

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.3

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-37-47

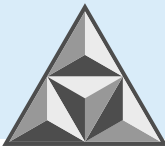
Сравнительный анализ качества щебня из различных месторождений в условиях квотирования их добычи

М.П. Степанова, А.М. Усачев, И.Д. Токарев

Мария Петровна Степанова*, Александр Михайлович Усачев, Илья Денисович Токарев

Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация

*max035@yandex.ru**, *ausachev@cchgeu.ru*, *ilyatokarev9909@gmail.com*



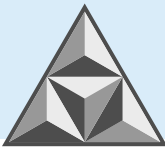
Рассмотрена актуальная проблема, обусловленная запретом добычи общераспространенных полезных ископаемых на землях Ростовской области и ростом потребности в качественном щебне для железобетонных изделий и дорожных покрытий. В связи с этим возникает необходимость быстрого перехода на иные сырьевые источники для современного строительства, в частности, альтернативой может служить песчаниковый щебень из Тульской области. В работе проводится комплексная оценка эксплуатационных свойств щебня из песчаника различных месторождений и даются рекомендации по наиболее эффективному его применению.

Ключевые слова: заполнители для бетона, щебень, песчаник, оценка качества, сравнительный анализ

Для цитирования:

Степанова М.П., Усачев А.М., Токарев И.Д. Сравнительный анализ качества щебня из различных месторождений в условиях квотирования их добычи // *Умные композиты в строительстве*. 2026. Т. 7, вып. 2. С. 37-47. URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/7391/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-37-47



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-37-47

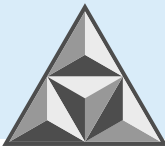
Comprehensive comparative analysis of the quality of crushed stone from various deposits under the conditions of their production quotas

M.P. Stepanova, A.M. Usachev, I.D. Tokarev

Mariia Petrovna Stepanova*, Aleksandr Mikhailovich Usachev, Iliia Denisovich Tokarev

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

*max035@yandex.ru**, *ausachev@cchgeu.ru*, *ilyatokarev9909@gmail.com*



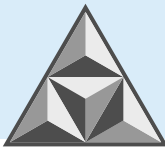
The paper discusses a relevant issue arising from the ban on the extraction of common minerals on land in the Rostov Region and the growing demand for high-quality crushed stone for reinforced concrete products and road surfacing. Consequently, there is a need for a rapid transition to alternative raw material sources for modern construction; in particular, sandstone crushed stone from the Tula Region could be used as an alternative. The study provides a comprehensive assessment of the performance properties of sandstone crushed stone from various deposits and offers recommendations for its most effective use.

Keywords: concrete aggregates, crushed stone, sandstone, quality assessment, comparative analysis

For citation:

Stepanova M.P., Usachev A.M., Tokarev I.D. Comprehensive comparative analysis of the quality of crushed stone from various deposits under the conditions of their production quotas // *Smart Composite in Construction*. 2026. Vol. 7, Iss. 2. P. 37-47.
URL: <https://comincon.ru/en/nauka/issue/7391/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-37-47



ВВЕДЕНИЕ

Ежегодное потребление щебня в РФ стабильно превышает 200 млн т, что отражает высокий уровень развития инфраструктурного и строительного комплексов страны. Основными потребителями щебня из плотных осадочных пород являются крупные административные центры и федеральные города, обладающие развитой транспортной и производственной инфраструктурой.

По данным Росстата за 2024 год, годовой совокупный объем потребления щебня из осадочных плотных пород в Центральном федеральном округе (ЦФО) составляет 16.5-19.0 млн т. Из этого количества 40-45% (6.6-8.6 млн т) обеспечивается за счет внутреннего производства регионов ЦФО и региональных поставок. Наиболее значительный объем потребления приходится на Московский мегаполис (Москва и Московская область), где собственная добыча строительного сырья отсутствует [1]. Снабжение региона осуществляется преимущественно за счет поставок из Южного федерального округа (ЮФО) – Ростовской области и Краснодарского края, а также частично субъектов ЦФО – Владимирской, Тульской, Калужской, Костромской, Смоленской, Рязанской, Липецкой и других областей [2] (см. рис. 1).

