

УДК 628.35

## АНАЛИЗ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

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

*Анализируется работа сооружений по удалению соединений азота из сточных вод. Объектом исследования является станция аэрации УП «Витебскводоканал». Рассмотрены технологические схемы биологической очистки сточных вод. Произведено сравнение результатов эффективности работы аэротенков и биоблоков. Сделаны соответствующие выводы по повышению степени удаления азотных соединений из сточных вод путем реконструкции и модернизации блока аэротенков-вытеснителей и вторичных отстойников с применением технологической схемы, основанной на процессах нитри-денитрификации.*

Защита водоёмов от загрязнений и сохранение водных ресурсов – одна из важных проблем международного значения. Известно, что сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод в водоёмы приводит к нарушению в них экологического равновесия. В лучшем случае это сопровождается перестройкой биоценоза водоёма с развитием наиболее толерантных форм, а в худшем – заканчивается полной гибелью аэробных организмов и развитием процессов гниения. Очистка сточных вод – необходимое условие равновесия между количеством поступающей органической нагрузки в водоём и его окислительной способностью, причем требования к степени очистки постоянно повышаются. Если ранее достаточно было удалить только взвесь и провести обеззараживание сточных вод, то в настоящее время, кроме того, предъявляются требования защиты водных источников от поступления биогенных элементов и токсических веществ [1; 2].

Республика Беларусь, находясь на водоразделе бассейнов Балтийского и Черного морей, активно ведет международное сотрудничество по охране трансграничных водных объектов (например, присоединилась к Хельсинской Конвенции и ЕЭК ООН по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер, а также Протоколу по проблемам воды и здоровья).

Для хозяйственно-бытовых сточных вод или сточных вод подобного типа (городских, поселковых и т.д.) рекомендацией Хельсинской комиссии по защите морской среды Балтийского моря (ХЕЛКОМ) № 28Е/5 от 15 ноября 2007 года установлены минимальные эффекты очистки и максимальные концентрации по трем показателям: БПК<sub>5</sub>, общий фосфор и общий азот. Требования ХЕЛКОМ зависят от количества жителей и периодически обновляются в направлении сокращения сброса загрязнений, особенно биогенных элементов (очередной пересмотр рекомендаций ХЕЛКОМ – 2015 год). Наиболее жесткие требования предъявляются к очистке сточных вод, объем которых эквивалентен объему сточных вод более 100 000 жителей (табл. 1).

Таблица 1

Рекомендации ХЕЛКОМ для хозяйственно-бытовых сточных вод  
(сточные воды от более 100 000 жителей)

Показатель	Минимальная эффективность очистки, %	Максимальная концентрация на сбросе, мг/л
БПК <sub>5</sub>	80	15
P <sub>общ</sub> (фосфор, общий)	90	0,5
N <sub>общ</sub> (азот общий)	70...80	10

Введенный в действие в 2013 году ТКП 17.06-08-2012 [3] содержит ряд нормативов, которые ужесточают требования к степени очистки сточных вод по мере увеличения мощности очистных сооружений (табл. 2). Для обеспечения этих требований необходимо внедрение модернизированных методов биологической и физико-химической очистки сточных вод с удалением биогенных элементов [3–5]. Прежде всего, это относится к сооружениям, которые были построены ранее с использованием классической схемы очистки сточных вод.

Таблица 2

Допустимые значения показателей и концентраций загрязняющих веществ  
в составе очищенных бытовых, городских и близких к ним по составу производственных сточных вод

Масса органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистку, ЭН	Значение показателей, мг/дм <sup>3</sup>						Концентрация загрязняющих веществ, мг/дм <sup>3</sup>					
	ХПК		БПК <sub>5</sub>		Взвешенные вещества		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (в пересчёте на N)		N <sub>общ</sub>		P <sub>общ</sub>	
	C <sub>ср</sub>	C <sub>max</sub>	C <sub>ср</sub>	C <sub>max</sub>	C <sub>ср</sub>	C <sub>max</sub>	C <sub>ср</sub>	C <sub>max</sub>	C <sub>ср</sub>	C <sub>max</sub>	C <sub>ср</sub>	C <sub>max</sub>
Более 100 000	75	110	15	20	20	30			10	15	1,5	2

C<sub>ср</sub> – допустимая средневзвешенная концентрация загрязнений за последних двенадцать месяцев;  
C<sub>max</sub> – допустимая максимальная концентрация.

