

УДК 502.13:504.5

ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ: СИТУАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

О. Н. Рублевская¹, Ю. Н. Бурвикова^{2*}, Т. В. Гусева², М. В. Бегак²

¹ ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» (ул. Кавалергардская, 42, Санкт-Петербург, Россия, 191015)

² Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики» (Олимпийский пр., 42, Мытищи, Московская обл., Россия, 141006), *u.burvikova@eipc.center

Рассмотрены особенности эколого-технологической трансформации российской экономики, направленной на сокращение негативного воздействия на окружающую среду и повышение ресурсной эффективности производства. Проанализированы результаты, достигнутые предприятиями водоснабжения и водоотведения. Отмечено, что только в Российской Федерации такие предприятия отнесены к I категории негативного воздействия, что обязывает их внедрять наилучшие доступные технологии и получать комплексные экологические разрешения. Отрасль в инициативном порядке присоединилась к эколого-технологической трансформации; для предприятий водоснабжения и водоотведения разработан уникальный информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям и установлены технологические показатели (требования к составу очищенных вод), которые варьируют в зависимости от мощности очистных сооружений и категории принимающих водных объектов. Предприятия отрасли лидируют в сфере разработки и реализации программ эколого-технологической модернизации: доля комплексных экологических разрешений, выданных с условием выполнения таких программ, достигает 75 %. Проанализирован опыт ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», очистные сооружения которого проходят последовательную реконструкцию, модернизацию и обеспечивают надлежащую очистку 99,8 % хозяйственно-бытовых сточных вод города. Отмечено, что ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» и АО «ПКС-Водоканал» (г. Петрозаводск) стали первыми объектами негативного воздействия, которые были исключены из перечней региональных экологических «горячих точек» на основании решения международных организаций и соответствия требованиям наилучших доступных технологий. Сделан вывод, что результаты опытных испытаний отечественных приборов онлайн-контроля качества сточных вод, полученные ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» в части внедрения системы автоматического контроля очищенных вод, целесообразно использовать при ее внедрении на других объектах отрасли, учитывая их размер; такое решение позволит выполнить требования природоохранного законодательства, установленные в рамках перехода к эколого-технологическому регулированию ключевых отраслей экономики.

Ключевые слова: эколого-технологическая трансформация; очистка сточных вод; негативное воздействие на окружающую среду; наилучшие доступные технологии; технологический показатель; принимающий водный объект

Для цитирования: Рублевская О. Н., Бурвикова Ю. Н., Гусева Т. В., Бегак М. В. Особенности эколого-технологической трансформации предприятий водоснабжения и водоотведения: ситуационное исследование // Труды Карельского научного центра РАН. 2026. № 1. С. 106–118. doi: 10.17076/eco2189

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания научно-исследовательского института «Центр экологической промышленной политики» (020-00003-25-00).

**O. N. Rublevskaya¹, Yu. N. Burvikova^{2*}, T. V. Guseva², M. V. Begak².
SPECIFIC FEATURES OF THE ENVIRONMENTAL AND TECHNOLOGICAL
TRANSFORMATION OF WATER SUPPLY AND WASTEWATER TREATMENT
PLANTS: A CASE STUDY**

¹ Saint Petersburg Vodokanal State Unitary Enterprise (42 Kavalergardskaya St., 191015 St. Petersburg, Russia)

² Environmental Industrial Policy Centre (42 Olimpijsky Ave., 141006 Mytishchi, Moscow Region, Russia), *u.burvikova@eipc.center

The article considers specific features of the environmental and technological transformation of the Russian economy aimed at reducing negative environmental impacts and enhancing the resource efficiency of production. We analyze the results achieved by water-supply and wastewater treatment enterprises. It is noteworthy that the Russian Federation is the only country where such enterprises are classified as belonging to category I of negative environmental impact, which obliges them to implement Best Available Techniques (BATs) and obtain Integrated Environmental Permits. The sector has joined the environmental and technological transformation on its own initiative and a unique BAT Reference Document has been developed for water supply and wastewater treatment enterprises. Technological indicators (or BAT-associated Emission Limits) (requirements for the composition of wastewater upon treatment) were established. They vary depending on the size of the treatment facilities and the category of the receiving water bodies. Enterprises of the sector are leaders in the development and implementation of environmental and technological modernization programs: 75 % of the Integrated Environmental Permits granted to enterprises involve the implementation of such programs. The article analyzes the experience of St. Petersburg Vodokanal (water supply and wastewater treatment enterprise), whose sewage treatment facilities are undergoing gradual reconstruction and modernization and ensure proper treatment of 99.8 % of the municipal wastewater. Saint Petersburg Vodokanal and Petrozavodsk Vodokanal became the first facilities with negative environmental impact to be excluded from the lists of regional environmental “hot spots” based on decisions of international organizations and compliance with BAT-associated requirements. We conclude that the experience of St. Petersburg Vodokanal in implementing a continuous self-monitoring system for treated wastewater should be replicated at other facilities, with adjustments for their size. Such a solution will enable fulfillment of the environmental legislation requirements established for the transition to environmental and technological regulation of key economic sectors.

Keywords: environmental and technological transformation; wastewater treatment; negative environment impact; Best Available Techniques; technological emission level; receiving water body

For citation: Rublevskaya O. N., Burvikova Yu. N., Guseva T. V., Begak M. V. Specific features of the environmental and technological transformation of water supply and wastewater treatment plants: a case study. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2026. No. 1. P. 106–118. doi: 10.17076/eco2189

Funding. The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to the Environmental Industrial Policy Centre (020-00003-25-00).

Введение

Эколого-технологическая трансформация экономики – это процесс, начало которому было положено в 2014 г., когда вышло распоряжение Правительства Российской Федерации от 19.03.2014 г. № 398-р «Об утверждении комплекса мер, направленных на отказ от использования устаревших и неэффективных технологий» [Распоряжение..., 2014]. Именно в этом документе подчеркивалась необходимость обеспечить последовательное снижение негативного воздействия крупных предприятий ключевых отраслей экономики на окружающую среду путем практического применения наилучших доступных технологий (НДТ). Принятию такого решения предшествовали масштабные исследования в области промышленной экологии, которые советские ученые вели в 1970-х годах XX в. [Скобелев, 2020]. Словно отражая суть промышленной экологии (науки о взаимодействии промышленных объектов с окружающей средой (точнее – предприятий в целом)), переход к эколого-технологическому регулированию деятельности осуществляется при активном участии природоохранных органов (Министерства природных ресурсов и экологии РФ и Росприроднадзора) и Министерства промышленности и торговли РФ; участвуют в проведении реформы и другие ведомства. При этом наилучшие доступные технологии представляют собой ядро экологической промышленной политики [Никитин и др., 2017; Мантуров, 2018], результаты реализации которой на протяжении 10 лет свидетельствуют о том, что отказ от устаревших технологий и внедрение НДТ в различных отраслях экономики позволяют повысить ресурсную и экологическую эффективность производства и сократить негативное воздействие на окружающую среду (НВОС).

