



МИКРОБИОЛОГИЯ/MICROBIOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.51> EDN: [RNHNFC](#)

ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОБИОТЫ АКТИВНОГО ИЛА СТОЧНЫХ ВОД

Научная статья

Минина Н.Н.^{1,*}¹ORCID : 0000-0001-6343-7283;¹Уфимский университет науки и технологий, Бирск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (mnn27[at]mail.ru)

Аннотация

В статье представлены результаты исследования микробиоты активного ила на биологических очистных сооружениях муниципального унитарного предприятия «Нефтекамскводоканал» (г. Нефтекамск, Республика Башкортостан). Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности биологической очистки сточных вод для минимизации антропогенного воздействия на водные экосистемы. Целью исследования явилось изучение видового состава и состояния микробного сообщества активного ила как индикатора стабильности технологического процесса. Материалом послужили пробы ила, отобранные из аэротенков в течение трёх декад 2024 года; анализ проводился методом световой микроскопии в соответствии с ПНД Ф СБ 14.1.77-96. Установлено, что биоценоз активного ила характеризуется высоким видовым разнообразием: доминирующими видами среди инфузорий выступали *Vorticella convallaria*, *V. microstoma*, *Aspidisca costata* и *Opercularia coarctata*, значительную долю составляли коловратки (*Rotifera*). Наличие сосущих инфузорий и многоклеточных организмов свидетельствует о зрелости сообщества и эффективной биодеградации органических загрязнений. Отмечены краткосрочные колебания в составе микробиоты (появление нематод во вторую декаду), интерпретированные как временный застой ила, однако к концу наблюдений состояние биоценоза стабилизировалось. Полученные данные подтверждают работоспособность системы биологической очистки и возможность использования микробиологического мониторинга для оперативной оценки её эффективности.

Ключевые слова: активный ил, биологическая очистка, аэротенк, микробиота, инфузории, коловратки, биоиндикация, сточные воды.

RESEARCH ON THE MICROBIOTA OF ACTIVATED SLUDGE FROM WASTEWATER

Research article

Minina N.N.^{1,*}¹ORCID : 0000-0001-6343-7283;¹Ufa University of Science and Technology, Birs, Russian Federation

* Corresponding author (mnn27[at]mail.ru)

Abstract

The article presents the results of a study of the activated sludge microbiota at the biological treatment facilities of the municipal unitary enterprise Neftekamskvodokanal (Neftekamsk, Republic of Bashkortostan). The relevance of the work is due to the need to improve the efficiency of biological wastewater treatment in order to minimise anthropogenic impact on aquatic ecosystems. The aim of the study was to examine the species composition and condition of the microbial community of activated sludge as an indicator of the stability of the technological process. The material used was sludge samples taken from aerotanks during three decades of 2024; the analysis was carried out using light microscopy in accordance with PND F SB 14.1.77-96. It was found that the active sludge biocenosis is characterised by high species diversity: the dominant species among ciliates were *Vorticella convallaria*, *V. microstoma*, *Aspidisca costata* and *Opercularia coarctata*, with rotifers (*Rotifera*) accounting for a significant proportion. The presence of suctorians and multicellular organisms indicates the maturity of the community and effective biodegradation of organic pollutants. Short-term fluctuations in the composition of the microbiota (the appearance of nematodes in the second decade) were noted, interpreted as temporary sludge stagnation, but by the end of the observations, the state of the biocenosis had stabilised. The obtained data confirm the operability of the biological treatment system and the possibility of using microbiological monitoring for operational assessment of its effectiveness.

Keywords: activated sludge, biological treatment, aerotank, microbiota, ciliates, rotifers, bioindication, wastewater.

Введение

В наше время наиболее важным и перспективным способом очистки сточных вод является такое направление как биотехнология, что позволяет использовать многие современные методы очистки даже в малых масштабах [1].

Перспективным направлением исследований в области водоочистки, представляющим интерес для специалистов в сфере биотехнологии и микробиологии, является использование живых организмов — микроводорослей [2], простейших и бактерий — для очистки сточных вод. В современных очистных сооружениях наиболее широко применяется технология активного ила, представляющая собой симбиотическую систему указанных микроорганизмов [3].

