

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК

Санкт-Петербургского
государственного университета
технологии и дизайна



Серия 1

Естественные
и технические науки

№ 1/2020

М. Г. Трейман¹, П. Ю. Индучный²

¹ Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна
198095 РФ, Санкт-Петербург, Ивана Черных, 4

² Филиал «Единый расчетный центр» ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»
195009 РФ, Санкт-Петербург, РФ, Санкт-Петербург, Комсомола, 19

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД — СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПРАКТИК

© М. Г. Трейман, П. Ю. Индучный, 2020

В исследовании проведен анализ отечественного и зарубежного опыта использования различных типов биологической очистки в практике современных предприятий водно-канализационного хозяйства. В статье проведен анализ отечественного опыта на примере Санкт-Петербурга — рассмотрены процессы водоотведения и дан обзор очистных сооружений по городу и их характеристик, а также отражены перспективы развития городских и пригородных очистных сооружений. Далее приведен зарубежный опыт внедрения системы биологической очистки с очистными сооружениями по технологии БиоКос, широко применяемыми в Германии. Данный метод очистки является менее затратным, позволяет более полно использовать ресурсы, сократить производственные площади, необходимые под очистные сооружения, повысить качество очистки сточных вод. В статье также представлены возможные перспективы использования метода БиоКос в практике отечественных предприятий водно-канализационного хозяйства.

Ключевые слова: биологическая очистка, очистные сооружения БиоКос, ресурсоснабжающее предприятие, баланс водоотведения, отстойники, анаэробное сбраживание.

Введение

Экологическая безопасность окружающей среды в настоящее время — важное направление развития современного общества и один из основных векторов развития государства — качество окружающей среды, безусловно, оказывает существенное влияние на здоровье населения. На состояние здоровья населения каждого региона влияют все среды: водная и воздушная, состояние почв, наличие несанкционированных свалок. В последние годы в мире наметился водный кризис, который связан не только с нехваткой питьевой воды, но и сбрасыванием в водные объекты неочищенных сточных вод, что существенно ухудшает качество воды в мире. Соответственно, все более актуальной становится проблема очистки сточных вод. В настоящее время существует множество подходов к очистке стоков, в различных регионах России они варьируются в зависимости от типа и состава стоков.

Целью исследования является рассмотрение возможности внедрения зарубежных методов и технологий на предприятии ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга».

Задачи исследования:

1. Рассмотреть традиционные методы очистки, применяемые на ресурсоснабжающем предприятии Санкт-Петербурга.

2. Изучить технологии БиоКос, используемые в Германии, их характеристику и особенности.

3. Определить возможность внедрения данной инновационной технологии в России с учетом производственных, экономических и экологических особенностей.

Практическая значимость:

Проводимое исследование имеет практическую ценность, так как позволит применять инновационные технологии, рассматривать зарубежный опыт как возможные инновации для использования их в отечественной практике и учитывать положительные тенденции в формировании окружающей среды региона.

Описание общей ситуации на предприятии ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»

ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» — крупнейшее предприятие водно-канализационного хозяйства, которое обеспечивает город водой питьевого качества и очищает стоки перед сбросом в водные объекты. В состав предприятия входит 9 водопроводных станций и 18 очистных сооружений, которые работают в территориально поделенных зонах обслуживания города. Цель предприятия — оказание услуг водоснабжения и водоотведения различным секторам города, под секторами-потребителями понимаются население, промышленные предприятия, бюджетные объекты, объекты социального назначения. Отдельным видом деятельности предприятия является работа с абонентами, предоставление услуг на основе договорных отношений, выставлением расчетных документов, работа с платежами и дебиторской задолженностью, при обеспечении максимально быстрого обмена информацией.

Необходимо отметить также, что предприятие активно ведет инновационную деятельность: внедряет новые технологии, что существенно улучшает качество очистки питьевой воды и сточных вод, повышает по-

казатели контроля качества (применяются стандарты семейства ISO 9000) [1, с. 151], [3, с. 81], [5, с. 23]. Ярким примером инновационного подхода является использование методов биоиндикации в своей практике – применение речных раков для контроля качества питьевой воды, что дополняет основные методы контроля [4, с. 120].