В представленной работе проанализированы основные результаты эколого-технологической трансформации предприятий водоснабжения и водоотведения, внедряющих наилучшие доступные технологии и добивающихся соответствия новым отраслевым требованиям.

Методы и подходы

При подготовке статьи нашли применение характерные для междисциплинарных исследований методы анализа и синтеза, контент-анализа, обобщения [Колмогоров и др., 2017]. Авторы использовали информацию базы данных Бюро наилучших доступных технологий, функции которого выполняет Научно-исследовательский институт «Центр экологической

промышленной политики», а также сведения о проектах, реализуемых ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», в том числе опубликованные в открытой печати [Кармазинов, 2009; Волков и др., 2020].

Результаты и обсуждение

Предприятия водоснабжения и водоотведения как объекты эколого-технологического регулирования

Предприятия, предоставляющие услуги по водоснабжению, водоотведению, а также очистке сточных вод поселений и городских округов, исторически называют водоканалами [Водоснабжение..., 2008; Кармазинов, 2009]. Они играют уникальную социально-экологическую роль и отличаются от всех иных объектов так называемой I категории НВОС, которые представляют собой крупные промышленные (добывающие полезные ископаемые и перерабатывающие их) или сельскохозяйственные предприятия. Каждое предприятие характеризуется перечнем производимой продукции и технологических процессов, обеспечивающих выпуск такой продукции. В ходе своей основной деятельности предприятия потребляют ресурсы (сырье, материалы, энергию, воду и др.) и оказывают воздействие на окружающую среду, природные и социально-экономические системы, прежде всего – расположенные в непосредственной близости от производственных площадок.

В части очистки сточных вод «продукцию» водоканалов представляет собой очищенная сточная вода, поступающая в принимающие природные водные объекты. Вопреки бытующему мнению, водоканалы не могут быть загрязнителями; напротив, их отсутствие привело бы как к деградации водных систем, так и к снижению качества жизни населения. Тем не менее водоканалы относятся к предприятиям I категории НВОС; более того, эта отрасль добровольно включилась в контур эколого-технологического регулирования, стремясь получить технологически обоснованные обязательные для соблюдения показатели очистки сточных вод. Поэтому в рамках действующего природоохранного законодательства практически все водоканалы обязаны получать комплексные экологические разрешения (КЭР), разрабатываемые на основе концепции НДТ [Данилович и др., 2020].

Нормирование, используемое при выдаче КЭР, основано прежде всего на установлении требований к веществам или соединениям, наиболее характерным для технологических

процессов конкретных предприятий, так называемым маркерным веществам. Когда речь идет о присутствии таких веществ в принимающих водных объектах, используются два термина – «маркерные» (преимущественно в России) [Гусева и др., 2001; Астраханов и др., 2023] и «индикаторные» (чаще – в зарубежных источниках) [Syeed et al., 2023]. В контексте НДТ маркерные вещества могут относиться к сырьевым потокам, основным или вспомогательным технологиям, но непременно должны быть значимы и характерны для применяемых производственных процессов. Для маркерных веществ устанавливаются технологические показатели (ТП) НДТ, которые в международной практике имеют расширенное название – основанные на НДТ уровни эмиссий (Best Available Technique-Associated Emission Level, BAT-AEL) [Polders et al., 2012].

Нормирование именно маркерных веществ (как технологически обусловленных) – один из основных принципов НДТ; перечень таких веществ (и интегральных показателей) невелик. Во-первых, замысел был в том, чтобы обеспечить возможность применения систем автоматического контроля выбросов и сбросов по таким показателям, ведь далеко не каждое соединение может быть количественно определено автоматическими методами с требуемой допустимой погрешностью [Информационно-технический..., 2021]. Во-вторых, нормирование широкого перечня веществ (в том числе присутствующих в составе выбросов и (или) сбросов в малых количествах) приводит к избыточной нагрузке на предприятия; более того, поступление в окружающую среду ряда веществ, которые были «традиционными» в прошлой системе нормирования, связано не с основными процессами производства, а, например, с деятельностью гаражей, ремонтных подразделений и пр. [Tikhonova et al., 2021].

Из достаточно большого перечня веществ, традиционно определяемых водоканалами в очищенной сточной воде в ходе инвентаризации при проведении производственного экологического контроля, было выбрано семь показателей, которые технологически специфичны для отрасли и наиболее полно характеризуют уровень очистки; этот перечень включает и интегральные показатели (химическое и биохимическое потребление кислорода – ХПК и БПК₅ соответственно).

Все сведения о технологических процессах и технологических показателях НДТ систематизированы в отраслевом Информационно-техническом справочнике (ИТС) по НДТ – ИТС 10-2019 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений,

городских округов» [2019]. В подготовке ИТС активное участие принимали сотрудники водоканалов, осуществлявшие инициативные проекты еще в начале 2000-х годов, в том числе посвященные выполнению международных экологических обязательств Российской Федерации. Речь идет о водоканалах Санкт-Петербурга, Петрозаводска и Калининграда, обеспечивающих очистку сточных вод в соответствии с требованиями ХЕЛКОМ [Скобелев и др., 2020].

Работа над формированием перечня маркерных веществ и последующим установлением ТП представляет собой сложный многостадийный процесс, в котором принимают участие представители отрасли, научного сообщества, органов государственной власти и общественных организаций. В 2019 г. анкеты заполнили около 200 водоканалов; поступившие от предприятий сведения были обезличены и сопоставлены между собой с учетом производительности очистных сооружений и категорий принимающих водных объектов. Для установления ТП разработана матрица, представленная в таблице. Она включает восемь категорий мощности: от сверхмалых очистных сооружений (с объемом сброса очищенных сточных вод от 10 до 100 м³/сут.) до сверхкрупных (с объемом сброса, превышающим 600 000 м³/сут.), а также четыре категории водных объектов (А, Б, В и Г), привязанные к бассейнам морей. В категорию А выделены особо охраняемые природные территории (ООПТ) и акватории, например озеро Байкал и его притоки, расположенные в пределах ООПТ. При сбросе очищенных сточных вод в водные объекты категории А применяются самые жесткие требования, водоканалам рекомендуется дополнительно устанавливать системы глубокой доочистки, которые для других объектов считаются избыточными.