Актуальность проведённого исследования обусловлена двумя взаимосвязанными факторами: во-первых, неизбежностью образования канализационных сточных вод в результате хозяйственной деятельности человека; во-вторых, необходимостью повышения эффективности биологических методов их очистки для обеспечения экологической безопасности водных объектов при сбросе очищенных стоков.

Биологическая очистка сточных вод требует междисциплинарного подхода, поскольку включает аспекты, изучаемые специалистами различных профилей: биотехнологами, инженерами-строителями [4] и специалистами в области теплоэнергетики. В настоящее время значительное внимание уделяется исследованиям, направленным на повышение эффективности очистки стоков с использованием активного ила [5].

Объектом изучения стало муниципальное унитарное предприятие «Нефтекамскводоканал» г. Нефтекамск Республики Башкортостан. Исследования проводились в 2024 году.

Биологические очистные сооружения г. Нефтекамск предназначены для полной биологической очистки сточных вод, которые включают бытовые и промышленные стоки города. БОС предназначены для приема, усреднения и очистки сточных вод до норм сброса в водоем рыбохозяйственного назначения. После производится обработка и утилизация осадка.

Биологическая очистка сточных вод с использованием активного ила основана на способности микроорганизмов поглощать и трансформировать загрязняющие вещества. Под действием внутриклеточных и внеклеточных ферментов органические соединения подвергаются биохимическим превращениям, что обеспечивает снижение их концентрации в сточной жидкости [4] и обеспечивает более качественный процесс очистки [6].

Активный ил представляет собой искусственно созданную антропогенную экосистему, требующую постоянной внешней поддержки для стабильного функционирования [7]. Морфологически он проявляется в виде темно-коричневых хлопьев (флокул) размером до нескольких сотен микрометров и представляет собой устойчивый микобиом [8]. Формирование флокул обусловлено деятельностью флокулообразующих бактерий, объединяющихся в структурные агрегаты посредством биополимерного геля. Эти бактерии составляют до 95% микробного сообщества ила. Среди них преобладают палочковидные формы, на втором месте по численности находятся кокки, а спириллы встречаются наиболее редко [9]. Второй по значимости группой являются осмотрофные простейшие, чья роль возрастает при снижении активности бактериальной компоненты. Также присутствуют нитчатые формы [10].

При микроскопическом анализе часто выявляется зооглея — желеобразная масса биополимерного матрикса с инкрустированными бактериями. Наиболее распространённым видом является *Zoogloea ramigera*, образующая разветвлённые древовидные структуры.

Микробное разнообразие активного ила включает представителей следующих таксонов:

- Прокариоты: бактерии (включая актиномицеты).
- Эукариоты: грибы, микроводоросли (диатомовые, зелёные, эвгленовые, вольвоксовые).
- Простейшие: жгутиконосцы, саркодовые, инфузории.
- Многоклеточные организмы: коловратки, тихоходки, нематоды, брюхохоресничные черви, водные клещи (паукообразные) [11].

В системе активного ила формируются устойчивые трофические связи. Первичное потребление органических веществ осуществляют гетеротрофные бактерии и грибы (сорбционный тип питания) совместно с осмотрофными простейшими. На следующих трофических уровнях функционируют хищные протисты (первичные хищники), питающиеся бактериями, а также промежуточные и высшие хищники — коловратки, нематоды, сосущие инфузории. Соотношение трофических групп служит индикатором стабильности биоценоза и эффективности очистки.

Для активного ила характерна закономерная сукцессия микробных сообществ: от свободноживущих бактерий к нитчатым формам, затем к зооглеям, простейшим (от жгутиконосцев к амёбам и инфузориям) и, наконец, к многоклеточным организмам (коловраткам, нематодам, тихоходкам). Наличие высших хищников — нематод, коловраток и сосущих инфузорий — свидетельствует о зрелости биоценоза и высокой степени удаления органических загрязнений [11].

Таким образом, биологический метод очистки воспроизводит и усиливает естественные закономерности биохимического самоочищения водоёмов, адаптируя их для условий искусственных очистных сооружений.

Данная работа посвящается исследованию микробиоты активного ила, используемого для биологической очистки, которая реализуется на муниципальном унитарном предприятии «Нефтекамскводоканал».