В свою производственную деятельность предприятие ориентировано на потребителей и внедрение инновационных технологий, направленных на улучшение качества окружающей среды, сокращение негативного воздействия на нее и повышение своих мощностных и технических характеристик.

Аналитика по предприятию и особенности производственной деятельности

Процесс водоотведения

Представим аналитическую характеристику производственной деятельности по предприятию.

Отметим, что предприятие осуществляет весь комплекс обслуживания города по очистке питьевой воды и обработке сточных вод, это касается поверхностного стока с различных типов территорий, а также заводов по сжиганию осадков, позволяющих частично решить проблему обработки осадка в регионе — существенно снизив негативное влияние на окружающую природную среду. Предприятие использует в своей работе передовые практики, одним из показателей успеха предприятия можно считать высокую степень очистки —

Таблица 1. Характеристика основных показателей деятельности ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»

Наименование показателя	Величина
Объем очищаемых сточных вод	2,1 млн м ³ /сутки
Канализационные очистные сооружения	18 шт.
Очистка хозяйственно — бытового и общесплавного стока	14 шт.
Очистка поверхностного стока	4 шт.
Заводы по сжиганию осадка	3 шт.
Общие годовые объемы сброса сточных вод	857054 тыс. м ³ /год
Снегоплавильные пункты	11 шт.

на крупных канализационных очистных сооружениях города степень очистки варьируется в пределах 95–98%.

Рост качества очистки можно отследить по динамике показателя, такого как «масса сброса азота».

Если рассматривать динамику на рис. 1 с 1978 года по сегодняшний день, видно существенное снижение величин сброса — практически на 70%. Распределение объемов очистки сточных вод между очистными сооружениями города и Ленинградской области представлено на рис. 2.

Наибольшая нагрузка приходится на основные очистные сооружения предприятия, к которым относятся Центральная станция аэрации (далее — ЦСА), Северная станция аэрации (далее — ССА), Юго-Западные очистные сооружения (далее — ЮЗОС), остальная доля принадлежит малым очистным сооружениям.