Одно из требований к предприятиям всех отраслей (областей применения НДТ) для получения КЭР – обеспечение соответствия технологическим показателям. При этом ТП обычно устанавливаются с таким расчетом, чтобы примерно 10–15 % предприятий отрасли были вынуждены пройти модернизацию производства [Скобелев, 2020]. Такие предприятия разрабатывают специальные программы повышения экологической эффективности (ППЭЭ). По мере актуализации ИТС технологические показатели ужесточаются, и весь процесс эколого-технологической модернизации экономики соответствует принципу последовательного отказа от устаревших технологий, последовательного улучшения достигнутых показателей [Скобелев, 2020].

Технологические показатели для очистных сооружений централизованных систем водоотведения поселений или городских округов, предназначенных для очистки смешанных (городских) сточных вод [Постановление..., 2020]

Technological indicators for wastewater treatment facilities of settlements or urban districts designed for treating municipal (urban) wastewater [Decree..., 2020]

Категории водоканалов по мощности Categories of wastewater treatment plants by capacity	Технологические показатели (среднегодовые значения концентрации загрязняющих веществ в смешанных (городских) сточных водах, сбрасываемых в водные объекты, не более, мг/дм ³) Technological indicators (average annual values of concentration of pollutants in mixed (municipal) wastewater discharged into water bodies, no more than mg/dm ³)						
	Взвешенные вещества Suspended solids	ХПК COD	БПК ₅ BOD ₅	Азот аммонийный N (ammonia)	Азот нитратов N (nitrates)	Азот нитритов N (nitrites)	Фосфор фосфатов P (phosphates)
I. При сбросе в водный объект (часть водного объекта) категории А I. Discharged into a Category A water body (part of a water body)							
Большие – Крупные – Крупнейшие – Сверхкрупные очистные сооружения Large – Larger – The largest – Super-large wastewater treatment plants	5	40	3	1	9	0,1	0,5
Сверхмалые – Малые – Небольшие – Средние очистные сооружения Ultra-small – Small – Moderate-sized – Medium-sized wastewater treatment plants	10	40	5	1	9	0,1	0,7
II. При сбросе в водный объект (часть водного объекта) категории Б II. Discharged into a Category Б water body (part of a water body)							
Большие – Крупные – Крупнейшие – Сверхкрупные очистные сооружения Large – Larger – The largest – Super-large wastewater treatment plants	10	80	8	1	9	0,1	0,7
Малые – Небольшие – Средние очистные сооружения Small – Moderate-sized – Medium-sized wastewater treatment plants	15	80	10	1,5	12	0,25	1 (1,5)
Сверхмалые очистные сооружения Ultra-small wastewater treatment plants	15	80	12	8	18	0,25	5
III. При сбросе в водный объект (часть водного объекта) категории В III. Discharged into a Category В water body (part of a water body)							
Большие – Крупные – Крупнейшие – Сверхкрупные очистные сооружения Large – Larger – The largest – Super-large wastewater treatment plants	10	80	8	1	9	0,1	1
Средние очистные сооружения Medium-sized wastewater treatment plants	15	80	12	2	9	0,15	5
Сверхмалые – Малые – Небольшие очистные сооружения Ultra-small – Small – Moderate-sized treatment facilities	15	80	12	8	18	0,25	5
IV. При сбросе в водный объект (часть водного объекта) категории Г IV. Discharged into a Category Г water body (part of a water body)							
Большие – Крупные – Крупнейшие – Сверхкрупные очистные сооружения Large – Larger – The largest – Super-large wastewater treatment plants	15	80	10	2	9	0,2	5
Сверхмалые – Малые – Небольшие – Средние очистные сооружения Ultra-small – Small – Moderate-sized – Medium-sized wastewater treatment plants	15	80	12	8 (20)	18	0,25	5

Отрасль водоснабжения и водоотведения составляет редкое исключение: более 60 % предприятий при получении комплексных экологических разрешений разрабатывают, а затем реализуют программы модернизации (ППЭЭ), добиваясь лучших технологических показателей. Это решение далось непросто: реконструкцию должны пройти примерно две трети очистных сооружений, при этом большинство продолжают работать, многие – расширяются, но такой

подход оправдан значимостью задачи сокращения негативного воздействия на поверхностные водные объекты. Отрасль лидирует в части разработки и реализации ППЭЭ (рис. 1).

На рис. 2 представлена динамика одобрения проектов ППЭЭ и получения КЭР российскими водоканалами. По состоянию на 30.07.2025 г. предприятиям водоснабжения и водоотведения выдано 139 КЭР; Межведомственная комиссия одобрила 137 проектов ППЭЭ.