Методы и принципы исследования

При исследовании эффективности очистки сточных вод, пробы берутся в 3 разных местах, а именно: приемная камера, первичный отстойник, напорный коллектор очищенных сточных вод. Пробоотбор в этих точках позволят технологам понять, насколько загрязненными воды поступают на очистные сооружения, и насколько эффективно проводится очистка стоков.

Активный ил из всех секций аэротенков и двух регенераторов тщательно перемешивают и переливают в цилиндры. После отстаивают 30 минут. Замеряют высоту столба осевшего ила. Полученные цифры умножают на 10 — в перерасчете на литр, и получают дозу ила по объему.

Гидробиологическое исследование биоты активного ила проводится по ПНД Ф СБ 14.1.77-96 «Методическое руководство по гидробиологическому и бактериологическому контролю процесса биологической очистки на сооружениях с аэротенками» [12].

Осмотр ила под микроскопом проводился один раз в декаду. Приведены результаты исследований за 3 декады. Исследование производилось при помощи микроскопа «Оптика-02». После осмотра и подсчета микроорганизмов, все полученные результаты вносились в таблицу (таблица 1). Численность микроорганизмов оценивалась по пятибалльной шкале.

Таблица 1 - Условные баллы встречаемости организмов

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.51.1>

Частота встречаемости	Баллы
Единично	1
Мало	2
Порядочно	3
Много	4
Масса	5

Основные результаты

Биологическая очистка сточных вод основана на способности микроорганизмов активного ила использовать растворённые и взвешенные органические соединения в качестве источника углерода и энергии для собственного метаболизма. В ходе биохимических превращений часть органики окисляется до конечных продуктов (CO₂, H₂O), а другая часть ассимилируется и идёт на прирост биомассы микроорганизмов.

Ключевым сооружением биологической очистки является аэротенк — резервуар, в котором создаются оптимальные условия для жизнедеятельности аэробных микроорганизмов. Непрерывная аэрация обеспечивает как насыщение смеси сточных вод и активного ила растворённым кислородом, необходимым для аэробного дыхания бактерий, так и интенсивное перемешивание, способствующее максимальному контакту микроорганизмов с загрязняющими веществами.

Благодаря созданным условиям в аэротенках достигается высокая эффективность удаления органических загрязнений: до 90–95% поступающей органики подвергается биодegradации или трансформируется в биомассу активного ила. Состояние ила подвергается ежедневному мониторингу для поддержания стабильности технологического процесса.

В таблице 1–3 представлены результаты гидробиологического исследования активного ила.

Таблица 2 - Результаты гидробиологического исследования активного ила за первую декаду

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.51.2>

Микроорганизм	Частота встречаемости, балл
<i>Zooglea eramigera</i>	4
<i>Vorticella convallaria</i>	5
<i>Vorticella microstoma</i>	6
<i>Opercularia glomerata</i>	2
<i>Opercularia coartata</i>	3
<i>Carchesium speclabile</i>	1
<i>Aspidis cacostata</i>	4
<i>Epistylis</i>	1
<i>Colpidium colpoda</i>	-
<i>Podophrya fixa</i>	1
<i>Amoeba proteus</i>	-
<i>Amoeba limax</i>	1
<i>Arcella vulgaris</i>	2
<i>Aelosoma</i>	1
<i>Nematoda</i>	-
<i>Rotifera</i>	4

Исходя из таблицы 1, можно отметить, что на биологических очистных сооружениях присутствует хорошо развитый, зрелый активный ил. На это указывает большое количество таких видов организмов как: *Vorticella*, *Aspidisca*, *Opercularia* — все эти представители являются индикаторами хорошего ила, который полностью справляется с нагрузкой. Кроме того, не было обнаружено нематод, что является типичным для застоявшихся вод. Обнаружен вид из рода *Carchesium*, что указывает на достаточно низкую мутность вод.

