



**Перспективы применения изделий из серобетона в дорожном строительстве с использованием местной ресурсной базы**

**В.Н. Малышев**

Управление федеральных автомобильных дорог «Южный Байкал» Федерального дорожного агентства, Улан-Удэ, Россия

**Аннотация.** В условиях роста цен на цемент как основного компонента цементобетонных смесей становится актуальным применение альтернативных строительных материалов, пригодных для применения в строительной отрасли, в частности – в дорожном строительстве. Главными факторами, определяющими долговечность изделий для дорожного строительства, является их способность противостоять воздействию агрессивных солевых растворов и повышенная морозостойкость. Данными свойствами обладает бетон на основе серного вяжущего (серобетон), широкие исследования которого в Российской Федерации пока не проводились. Сера накапливается как побочный продукт работы газо-нефтеперерабатывающих заводов и используется в производстве удобрений для аграрного сектора, серной кислоты для промышленности. Часть производимой серы может быть использована в иных отраслях промышленности. Сера, как связующий компонент смесей строительных материалов, обладает рядом уникальных свойств, удобных для применения в строительстве: легко достижимая в дорожно-строительном производстве температура плавления и низкая динамическая вязкость расплавленной серы позволяет производить изделия из серобетонных смесей на асфальтобетонных заводах и в кохерах для приготовления литых асфальтобетонных смесей. В качестве заполнителей серобетона возможно применение местных каменных материалов, что позволит обеспечить необходимую экономическую эффективность в сравнении с применением изделий из цементобетона и природного камня.

**Ключевые слова:** серобетон, смеси серобетонные, бетон на основе серного вяжущего, изделия дорожно-строительные, ресурсосбережение

**Для цитирования:** Малышев В.Н. Перспективы применения изделий из серобетона в дорожном строительстве с использованием местной ресурсной базы // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 251–256. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-251-256>. EDN: LAVSBE.

**Original article**

**Prospects for using sulfur concrete products with domestic resource base in road construction**

**Vladimir N. Malyshev**

Federal Highway Administration “South Baikal” of the Federal Road Agency, Ulan-Ude, Russia

**Abstract.** Given the growing prices of cement as the main component of cement concrete mixtures, alternative construction materials suitable for use in the construction industry and road construction, in particular, become relevant. The main factors determining the durability of products in road construction include their ability to resist the effects of aggressive salt solutions and frost. Sulfur concrete demonstrates these properties; however, its extensive studies in the Russian Federation are yet lacking. Sulfur accumulates as a by-product of gas and oil plants, being used in the production of fertilizers for the agricultural sector and sulfuric acid for industry. A part of the produced sulfur may be used in other industries. Sulfur as a binding component of building material mixtures exhibits a number of unique properties suitable for use in construction. Thus, the melting temperature easily achievable in road-building production and low

dynamic viscosity of molten sulfur allow products to be obtained from sulfur concrete mixtures in asphalt-concrete plants and in asphalt kochers for production of cast asphalt-concrete mixtures. Domestic stone materials can be used as sulfur concrete aggregates, which provides the necessary cost-effectiveness compared to the use of products from cement concrete and natural stone.

**Keywords:** sulfur concrete, sulfur concrete mixtures, concrete based on sulfur binder, road construction products, resource conservation

**For citation:** Malyshev V.N. Prospects for using sulfur concrete products with domestic resource base in road construction. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(2):251-256. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-251-256>. EDN: LAVSBE.

## ВВЕДЕНИЕ

Сера накапливается как побочный продукт работы газо-нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) и используется в производстве удобрений для аграрного сектора, а также серной кислоты для промышленности, однако часть производимой серы может быть использована в иных отраслях промышленности – в частности, в строительной и дорожной. Складирование серы на НПЗ осуществляется в комовом либо гранулированном виде.

Сера, как связующий компонент смесей строительных материалов, обладает рядом уникальных свойств, удобных для применения в строительстве: температура плавления серы моноклинной аллотропной модификации  $+119,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  [1] и низкая динамическая вязкость  $0,011\text{--}0,009\text{ Па}\cdot\text{с}$  в интервале температур  $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$  ÷  $+145\text{ }^{\circ}\text{C}$  [2] характеризует расплавленную серу как легкоподвижную жидкость, и укладывается в температурные режимы работы асфальтобетонных заводов и кохеров для приготовления литых асфальтобетонных смесей, позволяя применять данные установки для приготовления серобетона.

