

УДК 628.16:621.1

**А. А. Мухин, Р. А. Арсланова, В. А. Востриков**

*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ СОРБЕНТОВ В СИСТЕМЕ ВОДОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Рассматривается актуальная проблема повышения качества водоподготовки на объектах теплоэнергетики, которая напрямую влияет на надежность и экономичность работы оборудования. Особое внимание уделено применению природных и синтетических минеральных сорбентов. Проведен анализ современных технологий водоподготовки, таких как ионный обмен и мембранные методы. Представлены результаты экспериментальных исследований сорбционной активности опоки, цеолита, силикагеля и кокосового активированного угля по отношению к ионам железа ( $\text{Fe}^{3+}$ ), кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ), магния ( $\text{Mg}^{2+}$ ) и органическим веществам (по показателю ХПК). Выявлено, что цеолит обладает максимальной эффективностью в удалении железа (до 100 %), а кокосовый уголь — в снижении окисляемости (до 18 %). Описана разработанная конструкция фильтра спиральной формы, интегрированного в экспериментальную установку. Дана оценка экологическим и экономическим аспектам применения сорбентов. Сделан вывод о перспективности использования композитных загрузок на основе цеолита и кокосового угля для систем водоподготовки и отопления.

**Ключевые слова:** водоподготовка, теплоэнергетика, минеральные сорбенты, цеолит, кокосовый уголь, ионы железа, очистка воды, фильтр, жесткость воды, ХПК.

### **Введение**

Водоподготовка является критически важным этапом в обеспечении надежной и эффективной работы теплоэнергетических объектов. Качество воды, используемой в системах теплоснабжения и паровых котлах, определяет интенсивность коррозионных процессов, скорость образования накипи на теплообменных поверхностях и, как следствие, срок службы оборудования. Вода природных источников, особенно в регионах с высокой минерализацией, таких как Астраханская область, содержит повышенные концентрации солей жесткости (кальция и магния), соединений железа и органических примесей [1—3]. Традиционные методы водоподготовки, включая химическое обессоливание и ионный обмен, часто сопряжены с высокими эксплуатационными затратами на реагенты и проблемами утилизации сточных вод [2, 4].

В связи с этим возрастает интерес к использованию природных минеральных сорбентов, которые отличаются экологичностью, доступностью и высокими адсорбционными свойствами [5—7]. Целью данной работы являются исследование эффективности применения различных минеральных сорбентов (опока, цеолит, силикагель, кокосовый уголь) для удаления характерных загрязнителей теплоносителя и разработка рекомендаций по их использованию в системах водоподготовки и отопления.

Результатом работы стал подбор оптимального сочетания сорбирующих компонентов и создание на их основе экспериментального сорбционного фильтра, являющегося промежуточным звеном при очистке и доочистке воды в действующих системах отопления, а также для водоподготовки и сброса воды в окружающую среду, что обосновывает практическую и научную новизну проведенных исследований.

## Основная часть

### *Анализ современных технологий водоподготовки*

Современный комплекс водоподготовки на ТЭЦ включает множество стадий, направленных на удаление механических примесей, коллоидных частиц, солей жесткости, растворенных газов и органических примесей. Среди физико-химических методов наибольшее распространение получили ионообменный способ и баромембранные технологии (обратный осмос, ультрафильтрация, нанофильтрация) [7].

Ионообменный способ основан на способности специальных смол обменивать ионы солей жесткости ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) на ионы  $\text{Na}^+$  или  $\text{H}^+$ . Несмотря на высокую степень очистки, этот метод требует значительных затрат на реагенты для регенерации смол и создает проблему утилизации засоленных стоков [8].

В настоящее время достаточно большое распространение получают мембранные технологии водоподготовки. В табл. 1 представлена сравнительная характеристика мембранных технологий, используемых в процессе водоподготовки на объектах теплоэнергетики.

