

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 59–64.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 628.353.1

DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.59-64

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАГРУЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Ольга Викторовна Февральских^{1, 2}, Елена Сергеевна Гогина^{1, 2},
Николай Юрьевич Кондюрин^{2, 3}

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры
и строительных наук (НИИСФ РААСН); г. Москва, Российская Федерация;

² Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ);
г. Москва, Российская Федерация;

³ ООО «ВТ ЭКСПЕРТ»; г. Москва, Российская Федерация

Рассматриваются возможности интенсификации работы биореакторов с использованием загрузочного материала, отмечается перспективность использования загрузки в связи с возможностью существенного уменьшения объема биореакторов. Использование сочетания взвешенной и прикрепленной формы активного ила позволяет увеличить эффективность очистки при тех же размерах сооружения. Объектом исследования являлись биологические очистные сооружения хозяйственно-бытовых сточных вод производительностью от 500 до 10 000 м³/сут. В ходе исследования оценивались следующие загрузочные материалы: блоки биологической загрузки (ББЗ), листовой загрузочный материал (поливом), ершовая загрузка, подвижная (плавающая) загрузка. Рассмотрено применение загрузочного материала в различных зонах биореактора: аэробной, анаэробной и анаэробной. Наблюдается негативный эффект от наличия загрузочного материала в аэробной или анаэробной зоне биореактора, связанный, прежде всего, с трудностями эксплуатации и ошибками проектирования. Использование загрузочного материала в анаэробной и анаэробной зоне должно иметь серьезные обоснования и приводить к положительному эффекту в ряде случаев. Описаны особенности применения загрузочного материала в аэробной зоне. Отмечается, что при правильном монтаже и эксплуатации использование загрузочного материала в аэробной зоне биореактора приводит к увеличению окислительной мощности по удалению соединений азота и органическим загрязнениям на 30–50 %. Использование данной технологии требует особого внимания к механической ступени очистки, корректного монтажа загрузочного материала, высокого уровня квалификации персонала, задействованного в эксплуатации сооружения. В статье также представлены технологические параметры исследованного загрузочного материала и приведен укрупненный расчет экономической эффективности применения загрузочного материала в биореакторе.

Ключевые слова: загрузочный материал, азот аммонийный, нитрификация, денитрификация, биореактор

Для цитирования: Февральских О.В., Гогина Е.С., Кондюрин Н.Ю. Интенсификация работы сооружений биологической очистки с использованием загрузочного материала // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 4. С. 59–64. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.59-64

INTENSIFICATION OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS USING LOADING MATERIAL

Olga V. Fevral'skikh^{1, 2}, Elena S. Gogina^{1, 2}, Nikolay Yu. Kondyurin^{2, 3}

¹ Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences
(NIISF RAASN); Moscow, Russian Federation;

² Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI);
Moscow, Russian Federation;

³ VT EXPERT LLC; Moscow, Russian Federation

The article discusses the possibility of intensifying the operation of bioreactors using loading material, and highlights the potential of using loading due to the possibility of significantly reducing the volume of bioreactors. The use of a combination of suspended and attached forms of activated sludge allows for increased treatment efficiency with the same size of the facility. The study focused on biological treatment facilities for domestic wastewater with a capacity ranging from 500 to 10,000 m³/day. The following loading materials were evaluated during the study: biological loading units, leaf loading material, bristle loading, and mobile (floating) loading. The use of loading material in various zones of the bioreactor, such as the aerobic, anoxic, and anaerobic zones, is discussed. The presence of loading material in the aerobic or anoxic zone of the bioreactor can have a negative effect, primarily due to operational difficulties and design errors. However, the use of loading material in the anaerobic and anoxic zone should be carefully considered

and may have positive effects in certain cases. The specific features of using loading material in the aerobic zone are also described. It is noted that, when properly installed and operated, the use of loading material in the aerobic zone of the bioreactor leads to an increase in the oxidative capacity for removing nitrogen compounds and organic contaminants by 30–50 %. The use of this technology requires special attention to the mechanical treatment stage, proper installation of the loading material, and a high level of expertise among the personnel involved in the operation of the facility.