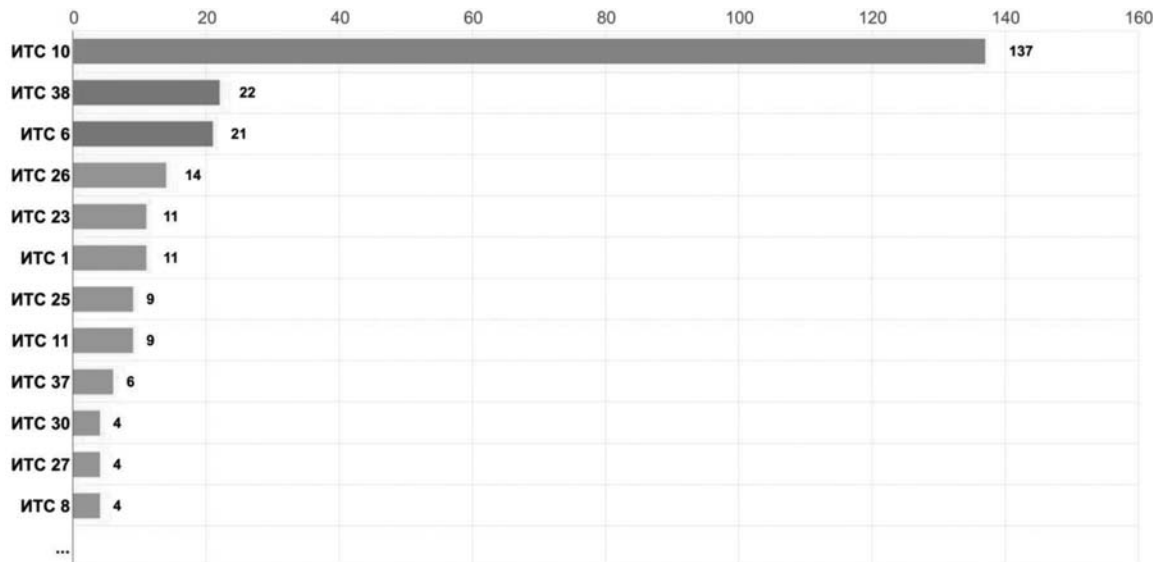


Рис. 1. Количество программ повышения экологической эффективности, разработанных для достижения соответствия требованиям отраслевых технологических показателей

Fig. 1. Number of Environmental Performance Enhancement Programs developed to achieve sectoral BAT-associated Emission Levels

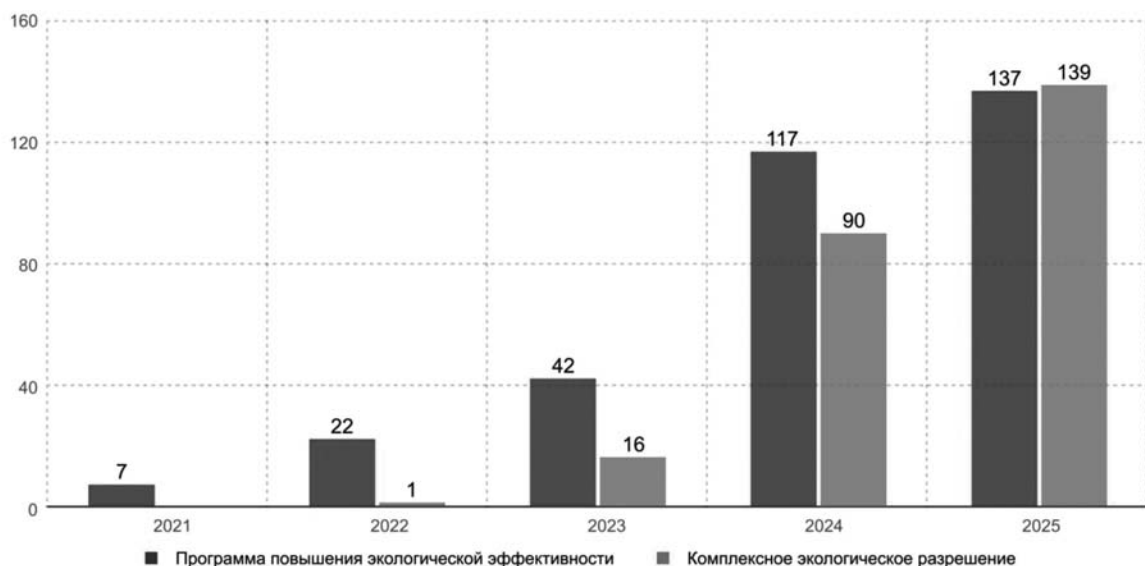


Рис. 2. Количество одобренных проектов программ повышения экологической эффективности и выданных комплексных экологических разрешений предприятий отрасли очистки коммунально-бытовых сточных вод по состоянию на 30.07.2025 г.

Fig. 2. Number of approved Environmental Performance Enhancement Programs and Integrated Environmental Permits granted to wastewater treatment plants as on July 30, 2025

В приведенной статистике не учтены пересмотры проектов ППЭЭ, хотя для многих предприятий это оказалось существенной проблемой, ведь модернизация требует длительного времени (на реализацию проекта законодательно разрешено потратить семь лет, и продлению этот срок не подлежит). При этом в 2020–2025 гг. многие водоканалы столкнулись с рядом проблем и риском невыполнения в установленный срок мероприятий ППЭЭ. Во-первых, многими проектами изначально было предусмотрено использование импортного оборудования, поставки которого с учетом сложившейся геополитической обстановки прекращены, поэтому потребовалась корректировка проектов, поиск аналогов оборудования. Во-вторых, для организаций, у которых в эксплуатации более двух объектов I категории НВОС, технически невозможно одновременно выполнять работы по реконструкции без риска сброса неочищенных сточных вод в водные объекты.

Из 139 выданных водоканалам КЭР 105 включают программы повышения экологической эффективности, что составляет 75,5 % от всех предприятий отрасли, получивших КЭР. По завершении эколого-технологической модернизации водоканалов состав очищенных сточных вод должен будет соответствовать НДТ по всем показателям.

В качестве примера реализации принципа отказа от устаревших технологий и последовательного достижения лучших показателей экологической эффективности рассмотрим ситуационное исследование, выполненное применительно к Юго-Западным очистным сооружениям ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», где пилотные проекты по переходу к НДТ осуществляются с начала 2000-х годов.

Анализ опыта эколого-технологической модернизации Юго-Западных очистных сооружений ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»

Юго-Западные очистные сооружения (ЮЗОС) относятся к крупнейшим, их проектная производительность составляет 330 тыс. м³/сут; принимающий водный объект – Невская губа Финского залива, которая относится к категории Б (см. табл.).

Однако в 1992 г. государства, имеющие выход к Балтийскому морю, подписали Хельсинкскую конвенцию (ХЕЛКОМ), основная цель которой – «сохранение и восстановление экологического баланса Балтийского моря как крупной природной экосистемы, а также

обеспечение рационального подхода к использованию его ресурсов» [Хельсинкская...]. ХЕЛКОМ можно рассматривать как одно из первых проявлений создания концепции «синей экономики», основоположником которой считается Гюнтер Паули, представивший в 2009 г. (через 17 лет после подписания Хельсинкской конвенции) соответствующий доклад Римскому клубу [Hanslik, Uhl, 2012].

Для восстановления экосистемы Балтийского моря все страны-участницы Конвенции должны принимать меры, направленные на контроль и предотвращение загрязнения окружающей среды. Рекомендации ХЕЛКОМ включают позицию 28E/5 «Очистка городских сточных вод», согласно которой водоканалы должны обеспечивать достижение следующих показателей очистки сточных вод:

- азот общий – не более 10 мг/дм³;
- фосфор общий – не более 0,5 мг/дм³.

