormal man-made and natural processes. The solution to the problem of creating comfortable human living conditions is possible through the use of new technologies and approaches; rational use of mineral raw materials, taking into account their genesis. The use of rocks specially prepared by geological processes is especially relevant.

Results. It has been established that the composition and properties of weathered quartzite sandstones have a significant effect on the structuring processes of the composite binder. $\text{Ca}(\text{OH})_2$, released during hydration of clinker minerals, interacts with amorphous phases of this rock to form calcium hydrosilicates of the second generation, which leads to optimization of the cement stone structure.

Conclusion. The results of scientific research indicate an improvement in the strength characteristics of composite binders based on weathered quartzite sandstone in all cases compared to binders based on unweathered quartzite sandstone. Maximal value is obtained for KV20 composite binder (with filler consumption up to 20 per cent), which is 23 per cent higher than strength characteristics for specific surface area of cement from 500 to 700 m²/kg, with accompanying compaction of the composite material.

KEYWORDS: man-made raw materials, industrial waste, environmental safety, mineral raw materials, crushing screening quartzite sandstone, weathered quartzite sandstone, architectural concrete, composite binders

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare no conflict of interest. Lesovik V.S. is a member of the editorial council of The Russian Automobile and Highway Industry Journal. The Russian Automobile and Highway Industry Journal does not exempt scientists from reviewing the manuscript, regardless of their status.

ACKNOWLEDGEMENTS. The research was carried out at the expense of the RNF grant № 22-19-20115, <https://rscf.ru/project/22-19-20115/> and the Government of Belgorod region, Agreement №3 from 24.03.2022.

The article was submitted: 11.10.2024; approved after reviewing: 27.11.2024; accepted for publication: 24.02.2025.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Stoletova I.A. (Cherepanova I.A.), Lesovik V.S., Fomina E.V. Composite binders based on weathered quartzite sandstones of the Kursk Magnetic Anomaly. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2025; 22 (1): 148-158. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-1-148-158>

© Stoletova I.A. (Cherepanova I.A.), Lesovik V.S., Fomina E.V., 2025



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Предложены научно-технологические основы получения, проектирования и производства композиционных вяжущих для архитектурных бетонов с использованием подготовленных геологическими процессами минеральных добавок выветренного кварцитопесчаника¹, заключающиеся в управлении процессами структурообразования за счет связывания выделяющегося при гидратации клинкерных минералов гидроксида кальция с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция второй генерации, что обеспечивает уплотнение структуры и упрочнение бетона [1].

ВВЕДЕНИЕ

Основными источниками дестабилизации окружающей среды обитания человека на сегодняшний день являются: нарастание глобальных экологических проблем, деградация природной среды, истощение ресурсного потенциала и неблагоприятное воздействие техногенных факторов. Все это негативно сказывается на жизнедеятельности человека и снижает его иммунитет [2, 3]. Таким образом, проблема среды обитания человека является одной из важнейших задач современного общества². Ее решение возможно за счет применения новых технологий и подходов; комплексного использования горных пород и минералов, подготовленных естественными геологическими процессами с учетом последних научных достижений и инженерных разработок. Наиболее актуально применение минерального сырья с учетом его генезиса и факторов природного формирования [4, 5].

Таким образом, важным инструментом для успешного решения задачи по созданию качественной и комфортной среды обитания для человека становится архитектурный бетон на основе композиционного вяжущего с использованием выветренных кварцитопесчаников [6].

Данные горные породы обладают высокой реакционной способностью по сравнению с породами, незатронутыми процессами выветривания, за счет особенностей генезиса в условиях активно действующих экзогенных

геологических процессов, что приводит к снижению энергоемкости при производстве строительных материалов гидратационного твердения [7].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной статье мы рассматривали геологические процессы как этап технологии производства строительных материалов. Выветренные кварцитопесчаники, в отличие от традиционных, подвержены сложному комплексу механических, физических, химических и биологических процессов, вследствие чего происходит разрушение текстуры и структуры исходных горных пород, а породообразующие минералы испытывают определенные деформации [8].

При выветривании происходит разрушение текстуры и структуры исходных горных пород за счет целого комплекса процессов, в том числе неравномерного нагревания и охлаждения. Различные породообразующие минералы имеют неодинаковые коэффициенты теплового расширения, поэтому при изменении температуры испытывают деформации в различной степени. И в результате длительного воздействия колебаний температуры, а также других факторов (например, замерзания и оттаивания в микротрещинах воды и т.д.) кварцитопесчаники распадаются на отдельные обломки.

На основании предварительных исследований, произведенных путем микроскопического анализа, а также изучения фазовой структуры кварцитопесчаника, были зафиксированы различия в визуальных характеристиках и сформированы сравнительные показатели кварцитопесчаника, которые доказывают, что выветренный кварцитопесчаник значительно отличается по свойствам от традиционных пород кварцитопесчаника, не подверженных процессам выветривания. Поэтому данная порода непригодна для производства щебня [9].

