

Н. С. СЕРПОКРЫЛОВ  
Е. В. ВИЛЬСОН  
Л. А. ДОЛЖЕНКО  
М. А. САИИД

## ОСОБЕННОСТИ ПУСКА СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В РЕЖИМАХ НИТРИФИКАЦИИ И ДЕНИТРИФИКАЦИИ

FEATURES OF THE START OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT FACILITIES  
IN THE MODES OF NITRIFICATION AND DENITRIFICATION

*Рассмотрены основные способы интенсификации биологической очистки сточных вод путем воздействия химических, физических и биологических факторов. Обоснована целесообразность применения биотехнологических методов при пусконаладочных работах на сооружениях биологической очистки в режимах нитрификации и денитрификации, основанных на использовании биолого-ферментных препаратов, магнитной обработки и освещения. Приведены результаты исследований для городских сточных вод на модельной установке биореакторов в режиме нитрификации и денитрификации.*

**Ключевые слова:** сточные воды, биологическая очистка, нитрификация, денитрификация, биопрепараты, свет-излучающий диод, магнитная обработка

Сооружения биологической очистки сточных вод являются основным узлом для большинства очистных сооружений централизованной системы водоотведения городов и поселений. Традиционные аэротенки должны обеспечивать снижение загрязнений по органическим веществам. В настоящее время к очистным сооружениям предъявляются требования по удалению не только органических веществ, но и биогенных соединений. При биологическом удалении биогенных веществ удельная скорость нитрификации и денитрификации значительно ниже удельной скорости окисления органических веществ [1].

Пусковые работы на сооружениях биологической очистки сточных вод являются основой эффективной работы в стационарном режиме, так как именно в этот период происходит формирование активного ила, определяются оптимальные технологические режимы очистки сточных вод. При запуске новых систем очистки часто используют активный ил, привезенный с других действующих очистных сооружений [2]. Успешный ввод в строй таких сооружений требует формирования специфического микробного сообщества в короткие сроки [3]. Естественно выращенные биоценозы активного ила, используемые в биологических очистных сооружениях, обладают наилучшей сопротивляемостью нагрузкам

*The main methods of intensification of biological wastewater treatment by chemical, physical and biological factors are considered. The expediency of using biotechnological methods during commissioning works on biological treatment facilities in the modes of nitrification and denitrification, based on the use of biologic-enzyme preparations, magnetic treatment and lighting, is substantiated. The results of research for urban wastewater on the model installation of bioreactors in the mode of nitrification and denitrification are given.*

**Keywords:** wastewater, biological treatment, nitrification, denitrification, biological products, light-emitting diode, magnetic treatment

и высокой скоростью окисления [4]. Для адаптации активного ила необходимо время, равное не менее трем его возрастам, для успешной нитрификации необходимо поддерживать возраст ила 15–20 суток, это значит, что он может сформироваться не менее чем через полтора месяца [5]. Время формирования адаптированного биоценоза и расчетной дозы активного ила может составить несколько месяцев до выхода на расчетные технологические показатели. Данная проблема связана со многими факторами: качественными и количественными характеристиками поступающих сточных вод, конструктивными особенностями сооружений. Для повышения концентрации активного ила в действующих сооружениях можно использовать контактные носители биомассы [6]. Ускорение процесса формирования биомассы активного ила как по качественным, так и по количественным показателям осуществляют внешним воздействием физических, химических и биологических факторов [7, 8].

Известно, что интенсификация биологических процессов очистки сточных вод возможна при воздействии на микроорганизмы ультразвука и электромагнитных полей [9]. Умеренное воздействие электрического поля стимулирует рост и жизнедеятельность микроорганизмов, осуществляющих

биологическую очистку сточных вод, увеличивая окислительную способность органических веществ, находящихся в воде. Ультразвук небольшой интенсивности (3 Вт/см<sup>2</sup>) и частоты ультразвуковых волн (22 – 44 кГц) вызывают в контактных условиях степень увеличения дегидрогеназной активности ила до 70 – 100 %, удельной скорости потребления кислорода – 25 – 50 %, ускорения процесса биологического окисления субстрата – 50 – 80 % [10].