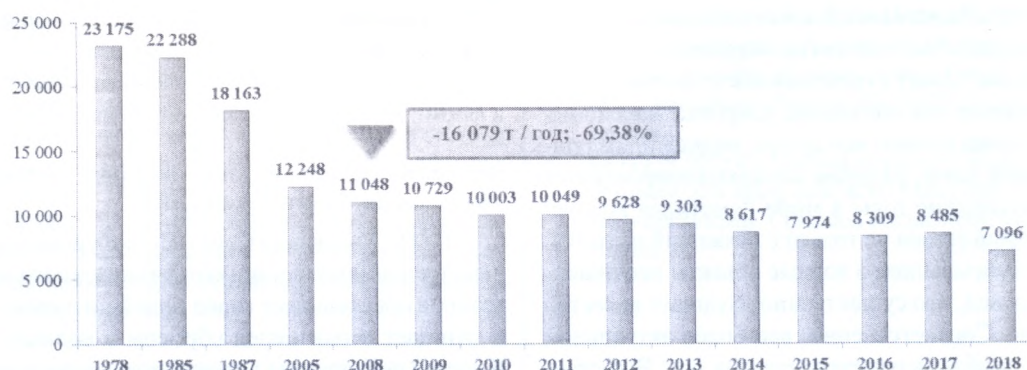


Рис. 1. Динамика показателя «масса сброса азота», т/год

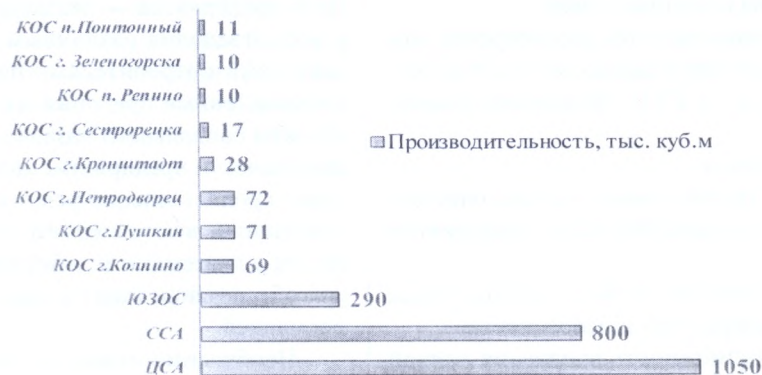


Рис. 2. Распределение объемов водоотведения по производственным мощностям предприятия ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», тыс. м³ за 2019 год

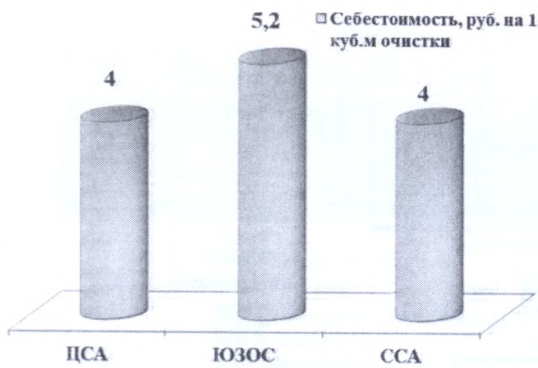


Рис. 3. Себестоимость очистки сточных вод по крупным городским очистным сооружениям

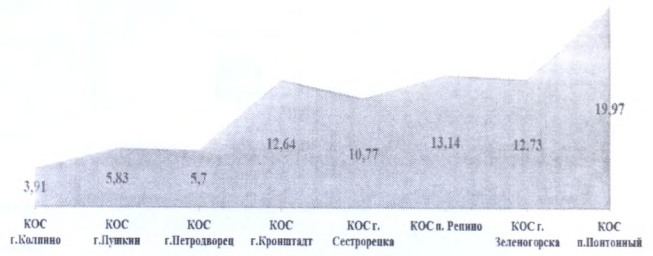


Рис. 4. Себестоимость очистки сточных вод по малым очистным сооружениям

Далее представлены данные по себестоимости очистки сточных вод на очистных сооружениях города в зависимости от их мощности.

Из сравнительных графиков видна прямая зависимость между производительностью очистных сооружений и себестоимостью очистки стоков. Из графиков следует, что для очистных сооружений малой мощности особенно важны показатели капитальных вложений при строительстве (реконструкции) и эксплуатационные расходы. В следующих разделах мы рассмотрим наиболее экономически выгодные современные технологии биологической очистки стоков.

Зарубежный опыт очистки сточных вод на примере технологий биологической очистки стоков, применяемых в Германии

Существует ряд методов очистки стоков: химический, физико-химический, механический и биологический. Применение каждого из методов или их совокупности обусловлено составом (спецификой) сточных вод. В настоящей статье рассмотрим биологический метод очистки хозяйственно-бытовых стоков как самый экономически оправданный [2, с. 55], [6, с. 120], [7, с. 23].

Авторами статьи на основе имеющегося опыта предлагается рассмотреть варианты современных систем биологической очистки, применяемых сегодня в Германии.

В настоящее время наибольшее распространение на территории Германии получили две системы биологической очистки стоков:

- аэробно-аноксидная очистка в SBR реакторах (Sequencing Batch Reactor — аэробные реакторы с циклично прерываемой активностью);

- биологически комбинированная система (biological combined system — БиоКос) очистки.