Таблица 3 - Результаты гидробиологического исследования активного ила за вторую декаду

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.51.3>

Микроорганизм	Частота встречаемости, балл
<i>Zooglea eramigera</i>	2
<i>Vorticella convallaria</i>	-
<i>Vorticella microstoma</i>	4
<i>Opercularia glomerate</i>	3
<i>Opercularia coartata</i>	4
<i>Carchesium speclabile</i>	-
<i>Aspidis cacostata</i>	4
<i>Epistylis</i>	1
<i>Colpidium colpoda</i>	-
<i>Podophrya fixa</i>	1
<i>Amoeba proteus</i>	-
<i>Amoeba limax</i>	2
<i>Arcella vulgaris</i>	2
<i>Aelosoma</i>	2
<i>Nematoda</i>	1
<i>Rotifera</i>	3

При микроскопировании ила во вторую декаду, была обнаружена нематода — это сигнализирует о том, что в иле наблюдается застой, или присутствует недостаточное количество кислорода в воде. Снижается численность *Vorticella*, что является довольно тревожным знаком, так как эти инфузории одни из наиболее типичных обитателей активного ила. Не был обнаружен также *Carchesium speclabile*, из-за чего впоследствии у осветленных вод может наблюдаться повышенная мутность. Но, несмотря на неблагоприятные показатели по указанным микроорганизмам, в целом состояние исследованного ила удовлетворительное.

Таблица 4 - Результаты гидробиологического исследования активного ила за третью декаду

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.51.4>

Микроорганизм	Частота встречаемости, балл
<i>Zoogleae ramigera</i>	3
<i>Vorticella convallaria</i>	4
<i>Vorticella microstoma</i>	3
<i>Opercularia glomerate</i>	3
<i>Opercularia coartata</i>	4
<i>Carchesium speclabile</i>	-
<i>Aspidis cacostata</i>	3
<i>Epistylis</i>	2
<i>Colpidium colpoda</i>	1
<i>Podophrya fixa</i>	1
<i>Amoeba proteus</i>	1
<i>Amoeba limax</i>	2
<i>Arcella vulgaris</i>	2
<i>Aelosoma</i>	1
<i>Nematoda</i>	-
<i>Rotifera</i>	4

Данные показывают, что по сравнению со второй декадой, состояние активного ила значительно улучшилось. Наблюдается увеличение численности вортицелл, коловраток, инфузорий. Были обнаружены представители *Colpidium colpoda*, наличие которых говорит о весьма активных процессах очистки сточных вод. Нематод не наблюдалось совсем, что является свидетельством активного перемешивания и снабжения ила достаточным количеством кислорода.

**Заключение**

Вещества антропогенного происхождения, поступающие в водные экосистемы со сточными водами, оказывают негативное воздействие на гидробионтов и нарушают функционирование не только водных, но и прилегающих наземных экосистем. Для минимизации экологического ущерба и предотвращения деградации водных объектов необходима эффективная очистка стоков, в том числе с применением биологических методов.

Анализ проб активного ила, отобранных в ходе исследования, выявил высокое видовое разнообразие и благополучное физиологическое состояние микроорганизмов. Доминирующими видами среди инфузорий оказались *Vorticella convallaria*, *Vorticella microstoma*, *Aspidisca costata* и *Opercularia coarctata*. Значительную долю сообщества составляли представители типа *Rotifera* (коловратки). Подобное разнообразие индикаторных организмов, включая наличие высших трофических групп (сосущие инфузории, коловратки), свидетельствует о зрелости биоценоза активного ила и подтверждает эффективность протекающих процессов биологической очистки.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Новак А.И., Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Рязань
Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.51.5>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Novak A.I., Ryazan State Medical University Named after Academician I.P. Pavlov, Ryazan Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.165.51.5>