Одним из способов повысить эффективность биологической очистки сточных вод является подача озono-воздушной смеси в аэротенк. Например, при концентрации озона 1 мг/л увеличивается степень очистки по БПК с 70 до 95 %. При подаче озono-воздушной смеси в импульсном режиме (10–15 мин/ч) остаточная ХПК в 1,3 раза меньше, чем при обычной (воздушной), при одинаковом времени аэрации [11].

Добавление в иловую смесь небольших доз 3 % пероксида водорода с концентрацией на уровне 2·10<sup>-4</sup> моль/л существенно изменяет физиологическое состояние активного ила в течение двух суток и способствует улучшению окислительной обстановки в системе, при которой микроорганизмы лучше усваивают кислород [12].

Для повышения аэробности системы и увеличения концентрации кислорода, особенно в темное время суток, целесообразно применять освещение светодиодами, закрепленными в аэрируемой зоне биореактора [13]. Красные и синие спектры света интенсифицируют активность активного ила и улучшают эффективность биологической очистки сточных вод.

Ускорение выхода на расчетные режимы происходит при добавлении в иловую смесь биологически активного вещества (БАВ) – мелафен, который представляет собой меламинамовую соль бис(оксиметил) фосфиновой кислоты и обладает высокой эффективностью и широким спектром действия при чрезвычайно низких концентрациях. При введении мелафена в концентрациях от 10–4 до 10–8 мг/дм<sup>3</sup> в иловую смесь аэротенков, практически в течение суток установлена более высокая способность активного ила к оседанию и предупреждению явления его «вспухания» [14].

В настоящее время разработано большое количество биопрепаратов, ускоряющих процесс биологической очистки сточных вод [15, 16]. Это консорциумы микроорганизмов, выделенные методом накопительных культур обычно из активного ила аэротенков городских сооружений очистки сточных вод. Они используются для очистки сточных вод местного значения, например, в селах, дачных и коттеджных поселках, небольших поселках городского типа, мини-заводах и т. п. Биопрепараты, содержащие ограниченное число видов микроорганизмов, по спектру разлагаемых веществ уступают свежему активному илу. Однако они содержат быстро растущие штаммы, которые инициируют процессы раз-

ложения органических загрязнений. В нестерильном процессе развиваются также микроорганизмы, содержащиеся в отходах, и в микробное сообщество включаются недостающие звенья.

Действие микроорганизмов биопрепаратов заключается в том, что в процессе своей жизнедеятельности они вырабатывают ферменты, которые способны расщеплять жиры, белки и другие сложные вещества органического происхождения на более простые органические вещества, которые легко разлагаются ими до углекислоты и простых соединений азота [17]. После добавления препарата возрастает концентрация микроорганизмов, а следовательно, и степень очистки. Клетки микроорганизмов иногда иммобилизуют на твердом дисперсном носителе, который может служить дополнительным источником азота и фосфора. Препараты содержат ассоциации 6–12 штаммов аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, обеспечивающих комплексную очистку сточной воды от органических загрязнителей: жиров, белков, сложных углеводов и даже (специализированные) от нефтепродуктов. В качестве питательных элементов биопрепараты содержат соли азота и фосфора, которые стимулируют рост микроорганизмов и выработку микроорганизмами липолитических, амилазолитических, карбогидразных и других ферментов, максимально облегчающих разложение органики. Аналогичные биоактиваторы, но с несколько другим составом, применяются также при производстве компоста, в биотуалетах и т. п.

В настоящее время препараты применяются для анаэробных, аноксидных и аэробных условий очистки сточных вод, для обработки осадка. Для разрушения различных сложных биологических материалов бактерии, как установлено в результате исследований, вырабатывают ферменты-энзимы, разлагающие крупные молекулы на простые. Технологии с ферментами эффективны для наращивания биомассы, деструкции определенных типов загрязнений. Особенно они эффективны при первоначальном пуске биологических очистных сооружений в условиях, когда нет возможности иметь посевного активного ила из работающих сооружений (большие расстояния, или вообще их отсутствие). В случае применения биопрепаратов выход на рабочий режим сооружений биологической очистки существенно сокращается.