Далее, с учетом вышеизложенных данных, были изучены особенности гранулометрического состава выветренных кварцитопесчаников и свойства композиционных вяжущих на их основе.

¹ Лесовик В.С., Воронцов В.М. Сырьевая база промышленности строительных материалов: учебное пособие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 207 с.

² Lesovik V.S., Elistratkin M.Yu., Fomina E.V., Sheremet A.A., Vodopyanova A.A. Composites and the human environment as a continuous process of interaction // Fundamental search and applied research of RAASN on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2022-2023. Scientific works of RAASN. In 2 volumes. Moscow, 2024. Publisher: ASV Publishing House. pp. 251–259.

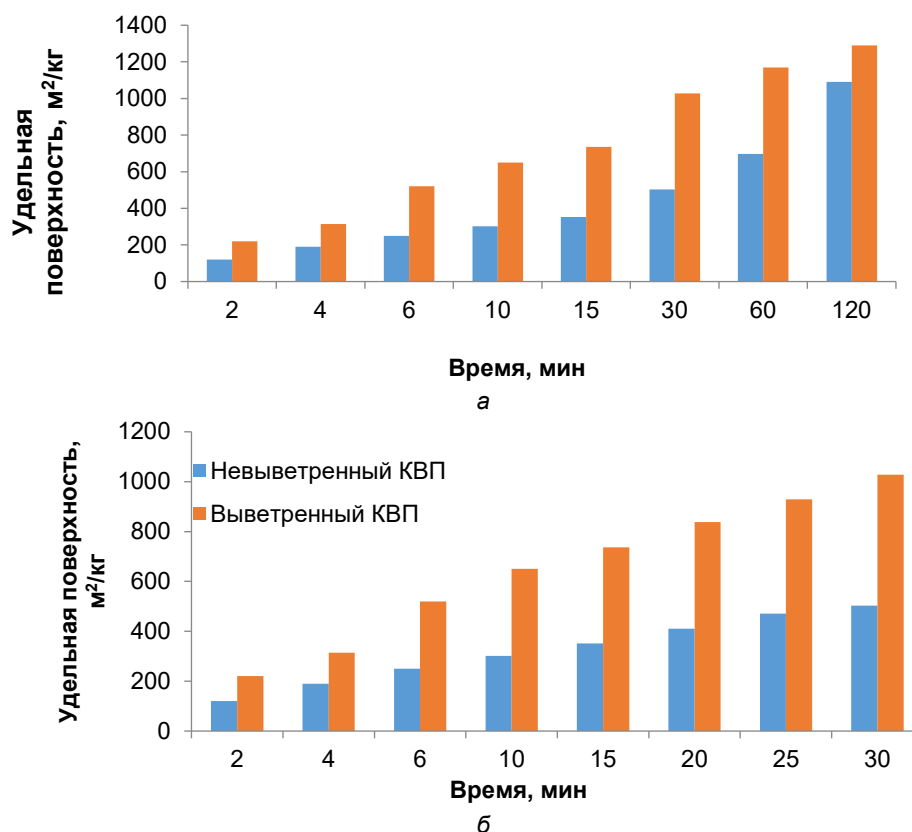


Рисунок 1 – Кинетика помола кварцитопесчаников:
 а – продолжительность помола до 30 мин;
 б – продолжительность помола до 120 мин
 Источник: составлено авторами.