Keywords: loading material, ammonium nitrogen, nitrification, denitrification, bioreactor

For citation: Fevralskikh O.V., Gogina E.S., Kondyurin N.Yu. Intensification of biological wastewater treatment plants using loading material. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2025; 4:59-64. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.4.59-64 (rus.).

Введение

Для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод традиционно используются сооружения биологической очистки с взвешенной формой активного ила. В условиях усиления требований к экологической безопасности и устойчивому развитию особое внимание уделяется совершенствованию технологий биологической очистки сточных вод, в том числе с применением загрузочных материалов, фиксирующих на себе биомассу. Использование сочетания взвешенной и прикрепленной формы активного ила позволяет увеличить эффективность очистки от соединений азота и органических загрязнений при тех же размерах сооружения [1–5].

Загрузочный материал применяется в аэротенках, SBR-реакторах, затопленных и капельных биофильтрах, исследования отечественных ученых свидетельствуют об увеличении окислительной мощности по удалению азота аммонийного и органических загрязнений на 20–30 % при достаточно низкой дозе биомассы [2–6].

Практика применения носителей прикрепленного биоценоза достаточно широка, чаще всего используются стационарные (фиксированные) и подвижные загрузочные материалы в аэробной зоне реактора, в работах [4, 7, 8] подробно описаны существующие загрузочные материалы, авторы отмечают, что блоки биологической загрузки и поливом, а также плавающие загрузочные материалы широко применимы в качестве носителя биомассы.

В аэробной зоне реакторов широко применяется загрузочный материал. Его использование демонстрирует два значимых преимущества: рост окислительной мощности и повышенную устойчивость к залповым сбросам [9]. Существуют также исследования использования загрузочного материала и в анаэробной зоне [4, 7].

Тем не менее практика эксплуатации демонстрирует неоднозначные результаты использования загрузочного материала в зонах биореакторов: фиксируются эксплуатационные сложности [10] и явление кольматации [11]. Целесообразно исследовать применение загрузочного материала в различных зонах реактора, систематизировать и обобщить особенности его эксплуатации, проанализировать

технологические характеристики в зависимости от зоны размещения и оценить экономическую эффективность использования загрузки.

Материалы и методы

Объектом исследования являлись биологические очистные сооружения хозяйственно-бытовых сточных вод производительностью от 500 до 10 000 м³/сут.

Оценивались эксплуатационные характеристики биореакторов с загрузочным материалом, учитывая:

- зону биореактора (аэробную и анаэробную);
- расположение в схеме (включая наличие или отсутствие первичных отстойников);
- тип загрузочного материала.

Исследуемые загрузочные материалы представлены в табл. 1. Пористости и величина удельной поверхности указаны в соответствии с данными, указанными производителем.

Таблица 1. Исследуемые полимерные загрузочные материалы

Загрузка	Пористость, %	Удельная поверхность, м²/м³
Листовая (поливом)	до 90	2500
ББЗ (блок биологической загрузки)	До 90	150
Подвижная	До 95	650
Ершовая	До 95	65

Оценка технологических показателей осуществлялась по дозе прикрепленной биомассы, эффективность очистки оценивалась по количественным химическим анализам.

Анализ использования загрузочного материала в разных зонах биореактора

С целью интенсификации работы биореакторов загрузочный материал располагают, как правило, в аэробной зоне биореактора, где происходят процессы нитрификации. Реже загрузочный материал используют в зонах денитрификации (анаэробной и анаэробной). Рассмотрим особенности использо-