SBR технология принципиально отличается от традиционных очистных сооружений проточного действия тем, что процесс биологической очистки — наполнение сточной водой, перемешивание с активным илом, аэрация, седиментация активного ила, отвод очищенной воды, отвод избыточного ила — происходит последовательно во времени в одной емкости — SBR реакторе. Безусловным преимуществом SBR реактора

является компактность и высокий уровень автоматизации. SBR технология достаточно известна на территории России ввиду наличия свободного доступа к данным для проектирования, в отличие от технологии БиоКос, запатентованной более 20 лет назад доктором наук, инженером Ингерле Куртом совместно с Техническим Университетом Инсбрука (Австрия).

В данной статье мы постараемся детально рассмотреть наиболее экономически оправданную, по мнению германских экспертов, но еще малоизвестную в России технологию БиоКос. В Германии комбинированная система БиоКос считается лидером по сочетанию цены и качества, технология основывается на переработке активного ила с общей аэробной стабилизацией осадка и вбирает в себя лучшее от традиционной очистки активным илом и SBR технологии.

Предлагаем далее рассмотреть технологию БиоКос в комплексе с общепринятыми узлами традиционных очистных сооружений биологической очистки (рис. 5).

Для обеспечения ПДК загрязняющих веществ в очищенном стоке выбрана многоступенчатая схема, включающая механическую очистку, биологическую очистку, доочистку, обеззараживание, а также обезвоживание осадка.

В представленной технологической схеме нас интересует «сердце очистных сооружений» — биологическая очистка сточных вод, осуществляющаяся по методу БиоКос, которая по сравнению с традиционной биологической очисткой сочетает в себе такие преимущества, как: экономия электропотребления более чем на 30%; компактное исполнение (площадь земельного участка сведена к минимуму); отсутствие вторичных отстойников с илоскребами и насосной станции возврата осадка со всеми связующими трубопроводами; техническое оборудование, приборы управления и измерительная техника просты в эксплуатации; при больших нагрузках сохраняется высокий уровень надежности; при низких температурах и колебаниях нагрузок выдерживается высокий долгосрочный показатель денитрификации и биоразложения.

В данном случае использование технологии БиоКос позволит сократить энергопотребление на 30% и существенно снизить занимаемые площади (на 30%) за счет компактного расположения очистных сооруже-

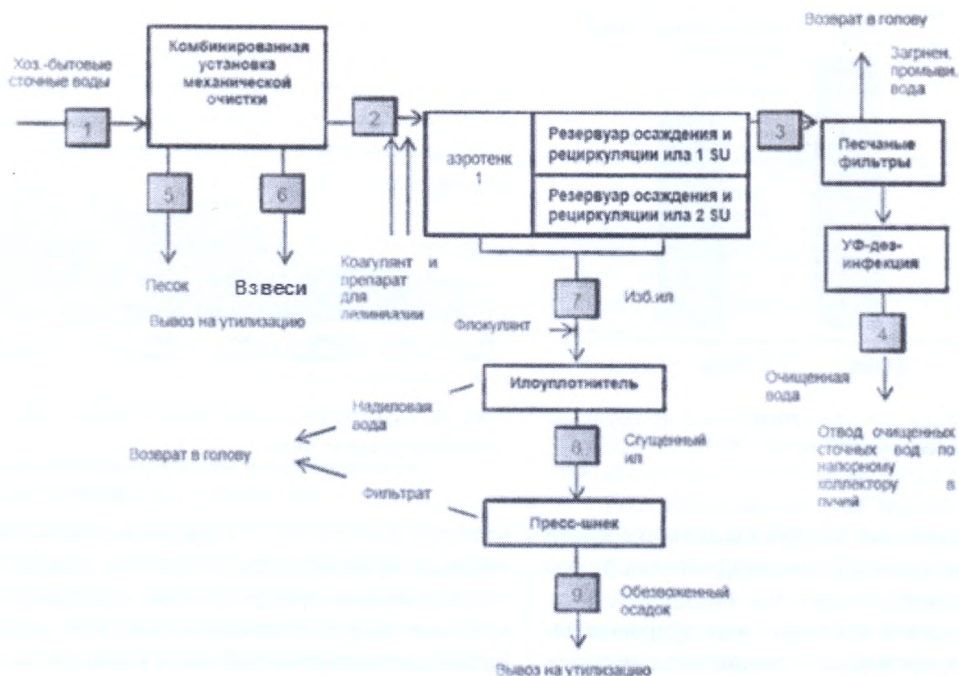


Рис. 5. Технология очистки способом БиоКос

ний, сокращение значений этих показателей позволит предприятию существенно снизить эксплуатационные затраты по предприятию.