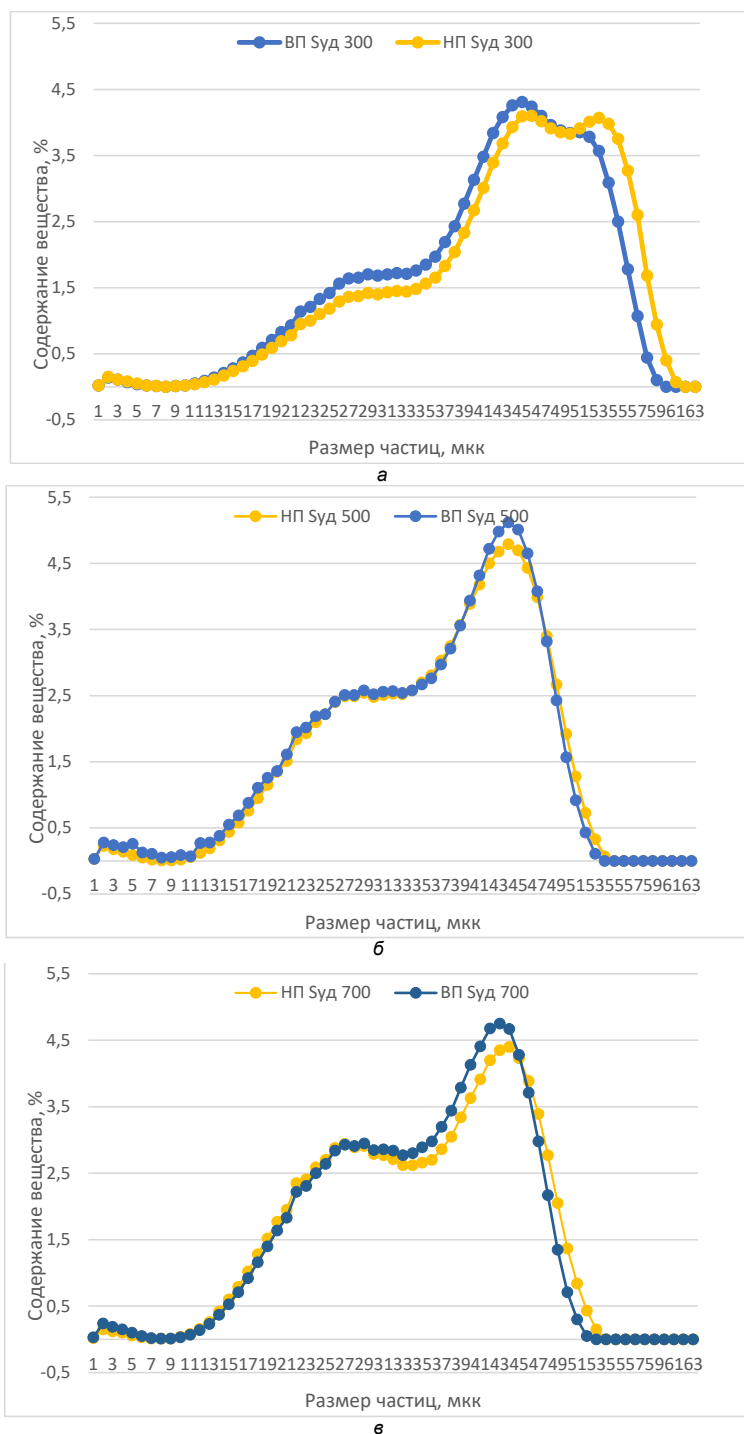
Figure 1 – Kinetics of quartzite sandstone grinding:
 а – grinding time up to 30 min;
 б – grinding time up to 120 min
 Source: compiled by the author.

Важным этапом научных исследований возможности использования выветренного кварцитопесчаника в композиционных вяжущих в качестве наполнителя стало изучение кинетики помола данной породы (рисунок 1). Помол производился в трубной шаровой мельнице при 30 об/мин в течение 30 мин. В первые 10 мин помола пробы отбирали каждые 2 мин для определения удельной поверхности, далее – каждые 10 мин.

В течение 30 мин помола удельная поверхность выветренного кварцитопесчаника составила 1000 м²/кг, а в случае невыветренного кварцитопесчаника за это время достигается только 500 м²/кг. При продолжении помола удельная поверхность невыветренного кварцитопесчаника 1000 м²/кг была зафиксирована лишь через 2 ч от начала эксперимента. За счет наличия микротрещин, пор и пустот, а также более дефектной аморфной фазы

в выветренной породе, процесс ее помола идет значительно эффективней по сравнению со свежим кварцитопесчаником. Данный факт дает существенное преимущество выветренным кварцитопесчаникам относительно экономической эффективности в масштабе промышленного производства строительных материалов [10, 11].

Далее в работе были изучены гранулометрические составы размолотых до удельной поверхности 300, 500 и 700 м²/кг кварцитопесчаников, чтобы проанализировать их возможные различия при одной и той же удельной поверхности (рисунок 2). Анализ результатов показал, что у кривых и на выветренном, и на свежем кварцитопесчанике наблюдается схожий характер распределений частиц по размерам относительно друг друга, но со смещением в область более мелких частиц кривой выветренного кварцитопесчаника во всех случаях.



*НП – невыветренный кварцитопесчаник, ВП – выветренный кварцитопесчаник

Рисунок 2 – Характер распределения частиц по размерам у тонкомолотого кварцитопесчаника:
 а – удельная поверхность кварцитопесчаника 300 м²/кг;
 б – удельная поверхность кварцитопесчаника 500 м²/кг;
 в – удельная поверхность кварцитопесчаника 700 м²/кг
 Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Particle size distribution pattern for finely ground quartzite sandstone:
 а – specific surface area of quartzite sandstone 300 м²/кг,
 б – specific surface area of quartzite sandstone 500 м²/кг,
 в – specific surface area of quartzite sandstone 700 м²/кг.
 Source: compiled by the author.