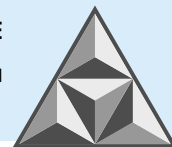


Рис. 1. Долевое распределение источников щебня для Центрального федерального округа

Fig. 1. Share distribution of crushed stone sources for the Central Federal District

Однако в конце 2025 года Постановлением Правительства РФ № 1457 внесены коррективы в использование сырьевой базы строительной отрасли на территории Ростовской области. Согласно этому Постановлению, добыча общераспространенных полезных ископаемых – щебня, песка, гравия, глины, известняка и торфа – полностью запрещается на сельскохозяйственных землях. Закон исключает всякую возможность перевода данных категорий земель в иную категорию под промышленную разработку. В связи с этим из 340 месторождений Ростовской области 170 (то есть ровно половина) оказывается вне закона. Наиболее крупное Обуховское месторождение утратит до 65% своих запасов, а Федоровское месторождение – 78% территории. Общий дефицит вырастет до 7.0-8.4 млн м³ ежегодно. Таким образом, возникает необходимость трансформации логистической ветки поставок сырьевой базы ЦФО и мобилизации мощностей других месторождений, в том числе – с возможностью применения песчаников Тульской области [3-6].

В связи с этим целью работы явилось проведение сравнительного анализа качества песчаного щебня месторождений Тульской и Ростовской областей и выработка рекомендаций по его последующему применению в производстве железобетонных изделий различного назначения и материалов для дорожных покрытий.



Основные задачи:

- оценка физико-механических свойств щебня-песчаника месторождений Обуховское, Донской камень, Турдейское;
- систематизация нормативных требований к качеству щебня для дорожных бетонов и железобетонных изделий;
- выдача рекомендаций по применению щебня Тульской области в качестве альтернативы при производстве железобетонных изделий (ЖБИ) и устройстве дорожных покрытий.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Важными характеристиками щебня в соответствии с требованиями ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний», а также ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» являются: зерновой состав; насыпная плотность; дробимость; содержание зерен пластинчатой и игловатой формы; содержание пылевидных, илистых и глинистых частиц; содержание глины в комках; истираемость; морозостойкость. В ранее выполненных работах [7, 8] указанные характеристики были определены для щебня Обуховского месторождения Ростовской области.

Здесь же проводился комплекс исследований щебня-песчаника наиболее крупных месторождений в Тульской области (Донской камень и Турдейское) с целью рекомендования их в качестве альтернативы для замещения поставок из Ростовской области.

Щебень оценивался по внешнему виду, так как указанная морфологическая характеристика напрямую коррелирует с физико-механическими показателями. Щебень Обуховского месторождения представляет собой зерна светло-серого цвета, преимущественно – кубовидной и слегка пластинчатой формы, с шероховатой поверхностью (рис. 1, а). Щебень месторождения Донской камень отличается темным серо-коричневым оттенком с заметными включениями примесных пород и повышенной долей игловатых фракций (рис. 1, б). Песчаник Турдейского месторождения имеет однородный светло-серый цвет с преобладанием правильных кубовидных форм и минимальным количеством дефектов поверхности. Турдейский щебень визуально демонстрирует высокое качество и возможность применения в ответственных конструкциях (рис. 2, в).

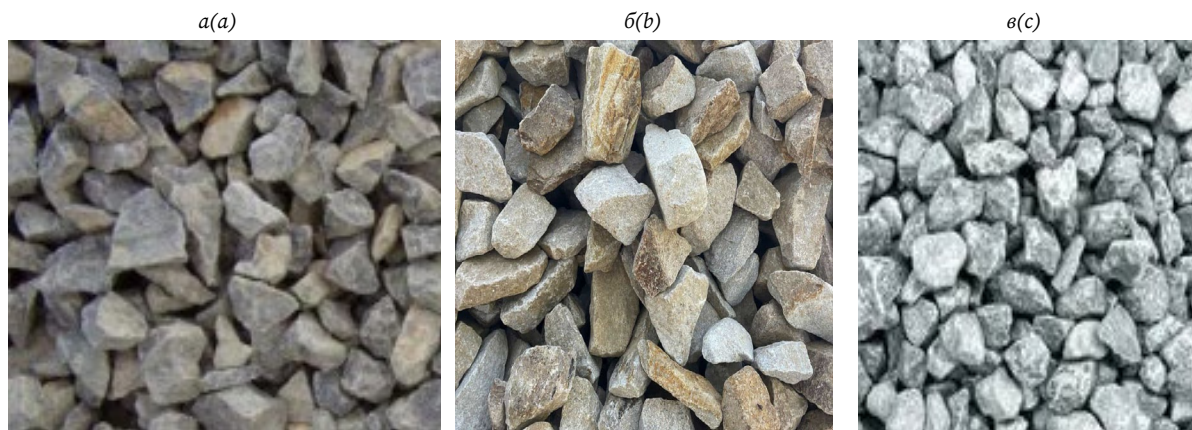
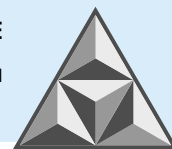


Рис. 2. Внешний вид щебня различных месторождений:

a – Обуховское; *б* – Донской камень; *в* – Турдейское

Fig. 2. Appearance of crushed stone from the following deposits:

a - Obukhovskoe, *b* - Donskoi Stone, *c* - Turdeiskoe



После оценки внешнего вида образцы щебня данных месторождений исследовали в соответствии с требованиями ГОСТ 8267-93 на содержание зерен пластинчатой и игловатой формы и микроструктурную чистоту. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, примесей (пылевидные, глинистые частицы) и слабых пород в щебне различных месторождений

Table 1. Content of plate-shaped and needle-shaped grains in crushed stone, content of impurities (dust-like and clay particles) and weak rocks in crushed stone from various deposits

Показатель	Обуховское	Донской камень	Турдейское
Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, %	14.2	12.5	8.5
Группа по ГОСТ 8267-93	Группа 2 ($\leq 15\%$)	Группа 2 ($\leq 15\%$)	Группа 1 ($\leq 10\%$)
Содержание пылевидных, илистых и глинистых частиц, %	1.0	1.2	0.9
Содержание глины в комках, %	0.0	0.1	0.0
Содержание слабых пород, %	0.3	0.4	0.2
Чистота по ГОСТ	Высокая ($\leq 1\%$)	Хорошая ($\leq 1.5\%$)	Отличная ($\leq 1\%$)

Все образцы щебня соответствуют требованиям ГОСТ 8267-93 по форме зерен и микроструктурной чистоте. Турдейский щебень по форме зерен (лещадности) соответствует группе 1, что является лучшим показателем по сравнению с другими образцами строительных материалов, в то время как месторождения Обуховское и Донской камень относятся к группе 2.

Песчаник Турдейского месторождения имеет отличную чистоту с малым содержанием пылевидных, илистых и глинистых частиц, полным отсутствием глины в комках и минимальным количеством слабых пород, как и щебень Обуховского месторождения, который характеризуется высокой чистотой при полном отсутствии глины в комках и низким содержанием слабых пород. Донской камень обладает хорошей чистотой с минимальным присутствием глины в комках и умеренным содержанием слабых пород.

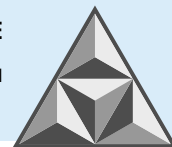
Далее в работе были определены такие физико-механические свойства щебня, как плотность, марка по дробимости и по истираемости. Результаты испытаний указанных свойств строительного щебня приведены в табл. 2.

Таблица 2. Основные показатели щебня из песчаника различных месторождений

Table 2. Main characteristics of sandstone crushed stone from various deposits

Месторождение	Наименование показателя		
	Насыпная плотность, $\text{т}\cdot\text{м}^{-3}$	Марка щебня по дробимости	Марка щебня по истираемости
Обуховское	1.44	1200	И1
Донской камень	1.42	1000	И2
Турдейское	1.46	1400	И1

Насыпная плотность у всех образцов колеблется в довольно узком диапазоне (1.42-1.46 $\text{т}\cdot\text{м}^{-3}$), что типично для плотных песчаников и не оказывает существенного влияния на выбор материала. Марка по дробимости (M1200, M1000, M1400) является ключевым показателем прочности крупного заполнителя. Турдейский щебень (M1400) обладает наивысшей прочностью, Обуховский (M1200) – высокой, а Донской камень (M1000) – средней прочностью из числа испытуемых. Установлена марка И1 по истираемости, определяемая износостойкостью при абразивном воздействии, у щебня-песчаника из Турдейского и Обуховского месторождений.