Технологическая линия БиоКос (рис. 6) представляет собой:

1. резервуар (В) — аэротенк заданного объема;
2. два резервуара (SU) — резервуары рециркуляции и седиментации ила.

Технологическая линия БиоКос оборудована следующими основными узлами и устройствами [8, с. 325]:

1. система мелкопузырчатой аэрации;
2. рециркуляционный насос для подачи избыточного ила в аэротенк;
3. перепускные клапаны;
4. насос удаления избыточного ила;
5. сливное устройство с электрическим приводом дроссельной заслонки.

Концепция технологии БиоКос заключается в строгой последовательности и цикличности процессов работы аэротенка и резервуаров седиментации и перемешивания. Время работы одного цикла составляет 120 минут (таблица 2).

В зависимости от объемов принимаемых стоков очистка производится по 3-х ступенчатому (мощностью до 10 000 жителей) или 4-х ступенчатому (мощностью более 10 000 жителей) методу БиоКос.

Таблица 2. Распределение цикла процессов по методу БиоКос

Наименование фазы	Время, мин.
Перемешивания / Рециркуляции	15
Осаждения / Седиментации	45
Отвода воды после очистки	60

Теперь подробнее разберем происходящие в биореакторе процессы. Трехфазный процесс биологической очистки начинается с фазы перемешивания в аэротенке. Когда система аэрации запускается, происходит основная фаза реакции — удаление органических загрязнений и нитрификация. Кислород, необходимый для процесса биологической очистки, подается путём нагнетания компрессором мелкопузырчатого воздуха в смесь активного ила и сточной воды. Благодаря

