

УДК 628.34; 628.35

АНАЛИЗ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД НА СТАНЦИИ АЭРАЦИИ ГОРОДА ВИТЕБСКА

канд. техн. наук, доц. В.Д. ЮЩЕНКО
(Полоцкий государственный университет);
А.В. ГАЛУЗО
(УП «Витебскводоканал»);
Т.С. КУПРИЯНЧИК
(Завод «Полимир» ОАО «Нафтан»)

Рассматривается проблема удаления фосфора из сточных вод. Объектом исследования является станция аэрации УП «Витебскводоканал». Проанализирована технологическая схема очистки сточных вод, их количество и состав, а также работа очистных сооружений станции аэрации для удаления соединений фосфора из сточных вод. Сделан вывод, что для повышения эффективности удаления фосфора из сточных вод на станции аэрации города Витебска необходимы реконструкция и модернизация блока аэротенков-вытеснителей и вторичных отстойников с применением технологической схемы, основанной на процессах нитри-денитрификации. После аэротенков и биоблоков следует предусмотреть доочистку сточных вод для более полного удаления фосфора с применением химических реагентов.

На станцию аэрации города Витебска поступает смесь хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод, количество и состав которых постоянно изменяется в соответствии с экономической ситуацией в республике. Анализ состава сточных вод показывает, что доля сточных вод хозяйственно-бытового назначения составляет порядка 65...70 %, доля промышленных стоков – 30...35 %.

Канализационные очистные сооружения Витебска функционируют с 1968 года. В зависимости от объема поступления и характеристик сточных вод очистные сооружения неоднократно перестраивались, реконструировались и расширялись. Последнее изменение произошло в 2008 году. Проектная производительность станции аэрации в целом составляет 120 тыс. м³/сут, но отдельные сооружения могут обрабатывать до 160 тыс. м³/сут сточных вод.

По данным 2013–2014 годов, средние показатели сточных вод составляют: взвешенные вещества – 385 мг/дм³; химическое потребление кислорода (ХПК) – 780 мгО₂/дм³; биохимическое потребление кислорода (БПК₅) – 250 мгО₂/дм³; азот по Кьельдалю – 58,8 мг/дм³; фосфор общий – 5,9 мг/дм³ [4].

Существующая в настоящее время технологическая схема очистки сточных вод состоит из следующих основных узлов: механическая очистка; биологическая очистка совместно с вторичным отстаиванием; обеззараживание и выпуск очищенных стоков в реку Западная Двина с требуемыми нормативными концентрациями по регламентируемым загрязнителям. Используются выпуски каскадного и сосредоточенного глубинного типов, имеется возможность между ними перепуска сточных вод.

Предварительное (механическое) осветление сточных вод осуществляется на решетках и песколовках, а также в первичных радиальных отстойниках диаметром 28...30 м в количестве 4 шт. Взвешенные вещества, выпадающие в осадок в первичных отстойниках, направляются на иловые площадки. После решеток, песколовок и первичных отстойников часть сточных вод в напорном режиме направляется на биоблоки (4 шт.), другая – на очистку в 2-х коридорные аэротенки (3 секции) и вторичные отстойники диаметром 30...40 м (4 шт.). Активный ил из вторичных отстойников делится на две части: циркуляционный, который возвращается на сооружения биологической очистки, и избыточный – подается на иловые площадки. Биоблок представляет собой сооружение с совмещенной системой биологической очистки, в котором протекают процессы окисления растворенных органических загрязнений, трансформация соединений азота и частичное удаление соединений фосфора. Конструктивной особенностью биоблока является то, что в одном сооружении совмещаются аэротенки с разными зонами аэробности и вторичные отстойники.

Для контакта очищенных сточных вод с дезинфицирующим средством используются контактные горизонтальные и вертикальные резервуары (6 шт.).

Целью работы станции аэрации является очистка сточных вод от минеральных и органических веществ, в том числе и от биогенных элементов, для предотвращения негативных последствий их воздействия на поверхностные водоемы.