Выбор биопрепарата осуществляется в зависимости от состава сточных вод и выбранного режима работы очистных сооружений. Например, с целью интенсификации развития денитрифицирующих бактерий (уменьшения времени «выращивания» и развития бактериальной среды) был применен препарат Микропан R.N. производства компании Eurovix. Установлено, что применение биоактиватора позволяет ускорить процесс денитрификации. Время, необходимое для развития денитрифициру-

ющих бактерий и полного снижения концентрации нитрат-ионов с 13–15 до 1,0 мг/дм<sup>3</sup>, сократилось в 1,5 раза и составило 5 суток [15].

Такой большой выбор способов интенсификации биологической очистки ограничивается при пусконаладочных работах универсальностью и эффективностью применения при малых капитальных вложениях. Поиск и анализ вариантов выхода на рабочий режим систем биологической очистки сточных вод в кратчайшие сроки, особенно при реализации процессов нитрификации и денитрификации, является актуальной проблемой и требует более глубокого и детального изучения.

Целью нашей работы являлось исследование возможности ускорения процесса формирования адаптированных илов для биологической очистки сточных вод в режимах нитрификации и денитрификации с помощью биолого-ферментных препаратов и электровоздействий.

Выбор магнитного воздействия на микроорганизмы активного ила сделан исходя из достаточной простоты реализации данных устройств для обработки иловых систем в производственных условиях. Влияние магнитного поля способствует значительному увеличению скорости окисления органических и выделению биогенных веществ, снижению величины илового индекса в условиях образования разных симбиозов микроорганизмов.

Для проверки влияния дополнительных физических и биохимических воздействий на процесс интенсификации биологической очистки вод в лабораторных условиях была сконструирована пилотная установка – модель биореактора с активным илом. Активный ил и поступающие сточные воды отобраны на действующих очистных сооружениях мкр. Суворовский г. Ростова-на-Дону. Состав поступающих сточных вод соответствовал среднеконцентрированным городским сточным водам. Анализ работы действующих очистных сооружений показал, что активный ил находится в неудовлетворительном состоянии [18]. В денитрификаторе сформирована восстановительная среда (анаэробноз), непригодная для жизни аэробных бактерий. В зоне денитрификации аэробные бактерии находятся около 23 часов, следовательно, облигатные аэробы, к которым относятся нитрификаторы, погибают в таких условиях. Кроме того, в аэротенке такая окислительно-восстановительная обстановка также представляет угрозу для жизнедеятельности аэробных микроорганизмов. Из этого следует, что в сооружении биологической очистки сформировалось специфическое бактериальное сообщество, адаптированное к данным условиям, однако не приспособленное окислять органические вещества до остаточных концентраций по БПК<sub>п</sub>, равным 2-3 мг О<sub>2</sub>/л, и осуществлять процессы деазотизации.

Исследования проводились в два этапа. На первом – изучали влияние биолого-ферментных препа-

ратов и омагничивания на окислительно-восстановительные свойства иловых смесей в пилотных моделях биореакторов. Оценка условий биотрансформации загрязнений проводилась по окислительно-восстановительному потенциалу (ОВП), поскольку он является экспрессным и достоверным показателем режимов нитрификации и денитрификации [19].

Пилотная установка состояла из 8 моделей биореакторов, в каждом из которых создавались особые условия воздействия на иловую смесь. Иловая смесь отбиралась из реальных очистных сооружений, находящихся в режиме пусконаладки технологической схемы: нитрификация с предшествующей денитрификацией. В качестве добавок применялись биолого-ферментные препараты Би-ХЕМ Цесклин и Bacti-Bio 9500, которые используются на практике для быстрого образования эффективной биомассы и, соответственно, деструкции органических загрязнений [20].

Биопрепарат Би-ХЕМ Цесклин состоит из трофически увязанной смеси штаммов бактерий, активных в условиях минимального присутствия кислорода, что соответствует анаэробным и анаэробным условиям. Каждая популяция сообщества культивировалась в специальных условиях, собрана и сохранена при определенных температурных и влажностных характеристиках.

