

УДК 628.38; 666.973.2; 539.1.074

## **Исследование экологической безопасности автоклавного золопенобетона, полученного с использованием золы от сжигания осадка сточных вод**

**Е. В. Русанова**

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Русанова Е. В. Исследование экологической безопасности автоклавного золопенобетона, полученного с использованием золы от сжигания осадка сточных вод // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2024. Т. 21, вып. 3. С. 686–693. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-03-686-693

### **Аннотация**

В статье приведены исследования экологической безопасности автоклавного золопенобетона с использованием золы от сжигания осадка сточных вод в построенном и эксплуатируемом производственном здании. Показано, что после продолжительной эксплуатации здание из автоклавного золопенобетона, полученного с использованием золы с завода по сжиганию осадка сточных вод, оказалось экологически безопасным для человека. **Цель:** зола от сжигания осадка сточных вод обладает высокой средней удельной радиоактивностью (радия и тория), что сильно ограничивает ее дальнейшее применение. Ранее было установлено, что применение золы от сжигания осадка сточных вод в качестве сырья в автоклавном золопенобетоне в различных пропорциях оказывает влияние на содержание естественных радионуклидов в готовой продукции. В статье рассматривается экологическая безопасность автоклавного золопенобетона после продолжительной эксплуатации. **Методы:** исследования проводились на действующем объекте при помощи поверенного дозиметра-радиометра АТОМЕХ МКС-АТ6130. **Результаты:** было установлено, что во всех образцах автоклавного золопенобетона с использованием золы от сжигания осадка сточных вод создаваемый радиационный фон был ниже нормы — на границе пороговых значений. **Практическая значимость:** результаты работы имеют важное значение для строительства, так как расширяют представления об особенностях автоклавного золопенобетона и возможности безопасного использования золы от сжигания осадка сточных вод в строительстве.

**Ключевые слова:** зола от сжигания осадка сточных вод, утилизация золы, автоклавный золопенобетон, применение автоклавного золопенобетона, строительство зданий, содержание естественных радионуклидов, радиационное исследование золы, экологическая безопасность

В настоящее время во многих городах мира реализована технология утилизации осадка, возникающего после очистки канализационных сточных вод. Осадок в виде золы получается чаще всего путем его сжигания в печах преимущественно с кипящим песчаным слоем. Это позволяет обработать весь поступающий осадок. Возникающая от сжигания осадка сточных вод зола позволяет существенно

сократить объем получающегося продукта, что влечет за собой значительное сокращение экономических затрат на перевозку и дальнейшее хранение. Необработанный осадок сточных вод, как и зола от его сжигания, являются отходом IV класса опасности [1, 2]. Однако зола гораздо меньше загрязняет окружающую среду, чем осадок, так как суммарный объем ее производства за год существенно меньше.

Физико-механические свойства золы от сжигания осадка сточных вод Санкт-Петербурга (ГУП «Водоканал СПб») были исследованы в [3].

С точки зрения экологической безопасности выявлено следующее:

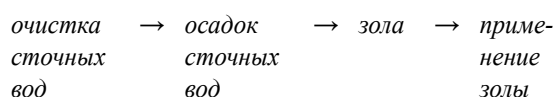
- пыление золы создает вторичное загрязнение воздушного бассейна вокруг полигонов складирования [4], загрязнение водного бассейна, в том числе подземных вод;

- повышенное содержание ионов тяжелых металлов и повышенное содержание естественных радионуклидов в золе от сжигания осадка сточных вод является следствием особенности канализования г. Санкт-Петербурга и обработки осадка в данной местности (рис. 1).

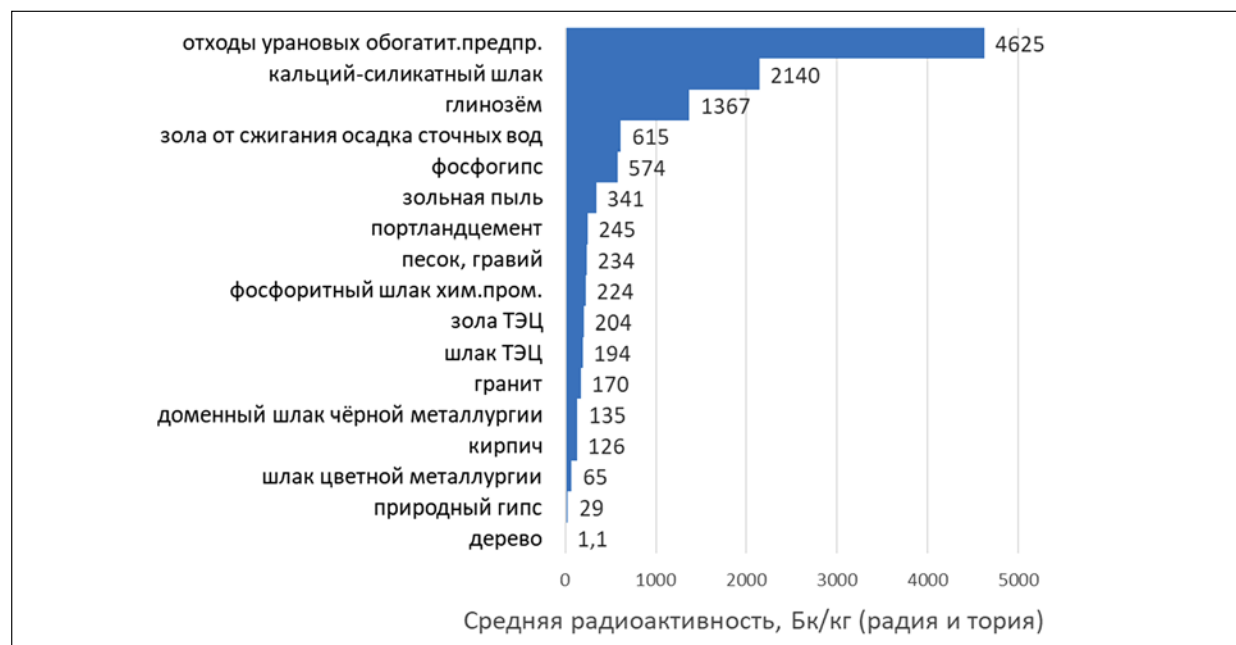
В НИИ радиационной гигиены и ГУП «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» были проведены исследования содержания естественных радионуклидов в золе при сжигании осадка (рис. 1). С точки зрения экологической безопасности зола от сжигания осадка сточ-

ных вод имеет умеренный класс опасности [5] — не выше II (рис. 2).

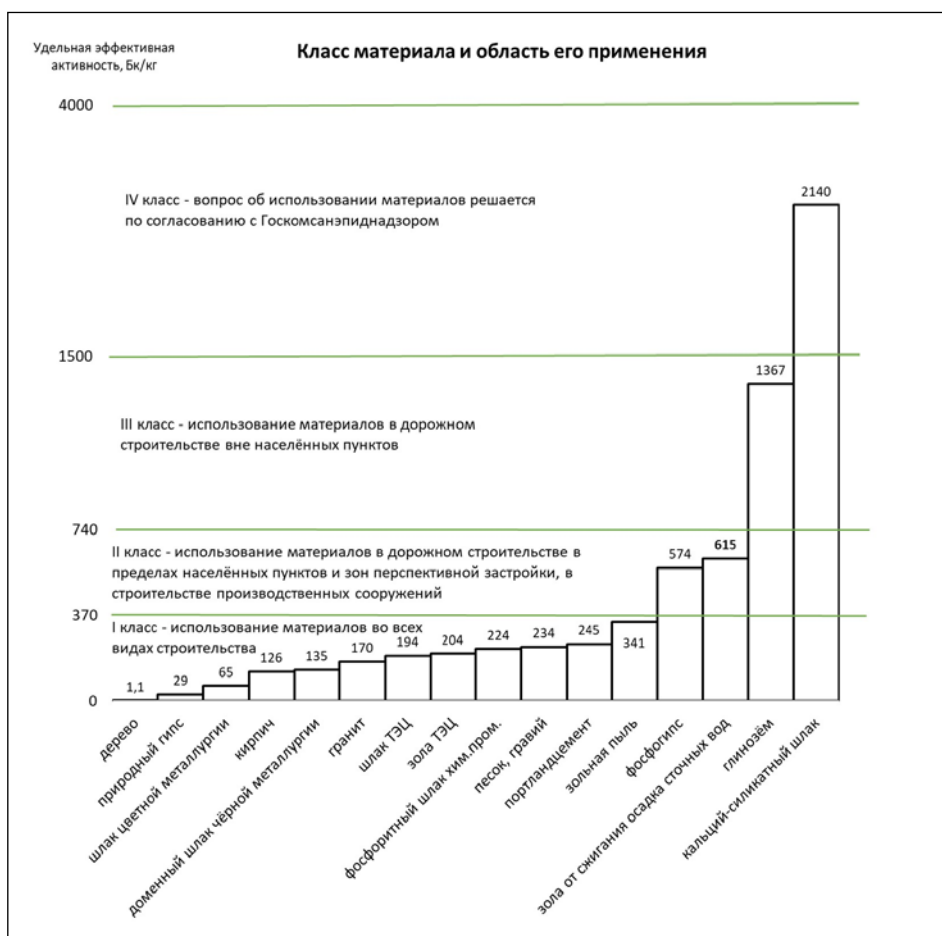
Несмотря на то что осадки после очистки сточных вод в мире сжигаются уже давно, вопрос о полном или хотя бы малоотходном производстве пока не решен. Длительное время ведутся исследования по использованию золы от сжигания осадка сточных вод [6, 7, 8, 9, 10], чтобы добиться полностью замкнутого цикла:



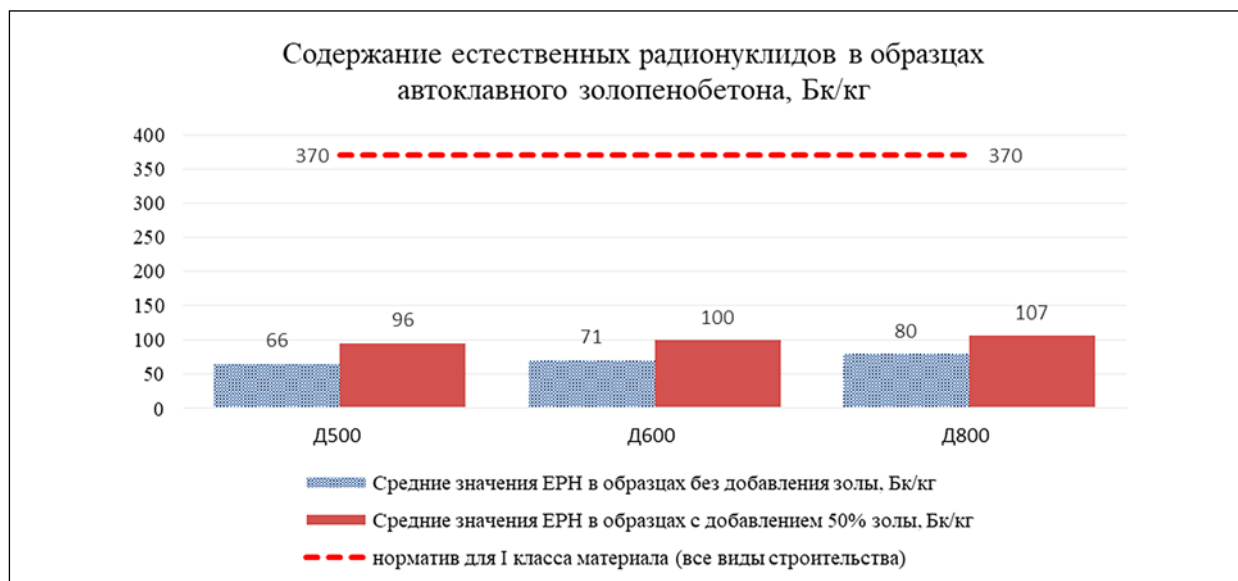
Один из вариантов использования золы от сжигания осадков сточных вод — использование ее как вторичного сырья при производстве пенобетона автоклавным методом. Данный материал получил название автоклавного золопенобетона [11], его основные свойства представлены в табл. 1. Содержание естественных радионуклидов в образцах автоклавного золопенобетона различного состава представлено на рис. 3.