При исследовании морозостойкости песчаников выяснилось, что показатели в паспортах качества для Обуховского месторождения выше экспериментальных значений. Измерения, выполненные по ускоренной методике (циклическое насыщение в растворе сульфата натрия и высушивание при температуре $110\pm 5^\circ\text{C}$), соответствуют марке песчаников по морозостойкости F100 [5], так как после 15 циклов испытаний потери массы образцов составили более 5%. При этом лучшим показателем морозостойкости отличается щебень Турдейского месторождения (F250).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

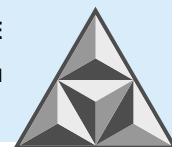
Произведенные оценки физико-механических свойств щебня-песчаника изученных месторождений позволили разработать рекомендации по эффективному их использованию для различных областей применения, с учетом физико-механических характеристик, условий эксплуатации и экономических факторов.

Так, в случае применения для автомобильных дорог песчаник должен соответствовать ключевым нормативным документам, включая СП 34.13330.2021 «Автомобильные дороги» (актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*) и ГОСТ Р 59300-2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси бетонные для устройства слоев оснований и покрытий. Технические условия». В соответствии с ними минимальная марка щебня по дробимости должна быть не ниже М400 для щебеночных оснований и М800 для верхних слоев дорожных покрытий I–II категорий. Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы не должно превышать 15% (группа 2 по ГОСТ 8267-93), а доля зерен слабых пород – 5% от общей массы. Также нормируется количество пылевидных и глинистых частиц (до 2%) и глины в комках (до 0.25%), что было отмечено в ряде работ [9-13].

Анализ полученных данных показал, что все рассмотренные образцы щебня соответствуют требованиям действующих нормативных документов. Щебень Обуховского и Турдейского месторождений характеризуется высокой прочностью (M1200 – M1400) и низким содержанием зерен пластинчатой и игловатой формы, что позволяет использовать его в верхних слоях дорожных покрытий I категории. Материал месторождения Донской камень с маркой M1000 также соответствует принятым стандартам и обеспечивает достаточную прочность в случае применения в дорожных покрытиях II–III категорий.

Проведенные исследования щебня месторождений Обуховское, Донской камень и Турдейское выявили соответствие его свойств требованиям других областей применения в строительной практике. Так, щебень-песчаник Турдейского месторождения обладает наилучшими показателями – максимальной прочностью и группой лещадности 1, что обеспечивает расчетный срок его службы на уровне 25-30 лет. Он может применяться для высоконагруженных дорожных покрытий I категории (аэропорты, федеральные автомобильные дороги М4/М12), возведения мостовых конструкции и опор, а также получения бетонных покрытий с интенсивностью А100+ тыс. автомобилей в сутки.

В случае использования щебня-песчаника для производства ЖБИ проведена его проверка на соответствие специализированным нормативным документам, включая ГОСТ 10922-2012 «Железобетонные изделия железобетонных конструкций. Общие технические условия», ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия» и СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции».



В табл. 3 приведены требования по основным показателям качества щебня в соответствии с нормативами. Согласно данным, представленным в табл. 3, щебень-песчаник месторождения Донской камень, характеризующийся повышенным содержанием зерен лещадной формы (12.5%), можно рекомендовать для производства массовых ЖБИ (бордюры, лотки, кольца колодцев) и бетонов классов В15–В25.

Щебень Обуховского месторождения, характеризующийся высокой плотностью и прочностью, а также низким содержанием зерен пластинчатой и игловатой формы, целесообразно применять для производства бетонов классов В25 – В30.

Таблица 3. Значение основных физико-механических показателей щебня в соответствии с требованиями действующих норм

Table 3. The value of the main physical and mechanical characteristics of crushed stone in accordance with the requirements of regulatory documentation

Показатель	Требования для ЖБИ
Дробимость	M800–M1200 (класс В20–В40)
Лещадность	≤12% (группа 1, для ответственных ЖБИ)
Пылевидные частицы	≤1.0%
Слабые породы	≤1.0%
Глина в комках	≤0.1%
Морозостойкость	F150–300

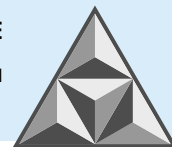
Щебень Турдейского месторождения может быть использован для всех видов ЖБИ, в том числе ответственного назначения (В30 – В40) (плиты перекрытий, каркас высотных зданий и т.д.). Общие рекомендации по применению даны в табл. 4.