Т а б л и ц а 1

*Сравнительная характеристика мембранных технологий [7]*

| Показатель                       | Обратный осмос | Ультрафильтрация | Нанофильтрация |
|----------------------------------|----------------|------------------|----------------|
| Рабочее давление, кПа            | 1575           | 525              | 875            |
| Энергозатраты, Вт/м <sup>3</sup> | 10,2           | 3                | 5,3            |
| Удаление неорганических веществ  | 95...99 %      | Частично         | 20...85 %      |
| Рабочий диапазон, мкм            | 0,0001...0,001 | 0,005...0,2      | 0,001...0,01   |

Из табл. 1 видно, что обратный осмос характеризуется высокой степенью очистки воды, достигающей уровня 95...99 % удаления неорганических веществ, и является самой эффективной технологией в процессе водоподготовки, но в то же время оказывается самым дорогостоящим и энергоемким методом. Высокая стоимость мембран, необходимость тщательной предварительной очистки воды и проблема утилизации концентрата (рассола) ограничивают их повсеместное применение. Метод ультрафильтрации главным образом предназначен для отделения макромолекул и коллоидных частиц, вследствие чего он способен устранять неорганические примеси лишь частично [9, 10]. Однако именно эта особенность делает его наименее затратным и экономичным среди аналогичных методов водоочистки. Нанофильтрация показывает переменный уровень удаления неорганики — от 20 до 85 %, что делает ее менее эффективной для полного очищения воды от минеральных соединений.

На сегодняшний день в системе водоподготовки для систем отопления, особенно автономных, наиболее востребованы фильтры механической очистки (грязевые, сетчатые) и простые химические (полифосфатные) фильтры [11]. Однако они тоже недостаточно решают проблему удаления растворенных соединений железа и органики, что влечет за собой поиск новых эффективных и более дешевых методов очистки и пробоподготовки воды в

системах отопления [12]. Достаточно перспективными с этой точки зрения могут стать фильтры с основой из природных минеральных сорбционных материалов [13].

### **Объекты и методы исследования**

#### *Объекты исследования*

В качестве объектов исследования были выбраны четыре типа сорбентов, различающихся по происхождению и структуре [14—16]:

1. Опока — природный микропористый кремнистый материал ( $\text{SiO}_2$  с примесями  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), удельная поверхность 200...500 м<sup>2</sup>/г.
2. Цеолит — природный алюмосиликат с каркасной структурой, обладающий высокой ионообменной емкостью (1,5...2,5 мг-экв/г).
3. Силикагель — синтетический гидрофильный сорбент (аморфный  $\text{SiO}_2$ ), удельная поверхность 700...1000 м<sup>2</sup>/г.
4. Кокосовый активированный уголь — высокопористый углеродный материал, полученный из скорлупы кокоса.

#### *Методика эксперимента*

Исследования проводились методом статической и динамической сорбции.

В статических условиях для оценки адсорбционной способности в 100 мл модельного раствора с известной концентрацией загрязнителя вносили навески сорбента массой 1, 2, 3, 4 и 5 г. Смесь перемешивали в течение 5 мин на магнитной мешалке, после чего фильтровали и анализировали фильтрат.

Определяемые показатели:

- концентрацию ионов  $\text{Fe}^{3+}$  определяли фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой согласно ГОСТ 4011—72;
- концентрацию ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  определяли титриметрическим методом с трилоном Б.

Химическое потребление кислорода (ХПК), характеризующее содержание органических веществ, определяли бихроматным методом.

В динамических условиях использовалась специально разработанная экспериментальная установка, включающая фильтр спиральной формы с открытым центральным каналом, заполненный смесью сорбентов (цеолит : кокосовый уголь = 1 : 1).

### **Результаты и их обсуждение**

#### **Оценка сорбционной активности по отношению к ионам $\text{Fe}^{3+}$**

Результаты эксперимента по удалению ионов железа представлены в табл. 2. Начальная концентрация  $\text{Fe}^{3+}$  в модельном растворе составляла 4,80 мг/л.

Анализ данных показывает:

- Цеолит продемонстрировал наилучшие результаты, полностью извлекая ионы железа уже при минимальной навеске в 1 г. Его статическая обменная емкость составила 15 мг Fe / 1 г сорбента, что объясняется ионообменным механизмом поглощения.
- Опока показала высокую эффективность (до 99,79 % при массе 5 г), что связано с ее развитой пористой структурой и химическим сродством к ионам металлов.
- Кокосовый уголь показал нестабильные результаты: при массе 1 г эффективность высокая (98,13 %), но при увеличении навески до 3 г

наблюдается резкий выброс концентрации железа. Вероятно, это связано с десорбцией ранее поглощенных примесей из самого сорбента или с особенностями его структуры, что требует дополнительной промывки материала перед использованием.

- Силикагель оказался наименее эффективным сорбентом для железа, что обусловлено его большим сродством к полярным молекулам, таким как вода, а не к ионам металлов.