Биогенные элементы представляют собой вещества, которые постоянно входят в состав различных организмов и играют важную роль в процессах их жизнедеятельности, т.е. имеют по отношению к ним определенное биологическое значение. К наиболее важным биогенным элементам относятся кислород, азот, фосфор, углерод и водород.

В настоящее время содержание биогенных элементов (в основном азота и фосфора) в поверхностных и подземных водоисточниках постоянно увеличивается, что приводит к их экологическим проблемам. Это обусловлено прежде всего тем, что очистные сооружения и технологии, запроектированные в 60–70-х годах прошлого столетия, не справляются с современной антропогенной нагрузкой. Причинами этого являются: использование новейших составов моющих средств; физиологические отходы населения и животных; промышленные технологии; сброс с сельскохозяйственных территорий талых и дождевых стоков, содержащих опасные загрязняющие вещества. Например, в разрабатываемых новых составах моющих средств (защита нагревательных элементов стиральных машин от накипи, улучшение процесса стирки загрязненного белья и пр.) содержание полифосфатов в составе моющих средств может достигать 30...50 %.

Попадание этих веществ, содержащих высокую концентрацию органических веществ, биогенных элементов и других загрязнителей, в водоемы и водостоки нарушают в них естественные процессы и вызывают эвтрофикацию водоемов. Эвтрофикация – процесс роста биологической растительности водоемов, который происходит вследствие превышения баланса питательных веществ. Он сопровождается чрезмерным развитием водорослей, особенно зеленых, сине-зеленых и диатомовых, преобладанием нежелательных видов планктона, нарушением жизнедеятельности рыб. Продукты метаболизма водорослей придают воде неприятный запах, могут вызывать кожные аллергические реакции и желудочно-кишечные заболевания у людей и животных [1].

В результате таких отрицательных воздействий постепенно в водоеме начинают преобладать анаэробные процессы. В итоге уничтожается большая часть аэробной флоры и фауны.

В период цветения в водоеме повышается величина рН, падает содержание растворенного кислорода, обнаруживаются (с помощью методов газожидкостной хроматографии) различные яды, продуцируемые цианобактериями, возникают «заморные» явления у рыб, затрудняется процесс очистки воды из водохранилищ (цианобактерии засоряют фильтры) и ухудшается качество питьевой воды. Ведущая роль при возникновении цветения водоемов принадлежит цианобактериям, которые присутствуют в каждом водоеме (обычно в норме), но при его эвтрофировании наблюдается значительное развитие этих бактерий и доминирование в планктоне. Своё название цианобактерии (раньше систематики относили их к сине-зеленым водорослям) получили из-за зеленого их окрашивания в водоеме, высыхая на берегу, в зоне «заплеска» волны при усилении интенсивности освещения, они приобретают синее или голубое окрашивание благодаря пигменту фикоцианину [2].

В момент цветения цианобактерии (*Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Nodularia*, *Oscillatoria*) продуцируют нейротоксины (вызывающие заболевания центральной нервной системы) и гепатоксины (вызывающие разрушение или рак печени).

Все эти процессы протекают относительно медленно и даже в условиях высокой антропогенной нагрузки занимают десятилетия, но именно в этом заключается главная опасность эвтрофирования. Изменения экосистемы водоема достаточно глубоки и периоды возможного восстановления экосистем оказываются длительными.

Фосфор (P) – элемент 15-й группы (по устаревшей классификации – главной подгруппы пятой группы) второго периода периодической системы химических элементов, атом фосфора характеризуется меньшей энергией ионизации и имеет больший радиус. Это означает, что неметаллические признаки у фосфора выражены слабее, чем, например, у азота. Поэтому для фосфора реже встречается степень окисления –3 и чаще +5. Мало характерны и другие степени окисления. В природе фосфор встречается только в виде соединений; важнейшее из них – фосфат кальция – минерал апатит. Фосфор имеет несколько аллотропных модификаций: белый, красный, черный и др.