Биопрепарат Bacti-Bio 9500 представляет собой гранулированный бактериальный концентрат для полного и интенсивного разложения органических веществ и осадков [21]. Биопрепарат создан на основе ферментов, поверхностно-активных веществ (ПАВ) и высокоактивных микроорганизмов, способных разлагать углеводороды, жиры, белки и углеводы (в том числе крахмал и целлюлозу). Биопрепарат содержит смесь специальных анаэробных и аэробных штаммов микроорганизмов.

Выбор биопрепаратов определялся тем, что после их пуска сооружения биологической очистки должны работать в режиме нитрификации и денитрификации.

Наложение электромагнитного поля осуществлялось различными способами: постоянными магнитами, а также магнитными лентами, постоянное освещение осуществлялось с помощью светодиодов, аэрация моделей производилась воздухом через керамические аэраторы.

Усредненные показатели ОВП режима работы биореакторов за 14 суток наблюдений приведены в табл. 1.

Контроль эмиссии газов от модельных биореакторов показал, что при аэробном окислении происходит выделение диоксида углерода СО<sub>2</sub>, по количеству которого возможно судить о потреблении кислорода активным илом и, соответственно, о степени деструкции загрязнений, т. е. его окислительной способности (рис. 1).

Интенсивность аэрации в моделях биореакторов находилась в пределах нормативных величин,

Таблица 1

Усредненные показатели режима биореакторов при воздействии на биомассу различных факторов

№ модели	Описание внешнего фактора	pH	T, °C	ОВП, мВ
1	Добавление биопрепарата Би-ХЕМ Цесклин	8	23	180
2	Добавление препарата Vacti-Bio 9500	8	23	60
3	Добавление смеси биопрепаратов Би-ХЕМ Цесклин и Vacti-Bio 9500	8	23,5	70
4	Воздействие постоянного магнитного поля	8	23	-30
5	Воздействие узкой магнитной ленты	8	23,5	-30
6	Воздействие широкой магнитной ленты	8,5	25	170
7	Воздействие постоянного освещения	8	23,9	-10
8	Контрольный образец (только аэрация воздухом)	8	23,5	200



Рис. 1. Сравнительный график окислительно-восстановительного потенциала биореакторов (eH) с подачей кислорода воздуха для моделей 1-8 (ряды 1-8)

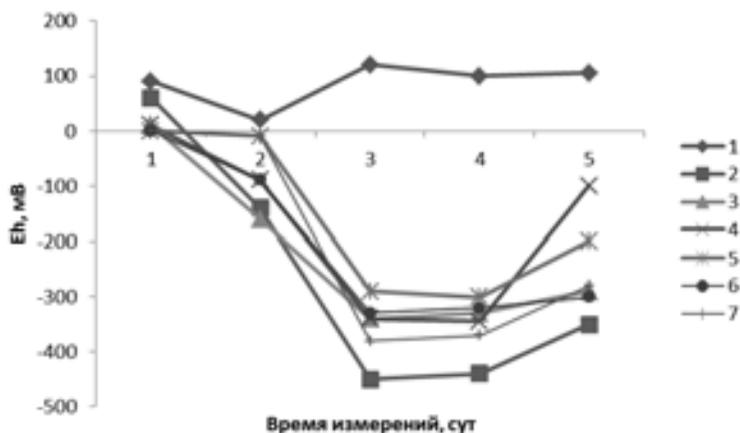


Рис. 2. Сравнительный график окислительно-восстановительного потенциала биореакторов без подачи кислорода воздуха для моделей 1-7 (ряды 1-7)

Таблица 2

## Выборочные усредненные показатели очистки сточных вод с использованием биолого-ферментного препарата Vacti-Bio 9500

Показатели качества сточных вод после очистки	Без биопрепарата		С добавлением биопрепарата	
	ДНФ	НФ	ДНФ	НФ
ХПК, взболтанная проба	1614	1100	1215	1058
ХПК, отстоянная проба	167	62	98	90
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л	61,6	72	4,84	5,5
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	1,3	0,4	60	70
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/л	11	7,7	0,7	0,26
ОВП, мВ	- 60	80	- 120	100

в то же время она не должна быть ниже определенного предела, чтобы обеспечить поддержание активного ила во взвешенном состоянии независимо от его потребности в кислороде. Минимальная интенсивность лежит в пределах 48 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>ч) при глубине погружения аэратора  $h_a = 0,5$  м и 2,5 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> ч) – при  $h_a = 6$  м. С другой стороны, интенсивность аэрации не должна превышать определенных значений, так как из-за повышенного содержания воздуха в жидкости фактическая эффективность аэрации понизится по сравнению с расчетными ее значениями.