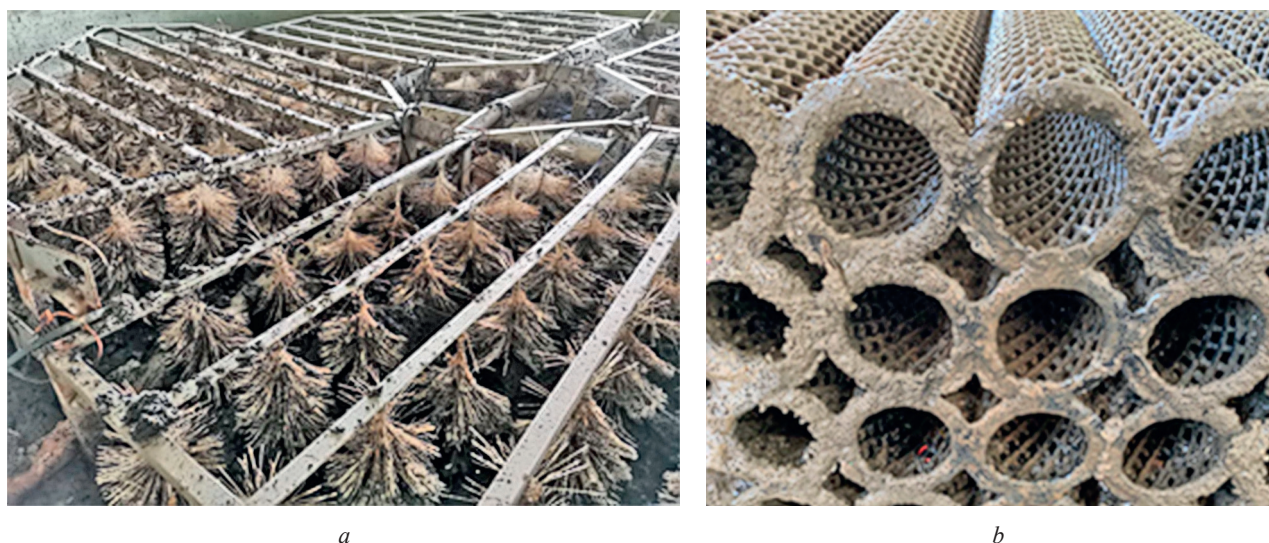


Рис. 1. Примеры неудачной эксплуатации загрузочного материала, размещенного в анаэробной и аноксидной зоне биореактора: *a* — ершовый загрузочный материал; *b* — ББЗ

вания загрузочного материала в разных зонах биореактора.

Аноксидная и анаэробная зона аэротенка характеризуются отсутствием аэрации и наличием мешалок. Вследствие этого возникает ряд ограничений использования загрузочного материала.

Так, подвижный загрузочный материал может попадать в перемешивающее устройство, поэтому стоит либо использовать сетки (что усложняет процесс регенерации), либо выбирать стационарный загрузочный материал.

На рис. 1 представлены примеры неудачной эксплуатации биореактора с загрузочным материалом в анаэробной либо аноксидной зоне.

Микробиологический анализ показывает практически полное отсутствие микроорганизмов в такой пленке, загрузка забита песком и взвешенными веществами. Не наблюдается какой-либо очистки.

Такая ситуация возникает вследствие проектных и эксплуатационных ошибок:

- песок на загрузочном материале возникает из-за отсутствия первичных отстойников (либо их некорректной работы), а также некорректной работы песколовок;
- в анаэробной и аноксидной зоне следует регулярно проводить регенерацию загрузочного материала, отсутствие регенерации ведет к возникновению застойных зон, загниванию биомассы.

Также следует отметить, что наличие загрузочного материала в аноксидной или анаэробной зоне препятствует процессу перемешивания и поддержанию активного ила во взвешенном состоянии.

Таким образом, наблюдается негативный эффект от наличия загрузочного материала в аэробной или аноксидной зоне биореактора, связанный, прежде

всего, с трудностями эксплуатации и ошибками проектирования. Использование загрузочного материала в анаэробной и аноксидной зоне должно иметь серьезные обоснования и приводить к положительному эффекту в ряде случаев (необходимость источника дополнительного питания для реализации процессов денитрификации) [7, 12].