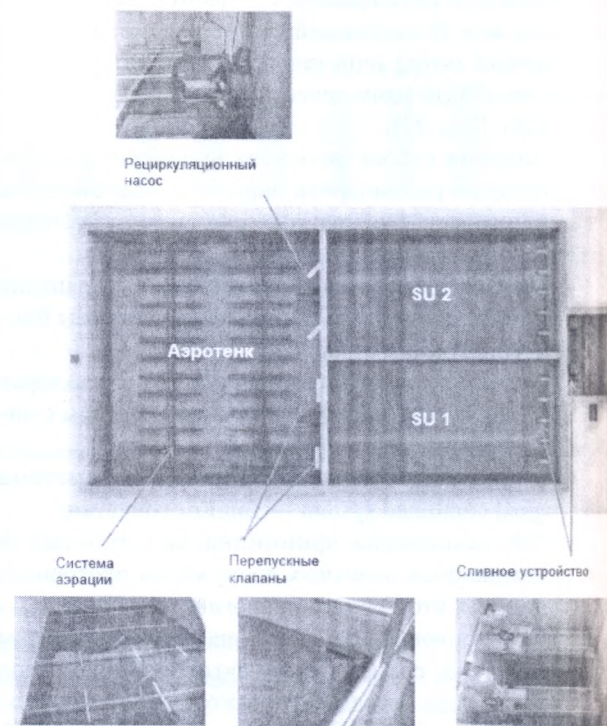


Рис. 6. Вид аэротэнка и приемных камер

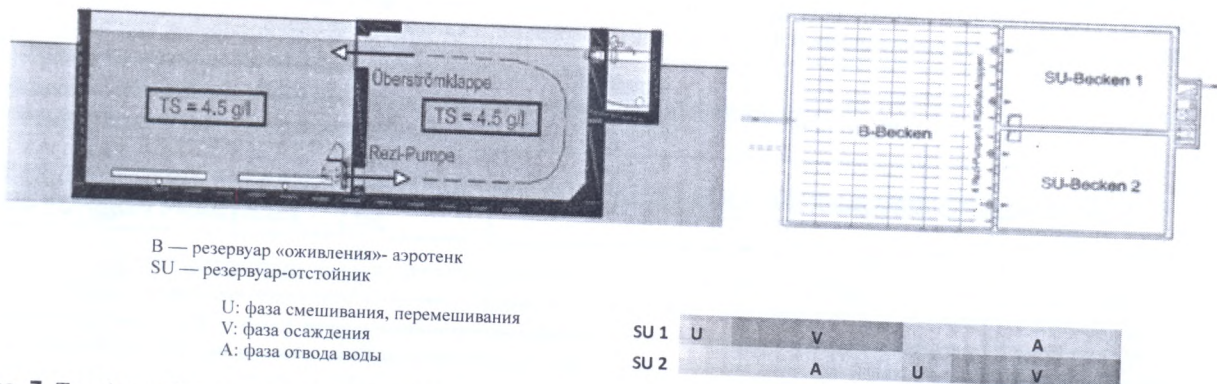


Рис. 7. Трехфазный процесс очистки БиоКос

этому и точному соблюдению режимов, указанных в технологической карте, ил поддерживается во взвешенном состоянии. Стоит заметить, что в технологии БиоКос отсутствуют традиционные воздухоудки, а все процессы перемешивания ила и подачи воздуха в аэротенк выполняет универсальное компрессорное оборудование.

После режима аэрации технологический процесс продолжается в двух последующих параллельно расположенных SU-резервуарах рециркуляции и седиментации (вторичные отстойники).

В резервуаре SU-1 (активный SU-резервуар) водно-иловая смесь посредством рециркуляционного насоса, а также клапанов обратного потока подается в аэротенк (B) — фаза перелива (U) после этого начинается фаза седиментации (фаза предварительного осадения — V).

Одновременно поток сточных вод поступает из аэротенка в резервуар SU-2 (назовем его пассивным резервуаром) посредством открывающегося клапана между аэротенком и SU-резервуаром и вытесняет очищенную воду (фаза отвода воды — A). В конце фазы отвода чистой воды (A) электроклапан системы отвода воды в резервуаре SU-2 закрывается. Во время конечной фазы оттока воды (A) избыточный ил (шлам при максимальном содержании сухого вещества) удаляется в течение 3-х мин. посредством погружного насоса с дна SU-резервуара и перекачивается в накопительный резервуар ила. Объем и консистенция шлама при методе очистки БиоКос ничем не отличается от традиционной биологической очистки. В основе технологии БиоКос лежит процесс непрерывного движения сточных вод. На стене, соединяющей аэротенк и SU-резервуар, установлен рециркуляционный насос, посредством которого во время U-фазы подается водно-иловая смесь из аэротенка в SU-резервуар. После фазы перелива рециркуляционный насос отключается и течение воды в резервуар автоматически прекращается. В это время нет перелива воды в SU-резервуар. Далее начинается фаза V-оседания. При этом начинается оседание активного ила и на поверхности формируется очищенная зона воды. Оседающий шлам действует как своего рода фильтр, который отфильтровывает отдельные хлопья активного ила из чистой воды.