При помоле до 300 м²/кг заметно, что график невыветренного кварцитопесчанника смещен в сторону больших размеров. Это отражается и на среднем размере частиц, который составил 18 и 11 для невыветренного и выветренного кварцитопесчанника соответственно.

При дальнейшем увеличении удельной поверхности до 500 м²/кг графики распределения частиц максимально приближены к друг другу с двумя пиками: менее выраженным от 0,5 до 3,5 мкм и более ярко выраженном от 8 до 60 мкм. Здесь средний размер частиц составляет 8 и 6 мкм соответственно.

При помоле до $S_{уд} = 700$ м²/кг образуется 2 ярко выраженных пика в области 0,3–4 мкм; 4–50 мкм. При этом большее количество мельчайших частиц (область первого пика) наблюдается у выветренного кварцитопесчанника.

Полученные результаты повышения доли мельчайших частиц у выветренного кварцитопесчанника по сравнению с породой, незатронутой процессами выветривания, при разных удельных поверхностях кварцитопесчанников доказывают, что процессы выветривания оказывают положительное влияние на процесс помола кварцитопесчанника, значительно ускоряя его.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Способом получения композиционных вяжущих с использованием кварцитопесчанника в

количестве 20 и 50% был выбран отдельный помол, поскольку установлено, что исследуемые породы обладают разной размолоспособностью. Так при совместном помоле вяжущих и наполнителей в случае использования выветренного кварцитопесчанника возможно достижение общей удельной поверхности за счет более тонкого измельчения наполнителя, а при использовании невыветренного кварцитопесчанника – более тонкого помола цемента. В таком случае более тонкодисперсный минеральный порошок будет в большей степени способствовать активации процессов гидратации вяжущего и наоборот, что затруднит сравнительный анализ результатов [12, 13].

Предварительно цемент ЦЕМ I 42,5 Н был размолот до удельной поверхности 500 и 700 м²/кг. Далее цемент смешивали с наполнителями и домальвали в течение 1 мин на вибрационной мельнице для совместной гомогенизации [14]. Затем готовили образцы-кубики размером 3х3х3 см из теста нормальной плотности. Были определены показатели прочности в 28-суточном возрасте и реологические характеристики вяжущих. При этом нормальная плотность портландцемента составила 26,7%, а показатели удельной поверхности вводимого размолотого отсева кварцитопесчанника составили 300, 500 и 700 м²/кг (таблицы 1, 2).

Таблица 1
Влияние кварцевого сырья на прочность композиционного вяжущего
Источник: составлено авторами.

Table 1
The effect of quartz raw materials on the strength of a composite binder
Source: compiled by the author.

№ п/п	Состав (вяжущее)	Удельная поверхность, м²/кг		Предел прочности при сжатии, МПа	
		ПЦ	Кварцитопесчанник	Невыветренный кварцитопесчанник	Выветренный кварцитопесчанник
1	КВ20	500	300	46,9	49,1
			500	54,1	57,5
			700	55,5	58,5
2		700	300	58,3	60,7
			500	59,8	62,1
			700	59,2	65,5
3	КВ50	500	300	32,6	34,3
			500	46,5	49,2
			700	45,0	50,3
4		700	300	49,5	50,3
			500	52,3	53,4
			700	52,9	53,8
5	ПЦ	305	-	55,2	

*КВ20 (50) – замена цемента на 20 и 50% кварцитопесчанника

*KV20 (50) – replacement of cement with 20 and 50% quartzite sandstone

Таблица 2

Показатели нормальной густоты и сроки схватывания композиционных вяжущих
Источник: составлено авторами.

Table 2

Indicators of normal density and setting time of composite binders
Source: compiled by the author.

Класс	Суд, м ² /кг	Нормальная густота, %	Сроки схватывания, ч: мин	
			начало	конец
ЦЕМ I 42,5Н	320	26,7	1: 30	4: 30
KB20в	535	29,8	1: 50	2: 50
KB20н	513	28,2	1: 45	2: 35
KB50в	490	34,7	2: 05	3: 20
KB50н	500	33,8	1: 95	3: 10

Установлено, что при увеличении удельной поверхности цемента с 500 до 700 м²/кг происходит увеличение прочности у всех композиционных вяжущих. Однако такой эффект более значительно выражен у композиционных вяжущих с использованием выветренного кварцитопесчаника. Это объясняется большим содержанием аморфного кремнезема в составе такого кварцитопесчаника, который будет активнее реагировать с выделяющимся при гидратации гидроксидом кальция, образуя низкосоновые гидросиликаты кальция и уплотняя композит.

Анализ прочностных показателей вяжущих с 20% кварцитопесчаника в составе показал, что при удельной поверхности цемента $S_{\text{цемуд}} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ увеличение удельной поверхности наполнителей до 700 м²/кг является нецелесообразным с точки зрения энергоёмкости процесса, поскольку не приводит к существенному возрастанию прочностных показателей смешанных вяжущих.