Аэробная зона аэротенка характеризуется наличием аэрации и традиционно используется для расположения загрузочного материала.

Однако ошибки монтажа загрузочного материала также могут привести к отсутствию эффекта очистки сточных вод. На рис. 2 представлены примеры ошибок монтажа, которые приводят к ухудшению качества очистки.

В аэробной зоне следует уделять особое внимание креплению загрузочного материала, так как может произойти всплытие носителя биомассы на поверхность (рис. 2, *a*).

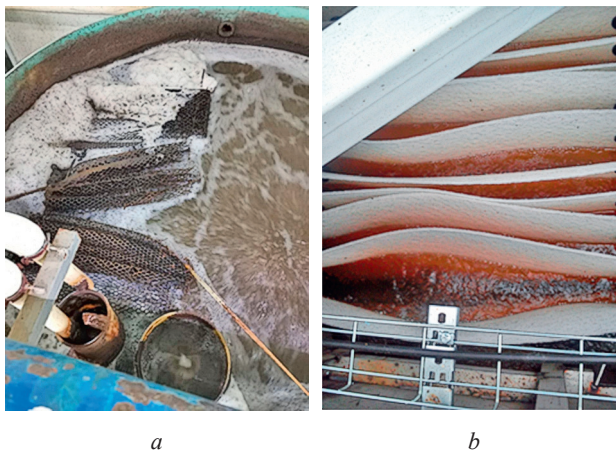


Рис. 2. Примеры неудачного монтажа загрузочного материала, размещенного в аэробной зоне биореактора: *a* — ББЗ; *b* — поливом

Следует также отметить, что плотное расположение загрузки, соприкосновение материала между собой (рис. 2, *b*) ведут к образованию застойных зон.

Однако при правильном монтаже и эксплуатации использование загрузочного материала в аэробной зоне биореактора приводит к увеличению окислительной мощности по удалению соединений азота и органическим загрязнениям на 30–50 % [13].

Технологические показатели исследуемого загрузочного материала

Для использования загрузочных материалов с целью интенсификации работы биореакторов следует определить их технологические показатели.

Одним из наиболее важных параметров эксплуатации является регенерация загрузочного материала. На рис. 3 представлен загрузочный материал ББЗ, который не подвергался принудительной регенерации.

Обозначенная проблема решается организацией принудительной регенерации, частота которой в среднем составляет 1 раз в месяц.

В ходе исследования также определялась доза прикрепленной биомассы, результаты исследования представлены в табл. 2.

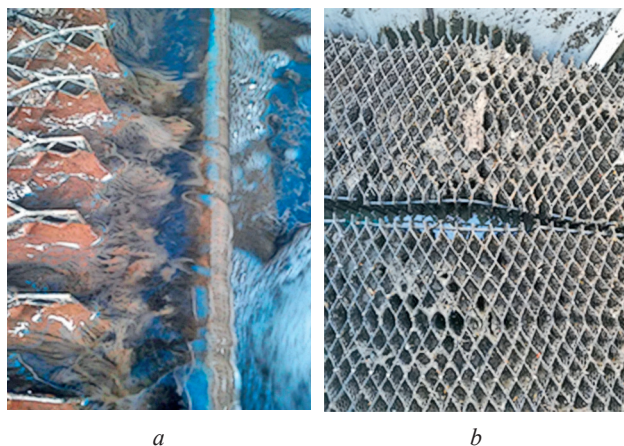


Рис. 3. Загрузочный материал ББЗ: *a* — без принудительной регенерации; *b* — зарастание межъячеистых пространств и загнивание биомассы

Таблица 2. Технологические показатели загрузочных материалов

Технологические показатели	Вид загрузочного материала		
	ББЗ	Поливом	Подвижная
Способность к саморегенерации	Нет	Есть	Есть
Периодичность регенерации	1 раз в месяц	Не требуется	Не требуется
Доза прикрепленной биомассы, г/л	0,5–0,6	0,5–0,7	0,2–0,6

Как видно из табл. 2, не все загрузочные материалы требуют принудительной регенерации, в некоторых случаях происходит саморегенерация за счет аэрации, биоценоза прикрепленной биомассы, строения загрузочного материала и других факторов.

Также отмечается низкая доза (0,2–0,7 г/л) прикрепленной биомассы. При этом наблюдается увеличение окислительной мощности (по соединениям азота и органическим загрязнениям) на 30–50 % [14].

Технико-экономическое обоснование применения загрузочного материала

Расчет технико-экономического обоснования применения загрузочного материала следует производить отдельно в каждом случае. Однако для понимания экономического эффекта приведем пример расчета капитальных затрат.

В соответствии со сборником 19 НЦС 81-02-19–2025 [15] произведем расчет стоимости одного аэротенка условного объема (95 500 м³/сут), которая составит 1 459 048 500 руб. в ценах 2025 г. При применении загрузочного материала можно использовать на 30 % меньше объема сооружения, тогда стоимость одного аэротенка составит 1 122 345 000 руб. При этом следует учесть стоимость загрузочного материала, которая для сооружения такого объема составит 30 000 000 руб.

Приведенный укрупненный расчет капитальных затрат является частным случаем, однако дает представление об экономической эффективности применения загрузочных материалов.

Выводы

1. Использование загрузочного материала в аэробных зонах биореакторов может существенно снизить объем сооружения.
2. Использование загрузочного материала при ошибках проектирования и эксплуатации снижает эффективность очистки.
3. Расчет биореактора, основанный на дозе биомассы, не всегда корректен.
4. Применение загрузочного материала в условиях корректного проектирования, монтажа и эксплуатации позволяет снизить стоимость капитальных затрат более чем на 20 %.

Заключение

Результаты исследований, приведенные в данной работе, показали высокую эффективность применения загрузочного материала в аэробной зоне биореактора при низкой дозе биомассы. Использование данной технологии требует особого внима-

ния к механической ступени очистки, корректного монтажа грузочного материала, высокого уровня квалификации персонала, задействованного в экс-

плуатации сооружения. Исследования показывают, что целесообразно применение грузочных материалов, прежде всего, в аэробных зонах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гогина Е.С., Гульшин И.А., Спасибо Е.В. Исследования работы и основы расчета затопленного биореактора для очистки сточных вод в условиях периодического использования // Современные инженерные проблемы ключевых отраслей экономики страны : сб. науч. тр. IV Междунар. Косыгинского форума «Проблемы инженерных наук: формирование технологического суверенитета». М. : РГУ им. А.Н. Косыгина, 2024. С. 204–207. EDN UCAAZW.
2. Макиша Н.А., Смирнов Д.Г. Глубокое удаление аммонийного азота из сточных вод с применением плавающего грузочного материала // Водоочистка. 2013. № 11. С. 23–27. EDN REVUZH.
3. Ha Quan T., Gogina E., Makisha N. et al. Improving Nitrogen Removal Efficiency in SBR Reactors by Controlling Operational Phases // Applied Sciences (Switzerland). 2023. Vol. 13. No. 19. P. 10906. DOI: 10.3390/app131910906. EDN NDDDYD.
4. Слоцов А.А. Совершенствование процессов биологической очистки сточных вод с помощью прикрепленных биоценозов // Вестник МГСУ. 2008. № 3. С. 80–85.
5. Швецов В.Н., Морозова К.М., Смирнова И.И. и др. Использование блоков биологической загрузки на сооружениях очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 10–2. С. 25–31. EDN MVREYB.
6. Бочкунова Д.Г. Использование носителя биомассы для интенсификации работы аэротенков. 2019.
7. Янцен О.В., Гогина Е.С. Технология очистки сточных вод от соединений азота на биофильтрах // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 12. С. 60–64. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.12.60-64. EDN BVHEKK.
8. Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю. Применение каркасной загрузки для формирования иммобилизованного биоценоза в аэротенке // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4 (51). С. 753–763.
9. Харькина О.В. Новые разработки Инженерно-технологического центра МГУП «Мосводоканал» // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2011. № 2 (38). С. 56–68. EDN NXVAEN.
10. Пукемо М. Проблемы обслуживания очистных сооружений и способы их решения // ВОДА MAGAZINE (Издательский дом «ЭкоМедиа»). 2016. Т. 6. № 106. С. 32–35.
11. Макиша Н.А., Смирнов Д.Г. Комплексная очистка сточных вод с минимизацией образования избыточного активного ила и осадка // Вестник МГСУ. 2012. № 12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnaya-ochistka-stochnyh-vod-s-minimizatsiey-obrazovaniya-izbytochnogo-aktivnogo-ila-i-osadka-1> (дата обращения: 15.12.2025).
12. Цитлишвили Е.А. Удаление соединений азота и фосфора из сточных вод предприятий пищевой промышленности // Экология и промышленность. 2018. № 3–4 (56–57). С. 51–56. EDN YWBXNJ.
13. Янцен О.В., Канхва В.С., Гогина Е.С. Управление техническими и технологическими рисками канализационных очистных сооружений на всех стадиях жизненного цикла // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2022. № 1 (37). С. 97–105. DOI: 10.21869/2311-1518-2022-37-1-97-105. EDN PFNAJD.
14. Бобылева Т.Н., Шамаев А.С., Янцен О.В. Математическая модель фильтра для водоочистки с использованием биопленок // Сибирский журнал индустриальной математики. 2023. Т. 26. № 2 (94). С. 25–36. DOI: 10.33048/SIBJIM.2023.26.203. EDN XIGNQJ.
15. Об утверждении укрупненных нормативов цены строительства : приказ Минстроя России от 5 марта 2025 г. № 136/пр. Укрупненные нормативы цены строительства. НЦС 81-02-19–2025. Сборник № 19. Здания и сооружения городской инфраструктуры.

Об авторах: **Ольга Викторовна Февральских** — канд. техн. наук, инженер; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии строительных наук (НИИСФ РААСН)**; 127238, г. Москва, Лocomо- тивный пр-д, д. 21; старший преподаватель кафедры строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения; **Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ)**; 117485, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23; e-mail: olgafevralskih@yandex.ru;

Елена Сергеевна Гогина — канд. техн. наук, доцент, главный научный сотрудник; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии строительных наук (НИИСФ РААСН)**; 127238, г. Москва, Лocomо- тивный пр-д, д. 21; зав. кафедрой строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения; **Российский госу- дарственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ)**; 117485, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23; e-mail: gogina-es@yandex.ru;

Николай Юрьевич Кондюрин — аспирант кафедры строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения; **Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ)**; 117485, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23; главный инженер-технолог; **ООО «ВТ ЭКСПЕРТ»**; 127006, г. Москва, ул. Малая Дмитровка, д. 4, помещ. 1/3; e-mail: n@knd88.ru.

REFERENCES

1. Gogina E.S., Gulshin I.A., Spasibo E.V. Research on the operation and calculation basics of a submerged bioreactor for wastewater treatment under periodic use conditions. *Modern engineering problems of key sectors of the national economy : collection of scientific works of the IV International Kosygin Forum "Engineering Science Challenges: Forming Technological Sovereignty"*. Moscow, Kosygin Russian State University, 2024; 204-207. EDN UCAAZW. (rus.).
2. Makisha N.A., Smirnov D.G. Deep removal of ammonium nitrogen from wastewater using floating loading material. *Water Treatment*. 2013; 11:23-27. EDN REVUZH. (rus.).
3. Ha Quan T., Gogina E., Makisha N. et al. Improving Nitrogen Removal Efficiency in SBR Reactors by Controlling Operational Phases. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2023; 13(19):10906. DOI: 10.3390/app131910906. EDN NDDDYD.
4. Slovtsov A.A. Improving biological wastewater treatment processes using attached biocenoses. *Vestnik MGSU*. 2008; 3:80-85. (rus.).
5. Shvetsov V.N., Morozova K.M., Smirnova I.I. et al. Using biological loading units in wastewater treatment facilities. *Water Supply and Sanitary Engineering*. 2010; 10-2:25-31. EDN MVREYB. (rus.).
6. Bochkunova D.G. *Use of a biomass carrier to intensify the operation of aeration tanks*. 2019. (rus.).
7. Yanczen O.V., Gogina E.S. Technology for treating wastewater from nitrogen compounds in biofilters. *Industrial and Civil Construction*. 2022; 12:60-64. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.12.60-64. EDN BVHEXX. (rus.).
8. Kulkov V.N., Soloponov E.Yu. Application of frame loading for the formation of an immobilized biocenosis in an aeration tank. *Proceedings of Universities. Investments. Construction. Real Estate*. 2024; 14:(51):753-763. (rus.).