**Рис. 1.** Содержание естественных радионуклидов в различных естественных и искусственных материалах



**Рис. 2.** Классы материалов и область их применения



**Рис. 3.** Содержание естественных радионуклидов в образцах автоклавного золопенобетона

ТАБЛИЦА 1. Свойства золопенобетона автоклавного твердения

| Средняя плотность золопенобетона, полученного по автоклавной технологии | Физико-механические свойства |                          |                         |                         | Средние значения ЕРН, Бк/кг |
|---|------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|
|   | Прочность при сжатии, МПа    | Сорбционная влажность, % | Морозостойкость, циклов | Теплопроводность, Вт/м° |                             |
| Д500 без золы   | 19                           | 11                       | 15                      | 0,12                    | 66                          |
| Д600 без золы   | 25                           | 12                       | 25                      | 0,14                    | 71                          |
| Д800 без золы   | 35                           | 15                       | 25                      | 0,21                    | 80                          |
| Д500 с 50% золы   | 15                           | 14                       | 15                      | 0,10                    | 96                          |
| Д600 с 50% золы   | 20                           | 14                       | 15                      | 0,12                    | 100                         |
| Д800 с 50% золы   | 25                           | 17                       | 15                      | 0,19                    | 107                         |

Автоклавный золопенобетон с использованием золы от сжигания осадка сточных вод экологически безопасен, так как относится к I классу (рис. 3), и его можно применять во всех сферах строительства без ограничений [12].

Таким образом получается создать полную цепочку утилизации данного вида отходов:

*очистка сточных вод* → *осадок сточных вод* → *зола* → *авто-клавный золопенобетон* → *применение в строительстве*



а



б

Рис. 4. Корпус промышленного здания (Предпортовая) из блоков автоклавного золопенобетона: а — 2005 год; б — 2024 год (фото Е. В. Русановой)

Опытная научно-производственная база строительных материалов Санкт-Петербургского государственного университета путей сообщения получила данные, с учетом которых был построен корпус промышленного здания из блоков автоклавного золопенобетона (рис. 4).

Для определения экологической безопасности были проведены исследования по определению уровня величины поглощенной дозы излучения на этом действующем объекте при помощи поверенного дозиметра-радиометра АТОМЕХ МКС-АТ6130 (рис. 5). Результаты замеров приведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Результаты измерения автоклавного золопенобетона

| Средняя плотность автоклавного золопенобетона | Средние измеренные значения, $\mu\text{Sv/h}$ |
|---|---|
| Д500 без золы                                 | 0,05  |
| Д600 без золы                                 | 0,05  |
| Д800 без золы                                 | 0,06  |
| Д500 с 50% золы                               | 0,06  |
| Д600 с 50% золы                               | 0,07  |
| Д800 с 50% золы                               | 0,08  |
| Фоновое измеренное значение                   | 0,08  |



**Рис. 5.** Проведение измерений автоклавного золопенобетона различного состава:  
*а* и *б* — блоки пенобетона, *в* — фоновое значение (фото Е. В. Русановой)

Измерения показали, что доза излучения в пределах корпуса промышленного здания составила не более  $0,08 \mu\text{Sv/h}$ . Также видно, что во всех случаях в исследуемых образцах доза излучения составила не более  $0,08 \mu\text{Sv/h}$  и находится в пределах фоновых значений (табл. 2). По сравнению с известными пороговыми значениями радиационного фона [13] автоклавный золопенобетон обладает безопасным уровнем для человека и составляет менее

$0,30 \mu\text{Sv/h}$  (рис. 6). То есть данный материал не вносит вклад в дополнительное облучение населения в целом и рабочих в частности.

Вывод: автоклавный золопенобетон, который получен с использованием золы от сжигания осадка канализационных сточных вод, является экологически чистым и безопасным для человека. Это позволяет без ограничений использовать его в строительстве, а область применения золы существенно расширить.