С 1970-х гг. в мире ведется исследовательская работа по изучению возможности применения серы в строительстве. Соответствующие исследования производились в странах-лидерах по производству серы: в США в 1970–1980 гг., в странах Ближнего Востока с 2010-х гг. [3–5].

В ходе исследований отмечалась высокая скорость набора проектной прочности серобетона уже в первые сутки и повышенная стойкость к агрессивным средам [6–9]. Применение серобетона представляет собой перспективное решение с позиции снижения негативного воздействия на окружающую среду, связанного с накоплением отвалов серы на нефтегазоперерабатывающих заводах (НГПЗ).

Кроме того, серобетон обладает высокой степенью долговечности и устойчивостью к внешним воздействиям, что способствует сокращению необходимости в ремонте и замене

конструкций. Использование серы снижает общий экологический след за счет сокращения расхода ресурсов на производство строительных материалов, а также способствует эффективной утилизации отходов промышленности и повышению уровня охраны окружающей среды [10, 11]. Серобетонные изделия, подвергшиеся разрушению в процессе эксплуатации, могут быть повторно переплавлены в исходную серобетонную смесь для дальнейшего производства из нее новых изделий [12], что кратно снижает затраты на эксплуатацию и производство, поддерживая экологический фокус внимания на вторичную переработку изделий.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время основное зарубежное направление исследований сместилось в сторону полимер-модифицированного серобетона с целью улучшения его базовых характеристик, таких как стойкость к высоким температурам (базовый серобетон запрещено использовать при температуре эксплуатации свыше  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и уменьшение газообразных выбросов при его производстве. Однако возможность применения серобетона в его изначальном базовом виде, без применения полимерных модификаторов, может быть рассмотрена именно в дорожном строительстве, поскольку эксплуатация дорожных изделий и конструкций происходит при температуре окружающей среды от  $-50$  до  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , не подвергая их воздействию нагрева свыше обозначенной критической температуры  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . С точки зрения промышленной безопасности сера является веществом четвертого (низшего) класса опасности воздействия на организм по ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности», однако в процессе нагрева, в результате окисления серы с кислородом окружающего воздуха, начинают выделяться газообразные продукты окисления ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ) [13]. В целях обеспечения безопасности персонала, занятого на производстве, требуется применять средства индивидуальной защиты (респираторы), а также обеспечить

достаточную вентиляцию на производстве с фильтрацией отводящего воздуха через систему очистки соответствующих газов.

Данные системы разработаны и успешно применяются на нефтегазодобывающих и перерабатывающих производствах. До настоящего времени в Российской Федерации исследования свойств серобетона не проведены в достаточной степени, несмотря на высокие объемы производства серы отечественными НГПЗ.

По данным Геологической службы США (USGS) за 2023 г. в Российской Федерации произведено 7 млн. т серы, тем самым Россия занимает четвертое место в мире по этому показателю [14].

По поиску диссертаций на портале «Российской государственной библиотеки» по тематике исследования свойств и составов серобетона имеется восемь исследовательских работ и диссертаций (Личман Н.В., Королёв Е.В., Попова И.А., Щербатых А.А., Филиппов Г.А., Болтышев С.А., Пичугин Д.А., Скрипунов Д.А.).

По патентному поиску на портале «Федерального института промышленной собственности» с тематикой способов получения серобетона имеется шесть патентов на изобретения, из них два – действующие.

В 2021 г. был принят государственный стандарт на серобетон ГОСТ 59613-2021 «Смеси серобетонные и серобетон. Технические условия», который, в отличие от аналогичных государственных стандартов на строительные материалы, не имеет в своем содержании ни рекомендуемых пределов соотношения компонентов смеси, ни исчерпывающих требований по технологии приготовления серобетонных смесей.

Данный ГОСТ указывает как конечный результат – подбор состава исходя из требований проектной документации и получения серобетона с заданными свойствами, фактически предлагая производителям самим подобрать необходимый состав серобетонных смесей без начальных рекомендаций.

Методики испытаний серобетона данным ГОСТ регламентированы по государственным стандартам к цементобетону. Учитывая принципиально различающиеся химические и физико-механические процессы получения серобетона и цементобетона, данный

ГОСТ можно использовать лишь как некий промежуточный регламентирующий документ, требующий существенной корректировки после накопления исследовательских данных. Необходимость в применении новых альтернативных цементобетону строительных материалов возникла по причине роста стоимости цемента как основного компонента цементобетонных смесей.

По данным Единой межведомственной информационно-статистической системы Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации, рост цены портландцемента на внутреннем рынке за пятилетний период с 2020 по 2024 г. в среднем по стране составил 63,4 % для цемента без минеральных добавок (12,7 % в год) и 101,5 % для цемента с минеральными добавками (20,3 % в год), с локальным увеличением цены в периоды строительного сезона. В III квартале 2024 г. цена на цемент марки М400 в Иркутской области составляла от 9500 до 10 350 руб./т<sup>1</sup>.

Цена на серу, в связи с приоритетными рынками сбыта, не связанными со строительными периодами, зависит в большей степени от мировых биржевых цен и в настоящее время составляет от 18 000 до 23 000 руб./т у различных НГПЗ.

При этом производство серобетона требует существенно больших затрат электроэнергии в сравнении с цементобетоном из-за необходимости прогрева серобетонной смеси до рабочей температуры смешивания серы с каменными материалами – 130–155 °С. Однако в ряде регионов применение серобетона может оказаться экономически эффективным. Так, например, в Иркутской области в настоящее время установлен самый низкий в Российской Федерации тариф на электроэнергию для малых предприятий с энергопотреблением до 670 кВт в месяц (5,27 руб. без НДС за 1 кВт/ч по состоянию на октябрь 2024 г.). Кроме того, имеется выгодная логистика – относительная близость нефтехимических производств (Ангарская нефтехимическая компания, Омский НПЗ) и высокая доступность разработки карьеров каменных общераспространенных полезных ископаемых<sup>2</sup>. Учитывая повышенную стойкость серобетона к воздействию агрессивных сред и высокие показатели морозостойкости, особенно значимым с точки зрения эффективности расходования бюджетных средств могли

<sup>1</sup>Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). Индексы цен производителей по товарам и товарным группам с 2017 г. Режим доступа: <https://fedstat.ru/indicator/57608> (дата обращения: 10.02.2025 г.).

<sup>2</sup>Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области. Официальный сайт. Карта ОПИ Иркутской области. Режим доступа: <https://irkobl.ru/sites/ecology/working/nedro/> (дата обращения: 10.02.2025 г.).

бы стать производство дорожных изделий из серобетона – бортовых камней дорожных и тротуарных, тротуарной плитки, дорожных ограждений, элементов системы дорожного водоотвода. Широко применяемые в настоящее время изделия из сухопрессованного цементобетона в условиях частых переходов температуры окружающего воздуха через 0 °С, в совокупности с воздействием противогололедных материалов на основе солевых растворов и смесей, фактически выдерживают не более 3–5 лет эксплуатации, а в лабораторных условиях – до 20 циклов замораживания/оттаивания при испытаниях на морозостойкость [15,16]. При этом правилами расчета размера бюджетных ассигнований федерального бюджета на капитальный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог федерального значения установлен межремонтный срок эксплуатации автомобильных дорог, равный 12-и годам между ремонтами, и 24-ем годам между капитальными ремонтами. Для обеспечения