Т а б л и ц а 2

*Эффективность сорбентов по отношению к ионам  $Fe^{3+}$*

| Масса сорбента, г             | 0    | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     |
|-------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>Силикагель</i>             |      |       |       |       |       |       |
| Концентрация $Fe^{3+}$ , мг/л | 4,80 | 4,49  | 4,03  | 3,82  | 3,59  | 3,22  |
| Коэффициент извлечения, %     | —    | 6,46  | 16,04 | 20,42 | 25,21 | 32,93 |
| <i>Опока</i>                  |      |       |       |       |       |       |
| Концентрация $Fe^{3+}$ , мг/л | 4,80 | 1,89  | 1,04  | 0,45  | 0,22  | 0,01  |
| Коэффициент извлечения, %     | —    | 60,63 | 78,33 | 90,63 | 95,42 | 99,79 |
| <i>Цеолит</i>                 |      |       |       |       |       |       |
| Концентрация $Fe^{3+}$ , мг/л | 4,80 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Коэффициент извлечения, %     | —    | 100   | 100   | 100   | 100   | 100   |
| <i>Кокосовый уголь</i>        |      |       |       |       |       |       |
| Концентрация $Fe^{3+}$ , мг/л | 4,80 | 0,09  | 0,16  | 4,18  | 3,17  | 2,18  |
| Коэффициент извлечения, %     | —    | 98,13 | 96,67 | 12,92 | 33,96 | 54,58 |

### ***Влияние сорбентов на содержание органических веществ (ХПК)***

Оценка изменения окисляемости воды проводилась на растворе с начальным ХПК = 134,4 мг  $O_2$ /л. Результаты представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

*Изменение ХПК после обработки сорбентами*

| Сорбент         | ХПК до сорбции, мг $O_2$ / л | ХПК после сорбции, мг $O_2$ / л | Изменение, % |
|-----------------|------------------------------|---------------------------------|--------------|
| Кокосовый уголь | 134,4                        | 110                             | –18,1        |
| Силикагель      | 134,4                        | 144                             | +7,1         |
| Опока           | 134,4                        | 163                             | +21,2        |
| Цеолит          | 134,4                        | 147                             | +9,4         |

Отрицательное значение означает снижение ХПК (улучшение качества), положительное — рост ХПК (ухудшение качества).

Наилучший результат показал кокосовый уголь, снизив ХПК на 18,1 %. Это объясняется его высокой адсорбционной способностью по отношению к неполярным органическим соединениям. Увеличение ХПК в пробах с цеолитом, опокой и силикагелем может быть связано с вымыванием из сорбентов

мелкой взвеси или органических примесей, содержащихся в самих минералах, что указывает на необходимость их предварительной подготовки (отмывки).

***Оценка сорбционной активности по отношению к ионам  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$***

Исследование показало, что ни один из четырех сорбентов не проявил значимой адсорбционной активности по отношению к ионам кальция и магния. Концентрации этих ионов в растворах после контакта с сорбентами оставались практически неизменными. Это свидетельствует о том, что данные материалы неэффективны для снижения общей жесткости воды и требуют комбинирования с другими методами (например, ионный обмен или обратный осмос).

***Разработка экспериментальной установки и динамические испытания***

Для детального изучения влияния предлагаемых фильтрующих материалов на эффективность и долговечность систем отопления была разработана лабораторная экспериментальная установка, наглядно демонстрирующая функционирование системы отопления с использованием фильтра на основе минеральных сорбентов. Схема установки представлена на рис. 1.

