

## **Исследование золы от сжигания осадка сточных вод как сырья для создания инновационных строительных материалов**

УДК 691-478, 543.442.2

DOI: <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2025-13-4-C0009>

Номер статьи: C0009

### **Русанова Екатерина Владимировна**

канд. техн. наук, доцент,

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,  
доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика»

Санкт-Петербург, Россия

SPIN: 2768-4523

[rusanova@pgups.ru](mailto:rusanova@pgups.ru)

Статья получена: 03.11.2025. Одобрена: 08.12.2025. Опубликовано онлайн: 25.12.2025. © РИОР

**Аннотация.** В данной статье был проанализирован качественный состав золы от сжигания осадка сточных вод методом неразрушающего исследования при помощи рентгеновского дифрактомера ЭКРОС XRD-9500. Проведённые исследования доказывают, что возможно использование золы от сжигания осадка сточных вод в качестве сырья в том числе для строительных материалов с особыми свойствами.

**Ключевые слова:** сырьё, изоляционный золопенобетон, анализ, зола от сжигания осадка сточных вод, золопенобетон, рентгенофазовый анализ.

## **Research of ash from the incineration of sewage sludge as a raw material for the creation of innovative building materials**

### **Rusanova Ekaterina Vladimirovna**

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,

Department of Water supply, Sewerage and Hydraulics, Associate Professor

St. Petersburg, Russian Federation

[rusanova@pgups.ru](mailto:rusanova@pgups.ru)

**Abstract.** In this article, the qualitative composition of ash from incineration of sewage sludge by non-destructive examination using the ECROS XRD-9500 X-ray diffractometer was analyzed. The studies conducted prove that it is possible to use ash from the burning of sewage sludge as raw materials, including for building materials with special properties.

**Keywords:** raw materials, insulating ash-foam concrete, analysis, ash from the incineration of sewage sludge, ash foam concrete, X-ray analysis.

### **Введение**

До настоящего времени окончательно не решён вопрос с утилизацией основных отходов жилищно-коммунального хозяйства, таких как сточные воды. Они проходят очистку на очистных сооружениях, тогда как осадок, остающийся после очистки, чаще всего складывается на полигонах. В городе Санкт-Петербурге частично решена данная проблема – осадок сточных вод сжигается на ЗСО (заводах сжигания осадка), в результате чего объём его существенно сокращается примерно на порядок. Однако по-прежнему полигоны

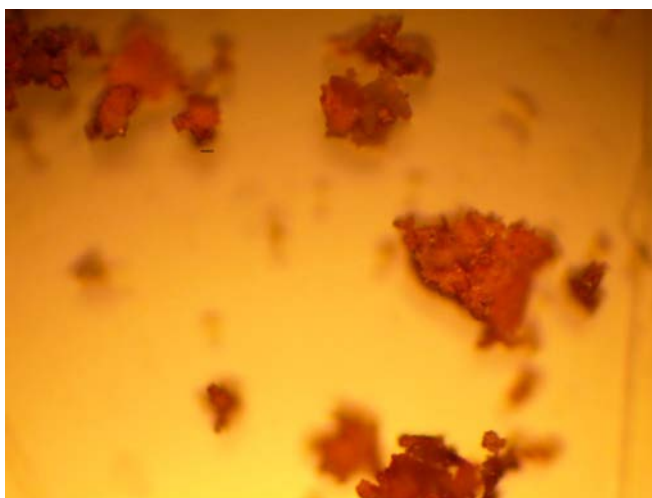
продолжают заполняться, но уже не так интенсивно. Актуальность данной работы связана с исследованием золы от сжигания осадка сточных вод как потенциального сырья для создания инновационных строительных материалов.

### История вопроса

В Санкт-Петербурге на настоящий момент работает три завода по сжиганию осадка сточных вод – на Центральной станции аэрации, о. Белый, на Северной станции аэрации и на Юго-Западных очистных сооружениях. Частично задача использования золы от сжигания осадка сточных вод была решена в работах [1, 2], где зола от сжигания осадка сточных вод использовалась как компонент автоклавного золопенобетона<sup>1</sup>, также отдельно в литературе рассматривался вопрос об использовании зол различного происхождения как сырья при производстве строительной керамики [3], лёгких бетонов [4] и других видов строительных изделий. Одновременно были выявлены и недостатки использования золы от сжигания осадка сточных вод как сырья – в том числе такие как токсичность и повышенное содержание радионуклидов [3, 5, 6], что может препятствовать применению изготовленных материалов в гражданском строительстве, где есть серьёзные ограничения к качеству исходного сырья. Однако применение для промышленности, железнодорожного транспорта, оборонных и других негражданских объектов таких ограничений нет.