данных сроков заказчики вынуждены применять существенно более дорогие изделия из натурального камня, стоимость которых трехкратно превышает цены на изделия из сухопрессованного цементобетона и варьируется в пределах от 25 000 до 39 000 руб./м<sup>3</sup>.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя зарубежные и отечественные исследования, следует сделать вывод, что главной задачей дальнейших исследований является рациональный подбор различных составов серобетона, в том числе с добавками для производства широкой номенклатуры изделий, способных выдерживать срок межремонтной эксплуатации, сравнимый с изделиями из натурального камня, при стоимостных показателях, сравнимых с изделиями из сухопрессованного цементобетона, и таким образом снизить затраты бюджетной системы Российской Федерации на поддержание инфраструктуры автомобильных дорог в нормативном состоянии.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Meyer B. Elemental Sulfur // *Chemical Reviews*. 1976. Vol. 76. Iss. 3. P. 367–388. <https://doi.org/10.1021/cr60301a003>.
2. Ruiz-Garcia J., Anderson E.M., Greer S.C. Shear Viscosity of Liquid Sulfur Near the Polymerization Temperature // *The Journal of Physical Chemistry*. 1989. Vol. 93. Iss. 19. P. 6980–6983. <https://doi.org/10.1021/j100356a020>.
3. Loov R.E., Vroom A.H., Ward M.A. Sulfur Concrete-A New Construction Material // *PCI Journal*. 1974. Vol. 19. Iss. 1. P. 86–95. <https://doi.org/10.15554/pcij.01011974.86.95>.
4. El Gamal M.M., El-Dieb A.S., Mohamed Abdel-Mohsen O., El Sawy Kh.M. Performance of Modified Sulfur Concrete Exposed to Actual Sewerage Environment with Variable Temperature, Humidity and Gases // *Journal of Building Engineering*. 2017. Vol. 11. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.03.009>.
5. Kazmi A. New Al Ain Plant to Produce Sulphur Concrete for Construction Industry // *Gulf News*. 2019. Режим доступа: <https://gulfnews.com/business/new-al-ain-plant-to-produce-sulphur-concrete-for-construction-industry-1.68499> (дата обращения: 04.02.2025).
6. Dugarte M., Martinez-Arguelles G., Torres J. Experimental Evaluation of Modified Sulfur Concrete for Achieving Sustainability in Industry Applications // *Sustainability*. 2019. Vol. 11. Iss. 1. P. 1–16. <https://doi.org/10.3390/su11010070>.
7. Fediuk R., Mugahed Amran Y.H., Mosaberpanah M.A., Danish A., El-Zeadani M., Klyuev S.V. et al. A Critical Review on the Properties and Applications of Sulfur-Based Concrete // *Materials*. 2020. Vol. 13. Iss. 21. P. 1–23. <https://doi.org/10.3390/ma13214712>.
8. Mohamed Abdel-Mohsen, El Gamal M. Sulfur Concrete for the Construction Industry: A Sustainable Development Approach. Fort Lauderdale: J. Ross Publishing, 2010. 448 p.
9. Fazli A., Fathi S., Fazli M., Fathi B. Collation The Durability of Modified and Non-Modified Sulfur Concrete in Erosive Environments // *International Journal of Structural Analysis and Design*. 2014. Vol. 1. Iss. 3. P. 1–8.
10. Шагиева Д.Р., Храмов Ю.В. Оценка экологического воздействия серохранилищ // *Вестник технологического университета*. 2015. Т. 18. № 9. С. 269–271. EDN: TZBFGN.
11. Сабиров Р.Ф., Махоткин А.Ф. Анализ известных способов переработки серы в серобетон, сероасфальт и другие продукты // *Вестник технологического университета*. 2016. Т. 19. № 20. С. 69–72. EDN: XAMGHB.
12. Ерофеев В.Т., Соломатов В.И., Яшueva Л.С. Технология и свойства строительных композитов на серных связующих // *Вестник МГУ*. 1997. № 2-3. С. 134–139.
13. Нагибин Г.Е., Назиров Р.А., Добросмыслов С.С., Федорова Е.Н., Задов В.Е., Шевченко В.А. Вяжущие на основе технической серы и золошлаковых отходов // *Журнал Сибирского федерального университета*. Серия: техника и технологии. 2013. Т. 6. № 6. С. 689–698. EDN: REFSXH.

14. Sangine E., Textoris S.D. Mineral Commodity Summaries 2024. Virginia: U.S. Geological Survey, 2024. P. 172–173. <https://doi.org/10.3133/mcs2024>.
15. Лебедева К.Ю., Салтанова Ю.В., Пахомовский А.Н., Корзун Н.Л. Исследования агрессивной активности соли ОАО «Тыретский солерудник» на цементобетон // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2015. № 1 (12). С. 95–105. EDN: TQMJXF.
16. Долгова А.В., Животкова И.А., Козлов Г.А. Сравнительный анализ технических характеристик плиток бетонных тротуарных // Инженерный вестник Дона. 2024. № 8 (116). С. 505–513. EDN: TVSAQJ.