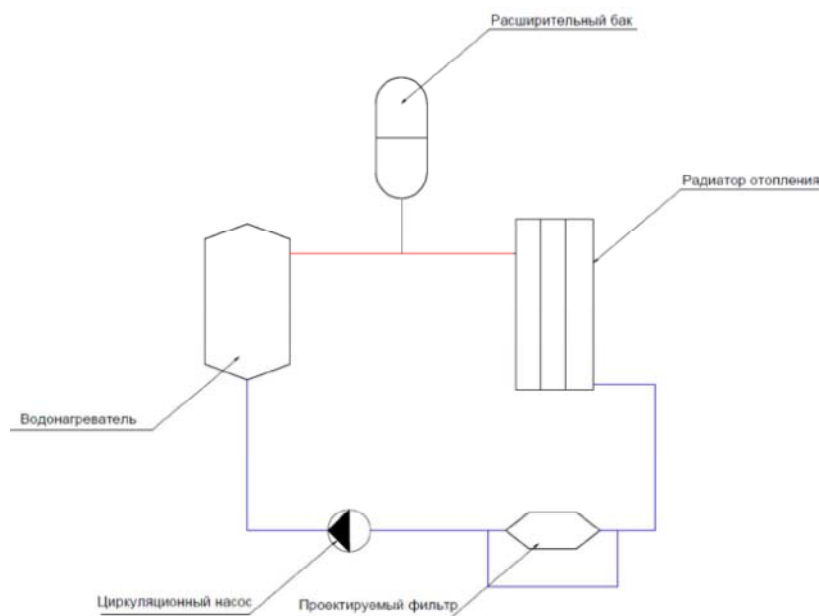


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Для экспериментальной установки был спроектирован фильтр, выполненный в форме спирали с открытым центральным каналом (рис. 2). Конструкция фильтра в виде спирали способствует увеличению площади взаимодействия потока жидкости с сорбирующим материалом, снижению гидравлического сопротивления и предотвращает образование отложений и засорений.

Исходя из результатов исследования свойств сорбентов, для изготовления композитной загрузочной смеси фильтра было принято решение использовать смесь цеолита (обладающего способностью к удалению железа) и активированного кокосового угля (эффективного для адсорбции органических соединений) в пропорции 1 : 1.

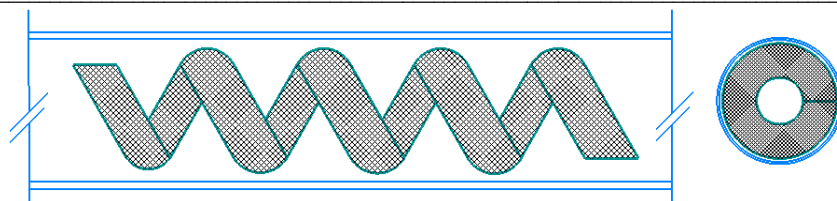


Рис. 2. Спроектированный фильтр

Отбор проб очищенной воды производился последовательно с интервалами в 15, 30, 60 и 120 мин. Результаты динамической сорбции представлены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

*Результаты динамической фильтрации воды из систем теплоснабжения*

| Время работы, мин | Показатели              |                         |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|
|                   | $\text{Fe}^{3+}$ , мг/л | ХПК, мг $\text{O}_2$ /л |
| 0                 | 0,041                   | 121,6                   |
| 15                | 0,056*                  | 115,4                   |
| 30                | 0,058*                  | 83,2                    |
| 60                | 0,040                   | 80,3                    |
| 120               | 0,039                   | 76,1                    |

*Примечание:* \* — начальный выброс может объясняться промывкой загрузки и удалением воздуха из пор.

Из полученных данных видно, что во время работы фильтра 15 и 30 мин произошел резкий скачок содержания железа, что может быть связано с промывкой кокосового угля. Но с увеличением времени работы фильтра заметно снижение концентрации железа. За 120 мин работы содержание железа снизилось на 0,002 мг/л по сравнению с исходными данными. Содержание органических веществ динамично снижалось в зависимости от времени работы фильтра. При работе 120 мин снижение органических веществ достигло 76,1 мг  $\text{O}_2$  / л, что ниже исходного варианта на 45,5 мг  $\text{O}_2$  / л.

Проанализировав полученные данные, мы делаем вывод, что спроектированный фильтр и правильно подобранная композитная загрузочная смесь успешно справились с поставленной задачей, подтвердив эффективность сорбционных материалов в качестве надежных решений для глубокой очистки воды от различных видов загрязнений, включая соединения железа и органических веществ.

#### ***Экологические и экономические аспекты***

Использование минеральных сорбентов в процессе водоподготовки для теплоэнергетики обладает рядом значимых достоинств. Применение природных материалов существенно уменьшает негативное воздействие на природу в сравнении с химическими способами обработки, что имеет первостепенное значение для сохранения окружающей среды и устойчивого развития отрасли [17, 18]. Помимо этого, многие сорбенты, в частности цеолит, обладают потенциалом восстановления и повторного использования, что дополнительно повышает их привлекательность и экономическую целесообразность.

Экономическая эффективность складывается из снижения затрат на реагенты, уменьшения простоев оборудования из-за коррозии и накипи, а также увеличения срока службы трубопроводов и теплообменников [19].

Расчеты показывают, что стоимость очистки воды с использованием цеолита может составлять 100...500 руб. за 1 м<sup>3</sup> в зависимости от его цены. При этом возможность регенерации существенно снижает эксплуатационные затраты.

Несмотря на более высокую стоимость кокосового угля по сравнению с другими сорбентами (до 1000 руб./кг), его долговечность, высокая эффективность очистки от органики и возможность термической регенерации делают его применение экономически оправданным в долгосрочной перспективе.

### **Заключение**

В ходе проведенного исследования был решен комплекс задач по анализу и повышению эффективности водоподготовки в теплоэнергетике:

1. Анализ современных технологий подтвердил, что комбинирование различных методов, в том числе сорбционных, является наиболее перспективным путем достижения высокого качества воды.

2. Экспериментально доказано, что природные сорбенты обладают высокой селективной активностью:

- цеолит является высокоэффективным сорбентом для удаления ионов железа (III), обеспечивая практически полную очистку;
- кокосовый активированный уголь наилучшим образом подходит для снижения содержания органических загрязнений (по показателю ХПК);
- исследуемые сорбенты неэффективны для умягчения воды и требуют комбинации с ионообменными или мембранными технологиями.

3. Разработанная и испытанная конструкция фильтра спиральной формы с композитной загрузкой (цеолит + кокосовый уголь) подтвердила свою работоспособность и эффективность в динамическом режиме.

Предложенное решение может быть рекомендовано для использования в качестве дополнительной ступени очистки в системах водоподготовки на теплоэнергетических объектах, а также в автономных системах отопления для продления срока службы оборудования и повышения энергоэффективности.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Аверина Ю. М., Шепелева А. М., Субчева Е. Н., Абаева Е. А. Перспективы российского рынка систем водоподготовки в условиях кризиса // Успехи в химии и химической технологии. 2020. № 6(229).
2. Бушуев Е. Н., Еремина Н. А., Жадан А. В. Анализ современных технологий водоподготовки на ТЭС // Вестн. Ивановского гос. энергет. ун-та. 2013. № 1.
3. Robson H. Verified synthesis of zeolitic materials. Amsterdam : Elsevier, 2001. P. 272.
4. Clearfield A., Bortun L. N., Bortun A. I. Alkali metal ion exchange by the framework titanium silicate  $M_2Ti_2O_3SiO_4 \cdot nH_2O$  ( $M = H, Na$ ) // Reactive & Functional Polymers. 2000. Vol. 43. Pp. 85—95.
5. Scott M., Carrado K. A., Dutta P. K. Auerbach. Handbook of zeolite science and technology. CRC Press, 2003. P. 1184.
6. Гафуров Н. М., Кувишинов Н. Е. Перспективы использования мембранной технологии очистки воды на тепловых электростанциях // Инновационная наука. 2016. № 4-3(16).
7. Джалилов М. Ф., Бадалов Б. Ш. О повышении экономической и экологической эффективности процесса водоприготовления // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энергет. объединений СНГ. 2006. № 1.

8. Кандрушин А. А., Комарова Л. Ф., Сомин В. А. Совершенствование технологии водоподготовки на тепловых электростанциях // Ползуновский вестн. 2024. № 1.
9. Conaire M. O., Curran H. J., Simmie J. M. A comprehensive modeling study of hydrogen oxidation // International Journal of Chemical Kinetics. 2004. Vol. 36. Pp. 603—622.
10. Коняев И. В. Модернизация систем водоподготовки на ТЭЦ путем применения мембранных технологий // Шаг в науку. 2018. № 3.
11. Никитина О. В., Стифеев А. И., Зуев С. А. Источники поступления тяжелых металлов в окружающую среду и основные направления их снижения // Вестн. Курской гос. с.-х. акад. 2024. № 3.
12. Исследование природных минералов в качестве сорбентов для подготовки питьевой воды / Е. В. Петрова, А. В. Обухова, Р. К. Гукович, В. И. Отмахов, Д. Е. Бабенков // Вестн. Томского гос. ун-та. Химия. 2022. № 26.
13. Haw J. F. Zeolite acid strength and reaction mechanisms in catalysts // Phys. Chem. 2002. Vol. 4. Pp. 5431—5441.
14. Synthesis and study of silver nanoparticles / S. D. Solomon, M. Bahadory, A. V. Jeyarajasingam, S. A. Rutkowsky, Ch. Boritz // Journal of Chemical Education. 2007. Vol. 84. Pp. 322—325.
15. Synthesis and investigation of silver-peptide bioconjugates and investigation in their antimicrobial activity / O. Yu. Golubeva, O. V. Shamova, D. S. Orlov, E. V. Yamshikova, A. S. Boldina, V. N. Kokryakov // Materials Challenges and Testing for Supply of Energy and Resources. Springer, 2012. Pp. 163—171.
16. Moritz M., Geszke-Moritz M. The newest achievements in synthesis, immobilization and practical applications of antibacterial nanoparticles // Chemical Engineering Journal. 2013. Vol. 228. Pp. 596—613.
17. Шубин И. Л., Бакаева Н. В., Калаидо А. В. Перспективы использования природных минеральных сорбентов в водоочистке и водоподготовке // Экология урбанизированных территорий. 2025. № 1.
18. Литвинова Н. А., Азаров В. Н., Степанов О. А. Разработка приточной установки с сорбционным и фотокаталитическим фильтрами со светодиодными источниками ультрафиолетового излучения // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2025. № 2(99). С. 182—193. DOI: 10.35211/18154360\_2025\_2\_182. EDN: EFVBQZ.
19. Изучение сорбционных свойств минерального сырья, с целью получения на его основе сорбента для опреснения высокоминерализованных вод поверхностных источников / Ю. Ю. Юрьев, А. К. Черкесов, Д. В. Щитов, З. К. Ибрагимова, В. В. Сон // Инженер. вестн. Дона. 2015. № 1-1.

© Мухин А. А., Арсланова Р. А., Востриков В. А., 2026

Поступила в редакцию  
30.04.2026

Ссылка для цитирования:

Мухин А. А., Арсланова Р. А., Востриков В. А. Оценка эффективности минеральных сорбентов в системе водоподготовки для теплоэнергетических объектов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2026. Вып. 3(104). С. 105—113. DOI: 10.35211/18154360\_2026\_3\_105.

Об авторах:

**Мухин Андрей Александрович** — канд. биол. наук, доц. каф. инженерных систем и экологии, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ). Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 18; and-mu@mail.ru

**Арсланова Румия Ахтямовна** — канд. с/х наук, зав. каф. инженерных систем и экологии, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ). Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 18; rumiya-arslanova@inbox.ru

**Востриков Владимир Александрович** — аспирант, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет (АГАСУ). Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 18; volodi25volodi98@mail.ru.



**Andrey A. Mukhin, Rumiya A. Arslanova, Vladimir A. Vostrikov**

**Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering**

## **EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF MINERAL SORBENTS IN THE WATER TREATMENT SYSTEM FOR THERMAL POWER FACILITIES**

The article discusses the current problem of improving the quality of water treatment at thermal power plants, which directly affects the reliability and efficiency of equipment operation. Special attention is paid to the use of natural and synthetic mineral sorbents. The article analyzes modern water treatment technologies, such as ion exchange and membrane methods. The article presents the results of experimental studies of the sorption activity of opsock, zeolite, silica gel, and coconut activated carbon in relation to iron ( $\text{Fe}^{3+}$ ), calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), and organic substances. It has been revealed that zeolite has the maximum efficiency in removing iron (up to 100 %), and coconut charcoal has the maximum efficiency in reducing oxidation (up to 18 %). The developed design of a spiral-shaped filter integrated into an experimental setup is described. The environmental and economic aspects of using sorbents are evaluated. It is concluded that the use of composite loads based on zeolite and coconut charcoal is promising for water treatment and heating systems.

**Key words:** water treatment, thermal power engineering, mineral sorbents, zeolite, coconut charcoal, iron ions, water purification, filter, water hardness, chemical oxygen absorption.

### *For citation:*

Mukhin A. A., Arslanova R. A., Vostrikov V. A. [Evaluation of the effectiveness of mineral sorbents in the water treatment system for thermal power facilities]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2026, iss. 3, pp. 105—113. DOI: 10.35211/18154360\_2026\_3\_105.

### *About authors:*

**Andrey A. Mukhin** — Candidate of Biological Sciences, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (AGASU). 18, Tatishcheva st., Astrakhan, 414056, Russian Federation; and-mu@mail.ru

**Rumiya A. Arslanova** — Candidate of Agriculture Sciences, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (AGASU). 18, Tatishcheva st., Astrakhan, 414056, Russian Federation; rumiya-arslanova@inbox.ru

**Vladimir A. Vostrikov** — Postgraduate student, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering (AGASU). 18, Tatishcheva st., Astrakhan, 414056, Russian Federation; volodi25volodi98@mail.ru.