Содержащийся в сточных водах фосфор можно подразделить на следующие фракции [8]:

$$C_{P_{\text{общ}}} = S_{PO_4} + S_{ПФ} + S_{P_{орг}} + X_{P_{орг}},$$

где $C_{P_{\text{общ}}}$ – общий фосфор; S_{PO_4} – растворенный неорганический ортофосфат; $S_{ПФ}$ – растворенный неорганический полифосфат; $S_{P_{орг}}$ – растворенный органический фосфор; $X_{P_{орг}}$ – взвешенный органический фосфор.

Составление баланса фосфора в сточных водах по отдельным стадиям их очистки производилось пересчетом всех его соединений на величину самого элемента.

Концентрация фосфора в сточных водах, поступающих на станцию аэрации города Витебска, отображена на рисунке 1.

Существующие способы удаления фосфорных соединений из сточных вод предполагают перевод растворенного фосфора в его нерастворимую форму, которую возможно отделить в процессе разделения, чаще всего гравитационным осаждением в отстойных сооружениях (первичные и вторичные отстойники, контактные резервуары) [3; 5].

Под взвешенными фосфорсодержащими веществами понимают органические фосфаты, однако в эту группу могут входить химически осажденные ортофосфаты и биологически связанные полифосфаты.

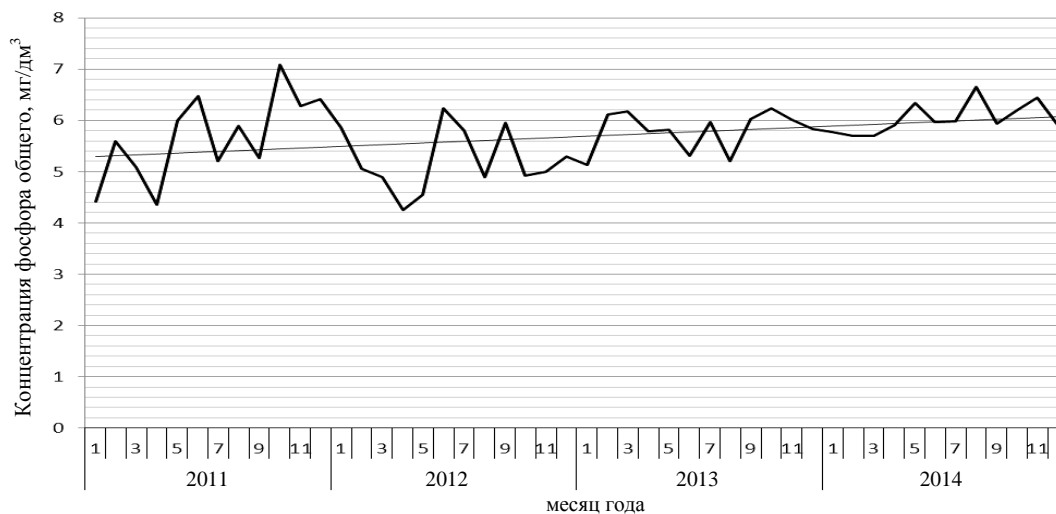


Рис. 1. Концентрации общего фосфора в исходной сточной воде за 2011–2014 годы

Для оценки эффективности работы очистных сооружений был проведен анализ основных звеньев технологической схемы [4]. Эффективность удаления фосфора в канализационных очистных сооружениях станции аэрации (г. Витебск) на отдельных этапах очистки сточных вод за 2014 год представлена на рисунке 2. Биологическая очистка 1 линии представляет собой комплекс сооружений: двухкоридорные аэротенки – вторичные отстойники – горизонтальные контактные резервуары и выпуск каскадного типа; 2 линия: биоблоки – вертикальные контактные резервуары – выпуск сосредоточенного глубокого типа.