При удельной поверхности цемента $S_{\text{цемуд}} = 700 \text{ м}^2/\text{кг}$ выше прочностные показатели у KB20 с использованием наполнителя, размолотого до $S_{\text{уд}} = 700 \text{ м}^2/\text{кг}$. Так, у KB20 (выветренный кварцитопесчаник) прочность на 23% выше прочности ПЦ, для KB20 (невыветренный кварцитопесчаник) это значение составило 11%.

При сравнении KB50 наблюдаются немногие другие результаты. Прочности вяжущих на невыветренном кварцитопесчанике начинают снижаться по сравнению с цементом во всех случаях, тогда как у KB50 (выветренный кварцитопесчаник) прочностные показатели близ-

ки к цементным при удельной поверхности наполнителя 500 м²/кг и 700 м²/кг.

Таким образом, установлено, что прочностные характеристики композиционных вяжущих с использованием выветренного кварцитопесчаника во всех случаях имеют более высокие значения по сравнению с вяжущими на невыветренном кварцитопесчанике. Максимальное значение достигается у KB20 и превышает прочностные показатели цемента на 23%. Учитывая более высокие прочностные показатели вяжущих с 20% наполнителя, в работе использовали именно их, как наиболее экономически и энергетически выгодные.

Далее в работе были изучены показатели нормальной густоты и сроки схватывания композиционных вяжущих на основе цемента с $S_{\text{уд}} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ (см. таблицу 2).

Было установлено увеличение величины нормальной густоты у композиционного вяжущего на основе выветренного кварцитопесчаника по сравнению с невыветренным кварцитопесчаником и цементом.

Проведённый анализ микроструктуры образцов с использованием в составе кварцитопесчаника показал хорошую адгезию цементного камня к зернам кварцитопесчаника как выветренного, так и не затронутого процессами выветривания (рисунок 3).

При этом у образца на основе выветренного кварцитопесчаника наблюдается более высокая плотность цементного камня. Что объясняется наличием аморфных минеральных фаз и более активно протекающего процесса гидратации KB20В, который происходит в момент связывания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при прохождении пуццолановой реакции.