Список литературы / References

1. Mažeikienė A. Biotechnological wastewater treatment in small-scale wastewater treatment plants / A. Mažeikienė, R. Grubliauskas // Journal of Cleaner Production. — 2021. — Vol. 279. — № 2. — P. 123750.
2. Acien F.G. Wastewater treatment using microalgae: how realistic a contribution might it be to significant urban wastewater treatment? / F.G. Acien, C. Gomez-serrano, M.M. Morales-amaral [et al.] // Applied Microbiology and Biotechnology. — 2016. — Vol. 100. — № 21. — P. 9013–9022.
3. Yang Y. Activated Sludge Microbial Community and Treatment Performance of Wastewater Treatment Plants in Industrial and Municipal Zones / Y. Yang, L. Wang, F. Xiang [et al.] // Int J Environ Res Public Health. — 2020. — № 17 (2). — P. 436–440.
4. Латыпова А.Р. Технологический процесс биологической очистки сточных вод / А.Р. Латыпова, Н.Н. Минина // Современные проблемы региональной экологии. Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием 14–16.04. 2024 года г. Бирск / Под ред. проф. Н.Г. Кутлина. — Бирск: Бирский филиал УУНиТ, 2024. — С. 43–47.
5. Zhu X. Enhanced dewaterability of waste activated sludge with Fe(II)-activated hypochlorite treatment / X. Zhu, Q. Yang, X. Li [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. — 2018. — Vol. 25. — № 27. — P. 27628–27638.
6. Синяшин К.О. Перспективы и направления применения биологически активных веществ в технологиях очистки сточных вод активным илом / К.О. Синяшин, А.М. Петров, И.В. Князев // Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Киров, 13–14 апреля 2017 года. — Киров: Вятский государственный университет, 2017. — Т. 2. — С. 312–314. — EDN: YPVVXP.
7. Кузнецова О.А. Биоценоз активного ила / О.А. Кузнецова // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Бийск, 21 мая 2025 года. — Бийск: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2025. — С. 241–243. — DOI: 10.25699/tohbipp.2025.73.49.034. — EDN: RRPTOV.
8. Брындина Л.В. Исследование микробиома активного ила и оптимизация его метаболической активности / Л.В. Брындина, А.Ю. Корчагина // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. — 2022. — Т. 8. — № 1. — С. 25–42. — EDN: HBTVNA.
9. Гриб А.А. Изменение видового состава микробиоты активного ила в аэротенке при изменении нагрузки / А.А. Гриб, О.К. Новикова // Экологический Вестник Северного Кавказа. — 2021. — Т. 17. — № 4. — С. 64–66. — EDN: EJRLHU.
10. Масехнович А.А. Соотношение нитчатой и флокулирующей микробиоты активного ила для эффективной биологической очистки сточных вод / А.А. Масехнович, И.А. Гребенчикова, Р.М. Маркевич [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. — 2024. — № 3. — С. 80–86. — DOI: 10.46646/2521-683X/2024-3-80-86. — EDN: VHDYDF.
11. Сибиева Л.М. Состав микробного сообщества активного ила в процессах совместной биологической и реагентной очистки сточных вод / Л.М. Сибиева, И.А. Дегтярева, А.С. Сироткин [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. — 2019. — Т. 9. — № 2 (29). — С. 302–312. — DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-2-302-312. — EDN: IPTDVQ.
12. ПНД Ф СБ 14.1.77-96. Методическое руководство по гидробиологическому и бактериологическому контролю процесса биологической очистки на сооружениях с аэротенками. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200082896> (дата обращения: 30.01.2026). [in Russian]