Наша страна присоединилась к Конвенции в 1998 г., и для очистных сооружений Водоканала Санкт-Петербурга (равно как и Калининграда) условия ХЕЛКОМ стали обязательными. Вспомним, что это случилось до перехода к эколого-технологическому регулированию предприятий водоснабжения и водоотведения Российской Федерации. При этом в других странах подобные объекты вовсе не регулируются на основе концепции НДТ. Проект создания ЮЗОС, при реализации которого использованы самые совершенные технологии, завершен в 2005 г.; это позволило обеспечить соблюдение условий Конвенции. Однако по прошествии 20 лет сооружения требуют модернизации.

Канализование Санкт-Петербурга в основном осуществляется по общесплавной схеме, которая предусматривает совместное поступление в систему бытовых, промышленных, а также поверхностных (дождевых, талых) сточных вод.

ЮЗОС занимают площадь 40 га, а бассейн канализования включает юго-западную часть города Санкт-Петербурга, в том числе г. Красное Село, пос. Горелово, пос. Володарский, жилые зоны Кировского завода и завода ЛЭМЗ, жилые районы Сосновой Поляны, Улянки, Дачного, части Петродворцового, Кировского и Красносельского районов. Население в бассейне канализования ЮЗОС составляет более 770 тыс. человек. Как и для всех других предприятий отрасли, исходным «сырьем» являются сточные воды, направляемые на очистку, а «продукцией» – очищенная вода, направляемая в принимающий водный объект. Обработка осадка, образующегося в процессе очистки

сточных вод, происходит на заводе по сжиганию избыточного ила.

В это трудно поверить, но до 1978 г. в Ленинграде не было очистных сооружений канализации и сточные воды напрямую поступали в р. Неву и Финский залив [Волков и др., 2020]. Центральная станция аэрации, обеспечившая очистку 27 % всех сточных вод города, была открыта в 1978 г.; к 2000 г. очистку проходили уже 75 % сточных вод. Введение в 2005 г. в эксплуатацию ЮЗОС позволило очищать уже 85 % городских сточных вод.

В 2012 г. Водоканал Санкт-Петербурга был исключен из перечня так называемых экологических «горячих точек» ХЕЛКОМ на основании сложной административной процедуры, включавшей не только оценку степени очистки сточных вод города на всех сооружениях, но и длительную переписку профильных министерств и ведомств стран-участниц Хельсинкской конвенции [Волков и др., 2020]. Несколько позднее процедура исключения «горячих точек» была модифицирована; российские эксперты предложили в качестве критериев использовать требования НДТ, которые установлены в Российской Федерации [Скобелев, Микаэльссон, 2020]. Такую же процедуру прошли Сыктывкарский ЛПК (целлюлозно-бумажный комбинат) и Водоканал г. Петрозаводска [Гревцов и др., 2020]. Водоканал продолжал развиваться, вводились новые мощности, осуществлялась модернизация действующих очистных сооружений, и к 2020 г. уже 99,8 % сточных вод проходят очистку на сооружениях ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга».

Очистные сооружения ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» построены на принципе

биологической очистки сточной воды и включают основные процессы очистки: механическую, биологическую и химическую. В блоке обработки осадка сточных вод проводятся процессы уплотнения избыточного ила, обезвоживания смеси сырого осадка и уплотненного ила с дальнейшим термическим обезвреживанием. На стадии биологической очистки ЮЗОС использован модифицированный процесс Кейптаунского университета [Vaioroulou, Aivasidis, 2008; Mikhailiova et al., 2014] (рис. 3). Процесс модифицирован с учетом обеспечения глубокого биологического удаления фосфора из обедненных по органическим соединениям сточных вод (характерных для общесплавных систем канализования) с невысоким соотношением BPK_5 к $P_{общ.}$ на входе в аэротенк (19–20 при норме 25 и более).

Аэротенки разделены на анаэробную, аноксидную, переходную аноксидно/оксидную и оксидную зоны.

На ЮЗОС приняты все технологически доступные меры для обеспечения глубокого удаления фосфора и азота до значений концентраций в очищенном стоке на уровне требований НДТ и рекомендаций ХЕЛКОМ:

- внутренние рециклы, регулируя которые, возможно достигать требуемой глубины очистки;
- мероприятия по обогащению стоков органикой: ацидофикация сырого осадка, возврат в поступающий сток отжима от отбросов с решеток;
- химическое осаждение фосфора фосфатов, что позволяет оптимизировать распределение нагрузки между процессами денитрификации и дефосфотации.

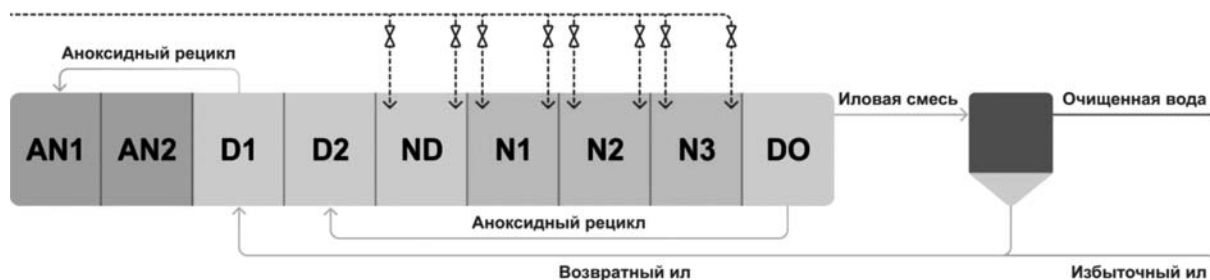


Рис. 3. Технология модифицированного процесса Кейптаунского университета, внедренная на Юго-Западных очистных сооружениях. AN1, AN2 – анаэробные зоны, D1, D2 – зоны денитрификации, ND – переходная зона денитрификации и нитрификации, N1, N2, N3 – зоны нитрификации, DO – зона без аэрации

Fig. 3. Modified Cape Town University technology for the biological removal of nitrogen and phosphorus implemented at the South-West Wastewater Treatment Plant. AN1, AN2 – anaerobic zones, D1, D2 – denitrification zones, ND – denitrification / nitrification transition zone, N1, N2, N3 – nitrification zones, DO – zone without aeration

Для контроля качества очищенных сточных вод в системе биомониторинга используются раки: в теплое время года – австралийские красноклешневые, в холодное – аборигенные узкопалые.