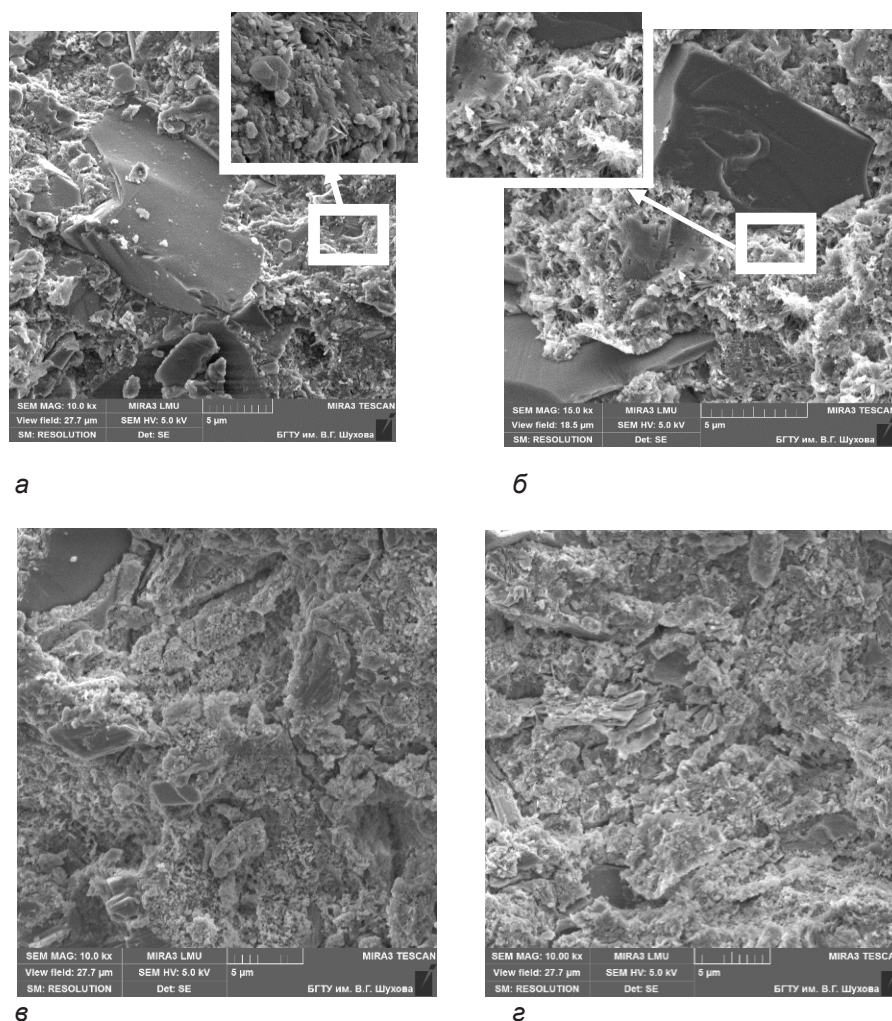


Рисунок 3 – Микроструктура затвердевшего композиционного вяжущего в 28-суточном возрасте: а – KV20V; б – KV20N; в – KV50V; г – KV50N
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Microstructure of the hardened composite binder at the age of 28 days:
а – KV20V; б – KV20N, в – KV50V, г – KV50N
Source: compiled by the author.

Совместное использование тонкомолотого выветренного кварцитопесчаника и цемента способствует синтезу большего числа гидратных фаз и уплотнению наиболее слабых мест контактной зоны при расходе наполнителя в количестве 20% (KB20). При этом активизируется процесс структурообразования путем заполнения пустот в кристаллической матрице цементного камня за счет образования дополнительного количества гидратных кристаллических фаз на рубеже контактной зоны.

Большой процент тонкодисперсного наполнителя приводит к возрастанию водопотребности смеси, а также к тому, что большая его часть останется не прореагировавшей с выделяющимся гидроксидом кальция цементной

системы, приводя к снижению прочности за счет формирующейся более дефектной структуры композита (рисунок 4, в, г).

В ходе дальнейшей работы оценивали изменение структуры фазового состава по РФА. Анализ полученных результатов также подтвердил более полное связывание гидроксида кальция, выделяющегося при гидратации клинкерных минералов, с образованием дополнительных порций гидросиликатов кальция низкоосновного типа у KB20B, поскольку интенсивность дифференциальных отражений, характерных для $\text{Ca}(\text{OH})_2$, в вяжущем уменьшается при использовании выветренного кварцитопесчаника [15].

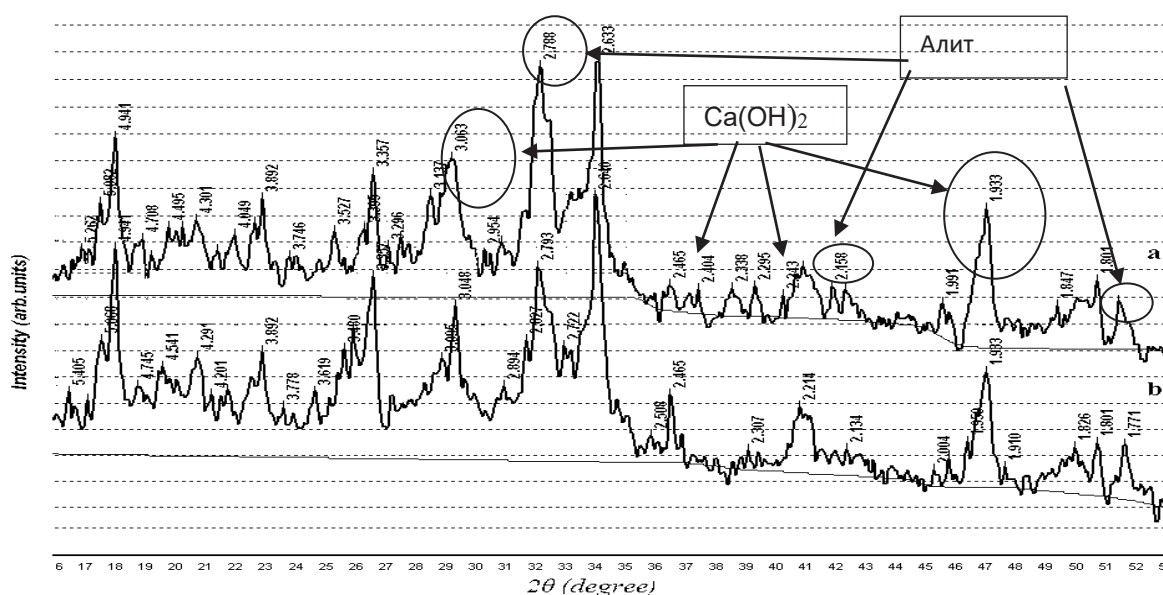


Рисунок 4 – Рентгенограмма при расходе 20% наполнителя (KV20) через 28 суток твердения:
 а – состав на невыветренном кварцитопесчанике (KV20H);
 б – состав на выветренном кварцитопесчанике (KV20B)
 Источник: составлено авторами.

Figure 4 – X-ray diffraction pattern with 20% filler consumption (KV20) after 28 days of hardening:
 а – composition on unweathered quartzite sandstone (KV20H);
 б – composition on weathered quartzite sandstone (KV20V)
 Source: compiled by the author.