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Mažeikienė A. Biotechnological wastewater treatment in small-scale wastewater treatment plants / A. Mažeikienė, R. Grubliauskas // *Journal of Cleaner Production*. — 2021. — Vol. 279. — № 2. — P. 123750.
2. Acien F.G. Wastewater treatment using microalgae: how realistic a contribution might it be to significant urban wastewater treatment? / F.G. Acien, C. Gomez-serrano, M.M. Morales-amaral [et al.] // *Applied Microbiology and Biotechnology*. — 2016. — Vol. 100. — № 21. — P. 9013–9022.
3. Yang Y. Activated Sludge Microbial Community and Treatment Performance of Wastewater Treatment Plants in Industrial and Municipal Zones / Y. Yang, L. Wang, F. Xiang [et al.] // *Int J Environ Res Public Health*. — 2020. — № 17 (2). — P. 436–440.
4. Latipova A.R. Tekhnologicheskii protsess biologicheskoi ochistki stochnikh vod [Technological process of biological wastewater treatment] / A.R. Latipova, N.N. Minina // *Sovremennye problemi regionalnoi ekologii. Sbornik nauchnikh trudov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnim uchastiem 14–16.04. 2024 goda g. Birska* [Modern problems of regional ecology. Collection of scientific papers of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation on 14-16.04. 2024, Birska] / Ed. by N.G. Kutlin. — Birska: Birska branch of UUNiT, 2024. — P. 43–47. [in Russian]
5. Zhu X. Enhanced dewaterability of waste activated sludge with Fe(II)-activated hypochlorite treatment / X. Zhu, Q. Yang, X. Li [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research*. — 2018. — Vol. 25. — № 27. — P. 27628–27638.
6. Sinyashin K.O. Perspektivi i napravleniya primeneniya biologicheskii aktivnykh veshchestv v tekhnologiyakh ochistki stochnikh vod aktivnim ilom [Prospects and directions of application of biologically active substances in technologies of wastewater treatment with activated sludge] / K.O. Sinyashin, A.M. Petrov, I.V. Knyazev // *Ekologiya rodnogo kraia: problemi i puti ikh resheniya: materialy XII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnim uchastiem, Kirov, 13–14 aprelya 2017 goda* [Ecology of the native land: problems and ways to solve them : proceedings of the XII All-Russian Scientific and Practical Conference with International participation, Kirov, April 13-14, 2017]. — Kirov: Vyatka State University, 2017. — Vol. 2. — P. 312–314. — EDN: YPVVXP. [in Russian]
7. Kuznetsova O.A. Biotsenoz aktivnogo ila [Biocenosis of activated sludge] / O.A. Kuznetsova // *Tekhnologii i oborudovanie khimicheskoi, biotekhnologicheskoi i pishchevoi promishlennosti: Materialy XVIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenikh s mezhdunarodnim uchastiem, Biisk, 21 maya 2025 goda* [Technologies and equipment of the chemical, biotechnological and food industries : Proceedings of the XVIII All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists with International participation, Biisk, May 21, 2025]. — Biisk: Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, 2025. — P. 241–243. — DOI: 10.25699/tohbipp.2025.73.49.034. — EDN: RRPTOV. [in Russian]
8. Brindina L.V. Issledovanie mikrobioma aktivnogo ila i optimizatsiya yego metabolicheskoi aktivnosti [Investigation of the microbiome of activated sludge and optimization of its metabolic activity] / L.V. Brindina, A.Yu. Korchagina // *Uchenie zapiski Krimskogo federalnogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya* [Scientific notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry]. — 2022. — Vol. 8. — № 1. — P. 25–42. — EDN: HBTVNA. [in Russian]
9. Grib A.A. Izmenenie vidovogo sostava mikrobioti aktivnogo ila v aerotenke pri izmenenii nagruzki [A change in the species composition of the microbiota of activated sludge in an aerotank with a change in load] / A.A. Grib, O.K. Novikova // *Ekologicheskii Vestnik Severnogo Kavkaza* [Ecological Bulletin of the North Caucasus]. — 2021. — Vol. 17. — № 4. — P. 64–66. — EDN: EJRLHU. [in Russian]
10. Masekhovich A.A. Sootnoshenie nitchatoi i flokuliruyushchei mikrobioti aktivnogo ila dlya effektivnoi biologicheskoi ochistki stochnikh vod [The ratio of filamentous and flocculating microbiota of activated sludge for effective biological wastewater treatment] / A.A. Masekhovich, I.A. Grebenchikova, R.M. Markevich [et al.] // *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya* [Journal of the Belarusian State University. Ecology]. — 2024. — № 3. — P. 80–86. — DOI: 10.46646/2521-683X/2024-3-80-86. — EDN: VHDYDF. [in Russian]
11. Sibieva L.M. Sostav mikrobnogo soobshchestva aktivnogo ila v protsessakh sovместnoi biologicheskoi i reagentnoi ochistki stochnikh vod [The composition of the microbial community of activated sludge in the processes of joint biological and reagent wastewater treatment] / L.M. Sibieva, I.A. Degtyareva, A.S. Sirotkin [et al.] // *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [Universities News. Applied Chemistry and Biotechnology]. — 2019. — Vol. 9. — № 2 (29). — P. 302–312. — DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-2-302-312. — EDN: IPTDVQ. [in Russian]
12. HDPE F SB 14.1.77-96. Metodicheskoe rukovodstvo po gidrobiologicheskomu i bakteriologicheskomu kontrolyu protsessa biologicheskoi ochistki na sooruzheniyakh s aerotenkami [Methodological guide for hydrobiological and bacteriological control of the biological purification process at facilities with aerotanks]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200082896> (accessed: 30.01.2026). [in Russian]