На заключительной фазе (A) — отвода чистой воды в одном из SU-резервуаров открывается шахта слива очищенной воды посредством вмонтированного электрического привода дроссельной заслонки системы слива находящегося в конце SU-резервуара. Технологические отверстия системы слива сконструированы под прямым углом таким образом, что любые плавающие частицы не могут проникать в слив. Чтобы очищенная вода из SU-резервуара удалась (вытеснилась) в шахту слива — открывается клапан, расположенный в нижней части сооружения между аэротенком и SU-резервуаром. Упомянутый выше рециркуляционный насос нагнетает и толкает грязеводяную смесь из аэротенка в SU-резервуар. В конце фазы отвода чистой воды электроклапан системы отвода воды закрывается, а осевший в SU-резервуаре активный ил активизируется и течением под воздействием эффекта вытеснения направляется в аэротенк через верхнюю заслонку. Таким образом, проходит циркуляция (возврат) активного ила из отстойника SU-резервуара в аэротенк. При трехфазной технологии БиоКос перемешивание / циркуляция выполняет функцию отвода шлама и гомогенизации. Это означает, что после окончания фазы смешивания среднее количество сухого вещества из обоих резервуаров остается в системе. В дальнейшем, при поступлении стоков на очистные сооружения все циклы повторяются непрерывно.

В результате прироста биомассы ежедневно образуется избыточный ил, который откачивается из резервуаров седиментации и перемешивания и направляется в илоуплотнитель, оборудованный устройством удаления над иловой воды. Такое решение позволяет без использования реагентов сгустить ил до концентрации 3%, уменьшить количество осадка и снизить затраты на последующее обезвоживание.

Выбор технологии очистки сточных вод напрямую зависит от исходного качества стоков, условий, в которых будет осуществляться очистка, целей очистки и требований, предъявляемых к конечному качеству воды на выходе очистных сооружений.

Необходимо отметить, что значения концентраций загрязняющих веществ после очистки сточных вод по технологии БиоКос на действующих в Германии

Таблица 3. Сравнительные показатели ПДК России и Германии, значения концентраций загрязняющих веществ после очистки стоков на очистных сооружениях (ОС) г. Ширлинг (Бавария) по технологии БиоКос

Параметры	Россия ПДК, мг/л	Германия ПДК (мг/л), для ОС > 10 000 м ³ /сут.	ОС по технологии БиоКос г. Ширлинг (Бавария), мощностью 16 500 м ³ /сут.	
			С _{вз} до очистки, мг/л*	С _{вз} после очистки, мг/л*
БПК ₅	2,11	20,1	288,2	1,85
ХПК	15,2	90,1	452,3	14,8
Взвешенные вещества	7,2	—	207,3	2,2
NH ₄ -N	0,43	10,2	40,4	0,12
NO ₂ -N	0,021	—	—	0,021
NO ₃ -N	9,12	—	—	3,0
N _{общ}	—	18,1	80,3	3,12

* — среднегодовая величина

очистных сооружениях города Ширлинг в Баварии заметно ниже требований предельно допустимых концентраций (ПДК), действующих на территории Германии, и соответствуют требованиям ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого значения на территории Российской Федерации, сравнительные показатели которых приведены в таблице 3.

Заключение. Возможность применения данной технологии для Ленинградской области и Санкт-Петербурга

Представленная в статье трехфазная технология БиоКос положительно зарекомендовала себя на территории Германии, она считается компактной, энергоэффективной, с низкими эксплуатационными расходами и позволяет очищать сточные воды в населенных пунктах с численностью населения до 10 тыс. человек. Данный тип очистных сооружений будет актуален для поселков и городов Санкт-Петербурга и Ленинградской области, где в настоящее время нет достаточной системы очистки сточных вод, позволяющей обеспечивать необходимое качество сбросов. Например, внедрение данного типа очистки возможно на КОС г. Репино (2,92 тыс. чел.) и КОС п. Молодежное (1,7 тыс. чел.), где данные очистные сооружения требуют реконструкции (модернизации). Использование данного типа технологий считается экономически выгодным и эффективным за счет компактности и энергоэффективности установок по очистки сточных вод.

Таким образом, технология БиоКос может быть применена в отечественной практике, на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства. Данная технология очистки позволяет выдерживать высокие стандарты и нормы предельно допустимых концентраций очищенных стоков (таблица 3).