9. Kharkina O.V. New developments of the Engineering and Technology Center of MGUP "Mosvodokanal". *Water Treatment. Water Preparation. Water Supply*. 2011; 2(38):56-68. EDN NXVAEN. (rus.).
10. Pukemo M. Problems of wastewater treatment plant maintenance and ways to solve them. *VODA MAGAZINE (Publishing House "EcoMedia")*. 2016; 6(106):32-35. (rus.).
11. Makisha N.A., Smirnov D.G. Comprehensive wastewater treatment with minimization of excess activated sludge and sediment formation. *Vestnik MGSU*. 2012; 12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnaya-ochistka-stochnyh-vod-s-minimizatsiey-obrazovaniya-izbytochnogo-aktivnogo-ila-i-osadka-1> (accessed:15.12.2025). (rus.).
12. Tsitlshvili E.A. Removal of nitrogen and phosphorus compounds from wastewater of food industry enterprises. *Ecology and Industry*. 2018; 3-4(56-57):51-56. EDN YWBXNJ. (rus.).
13. Yanczen O.V., Kanhva V.S., Gogina E.S. Managing technical and technological risks of sewage treatment plants at all stages of the life cycle. *Biospheric Compatibility: Human, Region, Technology*. 2022; 1(37):97-105. DOI: 10.21869/2311-1518-2022-37-1-97-105. EDN PFNAJD. (rus.).
14. Bobyleva T.N., Shamaev A.S., Yanczen O.V. Mathematical model of a water treatment filter using biofilms. *Siberian Journal of Industrial Mathematics*. 2023; 26:(94):25-36. DOI: 10.33048/SIBJIM.2023.26.203. EDN XIGNQJ. (rus.).
15. On approval of enlarged construction price standards : Order of the Ministry of Construction of Russia dated March 5, 2025 No. 136/pr. Enlarged construction price standards. NCS 81-02-19-2025. Collection No. 19. Buildings and structures of urban infrastructure.

About the authors: **Olga V. Fevral'skikh** — Candidate of Technical Sciences, Engineer; **Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Locomotivnyi passage, Moscow, 127238, Russian Federation; Senior Lecturer at the Department of Construction of Water Supply and Sanitation Systems and Facilities; **Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI)**; 23 Miklouho-Maclay st., Moscow, 117485, Russian Federation; e-mail: olgafevral'skikh@yandex.ru;

Elena S. Gogina — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Scientific Office; **Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Locomotivnyi passage, Moscow, 127238, Russian Federation; Head of the Department of Construction of Water Supply and Sanitation Systems and Facilities; **Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI)**; 23 Miklouho-Maclay st., Moscow, 117485, Russian Federation; e-mail: gogina-es@yandex.ru;

Nikolay Yu. Kondyurin — Postgraduate student at the Department of Construction of Water Supply and Sanitation Systems and Facilities; **Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI)**; 23 Miklouho-Maclay st., Moscow, 117485, Russian Federation; Chief Process Engineer; **VT EXPERT LLC**; 4 Malaya Dmitrovka st., build. 1/3, Moscow, 127006, Russian Federation; e-mail: n@knd88.ru.