### Эксперимент

Микрофотография частиц золы балы выполнена в научно-исследовательской лаборатории комплексных физико-химических исследований на металлографическом микроскопе Altami MET 6C. Результаты представлены на Рис. 1. Видно, что зола от сжигания осадка сточных вод представляет собой мельчайшие частицы красно-коричневого цвета с очень развитой поверхностью.



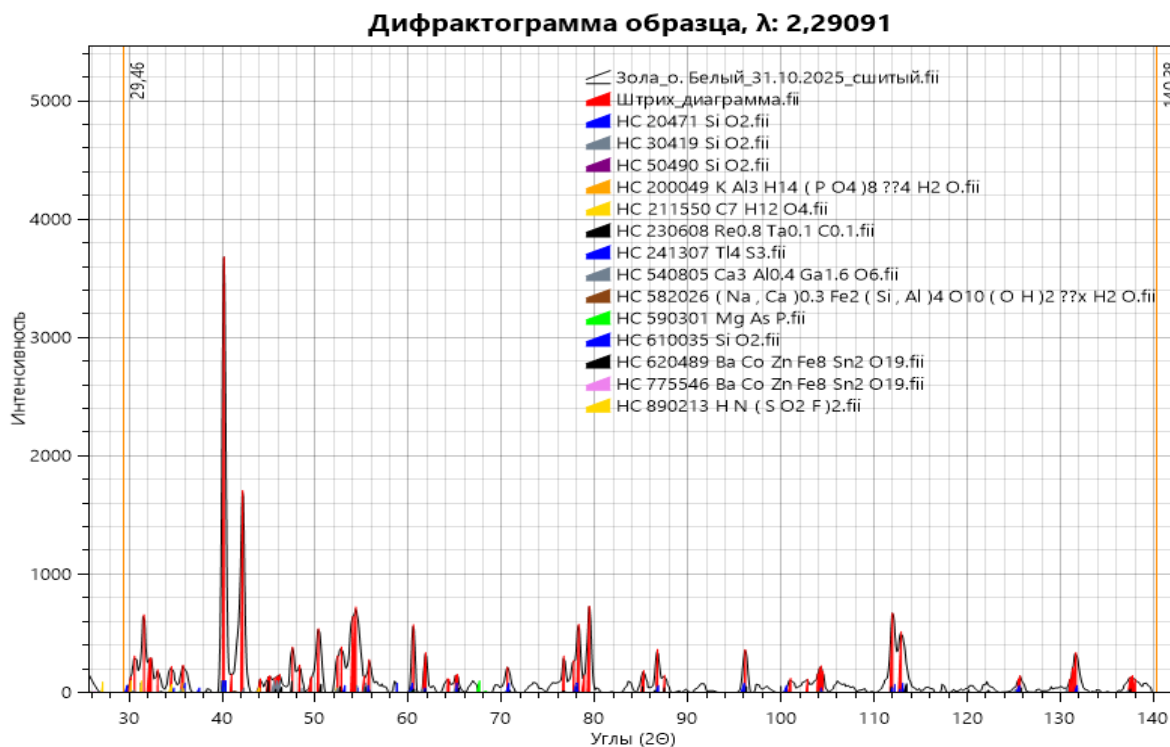
**Рис. 1.** Частицы золы от сжигания осадка сточных вод

<sup>1</sup> 1. Патент № 2256632 С1 РФ, МПК С04В 38/10. Автоклавный золопенобетон : № 2004108763/03 : заявл. 24.03.2004 : опубл. 20.07.2005 / Л. Б. Сватовская, В. Я. Соловьева, А.В. Хитров [и др.] ; заявитель ГОУВПО "Петербургский государственный университет путей сообщения Министерства путей сообщения Российской Федерации". ZOLIUX.