У KV20B по сравнению с KV20H растворения клинкерных минералов происходят более активно, что подтверждается снижением интенсивности пиков алита $\text{Ca}_3[\text{SiO}_4]\text{O}$ и белита $\text{Ca}_2[\text{SiO}_4]$ (рисунок 4, б). Также высокая интенсивность дифракционных максимумов портландита в KV20H и одновременное уменьшение отражений $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в KV20B подтверждает меньшую степень его взаимодействия в гидратируемой системе на невыветренном кварцитопесчанике и указывает на его связывание в гидратные новообразования CSH у KV20B.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Доказано, что наличие кремнезема в структуре выветренного кварцитопесчаника оказывает положительное воздействие на механизм твердения композиционного вяжущего. Это связано с более высокой пуццолановой активностью при гидратации вяжущего по сравнению с композиционным вяжущим на свежем кварцитопесчанике, так как под воздействием процессов выветривания дефектность структуры выветренной горной породы значительно повышается.

При проведении комплексного анализа с привлечением методов РФА и СЭМ установлено, что образовавшиеся в процессах выветривания аморфные фазы кремнезема интенсифицируют гидратацию клинкерных минералов за счет высокой пуццолановой активности, что приводит к связыванию выделяющегося при гидратации гидроксида кальция с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция второй генерации. Установлено, что применение выветренного кварцитопесчаника в составе композиционных вяжущих в количестве 20% позволяет существенно снизить долю цемента и энергоемкость процесса помола с возможностью увеличения прочности готового композита.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Новиков К.Ю. Высокопрочные бетоны на композиционных вяжущих с применением техногенного сырья // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 2 (17). С.174–180.
2. Романович А.А., Глаголев Е.С., Бабаевский А.Н. Технология получения вяжущих с исполь-

зованием техногенных отходов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухов. 2014. № 5. С. 102–105.

3. Коренев Е.В. Проблемы сырьевой базы строительных композитов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 3 (50). С. 178–182.

4. Романович А.А. Энергосбережение при производстве строительных изделий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 69–71.

5. Фролова М.А., Тутыгин А.С., Айзенштадт А.М., Махов Г.А., Лесовик В.С. Неразрушающий контроль качества бетонных строительных композитов // Строительные материалы. 2013. № 3. С. 20–22.

6. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород: монография. М., 2000. 462 с.

7. Abrishambaf A., Pimentel M., Nunes S. Influence of fibre orientation on the tensile behaviour of ultra-high performance fibre reinforced cementitious composites // Cement and Concrete Research. 2017. No 97. Pp. 28–40.

8. Alsadey S. Influence of superplasticizer on strength of concrete // International Journal of Research in Engineering and Technology. 2017. No 1(3). Pp. 164–166.

9. Nehdi M., Mindess S., Atcin P.C. Rheology of high-performance concrete: effect of ultrafine particles // Cement and concrete research. 1998. No 5. Pp. 687–797.

10. Лесовик В.С., Фомина Е.В., Черепанова И.А., Ряпукhin А.Н. Выветренные кварцитопесчанники Курской магнитной аномалии – сырье стройиндустрии // Вестник СибАДИ. 2022; 19(5): 728–737. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-5-728-737>

11. Федюк Р.С., Мочалов А.В. Вопросы управления структурообразованием композиционного вяжущего // Alitinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2018. № 2 (51). С. 2–10.

12. Строкова В.В., Жерновский И.В., Фоменко Ю.В. О влиянии размерных параметров полиморфных модификаций кварца на его активность в композиционных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2007. № 3. С. 72–73.

13. Мытаева А.К., Асаналиева Ж.Д. Исследование техногенных продуктов и их эффективность применения в качестве сырья для стройиндустрии // Вестник международной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. 2009. № 7 (7). С. 29–34.

14. Панова В.Ф. Техногенные продукты как сырье для стройиндустрии: монография. Новокузнецк: СибГИУ, 2009. 244 с.

15. Аласханов А.Х., Таимасханов Х.Э., Саидумов М.С., Муртазаева Т.С. Современные подходы к разработке многокомпонентных вяжущих с использованием техногенного сырья // Вестник НГТУ. Технические науки. 2022. Том 18, № 1 (27). С. 63–70.

REFERENCES

1. Tolstoi A.D., Lesovik V.S., Novikov K.Iu. High endurance concretes on composite bindings with the use of man-made raw materials. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost.* 2016; 2 (17): 174–180. (in Russ.)

2. Romanovich A.A., Glagolev E.S., Babaevsky A.N. Technology of obtaining binders using technogenic waste. *Bulletin of Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov.* 2014; 5: 102–105. (in Russ.)

3. Korneeva E.V. Problems of resource base of building composites. *Vestnik of Tomsk state university of architecture and building.* 2015; (3): 178–182. (In Russ.)