Следует отметить, что бактерии, входящие в состав биопрепаратов, по своему происхождению относятся к факультативно аэробным микроорганизмам, т. е. могут работать в условиях низкой концентрации растворенного кислорода (рис. 2), иными словами, деградацию загрязняющих веществ можно проводить без постоянной подачи кислорода, но в присутствии освещения и препарата Би-ХЕМ Цесклин (ряд 1).

Из анализа графиков (рис. 1 и 2) следует, что биопрепараты, предназначенные для нитрификации, работают в аэробных условиях и успешно применяются как в жидкой среде, так и в осадках и илах, возникающих в отстойниках и модифицированных узлах очистных сооружений в зоне высоких значений окислительно-восстановительного потенциала при аэробном режиме. При постоянном освещении и без подачи кислорода воздуха идет процесс денитрификации, о чем свидетельствуют отрицательные величины окислительно-восстановительного потенциала.

На втором этапе исследований оценивалась эффективность биологической очистки сточных вод под воздействием биопрепарата Vacti-Bio 9500 на моделях биореакторов в режимах нитрификации и денитрификации. Навеска 1,5 (+/- 0,01) г препарата растворяется в 0,25 л водопроводной воды, т. е. концентрация равна 6 г/л. В модель биореактора объемом 1 л (1000 мл) вносится 60 или 120 мг препарата, что составляет концентрацию 60 и 120 мг/л соответственно. Периодичность внесения биопрепарата – один раз в 3–4 суток, при снижении ОВП обрабатываемых вод. Освещение светодиодами синим и красным цветом солнечного спектра велось круглосуточно.

Характеристика моделей биореакторов:

1 – денитрификатор с периодическим перемешиванием и нитратным рециклом без введения биопрепаратов;

2 – нитрификатор с аэрацией без введения биопрепаратов (аэратор Min jiang BL 758, расход воздуха – 3 л/мин);

3 – денитрификатор с ежедневной подачей 100 мл сточной воды после нитрификатора и периодическим перемешиванием с введением биопрепарата;

4 – нитрификатор с аэрацией, с подачей 100 мл воды из денитрификатора – с введением биопрепарата 1 (аэратор, Varbus 108 SB, расход воздуха – 3 л/мин).

После 14 суток наблюдений из биореакторов отбирались пробы по 500 мл вод из каждого на анализ в аккредитованную лабораторию.

Показатели очистки сточных вод при воздействии синего и красного цвета спектра с использованием биолого-ферментного препарата Vacti-Bio 9500 приведены в табл.2.

Если вычесть из значений ХПК во взболтанной пробе (табл. 2) показатели в отстоянной, то получим концентрацию биомассы по сухому веществу. Тогда концентрация биомассы без введения биопрепарата составляет, г/л: в ДНФ – 1,45, в НФ – 1,04; соответственно с введением: в ДНФ – 1,12, в НФ – 0,97. Это указывает на тот факт, что в режиме очистки сточных вод с введением биопрепарата объем избыточной биомассы меньше, чем без введения, %: в ДНФ (1,12/1,45) – на 23, в НФ – на 7. В итоге уменьшаются требуемые площади и эксплуатационные расходы на стабилизацию и обезвоживание биомассы.

**Выводы.** 1. Рассмотрены физические, химические и биологические способы интенсификации работы сооружений биологической очистки сточных вод. Показано, что при наращивании активного ила в период пуска сооружений биологической очистки имеются свои особенности, и наиболее перспективным является применение биотехнологических методов, основанных на использовании биолого-ферментных препаратов.