Учитывая требование оснащения системами автоматического контроля (САК) основных стационарных источников выбросов и сбросов загрязняющих веществ [Постановление..., 2020], специалисты ЮЗОС проводят пилотные испытания отечественных приборов непрерывного контроля, обеспечивающих измерение следующих показателей: взвешенные вещества, нитрат-ион, аммоний-ион и фосфор фосфатов. В ближайшее время планируется провести тестирование системы передачи данных в управление Росприроднадзора, что также соответствует требованиям законодательства.

За прошедшие годы очистные сооружения Санкт-Петербурга подверглись глубокой технологической модернизации, но для достижения стабильных требуемых значений технологических показателей необходима практически постоянная работа. Сейчас на ЮЗОС реализуются мероприятия программы повышения экологической эффективности, включающие реконструкцию отдельных секций аэротенков, системы транспортировки возвратного ила, а также внедрение сооружений доочистки и систем автоматического контроля сбросов очищенных сточных вод.

В результате проведенной изыскательской работы специалистами ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» установлено, что системы автоматического контроля сбросов могут выполняться в двух основных модификациях: погружные зонды, укомплектованные набором датчиков, и анализаторы, требующие отбора проб. Погружные зонды удобны возможностью размещения нескольких датчиков в одном интегрированном модуле, а также широкой вариативностью размещения оборудования, в том числе на буях. Однако подобные системы в настоящее время труднодоступны на территории России.

Большинство отечественных производителей размещают анализаторы в специально оборудованных помещениях (постах) или внутри производственных помещений, что позволяет обеспечить требуемые для бесперебойной работы оборудования условия, а также использовать методы реагентного анализа (в том числе с применением водных растворов). Самыми распространенными являются потенциометрические анализаторы, которые используются для количественного анализа группы азота, фосфора, а также кальция, магния, хлоридов. Применение реагентных методов

позволяет снизить погрешность измерений. Расположение в отапливаемых помещениях делает системы удобными для обслуживания, а для обеспечения метрологической составляющей (поверка, калибровка и т. п.) можно использовать обычные для лабораторной практики государственные стандартные образцы.

Применяются также и фотометрические датчики. Подобные системы позволяют определить не только показатели цветности, но и массовые концентрации ряда компонентов, таких как ионы железа, марганца (II) или хрома (VI). Для нужд водоканалов потенциометрические датчики применимы при определении массовой концентрации нитратов, нитритов и фосфатов, относящихся к технологическим показателям НДТ (см. табл.). На ЮЗОС используется оборудование отечественных производителей, внесенное в Государственный реестр средств измерений (ФГИС «Аршин»). Результаты, полученные на ЮЗОС, целесообразно тиражировать, так как все водоканалы обязаны установить САК в течение четырех лет после получения КЭР (хотя перечень анализируемых показателей зависит от производительности очистных сооружений [Постановление..., 2020]).

Однако водоканал Санкт-Петербурга пошел дальше, и в настоящее время в целях обеспечения безопасного водоснабжения города река Нева оснащена автоматическими датчиками контроля качества воды, позволяющими отслеживать ключевые показатели от истока до водозаборов предприятия. Это особенно важно, учитывая, что 98 % питьевой воды забирается из поверхностного источника – р. Невы. Система мониторинга на всем протяжении реки позволяет ускорить реагирование на возможные изменения в источнике и оперативно принять необходимые меры. Таким образом, замыкается круговорот воды как продукта, реализованный с помощью природоподобных технологий, а именно двух основных стадий: водоснабжения и водоотведения.

В соответствии с принципом последовательного улучшения систем менеджмента (в данном случае – очистки сточных вод) на ЮЗОС в рамках ППЭЭ планируется внедрение системы доочистки, которая позволит минимизировать количество взвеси в очищенных водах, а также повысит эффективность процесса обеззараживания ультрафиолетовым методом [Головкова, 2020]. Такой подход позволит стабильно обеспечивать требуемое качество очистки по технологически нормируемым показателям, что особенно актуально при общесплавной системе канализования,

для которой характерна неравномерность гидравлических нагрузок. Также доочистка позволит стабилизировать качество сточных вод по микробиологическим показателям и оптимизировать затраты на процесс обеззараживания.

В настоящий момент на ЮЗОС ведутся тестовые испытания отечественных технологических решений по доочистке сточных вод. По результатам испытаний будет разработано технико-экономическое обоснование и выбран наиболее оптимальный способ доочистки.

Заключение

Эколого-технологическая трансформация экономики осуществляется в Российской Федерации на основе концепции наилучших доступных технологий, представляющих собой совокупность технологических, технических и организационных решений, позволяющих предприятиям добиваться высокой экологической и ресурсной эффективности экономически целесообразными методами [Скобелев, 2020]. К областям применения НДТ отнесены ключевые отрасли промышленности и сельского хозяйства. При этом Россия является единственной страной, в которой предприятия водоснабжения и водоотведения обязаны внедрять НДТ и получать комплексные экологические разрешения.

Требования наилучших доступных технологий для водоканалов систематизированы в информационно-техническом справочнике ИТС 10-2019 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов». Этот документ используют для подготовки заявок на комплексные экологические разрешения и для разработки проектов программ повышения экологической эффективности сотни предприятий водоснабжения и водоотведения. Технологические показатели НДТ являются достаточно жесткими, и более 75 % водоканалов уже реализуют ППЭЭ, стремясь обеспечить соблюдение требований наилучших доступных технологий.

Опыт ГУП «Водоканал Санкт-Петербург» показывает, что применение принципов НДТ для последовательной эколого-технологической трансформации позволяет не только сократить негативное воздействие на окружающую среду, но и добиться выполнения международных обязательств Российской Федерации. В настоящее время водоканал обеспечивает очистку 99,8 % хозяйственно-бытовых сточных вод Санкт-Петербурга, проводит апробацию системы автоматического контроля загрязняющих веществ и готовится к участию в актуализации

ИТС 10-2019 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов» и ИТС 22.1 «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения».