Список литературы

1. Булатов М. А. Комплексная переработка многокомпонентных жидких систем: теория и техника управления образованием осадков. М.: Мир, 2017. 302 с.
2. Жамская Н. Н., Каткова С. А., Хальченко И. Г. Усовершенствование современных методов очистки сточных вод. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2012. 127 с.
3. Ильин В. И. Совершенствование и интенсификация технологических процессов физико-химической очистки сточных и природных вод. М.: РХТУ, 2013. 79 с.
4. Пугачев Е. А. Очистка городских сточных вод мегаполиса. М.: АСВ, 2013. 135 с.
5. Расчет сооружений для очистки производственных сточных вод. Физико-химическая и биологическая очистка производственных сточных вод: учеб. пособие. Казань: КГАСУ, 2012. 59 с.
6. Соколов Л. И., Лебедева Е. А., Павликов Д. А. Обработка осадков сточных и природных вод. Вологда: ВоГТУ, 2010. 136 с.
7. Субботина Ю. М. Оценка эффективности очистки сточных вод различного генезиса естественными биоценозами. М.: Российский гос. социальный университет, 2012. 121 с.
8. Шуленина З. М., Багров В. В., Десятов А. В. Вода техногенная: проблемы, технологии, ресурсная ценность. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. 401 с.

M. G. Treyman¹, P. Yu. Induchnyi²

¹ Higher school of technology and energy SPbGUPTD
198095 Russia, Saint-Petersburg, Ivana Chernykh str., 4

² Branch of the «United clearing center» SUE Vodokanal of Saint Petersburg
195009 Russia, Saint-Petersburg, Komsomola, 19

PROMISING METHODS OF WASTEWATER TREATMENT-COMPARATIVE ANALYSIS OF DOMESTIC AND FOREIGN PRACTICES

The authors analyze the domestic and foreign experience of using different types of biological treatment in the practice of modern water and sewer enterprises. The article analyzes the domestic experience on the example of St. Petersburg. It considers the processes of water disposal and provides an overview of treatment facilities in the city and their characteristics, as well as reflects the prospects for the development of urban and suburban treatment facilities. The following is a foreign experience of implementing a biological treatment system with treatment facilities using Biocos technology that are widely used in Germany. This method of treatment is less expensive, allows more complete use of resources, reduce the production area required for treatment facilities, and improve the quality of wastewater treatment. The article also presents possible prospects for using the Biocos method in the practice of domestic water and sewer enterprises.

Keywords: biological treatment, wastewater treatment plant Biocos, the supplier and the company, the balance of drainage, sedimentation basins, anaerobic digestion.

References

1. Bulatov M. A. Complex processing of multicomponent liquid systems: theory and techniques for managing the formation of precipitation. M.: Mir, 2017. 302 p. (in Rus.).
2. Zhamkaya NN, Katkova S. A., Halchenko I. G. *Improvement of modern wastewater treatment methods. Vladivostok: Dalrybvtuz, 2012. 127 p. (in Rus.).*
3. Ilyin V. I. Improvement and intensification of technological processes of physical and chemical treatment of wastewater and natural waters. M.: RKhTU, 2013. 79 p. (in Rus.).
4. Pugachev E. A. Purification of urban wastewater in a metropolis. M.: DIA, 2013. 135 p. (in Rus.).
5. Calculation of facilities for the treatment of industrial wastewater. Physico-chemical and biological treatment of industrial wastewater: textbook. Kazan: KSASU, 2012. 59 p. (in Rus.).
6. Sokolov L. I., Lebedeva E. A., Pavlikov D. A. *Sewage treatment of sewage and natural waters. Vologda: VSTU, 2010. 136 p. (in Rus.).*
7. Subbotina Yu. M. Evaluation of the effectiveness of wastewater treatment of various genesis by natural biocenoses. M.: the Russian state. Social University, 2012. 121 p. (in Rus.).
8. Shulenina Z. M., Bagrov V. V., Desyatov A. V. Technogenic water: problems, technologies, resource value. M.: N. E. Bauman MSTU, 2015. 401 p. (in Rus.).