**Рис. 6.** Доза излучения, мкЗв/ч

**Библиографический список**

1. Об утверждении критериев отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативно-воздействия на окружающую среду: приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 04.12.2014 № 536.
2. Эколого-гигиеническая оценка отходов производства для применения в дорожном строительстве / Н.В. Русаков [и др.] // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96, № 4. С. 309–313. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-4-309-313. EDN YKUQIB.
3. Русанова Е. В. Физико-химические исследования автоклавного золопенобетона // Новые исследования в материаловедении и экологии: сборник научных статей сотрудников, аспирантов, докторантов и студентов. СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2005. Вып. 5. С. 95–96. EDN DHLODO.
4. Новые экозащитные технологии на железнодорожном транспорте: монография / Л.Б. Сватовская [и др.]. М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2007. 159 с. ISBN 978-5-89035-358-0. EDN RYRPAV.
5. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов.
6. Утилизация коммунальной золы / С.В. Селиванова [и др.] // Actualscience. 2016. Т. 2, № 4. С. 38–39. EDN VXCWHJ.
7. Сучкова М. В. Полезная утилизация золы сжигания осадка сточных вод // Нефтяная столица: Третий Международный молодежный научно-практический форум (Нижевартовск, 18–19 февраля 2020 года): сборник материалов. Нижевартовск: Центр научно-технических решений, 2020. С. 310–316. EDN LUJBYU.
8. Смирнов Ю. Д., Сучкова М. В. Перспективы полезного использования золы сжигания осадка сточных вод в народном хозяйстве // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 3 (79). С. 16–25. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.3.16-25. EDN WVMACH.
9. Результаты исследований по применению осадков городских сточных вод в производстве строительных материалов / М.В. Паршикова [и др.] // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21, № 4. С. 25–30. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-25-30. EDN VPNZUR.
10. Способ утилизации золы: патент № 2294905 С2 Российская Федерация, МПК С04В 20/04, С04В 18/06, С04В 20/10. № 2001136046/03 / С.В. Карпов, А.О. Дьяков; заявл. 26.12.2001, опубл. 10.03.2007. Заявитель: А.Г. Умвельт. EDN ZKGZBJ.
11. Автоклавный золопенобетон: патент № 2256632 С1 Российская Федерация, МПК С04В 38/10. № 2004108763/03 / Л. Б. Сватовская [и др.]; заявл. 24.03.2004, опубл. 20.07.2005. Заявитель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Министерства путей сообщения Российской Федерации». EDN ZOLIUX.
12. Русанова Е.В. Снижение радиоактивности при производстве строительных материалов // Новые исследования в материаловедении и экологии: сборник научных статей сотрудников, аспирантов, докторантов и студентов (кафедра «Инженерная химия и защита окружающей среды») / отв. ред. Л.Б. Сватовская. СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2004. С. 71–74. EDN PSOJFK.
13. Stabin M. G. Radiation Protection and Dosimetry: an Introduction to Health Physics. Springer, 2010.

Дата поступления: 18.07.2024

Решение о публикации: 01.09.2024

**Контактная информация:**

РУСАНОВА Екатерина Владимировна — канд. техн. наук, доцент; rusanovaev@mail.ru



## Research of ecological safety of autoclaved ash-foam concrete produced with ash from sewage sludge incineration

E. V. Rusanova

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

**For citation:** *Rusanova E.V.* Research of ecological safety of autoclaved ash-foam concrete, produced with ash from sewage sludge incineration // Proceedings of Petersburg Transport University. 2024. Vol. 21, iss. 3. P. 686–693. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2024-03-686-693

### Abstract

The article presents the research of ecological safety of autoclaved ash-foam concrete using ash from sewage sludge incineration in the constructed and operated production building. It is shown that after more than eighteen years of operation, the building made of autoclaved ash-foam concrete obtained using ash from sewage sludge incineration plant turned out to be environmentally safe for humans. **Purpose:** ash from sewage sludge incineration has high average specific radioactivity (radium and thorium), which strongly limits its further use. Earlier it was found that the use of ash from sewage sludge incineration as a raw material in autoclaved ash-foam concrete in different proportions affects the content of natural radionuclides in the finished product. The paper considers the environmental safety of autoclaved ash-foam concrete after prolonged operation. **Methods:** the research was carried out at the operating facility using a verified dosimeter-radiometer ATOMEX MKC-AT6130. **Results:** it was found that in all samples of autoclaved ash-foam concrete produced with ash from sewage sludge incineration the generated radiation background was below the norm, on the border of threshold values. **Practical significance:** the results of the work are important for construction, as they expand the ideas about the peculiarities of autoclaved ash-foam concrete and the possibility of safe use of ash from sewage sludge incineration in construction.

**Keywords:** ash from sewage sludge incineration, ash utilisation, autoclaved ash-foam concrete, application of autoclaved ash-foam concrete, building construction, natural radionuclide content, radiation study of ash, environmental safety

### References

1. Ob utverzhdenii kriteriev otneseniya otkhodov k I–V klassam opasnosti po stepeni negativnogo vozdeystviya na okruzhayushhuyu sredu: prikaz Ministerstva prirodny`x resursov i e`kologii RF ot 04.12.2014 № 536. (In Russian)

2. E`kologo-gigienicheskaya ocenka otkhodov proizvodstva dlya primeneniya v dorozhnom stroitel`stve / N. V. Rusakov [i dr.] // *Gigiena i sanitariya*. 2017. T. 96, № 4. S. 309–313. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-4-309-313. EDN YKUQIB. (In Russian)

3. Rusanova E. V. Fiziko-ximicheskie issledovaniya avtoklavnogo zolopenobetona // *Novy`e issledovaniya v materialovedenii i e`kologii: sbornik nauchny`x statej sotrudnikov, aspirantov, doktorantov i studentov*.