4. Romanovich A.A. Energy saving in the production of building products. *Bulletin of Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov.* 2011; 3: 69–71. (In Russ.)

5. Frolova M.A., Tutygin A.S., Eisenstadt A.M., Makhov G.A., Lesovik V.S. Non-destructive quality control of concrete construction composites. *Stroitel'nye Materialy (Construction Materials).* 2013; 3: 20–22. (In Russ.)

6. Lesovik V.S. *Increase of efficiency of building materials production taking into account genesis of rocks*: monograph. Moscow, 2000: 462. (In Russ.)

7. Abrishambaf A., Pimentel M., Nunes S. Influence of fibre orientation on the tensile behaviour of ultra-high performance fibre reinforced cementitious composites. *Cement and Concrete Research.* 2017; 97: 28–40.

8. Alsadey S. Influence of superplasticizer on strength of concrete. *International Journal of Research in Engineering and Technology.* 2017; 1(3): 164–166.

9. Nehdi M., Mindess S., Atcin P.C. Rheology of high-performance concrete: effect of ultrafine particles. *Cement and concrete research.* 1998; 5: 687–797.

10. Lesovik V.S., Fomina E.V., Cherepanova I.A., Ryapukhin A.N. Weathered quartite sandstones of the Kursk magnetic anomaly as a raw material for construction industry. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal.* 2022; 19(5): 728–737. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-5-728-737>

11. Fedyuk R.S., Mochalov A.V. Issues related to management of the structure formation of a composite binder. *Alitinform: Cement. Concrete. Dry mixes.* 2018; 2 (51): 2–10. (In Russ.)

12. Strokov V.V., Zhernovsky I.V., Fomenko Yu.V. On the influence of dimensional parameters of polymorphic modifications of quartz on its activity in composite binders. *Bulletin of Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov.* 2007; 3: 72–73. (In Russ.)

13. Mytaeva A.K., Asanaliyeva Zh.D. Study of technogenic products and their efficiency of application as raw materials for construction industry: scientific. *Bulletin of the International Association of Experts in Earthquake Engineering.* 2009; No. 7 (7): 29–34. (In Russ.)

14. Panova V.F. *Technogenic products as raw materials for construction industry: monograph* / Sib-GIU. Novokuznetsk, 2009: 244. (In Russ.)

15. Alaskhanov A.Kh., Taimaskhanov Kh.E., Saidumov M.S., Murtazaeva T.S. Modern approaches to the development of multicomponent binders using technogenic raw materials. *Bulletin of NSTU. Technical sciences*. 2022; Vol. 18 No. 1 (27): 63–70. (In Russ.)

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Столетова И.А. (Черепанова). Подготовка текста статьи, проведение экспериментов.

Лесовик В.С. Формулирование основной концепции исследования.

Фомина Е.В. Совместное осуществление анализа научной литературы по проблеме исследования, анализ и дополнение текста статьи.

CO-AUTHORS' CONTRIBUTION

Stoletova I.A. (Cherepanova) Writing the manuscript, conducting experiments.

Lesovik V.S. Design of the basic research concept.

Fomina E.V. Analysis of scientific literature on the research problem, contribution to the text of the manuscript.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Столетова Ирина Александровна (Черепанова) – ассистент кафедры «Архитектура и градостроительство» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8946-451X>,

SPIN-код: 7387-5219,

e-mail: irinadiusa@gmail.com

Лесовик Валерий Станиславович – заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РААСН, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Строительное материаловедение» Белгород-

ского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2378-3947>,

SPIN-код: 2873-6860,

e-mail: naukavs@mail.ru

Фомина Екатерина Викторовна – канд. техн. наук, старший научный сотрудник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0542-0963>,

SPIN-код: 5270-6285,

e-mail: fomina.katerina@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Stoletova Irina A. (Cherepanova) – assistant of the Department of Architecture and Urban Planning, V.G. Shukhov Belgorod State Technological University (46 Kostyukova St., Belgorod, 308012).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8946-451X>,

SPIN-code: 7387-5219,

e-mail: irinadiusa@gmail.com

Lesovik Valery S. – Honored Scientist of the Russian Federation. Corresponding Member of RAASN academic degree: Dr.Sci.Tech., academic title: Professor, Head of the Department of Building Materials Science, V.G. Shukhov Belgorod State Technological University (308012, Belgorod, Kostyukova str., 46).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2378-3947>,

SPIN-code: 2873-6860,

e-mail: naukavs@mail.ru

Fomina Ekaterina V. – Cand. of Sci. (Eng), Senior Researcher, V.G. Shukhov Belgorod State Technological University (46, Kostyukova str., Belgorod, 308012).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2378-3947>,

SPIN-code: 5270-6285,

e-mail: fomina.katerina@mail.ru