Литература

Астраханов М. Е., Бурвикова Ю. Н., Новиков В. А. Технологическое нормирование сбросов сточных вод на основе показателей НДТ // Компетентность. 2023. № 4. С. 34–39. doi: 10.24412/1993-8780-2023-4-34-39

Водоснабжение и водоотведение в Санкт-Петербурге / Под ред. Ф. В. Кармазинова. СПб.: Новый журнал, 2008. 464 с.

Волков С. Н., Рублевская О. Н., Тихонова И. О., Гусева Т. В., Иикканен М. Опыт развития объектов водоотведения ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»: этапы перехода к наилучшим доступным технологиям // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2020. № 6. С. 104–120. doi: 10.35567/1999-4508-2020-6-6

Головкова Ю. С. Обеззараживание сточных вод ультрафиолетовыми лучами // Academy. 2020. № 3(54). С. 21–22.

Гревцов О. В., Щелчков К. А., Эпов А. Н., Остапчук В. В., Чижиков И. П. Применение принципов НДТ в качестве инструмента выполнения международных обязательств Российской Федерации: практический опыт исключения КОС из списка экологических «горячих точек» Баренцева Евро-Арктического региона // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и очистки сточных вод. 2020. № 3. С. 2–7.

Гусева Т. В., Веницианов Е. В., Молчанова Я. П. Маркерные показатели в оценке состояния водных объектов при малой антропогенной нагрузке (на примере р. Пры) // Водные ресурсы. 2001. Т. 28, № 3. С. 342–349.

Данилович Д. А., Будницкий Д. М., Новиков А. В. Переход на технологическое нормирование сбросов городских очистных сооружений: итоги десяти лет работы и рекомендации после принятия полного пакета нормативных правовых актов // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 11. С. 4–15.

Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 10-2019 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов». М.: Бюро НДТ, 2019. 416 с.

Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 22.1-2021 «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения». М.: Бюро НДТ, 2021. 172 с.

Кармазинов Ф. В. Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций и Водоканал Санкт-Петербурга на службе великого города // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2009. Вып. 1. С. 22–27.

Колмогоров Ю. Н., Сергеев А. П., Тарасов Д. А., Арапова С. П. Методы и средства научных исследований. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. 152 с.

Мантуров Д. В. Устойчивый экономический рост: аспекты гармонизации промышленной и экологической политики России // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2018. Т. 11, № 4. С. 132–140. doi: 10.18721/JE.11410

Никитин Г. С., Осьмаков В. С., Скобелев Д. О. Согласование экологической и промышленной политики: глобальные индикаторы // Компетентность. 2017. № 7(148). С. 20–28.

Постановление Правительства Российской Федерации от 13.03.2019 г. № 262 «Об утверждении Правил создания и эксплуатации системы автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ».

Постановление Правительства Российской Федерации от 15.09.2020 г. № 1430 «Об утверждении технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов».

Распоряжение Правительства Российской Федерации от 19.03.2014 г. № 398-р «Об утверждении комплекса мер, направленных на отказ от использования устаревших и неэффективных технологий».

Скобелев Д. О. Промышленная политика повышения ресурсоэффективности и достижение целей устойчивого развития // Journal of New Economy. 2020. Т. 21, № 4. С. 153–173. doi: 10.29141/2658-5081-2020-21-4-8

Скобелев Д. О., Микаэльссон О. Наилучшие доступные технологии как критерии исключения российских промышленных предприятий из списка экологических «горячих точек» Баренцева Евро-Арктического региона // Экономика устойчивого развития. 2020. № 2(42). С. 179–185.

Скобелев Д. О., Микаэльссон О., Бхимани Ш. Наилучшие доступные технологии в условиях международных соглашений // Вестник Евразийской науки. 2020. Т. 12, № 5. doi: 10.15862/20ECVN520

Хельсинкская комиссия по защите морской среды Балтийского моря. URL: <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2021/10/Baltic-Sea-Action-Plan-2021-update.pdf> (дата обращения: 05.06.2025).

Hanslik O., Uhl A. Blue economy innovations for a new level of competition // 360° The Business Transformation Journal. 2012. Vol. 2012. P. 11–27.

Mikhailova Y., Kevbrina M., Grachev V., Nikolaev Yu. Increase of nitrification efficiency at waste water treatment by implementation of bioaugmentation process // Water Pract. Technol. 2014. Vol. 9(4). Art. 551. doi: 10.2166/wpt.2014.061

Polders C., Van den Abeele L., Derden A., Huybrechts D. Methodology for determining emission levels associated with the best available techniques for industrial waste water // J. Clean. Prod. 2012. Vol. 29–30. P. 113–121. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.02.008

Syed M. M., Hossain M. S., Karim M. R., Uddin M. F., Hasan M., Khan R. H. Surface water quality profiling using the water quality index, pollution index and statistical methods: a critical review // Environ. Sustain. Ind. 2023. Vol. 18. Art. 100247. doi: 10.1016/j.indic.2023.100247

Tikhonova I. O., Guseva T. V., Shchelchikov K. A., Potapova E. N., Averochkin E. M. Best available techniques, general binding rules and decarbonisation of the construction materials industry // Proc. 21st International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2021. 2021. Iss. 5.1. P. 51–58. doi: 10.5593/sgem2021/5.1/s20.007

Vaiopoulou E., Aivasidis A. A modified UCT method for biological nutrient removal: configuration and performance // Chemosphere. 2008. Vol. 72, iss. 7. P. 1062–1068. doi: 10.1016/j.chemosphere.2008.04.044

References

Astrakhanov M. E., Burvikova Yu. N., Novikov V. A. Technological regulation of wastewater discharges based on the best available techniques parameters. *Kompetentnost' = Competency*. 2023;4:34–39. (In Russ.). doi: 10.24412/1993-8780-2023-4-34-39

Danilovich D. A., Budnitskii D. M., Novikov A. V. Transition to technological norms setting for urban wastewater treatment plants: results of the ten-year work and recommendations after the adoption of a complete package of regulatory legal acts. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Technique*. 2020;11:4–15. (In Russ.)

Decree of the Government of the Russian Federation dated 03/13/2019 No. 262 *On approval of the Rules for the creation and operation of an automatic control system for emissions of pollutants and (or) discharges of pollutants*. (In Russ.)

Decree of the Government of the Russian Federation dated 09/15/2020 No. 1430 *On approval of technological indicators of the best available technologies in the field of wastewater treatment using centralized wastewater disposal systems in settlements or urban districts*. (In Russ.)