Таблица 4. Комплексная оценка области применения щебня-песчаника исследованных месторождений

Table 4. Comprehensive assessment of the application area of sandstone crushed stone from the analyzed deposits

Применение	Обуховское	Донской камень	Турдейское	Рекомендуемое месторождение
ЖБИ (В30+)	±	±	+	Турдейское
Бетон товарный В25–В30	+	+	+	Любое
Дорожное покрытие 1-2 категории	+	+	+	Любое
Щебеночное основание	+	+	+	Любое
Для ответственных ЖБИ (аэропорты, мосты)	-	±	+	Турдейское

Таким образом, для получения ЖБИ класса В30 и выше наиболее предпочтительным является Турдейское месторождение. Щебни Обуховского месторождения и Донской камень рассматриваются к применению как допустимые, но с ограничениями. Для товарного бетона классов В25 – В30 все рассмотренные месторождения обеспечивают достаточное качество щебня. Для дорожных покрытий 1-2 категорий и оснований дорог щебень из всех карьеров также соответствует нормативным требованиям, поэтому выбор должен осуществляться в зависимости от экономической целесообразности и логистики. Для ответственных конструкций ЖБИ (аэропорты, мосты) щебень из Обуховского месторождения применять не рекомендуется, из месторождения Донской камень – допускается с ограничениями, а наиболее пригодным является щебень Турдейского месторождения, который и следует выбирать в качестве основного источника сырья.



ВЫВОДЫ

Результаты проведенных исследований показывают, что щебень-песчаник из месторождений Турдейское и Донской камень (Тульская область) соответствует нормативным требованиям, а оптимизированное распределение по классам качества позволяет рекомендовать его как ресурс для производства железобетонных изделий и осуществления дорожных работ в Центральном федеральном округе взамен используемых в настоящее время сырьевых источников Южного федерального округа.

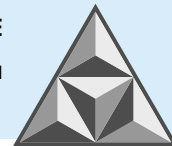
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Промышленность строительных материалов в Российской Федерации: 2020–2024 гг.: Статистический сб. М.: Росстат, 2025. 256 с.
2. **Морозов Е.Н., Скачко Д.Р., Тулино О.В.** Анализ рынка нерудных строительных материалов // XII Межд. молодежный форум "Образование. Наука. Производство": Мат. форума, Белгород, 01–20 октября 2020 года. Белгород: Белгородский гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова, 2020. С. 1362–1365.
3. **Дьячкова А.Ю., Романов С.М.** Оценка состояния и перспективы развития рынка нерудных строительных материалов в России // Горный инф.-аналит. бюл. (науч.-техн. журнал). 2013. № S217. С. 9-12.
4. **Карпенко О.В.** Оценка состояния и перспективы развития рынка нерудных строительных материалов // Научный вестник Московского гос. горного ун-та. 2010. № 7. С. 36-40.
5. **Нагин А.С.** Повышение эффективности работы крупных строительных компаний на основе совокупного обеспечения объектов нерудным минеральным сырьем: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.22. М., 2011. 24 с.
6. **Худякова Л.И., Войлошников О.В., Тимофеева С.С.** Решение вопросов рационального природопользования на примере месторождений Северо-Байкальской провинции // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 3 (19). С. 182-187.
7. **Усачев, А.М., Сиденко А.А.** Изучение основных свойств щебня из песчаника и оценка его качества // Химия, физика и механика материалов. 2023. № 2 (37). С. 89-98.
8. **Усачев А.М., Сиденко А.А.** Оценка морозостойкости щебня из песчаника // Химия, физика и механика материалов. 2024. № 2 (41). С. 155-162.
9. **Степанова М.П., Белькова Н.А., Баранов Е.В.** Оптимизация состава бетона для основания и покрытия дорог // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2023. № 1 (54). С. 83-89. DOI: 10.24866/2227-6858/2023-1/83-89.
10. **Ajdukiewicz A., Kliszczewicz A., Wegiorz M.** Wplyw modyfikacji forwowania powierzchni betonu na rysoodpornosc elementow zelbetowych: "Krynica 2004": Warszawa-Krynica, t. 3, pp. 11-18.
11. **De Schutter G.** Effect of limestone filler as mineral addition in selfcompacting concrete / Belgium Magnel laboratory of concrete research, 36 Conference on Our World in concrete & Structures Singapore, 14-16 August 2011. P. 25.
12. **Курденкова И.Б.** Каменные материалы в дорожном строительстве. М.: Московский авт.-дорожный гос. техн. ун-т (МАДИ), 2018. 80 с.
13. **Ндайзейе Ф., Белькова Н.А., Шелковникова Т.И., Иващенко Е.И.** Оценка качества сырьевых материалов республики Бурунди для производства дорожных бетонов // Умные композиты в строительстве. 2025. Т. 6. Вып. 3. С. 38-47. DOI 10.52957/2782-1919-2025-6-3-38-47.

Поступила в редакцию 11.03.2026

Одобрена после рецензирования 08.04.2026

Принята к опубликованию 12.05.2026



REFERENCES

1. Construction Materials Industry in the Russian Federation: 2020–2024. Statistical Collection. Moscow: Rosstat, 2025. 256 p. (in Russian).
2. **Morozov, E.N., Skachko, D.R. and Tulino, O.V.** (2020), Analysis of the Non-Ferrous Construction Materials Market, *XII International Youth Forum "Education. Science. Production": Forum Proc.*, Belgorod, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, pp. 1362-1365 (in Russian).
3. **Diachkova, A.Iu. and Romanov, S.M.** (2013), Assessment of the State and Prospects for the Development of the Market for Non-Metallic Building Materials in Russia, *Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, no. S217, pp. 9-12 (in Russian).
4. **Karpenko, O.V.** (2010), Assessment of the State and Prospects for the Development of the Market for Non-Metallic Building Materials, *Scientific Bulletin of the Moscow State Mining University*, no. 7, pp. 36-40 (in Russian).
5. **Nagin, A.S.** (2011), Improving the efficiency of large construction companies based on the combined supply of non-metallic mineral raw materials: abstr. diss. ... cand. eng. sc., 05.02.22. Moscow, 24 p. (in Russian).
6. **Khudiakova, L.I., Voiloshnikov, O.V. and Timofeeva, S.S.** (2013), Solving the Problems of Sustainable Natural Resource Management on the Example of the North Baikal Province Deposits, *Systems. Methods. Technologies*, no. 3 (19), pp. 182-187 (in Russian).
7. **Usachev, A.M. and Sidenko, A.A.** (2023), Study of the Basic Properties of Sandstone Rubble and Assessment of Its Quality, *Chemistry, Physics and Mechanics of Materials*, no. 2 (37), pp. 89-98 (in Russian).
8. **Usachev, A.M. and Sidenko, A.A.** (2024), Assessment of frost resistance of sandstone crushed stone, *Chemistry, Physics and Mechanics of Materials*, no. 2 (41), pp. 155-162 (in Russian).
9. **Stepanova, M.P., Belkova, N.A. and Baranov, E.V.** (2023), Optimization of concrete composition for road base and pavement, *Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University*, no. 1 (54), pp. 83-89 (in Russian). DOI 10.24866/2227-6858/2023-1/83-89.
10. **Ajdukiewicz, A., Kliszczewicz, A. and Wegiorz, M.** Wplyw modyfikacji forwowania powierzchni betonu na rysoodpornosc elementow zelbetowych: "Krynica 2004": Warszawa-Krynica, t. 3, pp. 11-18.
11. **De Schutter, G.** (2011), Effect of limestone filler as mineral addition in selfcompacting concrete, Belgium Magnel laboratory of concrete research, *36 Conference on Our World in concrete & Structures Singapore*, 14-16 August 2011, p. 25.
12. **Kurdenkova, I.B.** (2018), Stone Materials in Road Construction. Moscow: Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), 80 p. (in Russian).
13. **Ndaiizeye, F., Belkova, N.A., Shelkovnikova, T.I. and Ivashchenko, E.I.** (2025), Quality assessment of raw materials in the Republic of Burundi for road concrete production, *Smart Composite in Construction*, vol. 6, iss. 3, pp. 38-47 (in Russian). DOI 10.52957/2782-1919-2025-6-3-38-47.

Received 11.03.2026

Approved 08.04.2026

Accepted 12.05.2026