2. Эксперимент, проведенный в полупроизводственных условиях на пилотной установке, показал,

что выбранные биолого-ферментные препараты Би-ХЕМ Цесклин и Vasti-Bio 9500 применимы в режимах нитрификации и денитрификации, так как работают в условиях подачи кислорода и без подачи. Такой прием может быть использован на смешанных илах в аноксидно-аэробных условиях.

3. Эффективность очистки сточных вод с использованием биолого-ферментного препарата Vasti-Bio 9500 в полупроизводственных условиях за 14 суток с момента запуска установки составила в денитрификаторе по трудноокисляемым органическим веществам около 25 %, в нитрификаторе происходит глубокая нитрификация, снижение азота аммонийного с 72 до 5,5 мг/л. Отмечено снижение фосфатов с 7,7 до 0,26 мг/л; уменьшаются объемы избыточной биомассы в денитрификаторе на 23 %, в нитрификаторе – на 7 %.

Результаты проведенной работы показали возможность формирования адаптируемого активного ила с использованием биолого-ферментных препаратов в кратчайшие сроки и использованы с положительным эффектом при пуске производственных очистных сооружений суточным расходом 2000 м<sup>3</sup>/сут, время пуска составило 18 суток.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Харьков С.В. Реконструкция очистных сооружений по технологии удаления азота и фосфора – мифы и реальность // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2014. №1. С. 22–31.
2. Степанов С.В., Стрелков А.К., Сташок Ю.Е., Патаки А. Реконструкция сооружений биохимической очистки НПЗ // Материалы конференции, посвященной памяти академика РАН и РААСН Яковлева С.В. СПб., 2010. С. 45–48.
3. Родионов А. Н., Озерова Л. П. Ретехнологизация аэротенков для достижения глубокого удаления биогенных элементов: опыт очистных сооружений г. Набережные Челны // НДТ. 2015. № 2. С. 26–33.
4. Van Haandel A. C., van der Lubbe J. G. M. Handbook of biological wastewater treatment: design and optimization of activated sludge systems. Elsevier, 2012. P. 770.
5. Есин М. А., Смирнов А. В., Соколов А.Н. Пусконаладочные работы – ключевой этап ввода в эксплуатацию очистных сооружений // Водоснабжение и санитарная техника. 2015. №10. 2015. С. 27-34.
6. Долженко Л.А. Имобилизация активного ила на носителях биореактора в условиях нитрификации и денитрификации // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2016. №4. С. 150 - 158.
7. Стрелков А.К., Степанов С.В., Степанов А.С., Кирсанов А.А., Губа И.Г. Интенсификация процессов биологической очистки на очистных канализационных сооружениях г. Самары // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. № 9, ч. 2. С. 30-37.
8. Залевская Ю.М., Белик Е.С. Выбор технологии интенсификации биологической очистки сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий // Транспортные сооружения. Экология. 2016. № 4. С. 97-113.
9. Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Хазов С.Н., Ишев С.В. Экспериментальные исследования по влиянию электрообработки на ферментативную активность возвратного ила аэротенков // Водохозяйственный комплекс России: состояние, проблемы, перспективы: сб. ст. V Всерос. науч.-практ. конф. Пенза: МНИЦ ПГСХА, 2007. С. 30-31.
10. Денисова В.В., Резепова Р.Р., Балымова Е.С., Ахмадуллина Ф.Ю., Закиров Р.К. Изучение влияния низкочастотного ультразвука на биом активного ила городских очистных сооружений // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 16. С. 159-161.
11. Цхе А.А., Хан В. А., Мышкин В.Ф., Колесников В.П., Вильсон Е.В., Почуев Ю.Н., Луканин А.А. Предозонирование – как средство интенсификации процессов биологической очистки сточных вод // Научный журнал КубГАУ. №87(03). 2013. <http://ej.kubagro.ru/2013/03/pdf/38.pdf> (дата обращения: 03.04.2017).
12. Вильсон Е.В. Исследования в области удаления восстановленных соединений серы из сточных вод // Интернет-журнал «Науковедение». 2013. №3 (дата обращения: 03.01.2018).
13. Борисова В.Ю. Влияние освещенности биомассы на технологические параметры аэротенков // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2011»: мат. VI Межд. науч.-практ. конф.; г. Чебоксары, 20–23 сент. 2011 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). Новочеркасск: Лик, 2011. С. 149–153.
14. Полескова Е.Г., Шулаева О.М., Шулаев М.В. Пилотные испытания интенсификации очистки сточных вод биологических очистных сооружений МУП «Водоканал» г. Казани с применением препарата «Мелаксен» // Вестник Казанского технологического университета. 2015. №1. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/pilotnye-ispytaniya-intensifikatsii-ochistki-stochnyh-vod-biologicheskikh-ochistnyh-sooruzheniy-mup-vodokanal-g-kazani-s-primeneniem> (дата обращения: 03.12.2017).
15. Кравцова М.В., Писклова О.П., Белова И.В. Анализ эффективности использования биопрепаратов для очистки сточных вод в пищевой промышленности // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. XLIV междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск: СибАК, 2015. № 3(40) (дата обращения: 03.12.2017).
16. Анциферов А.В., Филанков В.М. Улучшение степени очистки сточных вод промышленных предприятий на биологических очистных сооружениях // Градостроительство и архитектура. 2014. № 2 (15). С. 42–48.
17. Demarche P., Junghanns C., Nair R.R., Agathos S.N. Harnessing the power of enzymes for environmental stewardship // Biotechnology Advances. 2012. N30. P. 933–953.
18. Вильсон Е.В., Серпокрылов Н.С., Долженко Л.А., Смоляниченко А.С. Анализ результатов обследования комбинированных сооружений для очистки городских сточных вод // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2017»: материалы X юбилейной Межд. науч. -практ. конф.; г. Астрахань / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова. Новочеркасск: Лик, 2017. С. 209–213.