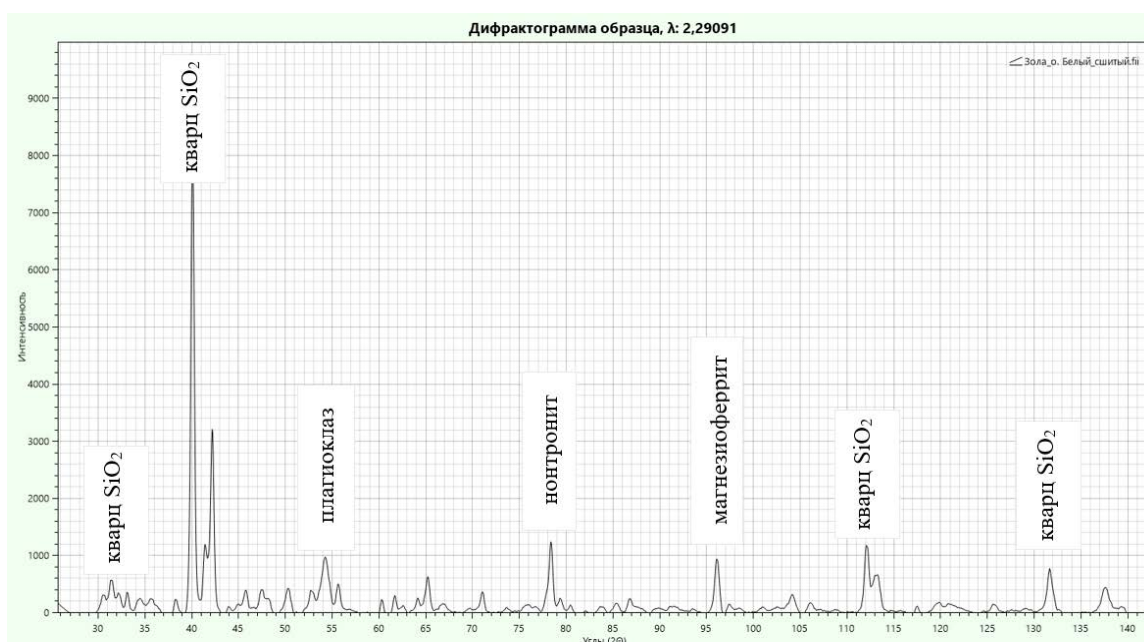
2. Патент № 2646924 С1 РФ, МПК С04В 38/10. Автоклавный золопенобетон : № 2017110314 : заявл. 28.03.2017 : опубл. 12.03.2018 / Л. Б. Сватовская, А. М. Сычева [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I". FZZPQA.

3. Патент № 2647712 С1 РФ, МПК С04В 38/10, С04В 28/04, С04В 18/10. Автоклавный золопенобетон : № 2017110120 : заявл. 27.03.2017 : опубл. 19.03.2018 / Л. Б. Сватовская, М. Абу-Хасан [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I". ZEDTXN.

Рассмотрение образцов золы от сжигания осадка сточных вод проводился на дифрактомере рентгеновский ЭКРОС XRD-9500 (внесён в государственный реестр средств измерений РФ под № 88425-23.Р). Проведение опытов с использованием рентгеновского излучения для анализа структуры материалов осуществлялся в научно-исследовательской лаборатории комплексных физико-химических исследований Петербургского государственного университета путей сообщения. В качестве исследуемого материала использовалась зола от сжигания осадков сточных вод о. Белый, г. Санкт-Петербург. Бралась навеска весом около 0,13-0,14 г и проводились измерения в углах 25-30-40-50-60 градусов в течение 30 минут. Результаты представлены на Рис. 2 в виде дефектограммы образца.



**Рис. 2.** Дифрактограмма образца, λ: 2,29091



**Рис. 3.** Наиболее выраженные вещества

На Рис. 3 представлены наиболее выраженные идентифицированные вещества. На дифрактограмме образца выявлены пики, соответствующие минералам кварца  $\text{SiO}_2$ , также были выявлены соединения: магнезиоферрит  $\text{MgFe}_2\text{O}_4$ , плагиоклаз  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ , нонтронит  $\text{Na}_{0.3}\text{Fe}_2((\text{Si,Al})_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Фазы, определённые при помощи рентгенофазового анализа с использованием рентгеновского излучения для анализа структуры материалов, представлены в Таблице 1. Из таблицы видно, что данный вид сырья является многокомпонентным сложным веществом, которое имеет в своём составе в виде основного компонента оксид кремния в виде аморфной фазы.