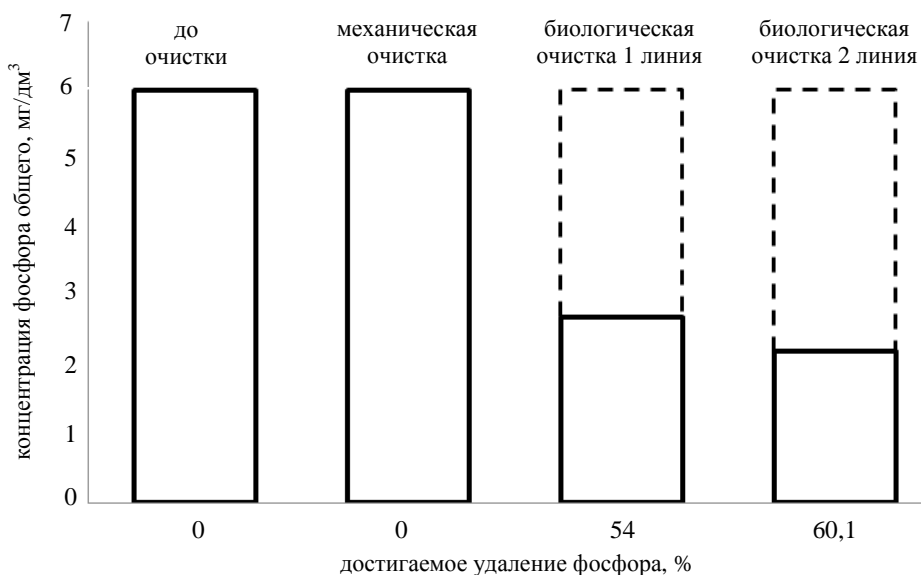


Рис. 2. Снижение концентрации фосфора на разных стадиях очистки сточных вод станции аэрации города Витебска

Процесс первичного отстаивания снижает концентрации загрязнений в поступающих на биологическую очистку сточных водах: по взвешенным веществам на 51 %; по ХПК на 33 %; по БПК₅ на 18...20 %; по азоту аммонийному на 7 %, в то время как концентрация фосфора либо не снижается, либо увеличивается до 5 %.

Сравнивая результаты эффективности очистки двух линий биологической очистки, можно отметить, что и аэротенки, и биоблоки с различными зонами аэрации в среднем с одинаковой эффективностью удаляют такие загрязнения, как ХПК (90...91 %), БПК₅ (92 %). По азоту аммонийному и фосфору

более высокие результаты эффективности очистки наблюдаются в работе комплексных сооружений, био-блоков. По азоту аммонийному – 94 % (после аэротенков – 82 %), по фосфору общему от 50 до 69 % в зависимости от режима работы сооружения (после аэротенков – от 43 до 65 %).

В результате биологического разложения органических веществ можно считать, что на стадии биохимической очистки сточных вод полифосфаты гидролизуются до ортофосфатов (рис. 3), в эту же форму также переходят растворимые фосфорсодержащие соединения [4; 6; 8].

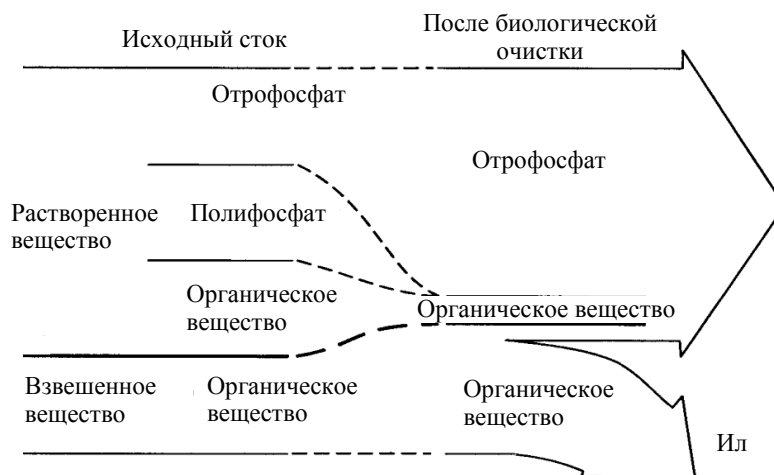


Рис. 3. Формы фосфорных веществ в процессе биохимической очистки сточных вод

Концентрации общего фосфора в исходных и очищенных сточных водах на станции аэрации города Витебска (средние за месяц 2014 г.) в сравнении с допустимой концентрацией общего фосфора в очищенных сточных водах при их поступлении в реку Западная Двина представлены в таблице.

Концентрация общего фосфора в исходных и очищенных сточных водах на станции аэрации города Витебска (средние за месяц 2014 г.)

№ п/п	Концентрации общего фосфора (мг/дм ³) в местах отбора проб сточной воды							
	Приемная камера (вход на ОС)	выпуски очистных сооружений				допустимые концентрации общего фосфора в очищенных сточных водах при их поступлении в реку Западная Двина		
		выпуск № 1, каскадный	Э, %	выпуск № 2, сосредоточенный	Э, %	Временное разрешение на специальное водопользование	ТКП 17.06-08-2012	Рекомендация ХЕЛКОМ 28/5*
1	5,78	2,81	51	2,27	61			
2	5,72	2,94	49	2,09	64			
3	5,7	3,36	41	2,09	63			
4	5,91	3,09	48	2,52	57			
5	6,34	3,25	49	2,88	55			
6	5,96	2,9	51	2,3	61			
7	5,98	3,27	45	2,85	52			
8	6,65	2,1	68	1,95	71			
9	5,92	2,27	62	2,96	50			
10	6,22	2,35	62	2,29	63			
11	6,44	2,21	66	2,35	64			
12	5,9	3,2	46	2,5	57			
среднее	6,06	2,78	54	2,4	60,1	3,5	2,0	0,5

Примечание. ХЕЛКОМ (The Helsinki Commission, **HELCOM**) является руководящим органом Конвекции от 1992 года по защите морской среды Балтийского моря, известной под названием «Хельсинская конвекция».

Заключение. Работу очистных сооружений по удалению фосфора из сточных вод в пределах временных норм Спецводопользования можно считать удовлетворительной, однако этого недостаточно для достижения требований ТКП 17.06-08-2012 и рекомендаций ХЕЛКОМа (превышение по содержанию фосфора общего 0,4...0,78 и 1,9...2,28 мг/дм³).

Для повышения эффективности удаления фосфора из сточных вод на станции аэрации города Витебска необходимо провести реконструкцию и модернизацию блока аэротенков-вытеснителей и вторичных отстойников с применением технологической схемы, основанной на процессах нитри-денитрификации.

После аэротенков и биоблоков следует предусмотреть доочистку сточных вод для более полного удаления фосфора с применением химических реагентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долина, Л.Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов: моногр. / Л.Ф. Долина. – Днепропетровск: Континент, 2011.
2. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. – М.: Акварос, 2003.
3. Зейфман, Е.А. Интенсификация очистки сточных вод от биогенных элементов / Е.А. Зейфман, Е.А. Лебедева, Г.А. Тихановская. – Вологда: ВоГТУ, 2003.
4. Техническое и технологическое обследование работы аэротенков станции аэрации города Витебска: отчет о НИР / Полоц. гос. ун-т. – Новополоцк: ПГУ, 2012.
5. Смир, Э. Пособие специалиста по очистке стоков / Э. Смир, М. Фишер. – 14-е изд. – Варшава: Зейдель Пживецки, 2002.
6. Технический справочник по обработке воды: в 2 т.; пер. с фр. – СПб.: Новый журнал, 2007.
7. Порядок установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод: ТКП 17.06-08-2012(02120). – М.: РУП ЦНИИКИВР, 2012.
8. Очистка сточных вод, биологические и химические процессы / М. Хенце [и др.]; пер. с англ. – М.: Мир, 2009.

Поступила 30.01.2015

ANALYSIS OF WORK FOR REMOVAL OF STRUCTURES PHOSPHORUS COMPOUNDS FROM WASTEWATER AERATION STATION THE CITY OF VITEBSK

V. YUSHCHANKA, A. HALUZA, T. KUPRYIANCHYK

The article provides information on the problem of phosphorus removal from wastewater. The object of the study is to aeration station UE "Vitebskvodokanal". Technological scheme considered sewage waters, the amount and composition of wastewater. The analysis of sewage treatment plants aeration station for removing phosphorus from wastewater.