19. Серпокрылов Н.С., Скибина Е.В., Борисова В.Ю. Исследование биологической очистки сточных вод с использованием биопрепаратов // Вода: химия и экология. 2013. № 4. С. 30–35.

20. Инструкция по применению. Биопрепарат ВІ-СНЕМ Cesclean Цесклин/ <https://energovod.ru/tovary/ochistnye.../biopreparat-bi-chem-cesclean-cesklin>. (дата обращения: 03.04.2017).

21. Инструкция по применению. Биопрепарат Bacti-Bio 9500/ [biopreparat.wodas.ru](http://biopreparat.wodas.ru). (дата обращения: 03.04.2017).

Об авторах:

**СЕРПОКРЫЛОВ Николай Сергеевич**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения  
Донской государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

**SERPOKRYLOV Nikolay S.**

Doctor of Engineering Science, Professor of the Water Supply and Wastewater Chair  
Don State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
344000. Russoa, Rostov-on-Don, Socialisticheskaya str., 162

**ВИЛЬСОН Елена Владимировна**

кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой водоснабжения и водоотведения  
Донской государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

**VILSON Elena V.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Water Supply and Wastewater Chair  
Don State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
344000. Russoa, Rostov-on-Don, Socialisticheskaya str., 162

**ДОЛЖЕНКО Лидия Алексеевна**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения  
Донской государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

**DOLZHENKO Lidia A.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Water Supply and Wastewater Chair  
Don State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
344000. Russoa, Rostov-on-Don, Socialisticheskaya str., 162

**САИЙД Марам Али**

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения  
Донской государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

**SAIYD Maram Ali**

Postgraduate Student of the Water Supply and Wastewater Chair  
Don State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
344000. Russoa, Rostov-on-Don, Socialisticheskaya str., 162

Для цитирования: Серпокрылов Н.С., Вильсон Е.В., Долженко Л.А., Саид М.А. Особенности пуска сооружений биологической очистки сточных вод в режимах нитрификации и денитрификации // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 55-61. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.12.

For citation: Serpokrylov N.S., Vilson E.V., Dolzhenko L.A., Saiyd M.A. Features of the Start of Biological Wastewater Treatment Facilities in the Modes of Nitrification and Denitrification // Urban Construction and Architecture. 2018. V.8, №3. Pp. 55-61. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.12.