**REFERENCES**

1. Meyer B. Elemental Sulfur. *Chemical Reviews*. 1976;76(3):367-388. 10.1021/cr60301a003
2. Ruiz-Garcia J., Anderson E.M., Greer S.C. Shear Viscosity of Liquid Sulfur Near the Polymerization Temperature. *The Journal of Physical Chemistry*. 1989;93(19):6980-6983. <https://doi.org/10.1021/j100356a020>.
3. Loov R.E., Vroom A.H., Ward M.A. Sulfur Concrete-A New Construction Material. *PCI Journal*. 1974;19(1):86-95. <https://doi.org/10.15554/pcij.01011974.86.95>.
4. El Gamal M.M., El-Dieb A.S., Mohamed Abdel-Mohsen O., El Sawy Kh.M. Performance of Modified Sulfur Concrete Exposed to Actual Sewerage Environment with Variable Temperature, Humidity and Gases. *Journal of Building Engineering*. 2017;11:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.03.009>.
5. Kazmi A. New Al Ain Plant to Produce Sulphur Concrete for Construction Industry. *Gulf News*. 2019. Available from: <https://gulfnnews.com/business/new-al-ain-plant-to-produce-sulphur-concrete-for-construction-industry-1.68499> [Accessed 4<sup>th</sup> February 2025].
6. Dugarte M., Martinez-Arguelles G., Torres J. Experimental Evaluation of Modified Sulfur Concrete for Achieving Sustainability in Industry Applications. *Sustainability*. 2019;11(1):1-16. <https://doi.org/10.3390/su11010070>.
7. Fediuk R., Mugahed Amran Y.H., Mosaberpanah M.A., Danish A., El-Zeadani M., Klyuev S.V. et al. A Critical Review on the Properties and Applications of Sulfur-Based Concrete. *Materials*. 2020;13(21):1-23. <https://doi.org/10.3390/ma13214712>.
8. Mohamed Abdel-Mohsen, El Gamal M. *Sulfur Concrete for the Construction Industry: A Sustainable Development Approach*. Fort Lauderdale: J. Ross Publishing, 2010. 448 p.
9. Fazli A., Fathi S., Fazli M., Fathi B. Collation The Durability of Modified and Non-Modified Sulfur Concrete in Erosive Environments. *International Journal of Structural Analysis and Design*. 2014;1(3):1-8.
10. Shagieva D.R., Khramov Yu.V. Assessment of The Environmental Impact of Sulfur Storage Facilities. *Herald of Technological University*. 2015;18(9):269-271. (In Russ.). EDN: TZBFGN.
11. Sabirov R.F., Makhotkin A.F. Analysis of Known Methods for Processing Sulfur into Sulfur Concrete, Sulfur Asphalt and Other Products. *Herald of Technological University*. 2016;19(20):69-72. (In Russ.). EDN: XAMGHB.
12. Erofeev V.T., Solomatov V.I., Yausheva L.S. Technology and Properties of Building Composites Based On Sulfur Binders. *Vestnik MGU*. 1997;2-3:134-139. (In Russ.).
13. Nagibin G.E., Nazirov R.A., Dobrosmyslov S.S., Fedorova E.N., Zadov V.E., Shevchenko V.A. Sulfur Concrete with Ash Waste. *Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies*. 2013;6(6):689-698. (In Russ.). EDN: REFSXH.
14. Sangine E., Textoris S.D. *Mineral Commodity Summaries 2024*. Virginia: U.S. Geological Survey, 2024. p. 172–173. <https://doi.org/10.3133/mcs2024>.
15. Lebedeva K.Iu., Saltanova Iu.V., Pahomovskii A.N., Korzun N.L. The Research of Aggressive Activity of Salt in JSC “Tyretskii Solerudnik” Of The Cement Concrete Content. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2015;1(12):95-105. (In Russ.). EDN: TQMJXF.
16. Dolgova A.V., Zhivotkova I.A., Kozlov G.A. Comparative Analysis of Technical Characteristics of Concrete Paving Slabs. *Engineering Journal of Don*. 2024;8(116):505-513. (In Russ.). EDN: TVSAQJ.

**Информация об авторе**

**Малышев Владимир Николаевич**,  
советник руководителя,  
Федеральное казенное учреждение Управление  
федеральных автомобильных дорог «Южный  
Байкал» Федерального дорожного агентства,  
670000, г. Улан-Удэ, ул. Советская, 18, Россия,  
✉e-mail: malyshev0000@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0008-3945-5084>

**Information about the author**

**Vladimir N. Malyshev**,  
Advisor to the Head,  
Federal Highway Administration “South Baikal”  
of the Federal Road Agency,  
18 Sovetskaya St., Ulan-Ude 670000,  
Russia,  
✉e-mail: malyshev0000@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0008-3945-5084>

#### **Вклад автора**

Автор выполнил исследовательскую работу, на основании полученных результатов провел обобщение, подготовил рукопись к печати.

Автор имеет на статью исключительные авторские права и несет ответственность за плагиат.

#### **Конфликт интересов**

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

#### **Информация о статье**

Статья поступила в редакцию 12.02.2025.  
Одобрена после рецензирования 10.03.2025.  
Принята к публикации 12.03.2025.

#### **Contribution of the author**

The author performed the research, made generalization based on the results obtained and prepared the copyright for publication.

Author has exclusive author's right and bear responsibility for plagiarism.

#### **Conflict of interests**

The author declares no conflict of interests.

The final manuscript has been read and approved by the author

#### **Information about the article**

The article was submitted 12.02.2025.  
Approved after reviewing 10.03.2025.  
Accepted for publication 12.03.2025.