Directive of the Government of the Russian Federation dated 03/19/2014 No. 398-r *On approval of a set of measures aimed at eliminating the use of outdated and inefficient technologies*. (In Russ.)

Golovkova Yu. S. Disinfecting water by ultraviolet rays. *Academy*. 2020;3(54):21–22. (In Russ.)

Grevtsov O. V., Shchelchikov K. A., Epov A. N., Ostapchuk V. V., Chizhikov I. P. Implementing BAT principles as a tool for fulfilling international obligations of the Russian Federation: practical experience in excluding Russian industries from the list of environmental “hot spots” of the Barents Euro-Arctic region. *Naилучshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i ochistki stochnykh vod = Best Available Technologies for Water Supply and Wastewater Treatment*. 2020;3:2–7. (In Russ.)

Guseva T. V., Venitsianov E. V., Molchanova Ya. P. Marker parameters in assessing the state of water bodies under the low anthropogenic load (on the example

of the Pra River). *Vodnye resursy = Water Resources*. 2001;28(3):342–349. (In Russ.)

Hanslik O., Uhl A. Blue economy innovations for a new level of competition. *360° The Business Transformation Journal*. 2012;2012:11–27. URL: <http://hdl.handle.net/11654/9512> (accessed: 06.05.2025).

Helsinki Commission for the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea. URL: <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2021/10/Baltic-Sea-Action-Plan-2021-update.pdf> (accessed: 06.05.2025).

Karmazinov F. V. St. Petersburg State University of Water Communications and the St. Petersburg Water Utility in the service of the great city. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova = Bulletin of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping*. 2009;1:22–27. (In Russ.)

Karmazinov F. V. (ed.). Water supply and wastewater treatment in St. Petersburg. St. Petersburg: Novyi zhurnal; 2008. 464 p. (In Russ.)

Kolmogorov Yu. N., Sergeev A. P., Tarasov D. A., Arapova S. P. Methods and means of scientific research. Yekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta; 2017. 152 p. (In Russ.)

Manturov D. V. Sustainable economic growth: aspects of the harmonization of industrial and environmental policy in Russia. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheski nauki = St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*. 2018;11(4):132–140. (In Russ.). doi: 10.18721/JE.11410

Mikhailova Y., Kevbrina M., Grachev V., Nikolaev Yu. Increase of nitrification efficiency at waste water treatment by implementation of bioaugmentation process. *Water Pract. Technol.* 2014;9(4):551. doi: 10.2166/wpt.2014.061

Nikitin G. S., Osmakov V. S., Skobelev D. O. Coordination of environmental and industrial policy: global indicators. *Kompetentnost' = Competency*. 2017;7(148):20–28. (In Russ.)

Polders C., Van den Abeele L., Derden A., Huybrechts D. Methodology for determining emission levels associated with the best available techniques for industrial waste water. *J. Clean. Prod.* 2012;29-30:113–121. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.02.008

Reference document on best available techniques ITS 10-2019 *Wastewater treatment using centralized*

wastewater disposal systems in settlements and urban districts. Moscow: Byuro NDT; 2019. 416 p. (In Russ.)

Reference Document on best available techniques ITS 22.1-2021 *General principles of industrial environmental control and its metrological support*. Moscow: Byuro NDT; 2021. 172 p. (In Russ.)

Skobelev D. O. Industrial policy of increasing resource efficiency and the achievement of the sustainable development goals. *Journal of New Economics*. 2020;21(4):153–173. (In Russ.). doi: 10.29141/2658-5081-2020-21-4-8

Skobelev D. O., Mikaelsson O. Best available techniques as criteria for excluding Russian industrial installations from the list of environmental “hot spots” of the Barents Euro-Arctic region. *Ekonomika ustoychivogo razvitiya = Economics of Sustainable Development*. 2020;2(42):179–185. (In Russ.)

Skobelev D. O., Mikaelsson O., Bhimani Sh. Best available techniques as a tool for compliance with international agreements. *Vestnik Evraziiskoi nauki = The Eurasian Scientific Journal*. 2020;12(5):1–17. (In Russ.). doi: 10.15862/20ECVN520

Syed M. M., Hossain M. S., Karim M. R., Uddin M. F., Hasan M., Khan R. H. Surface water quality profiling using the water quality index, pollution index and statistical methods: a critical review. *Environ. Sustain. Ind.* 2023;18:100247. doi: 10.1016/j.indic.2023.100247

Tikhonova I. O., Guseva T. V., Shchelchikov K. A., Potapova E. N., Averochkin E. M. Best available techniques, general binding rules and decarbonisation of the construction materials industry. *Proc. 21st International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2021*. 2021;5.1:51–58. doi: 10.5593/sgem2021/5.1/s20.007

Vaiopoulou E., Aivasidis A. A modified UCT method for biological nutrient removal: configuration and performance. *Chemosphere*. 2008;72(7):1062–1068. doi: 10.1016/j.chemosphere.2008.04.044

Volkov S. N., Rublevskaya O. N., Tikhonova I. O., Guseva T. V., Ilikkanen M. Experience in the development of wastewater disposal facilities of SUE Vodokanal of St. Petersburg: stages of transition to best available techniques. *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie = Water Management in Russia: Problems, Technologies, Management*. 2020;6:104–120. (In Russ.). doi: 10.35567/1999-4508-2020-6-6

Поступила в редакцию / received: 07.08.2025; принята к публикации / accepted: 01.09.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Рублевская Ольга Николаевна

директор Департамента анализа и технологического развития систем водоснабжения и водоотведения

e-mail: Rublevskaya_ON@vodokanal.spb.ru

Бурвикова Юлиана Николаевна

канд. хим. наук, начальник отдела водных ресурсов

e-mail: jburvic1977@gmail.com

CONTRIBUTORS:

Rublevskaya, Olga

Director of Department for Analysis and Technological Development of Water Supply and Sewerage Systems

Burvikova, Yuliana

Cand. Sci. (Chem.), Head of Water Resources Department

Гусева Татьяна Валериановна

д-р техн. наук, профессор, заместитель директора
по научной работе

e-mail: tatiana.v.guseva@gmail.com

Бегак Михаил Владимирович

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела
промышленной экологии

e-mail: mbegak@gmail.com

Guseva, Tatiana

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Deputy Director for Science

Begak, Mikhail

Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher