



DOI 10.22363/2312-8143-2020-21-1-94-98

УДК 691.327:666.974

Обзорная статья

## Баритсодержащие радиационно-защитные строительные материалы

Н.В. Новиков, С.В. Самченко

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,  
Российская Федерация, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26

Г.Э. Окольников

Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

### История статьи:

Поступила в редакцию: 13 апреля 2020 г.

Доработана: 1 июня 2020 г.

Принята к публикации: 2 июня 2020 г.

### Ключевые слова:

барит, баритовые бетоны, радиационно-защитные материалы, защита от ионизирующих излучений

Благодаря активному развитию отраслей, использующих ядерные технологии, все больший интерес вызывает создание высокоэффективных и экономически выгодных строительных материалов для защиты от опасных ионизирующих излучений. Широкое распространение в области радиационно-защитных строительных материалов получили баритсодержащие бетоны. Целями данной работы являются установление перспективности их применения на объектах атомной промышленности, а также поиск способов улучшения их технических и эксплуатационных характеристик. Для этого был проведен анализ актуальной литературы и научных исследований в области радиационно-защитных материалов и, в частности, баритсодержащих бетонов. Среди преимуществ баритсодержащих бетонов отмечают высокие радиационно-защитные свойства, экологичность, высокую плотность, экономические показатели. Из недостатков выделяют высокую подверженность усадочным деформациям и слабую устойчивость к циклическим температурным воздействиям. Добавление барита в состав бетона позволяет увеличить коэффициент линейного поглощения  $\gamma$ -лучей материала, а при грамотном подборе состава такой материал может обладать прочностными характеристиками равными или превосходящими характеристики бетонов стандартных составов. Баритсодержащие материалы имеют широкую область применения и могут использоваться как для производства тяжелого бетона при устройстве несущих и ограждающих конструкций, так и при создании отделочных радиационно-защитных покрытий стен и полов.

## Введение

В современном мире ядерные технологии являются широко востребованными во многих от-

раслях промышленности. Наиболее активно используемой и развивающей эти технологии отраслью является ядерная энергетика. Согласно данным World Nuclear Industry Status Report, в 2018 году ядерная энергетика составляла 10,18 % от общей доли производства электроэнергии в мире, в России этот показатель составил 17,9 %. По данным на начало 2020 года количество действующих ядерных реакторов составляет 414, из них 38 на территории России. В стадии строительства находятся 49 атомных электростанций, в том числе 3 на территории России: Курская АЭС – 2, Ленинград-

Новиков Николай Владиславович, аспирант 1-го курса кафедры «Технология вяжущих веществ и бетонов» НИУ МГСУ, eLIBRARY SPIN-код: 8662-1970.  
Самченко Светлана Васильевна, профессор кафедры «Технология вяжущих веществ и бетонов» НИУ МГСУ, доктор технических наук, профессор, eLIBRARY SPIN-код: 7537-7350.  
Окольникова Галина Эриковна, доцент департамента строительства Инженерной академии РУДН, кандидат технических наук, доцент, eLIBRARY SPIN-код: 8731-8713, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8143-4614>, [okolnikova-ge@rudn.ru](mailto:okolnikova-ge@rudn.ru)

© Новиков Н.В., Самченко С.В., Окольникова Г.Э., 2020

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ская АЭС – 2, Плавающая атомная теплоэлектростанция г. Певек (Чукотский автономный округ) [1].

В соответствии с государственной программой «Развитие атомного энергопромышленного комплекса» ожидается, что к 2027 году объем выработки электрической энергии атомными электростанциями, расположенными на территории России, составит не менее 221,7 млрд кВт·ч в год [2].

Однако, как известно, использование ядерных технологий требует эффективной защиты как человека, так и окружающей среды от опасных последствий. По этой причине и на фоне активного развития атомной промышленности все больший интерес вызывает создание высокоэффективных и относительно дешевых радиационно-защитных материалов.

## 1. Ионизирующие излучения и радиационно-защитные материалы

Существует два вида ионизирующих излучений: электромагнитные и корпускулярные. Электромагнитные ионизирующие излучения представляют собой поток фотонов с чрезвычайно малой длиной волны, к ним относятся рентгеновское излучение,  $\gamma$ -излучение и тормозное излучение, возникающие при прохождении через вещество сильно ускоренных заряженных частиц. Корпускулярное излучение представляет собой пучки ядерных частиц, ядер элементов или ионов. Это могут быть либо заряженные электроны, протоны и ионы, либо не имеющие заряда ядерные частицы – нейтроны. Наибольшую опасность представляют частицы и кванты, обладающие высокой проникающей способностью, а именно рентгеновское излучение,  $\gamma$ -излучение и быстрые нейтроны. Проникающая способность электромагнитных видов ионизирующих излучений в материале в большей степени зависит от плотности и состава этого материала. Наиболее эффективно электромагнитные ионизирующие излучения ослабляются при столкновении с элементами, обладающими высокими атомными номерами. По этой причине для защиты от рентгеновского и  $\gamma$ -излучений целесообразно использовать бетоны на тяжелых заполнителях, таких как барит, железная руда, лимонит, магнетит, металлический скрап и т. п. [3].

Высокая проникающая способность нейтронов обуславливается отсутствием заряда, вследствие чего они не взаимодействуют с электронами атомных оболочек и беспрепятственно проникают вглубь атомов. При столкновениях с атомами тяжелых

элементов происходит упругое отталкивание, в результате которого нейтрон практически не теряет энергии, однако при столкновении с почти равными им по массе ядрами водорода – протонами – энергия нейтрона уменьшается в среднем вдвое, передаваясь протону отдачи [4]. Исходя из этого перспективно использование в качестве искусственной добавки для радиационно-защитных бетонов компонентов, способствующих образованию кристаллов эттрингита. Эттрингит является высокосульфатной формой гидросульфоалюмината кальция  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$  [5]. Перспективность его использования определяется наличием в этих кристаллах большого количества химически связанной воды, что может способствовать замедлению быстрых нейтронов.

## 2. Баритовые бетоны

Бетоны, содержащие в своем составе барит, получили широкое распространение в области радиационно-защитных материалов.

В качестве сырья для радиационно-защитных бетонов используется баритовая руда. В состав баритовой руды входят минерал барит  $\text{BaSO}_4$ , кремнезем  $\text{SiO}_2$ , оксиды железа  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , оксид алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , оксид магния  $\text{MgO}$  и оксид кальция  $\text{CaO}$  [6].

Плотность баритовых бетонов составляет от 2,7 до 3,8 т/м<sup>3</sup>, прочность на сжатие 16–30 МПа, на растяжение не более 3 МПа [6–9].

К преимуществам, по сравнению с другими материалами для защиты от ионизирующих излучений, следует отнести тот факт, что, в отличие от свинца, барит безвреден для человеческого организма и окружающей среды [10; 11], а среди материалов, включающих элементы с большими атомными номерами, является экономически выгодным. Еще одно важное преимущество барита – отсутствие вторичных гамма-излучений высоких энергий, которые могут возникать при поглощении нейтронов ядрами атомов [12].

Среди недостатков бетонов с баритовыми наполнителями и заполнителями отмечают высокую подверженность усадочным деформациям и слабую устойчивость к циклическим температурным воздействиям, обусловленную неодинаковым по кристаллическим осям температурным расширением  $dx = 19\cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ;  $dy = 22\cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ;  $dz = 35\cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  [6; 7; 12].

Использование барита в качестве наполнителя и заполнителя для тяжелых бетонов активно

исследуется учеными со всего мира. Чаще всего при исследовании баритовых бетонов предлагается частичная или полная замена кварцевого песка на баритовый в качестве мелкого заполнителя в составе бетонной смеси. При этом наблюдается прирост величины коэффициента линейного поглощения  $\gamma$ -лучей до 19 % [13–15], однако частичная замена кварцевого песка в объеме 40 % на баритовый позволяет добиться защиты как от  $\gamma$ -лучей, так и от нейтронного излучения. Что касается механических характеристик бетонов на баритовом песке, то присутствуют незначительное снижение прочности на сжатие и практически двукратное снижение прочности на изгиб, но при грамотной оптимизации состава возможно добиться показателей, равных или превосходящих показатели бетона на кварцевом песке [16]. Например, в составе с добавлением 5 % нанокремнезема прочность бетона на баритовом заполнителе на сжатие и изгиб была выше на 4 и 17 % соответственно, чем для бетонов на кварцевом песке [17]. Помимо использования барита в качестве наполнителя и заполнителя тяжелых бетонов, подтверждена эффективность сухих строительных смесей для нанесения в виде штукатурки или напольного покрытия на внутренние или наружные поверхности экранируемого помещения [18; 19].

## Заключение

Баритовые бетоны нашли широкое применение в области радиационно-защитных материалов благодаря экологичности, экономическим показателям и защитным свойствам. Несмотря на очевидные недостатки, баритовые бетоны остаются перспективным материалом, востребованным на объектах активно развивающейся атомной промышленности.

## Участие авторов

*Н.В. Новиков* – написание текста; *С.В. Самченко* – научное руководство; *Г.Э. Окольникова* – анализ материала.

## Список литературы

1. *Froggatt A. et al.* World Nuclear Industry Status Report. 2019. 323 p.
2. О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации «Развитие атомного

энергетического комплекса»: постановление Правительства РФ от 16.03.2020 г. № 289-13 // КонсультантПлюс. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_348194](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_348194) (дата обращения: 11.04.2020 г.).

3. *Баженов Ю.М.* Технология бетона. М.: Изд-во Ассоциации высших учебных заведений, 2002. 500 с.

4. *Лантев Г.А.* Радиационные защитные свойства металлбетонов // Предотвращение аварий зданий и сооружений. 2009. URL: <https://prevdis.ru/radiatsionnye-zashhitnye-svoystva-metallobetonov> (дата обращения: 11.04.2020 г.).

5. *Самченко С.В.* Роль этрингита в формировании и генезисе структуры камня специальных цементов. М.: Изд-во Рос. хим.-технол. ун-т им. Д.И. Менделеева, 2005. 154 с.

6. *Чан Ле Хонг.* Особотяжелый самоуплотняющийся бетон на баритовом заполнителе: дис. ... канд. тех. наук. М.: МГСУ, 2011. 121 с.

7. *Королев Е.В., Прошин А.П., Баженов Ю.М., Соколова Ю.А.* Радиационно-защитные и коррозионно-стойкие серные строительные материалы. М.: Палеотип, 2006. 272 с.

8. *Прошин А.П., Демьянова В.С., Калашиников Д.В.* Особо тяжелый высокопрочный бетон для защиты от радиации с использованием вторичных ресурсов: монография. Пенза: ПГАСА, 2004. 140 с.

9. *Комаровский А.Н.* Строительство ядерных установок. М.: Атомиздат, 1969. 503 с.

10. *Васильев А.А., Шангина Н.Н.* Физико-механические основы нетвердеющих минеральных дисперсий для санации металлических элементов подземных сооружений // Фундаментальные исследования. 2016. № 7–1. С. 14–18.

11. *Рабоцук Д.С.* Теоретические основы при создании высокоэффективных радиационно-защитных материалов для защиты от ионизирующих излучений // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ имени В.Г. Шухова (Белгород, 1–30 мая 2015 г.): сборник трудов. Белгород: Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова, 2015. С. 340–343.

12. *Калашиников В.И., Демьянова В.С., Калашиников Д.В., Махамбетова К.Н.* Оптимизация состава особо тяжелого высокопрочного бетона для защиты от радиации // Строительные материалы. 2011. № 8. С. 25–28.

13. *Saidani Kh., Ajam L., Ben Oueddou M.* Barite powder as sand substitution in concrete: Effect on some mechanical properties // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 95. Pp. 287–295.

14. *Akkurt I., Basyigit C., Kilincarslan S., Mavi B.* The shielding of  $\gamma$ -rays by concretes produced with barite // Progress in Nuclear Energy. 2005. Vol. 46. Issue 1. Pp. 1–11.

15. *Akkurt I., Akyildirim H., Mavi B., Kilincarslan S., Basyigit C.* Gamma-ray shielding properties of concrete including barite at different energies // Progress in Nuclear Energy. 2010. Vol. 52. Issue 7. Pp. 620–623.

16. *Gökçe H.S., Yalçınkaya Ç., Tuyan M.* Optimization of reactive powder concrete by means of barite aggregate for both neutrons and gamma rays // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 189. Pp. 470–477.

17. *Янкович К., Станкович С.Й., Стоянович М., Бойович Д., Антич Л.* Влияние нанокремнезема и типа заполнителя на свойства высокопрочного бетона // *Цемент и его применение*. 2017. № 4. С. 118–120.

18. *Черных Т.Н., Перминов А.В., Пудовиков В.Н., Крамар Л.Я.* Сухие баритосодержащие смеси для защиты от ионизирующих излучений // *Сухие строительные смеси*. 2012. № 1. С. 28–29.

19. Патент 2388715 Российская Федерация, С04В 28/30, G21F 1/04, С04В 111/20. Сухая строительная

смесь / Гончаров Ю.Д., Рыжов А.С.; заявитель и патентообладатель ООО «Альфапол». № 2008142229/03; заявл. 16.10.2008; опубл. 10.05.2010. Бюл. № 13.

#### Для цитирования

*Новиков Н.В., Самченко С.В., Окольников Г.Э.* Баритосодержащие радиационно-защитные строительные материалы // *Вестник Российского университета дружбы народов*. Серия: Инженерные исследования. 2020. Т. 21. № 1. С. 94–98. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2020-21-1-94-98>

DOI 10.22363/2312-8143-2020-21-1-94-98

Review paper

## Barite-containing radiation protective building materials

Nikolay V. Novikov, Svetlana V. Samchenko

National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26 Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation

Galina E. Okolnikova

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation

#### Article history:

Received: April 13, 2020

Revised: June 1, 2020

Accepted: June 2, 2020

#### Keywords:

barite, barite concrete, radiation protective materials, protection against ionizing radiation

Due to the active development of industries using nuclear technology, the creation of highly effective and cost-effective building materials for protection against hazardous ionizing radiation is of increasing interest. Widespread in the field of radiation-protective building materials are barite-containing concrete. The purpose of this article is to establish the prospects of their use in nuclear facilities, as well as to find ways to improve their technical and operational characteristics. For this an analysis of relevant literature and scientific research in the field of radiation-protective materials and, in particular, barite-containing concrete was carried out. The advantages of barite-containing concrete are high radiation-protective properties, environmental friendliness, high density, as well as economic indicators. The disadvantages are high susceptibility to shrinkage deformation and poor resistance to cyclic temperature effects. The addition of barite to the concrete composition allows to increase the coefficient of linear absorption of  $\gamma$ -rays of the material; also, with the proper selection of the composition, such material may have strength characteristics equal to or superior to the characteristics of concrete with standard compositions. Barite-containing materials have a wide range of applications and can be used both for the production of heavy concrete in the construction of load-bearing structures and in the creation of radiation-protective coatings for walls and floors.

*Nikolay V. Novikov*, 1-year postgraduate student of the Department of "Technology of Binders and Concrete" of MGSU, eLIBRARY SPIN-code: 8662-1970.

*Svetlana V. Samchenko*, Professor of the Department of "Technology of Binders and Concrete" of MGSU, Doctor of Technical Sciences, Professor, eLIBRARY SPIN-code: 7537-7350.

*Galina E. Okolnikova*, Associate Professor of the Department of Construction of Engineering Academy of RUDN University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, eLIBRARY SPIN-code: 8731-8713, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8143-4614>, [okolnikova-ge@rudn.ru](mailto:okolnikova-ge@rudn.ru)

## Contribution of authors

*Nikolay V. Novikov* – writing an article. *Svetlana V. Samchenko* – supervision. *Galina E. Okolnikova* – analysis of information.