Таблица 1

Таблица определённых фаз

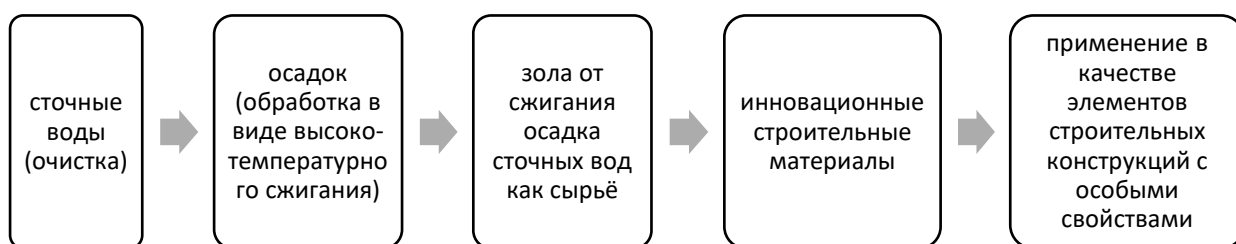
<i>ID</i>	<i>Формула</i>	<i>Название</i>	<i>Минерал</i>
20471	$\text{SiO}_2$	Silicon Oxide	Quartz
30419	$\text{SiO}_2$	Silicon Oxide	Quartz
50490	$\text{SiO}_2$	Silicon Oxide	Quartz, low
200049	$\text{KAl}_3\text{H}_{14}(\text{PO}_4)_8 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	Potassium Aluminum Hydrogen Phosphate Hydrate	
211550	$\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}_4$	4-C-Cyclopropyl-d-xylo-tetrofuranose	
230608	$\text{Re}_{0.8}\text{Ta}_{0.1}\text{C}_{0.1}$	Rhenium Tantalum Carbide	
241307	$\text{Tl}_4\text{S}_3$	Thallium Sulfide	
540805	$\text{Ca}_3\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{1.6}\text{O}_6$	Calcium Aluminum Gallium Oxide	
582026	$(\text{Na,Ca})_{0.3}\text{Fe}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	Sodium Calcium Iron Aluminum Silicate Hydroxide Hydrate	Nontronite
590301	$\text{Mg As P}$	Magnesium Arsenide Phosphide	
610035	$\text{SiO}_2$	Silicon Oxide	
620489	$\text{Ba Co Zn Fe}_8 \text{ Sn}_2 \text{ O}_{19}$	Barium Cobalt Zinc Iron Tin Oxide	
775546	$\text{Ba Co Zn Fe}_8 \text{ Sn}_2 \text{ O}_{19}$	Potassium Sodium Manganese Aqua Tungsten Silicate Hydrate	
890213	$\text{H N (SO}_2\text{F)}_2$	Hydrogen Nitrogen Sulfonyl Fluoride	

## Результаты и обсуждение

Основная фаза, которая была идентифицирована в рентгенофазовом анализе – диоксид кремния (кварц), это частично объясняется тем, что при сжигании осадка сточных вод используется система «пирофлюид», когда предварительно обезвоженный осадок сжигается в печах с псевдосжиженным слоем песка. При этом часть песка подвергается повышенному истиранию, вследствие чего уносится вместе с золой. В исследованиях было установлено, что добавление аморфной фазы вместо кристаллической фазы при производстве строительных материалов (то есть, замена процентного содержания песка на золу от сжигания осадка сточных вод) способствует уменьшению свободного пробега

фонона<sup>2</sup>. Как было доказано, это приводит к тому, что золопенобетонные конструкции обладают улучшенными свойствами по теплоизоляции, а также по шумозащитным свойствам по сравнению с пенобетонами, где такой добавки нет. Наличие в исследуемых образцах плагиоклаза и карбида тантала — предполагает использование данного материала как возможное сырьё при изготовлении керамического материала, который будет обладать повышенной устойчивостью к тепловым ударам и механической эрозии. Однако наличие в составе нонtronита может повышать сорбционную способность материалов.

Таким образом возможно утилизировать золу от сжигания осадка сточных вод практически по замкнутому циклу (Рис. 4).



**Рис. 4.** Жизненный цикл коммунальных сточных вод

Также возможно будет утилизировать золу, которая производится в настоящее время на трёх заводах Санкт-Петербурга, а при наличии реализуемых проектов по негражданскому строительству, возможно и освободить те территории полигонов, которые в настоящий момент отведены под хранение и куда свозится производимая зола от сжигания осадка сточных вод. Возможные направления использования золы от сжигания осадка сточных вод как источника основного или дополнительного сырья при производстве материалов различного назначения:

- ограждающие строительные конструкции;
- теплозащитные материалы;
- шумозащитные материалы;
- жаростойкие керамические изделия;
- керамические изделия повышенной прочности;
- строительные материалы с особыми свойствами;
- другие специальные строительные конструкции.

## Выводы

Предполагается разработка и использование новых материалов как часть многослойных ограждающих конструкций, каждый слой которой будет обладать особыми свойствами, такими как особопропрочностные характеристики, шумозащитные свойства, теплоизоляционные свойства и другие.

## Список литературы

1. Sychova A., Sychov M., Rusanova E. Method of Obtaining Geonoiseprotective Foam Concrete for Use on Railway Transport // Procedia Engineering. 2017. V. 189. Pp. 681-687. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.108>
2. Русанова Е. В. Технологии утилизации некоторых отходов промышленности и транспорта и их комплексная оценка: дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. н. Санкт-Петербург, 2005. 211 с. EDN NNPYBX

<sup>2</sup> Патент № 2647712 С1 РФ, МПК С04В 38/10, С04В 28/04, С04В 18/10. Автоклавный золопенобетон: № 2017110120 : заявл. 27.03.2017: опубл. 19.03.2018 / Л. Б. Сватовская, М. Абу-Хасан [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I".ZEDTXN.

3. Шахов, С. А. Экологическая оценка утилизации осадка бытовых сточных вод в виде золы при производстве строительной керамики // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2022. № 2(61). С. 77-85. DOI 10.52170/1815-9265\_2022\_61\_77. EDN YZVUCW
4. Красова А. В., Смирнова О. Е., Шахов С. А. Исследование физико-химических свойств осадка ливневых сточных вод для применения в производстве лёгкого бетона // Эксперт: теория и практика. 023. № 3(22). С. 93-97. DOI 10.51608/26867818\_2023\_3\_93. EDN XPNITH
5. Семенова В. В., Аликбаева Л. А. Оценка токсичности и опасности отходов, образующихся при очистке городских сточных вод и сжигании осадка // Гигиена и санитария. 2008. № 2. С. 52-54. EDN TIWYAV
6. Русанова, Е. В., Масленникова Л. Л. Безопасное размещение отходов повышенной радиоактивности // Инновационные технологии в строительстве и геоэкологии : Материалы II Международной научно-практической конференции, Москва, 30 июня 2015 года / Петербургский государственный университет путей сообщения имени императора Александра I, Кафедра «Инженерная химия и естествознание». Москва: ООО "Издательство "Спутник+", 2015. С. 98-100. EDN UKCUOD

### References

1. Sychova A., Sychov M., Rusanova E. Method of Obtaining Geoniseprotective Foam Concrete for Use on Railway Transport // Procedia Engineering. 2017. V. 189. Pp. 681-687. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.108>
2. Rusanova, E. V. Technologies for the disposal of some industrial and transport waste and their comprehensive assessment: dissertation for the degree of candidate of technical sciences. St. Petersburg, 2005. 211 p.
3. Shakhov, S. A. Environmental assessment of the domestic sewage sludge disposal in the form of ash when producing building ceramics // Bulletin of the Siberian State University of Railways. 2022. № 2(61). Pp. 77-85. DOI 10.52170/1815-9265\_2022\_61\_77
4. Krasova A. V., Smirnova O. E., Shakhov S. A. Investigation of physicochemical properties of stormwater sludge for use in the production of lightweight concrete // Expert: theory and practice. 2023. № 3(22). Pp. 93-97. DOI 10.51608/26867818\_2023\_3\_93
5. Semenova V.V., Alikbaeva L.A. Evaluation of the toxicity and hazard of waste resulting from municipal sewage purification and sediment incineration // Hygiene and sanitation. 2008. № 2. Pp. 52-54.
6. Rusanova, E. V., Maslennikova L. L. Safe disposal of waste of increased radioactivity/ // Innovative technologies in construction and geoecology: Materials of the II International Scientific and Practical Conference, Moscow, June 30, 2015 / St. Petersburg State University of Railways named after Emperor Alexander I, Department "Engineering Chemistry and Natural Science." Moscow: Sputnik+Publishing House LLC, 2015. Pp. 98-100.