SPb.: Peterburgskij gosudarstvenny`j universitet putej soobshheniya Imperatora Aleksandra I, 2005. Vy`p. 5. S. 95–96. EDN DHLODO. (In Russian)

4. Novy`e e`kozashhitny`e texnologii na zhelezno-dorozhnom transporte: monografiya / L. B. Svatovskaya [i dr.]. M.: Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte, 2007. 159 s. ISBN 978-5-89035-358-0. EDN RYRPAV. (In Russian)

5. GOST 30108–94. Materialy` i izdeliya stroitel`ny`e. Opreделение udel`noj e`ffektivnoj aktivnosti estestvenny`x radionuklidov. (In Russian)

6. Utilizaciya kommunal`noj zoly` / S. V. Selivanova [i dr.] // *Actualscience*. 2016. T. 2, № 4. S. 38–39. EDN VXCWHJ. (In Russian)

7. Suchkova M. V. Poleznaya utilizatsiya zoly` szhiganiya osadka stochny`x vod // Neftyanaya stolitsa: Tretij Mezhdunarodny`j molodezhny`j nauchno-prakticheskij forum (Nizhnevartovsk, 18–19 fevralya 2020 goda): sbornik materialov. Nizhnevartovsk: Centr nauchno-texnicheskix reshenij, 2020. S. 310–316. EDN LUJBYU. (In Russian)
8. Smirnov Yu. D., Suchkova M. V. Perspektivy` poleznogo ispol`zovaniya zoly` szhiganiya osadka stochny`x vod v narodnom xozyajstve // Voda i e`kologiya: problemy` i resheniya. 2019. № 3 (79). S. 16–25. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.3.16-25. EDN WVMACH. (In Russian)
9. Rezul`taty` issledovanij po primeneniyu osadkov gorodskix stochny`x vod v proizvodstve stroitel`ny`x materialov / M. V. Parshikova [i dr.] // Intellektual`ny`e sistemy` v proizvodstve. 2023. T. 21, № 4. S. 25–30. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-25-30. EDN VPNZUR. (In Russian)
10. Sposob utilizatsii zoly`: patent № 2294905 C2 Rossijskaya Federaciya, MPK C04B 20/04, C04B 18/06, C04B 20/10. № 2001136046/03 / S. V. Karpov, A. O. D`yakov; zayavl. 26.12.2001, opubl. 10.03.2007. Zayavitel`: A. G. Umvel`t. EDN ZKGZBJ. (In Russian)
11. Avtoklavny`j zolopenobeton: patent № 2256632 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK C04B 38/10. № 2004108763/03 / L. B. Svatovskaya [i dr.]; zayavl. 24.03.2004, opubl. 20.07.2005. Zayavitel`: Gosudarstvennoe obrazovatel`noe uchrezhdenie vy`sshego professional`nogo obrazovaniya “Peterburgskij gosudarstvenny`j universitet putej soobshheniya Ministerstva putej soobshheniya Rossijskoj Federacii”. EDN ZOLIUX. (In Russian)
12. Rusanova E. V. Snizhenie radioaktivnosti pri proizvodstve stroitel`ny`x materialov // Novy`e issledovaniya v materialovedenii i e`kologii: sbornik nauchny`x statej sotrudnikov, aspirantov, doktorantov i studentov (kafedra “Inzhenernaya ximiya i zashhita okruzhayushhej sredy”) / otv. red. L. B. Svatovskaya. SPb.: Peterburgskij gosudarstvenny`j universitet putej soobshheniya Imperatora Aleksandra I, 2004. S. 71–74. EDN PSOJFK. (In Russian)
13. Stabin M. G. Radiation Protection and Dosimetry: an Introduction to Health Physics. Springer, 2010.

Received: 18.07.2024

Accepted: 01.09.2024

**Author’s information:**

Ekaterina V. RUSANOVA — PhD in Engineering, Associate Professor; rusanovaev@mail.ru