## References

1. Froggatt A, et al. *World Nuclear Industry Status Report*. 2019.
2. O vnesenii izmenenii v gosudarstvennyuyu programmu Rossiiskoi Federatsii “Razvitie atomnogo energopromyshlennogo kompleksa” [On Amending the State Program of the Russian Federation “Development of the Nuclear Energy and Industrial Complex”]: Decree of the Government of the Russian Federation of March 16, 2020 No. 289-13. *KonsultantPlyus*. Available from: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_348194](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_348194) (accessed: April 11, 2020).
3. Bazhenov YuM. *Tekhnologiya betona [Concrete technology]*. Moscow: Izd-vo Assotsiatsii vysshikh uchebnykh zavedenii Publ.; 2002. (In Russ.)
4. Laptev GA. Radiatsionnye zashchitnye svoystva metallobetonov [Radiation protective properties of metal concrete]. *Predotvrashchenie avarii zdaniy i sooruzhenii [Prevention of accidents in buildings and structures]*. 2009. Available from: <https://previdis.ru/radiatsionnye-zashhitnye-svoystva-metallobetonov> (accessed: November 4, 2020).
5. Samchenko SV. *Rol ettringita v formirovani i genезise struktury kamnya spetsial'nykh tsementov [The role of ettringite in the formation and genesis of the stone structure of special cements]*. Moscow: Russian Chemical-Technological University named after D.I. Mendeleev; 2005. (In Russ.)
6. Chan Le Hong. *Osobotiazhelyi samouplotnyayushchiysya beton na baritovom zapolnitеле [Extra heavy self-compacting concrete with barite aggregate]*: thesis of Cand. of Tech. Sciences. Moscow: MGSU Publ.; 2011. (In Russ.)
7. Korolev EV, Proshin AP, Bazhenov YuM, Sokolova YuA. *Radiatsionno-zashchitnye i korrozionno-stoikiye sernye stroitel'nye materialy [Radiation-protective and corrosion-resistant sulfur building materials]*. Moscow: Paleotip Publ.; 2006. (In Russ.)
8. Proshin AP, Demyanova VS, Kalashnikov DV. *Osobo tyazhelyi vysokoprochnyi beton dlya zashchity ot radiatsii s ispol'zovaniem vtovichnykh resursov [Extra-heavy, high-strength concrete for radiation protection using recycled resources]*: monograph. Penza: PGUAS Publ.; 2004. (In Russ.)
9. Komarovskiy AN. *Stroitelstvo yadernykh ustanovok [The construction of nuclear facilities]*. Moscow: Atomizdat Publ.; 1969. (In Russ.)
10. Vasilev AA, Shangina NN. Physical and mechanical bases unhardening mineral dispersions for therehabilitation of metal elements of underground structures. *Fundamental research*. 2016;(7–1):14–18. (In Russ.)
11. Raboshchuk DS. Teoreticheskie osnovy pri sozdanii vysokoeffektivnykh radiatsionno-zashchitnykh materialov dlya zashchity ot ioniziruyushchikh izlucheni [Theoretical basis for the creation of highly effective radiation-protective materials for protection against ionizing radiation]. *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU imeni V.G. Shukhova [International scientific and technical conference of young scientists of BSTU named after V.G. Shukhov]* (Belgorod, May 1–30, 2015): proceedings. Belgorod: BSTU named after V.G. Shukhov; 2015. p. 340–343. (In Russ.)
12. Kalashnikov VI, Demyanova VS, Kalashnikov DV, Makhambetova KN. Optimizatsiya sostava osobo tyazhelyego vysokoprochnogo betona dlya zashchity ot radiatsii [Optimization of the composition of particularly heavy high-strength concrete for protection against radiation]. *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*. 2011;(8): 25–28. (In Russ.)
13. Saidani Kh, Ajam L, Ben Oueddou M. Barite powder as sand substitution in concrete: effect on some mechanical properties. *Construction and Building Materials*. 2015;95:287–295.
14. Akkurt I, Basyigit C, Kilincarslan S, Mavi B. The shielding of  $\gamma$ -rays by concretes produced with barite. *Progress in Nuclear Energy*. 2005;46(1):1–11.
15. Akkurt I, Akyildirim H, Mavi B, Kilincarslan S, Basyigit C. Gamma-ray shielding properties of concrete including barite at different energies. *Progress in Nuclear Energy*. 2010;52(7):620–623.
16. Gökçe HS, Yalçınkaya Ç, Tuyan M. Optimization of reactive powder concrete by means of barite aggregate for both neutrons and gamma rays. *Construction and Building Materials*. 2018;189:470–477.
17. Jankovic K, Stankovic SJ, Stojanovic M, Bojovic D, Antic L. Effect of nano-silica and aggregate type on properties of ultra-high performance concrete. *Cement and its application*. 2017;(4):118–120. (In Russ.)
18. Chernikh TN, Perminov AV, Pudovikov VN, Kramar LYa. Dry barite having mixture for protection against ionizing radiation. *Dry construction mixtures*. 2012;(1): 28–29. (In Russ.)
19. Goncharov YuD, Ryzhov AS. *Sukhaya stroitel'naya smes [Dry construction mix]*: patent 2388715 Russian Federation: C04B 28/30, G21F 1/04, C04B 111/20; applicant and patent holder LLC “Alfapol”. No. 2008142229/03; application October 16, 2008; published May 10, 2010. Bul. No. 13. (In Russ.)

## For citation

Novikov NV, Samchenko SV, Okolnikova GE. Barite-containing radiation protective building materials. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2020;21(1):94–98. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2020-21-1-94-98> (In Russ.)