На станцию аэрации города Витебска поступает смесь хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод в количестве 80...100 тыс. м<sup>3</sup>/сут, при этом доля сточных вод хозяйственно-бытового назначения составляет порядка 65...70 %, доля промышленных стоков – 30...35 %. Средний состав коммунальных стоков по значениям загрязнений характеризуется как высококонцентрированный сток: по ХПК – 778,2; БПК<sub>5</sub> – 248,7; азоту (по Кьельдалю) – 58,8; фосфору общему – 5,9 мг/дм<sup>3</sup>.

Канализационные очистные сооружения города Витебска были построены в 1973 году и расширены в 1983-м по традиционной схеме: приёмная камера, здание решёток, песколовка, первичный радиальный отстойник, аэротенки-вытеснители, вторичные радиальные отстойники, контактные резервуары.

В 2000-х годах введена в эксплуатацию новая технологическая линия – многофункциональные сооружения биоблоки. Технологическая схема очистки сточных вод приведена на рисунке 1.

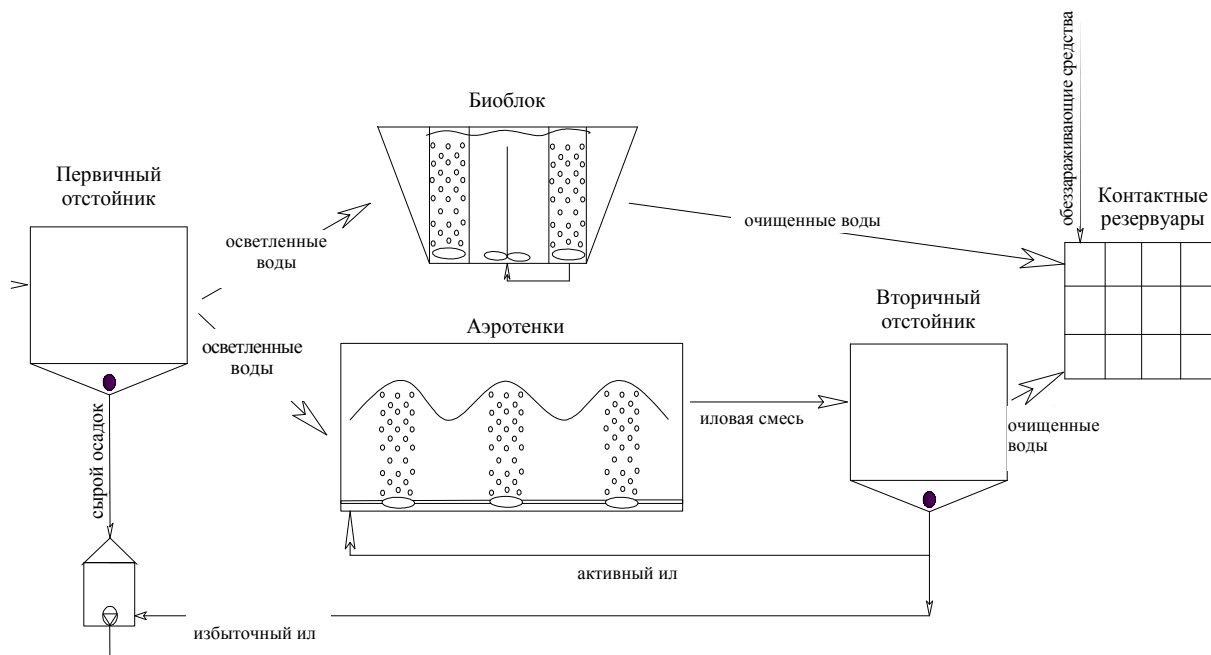


Рис. 1. Технологическая схема биологической очистки сточных вод станции аэрации города Витебска

В настоящее время весь объём сточных вод на станции аэрации города Витебска проходит механическую очистку (решётки, песколовки, первичные отстойники), а затем разделяется на две линии – часть проходит биологическую очистку на аэротенках-вытеснителях, а часть – на биоблоках.

В последнее время в связи с отрицательным воздействием биогенных элементов на экологию водоемов важной проблемой очистки сточных вод выступает удаление соединений азота. Как было указано выше, удаление биогенных элементов из сточных вод требуется в связи с тем, что соединения азота, а также фосфора вызывают процесс эвтрофикации водоемов.

Азот (N) – элемент 15-й группы (по устаревшей классификации – главной подгруппы пятой группы) второго периода периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева. Простое вещество азот – достаточно инертный при нормальных условиях двухатомный газ без цвета, вкуса и запаха (формула N<sub>2</sub>), из которого на три четверти состоит земная атмосфера.

Азот в сточной воде присутствует в виде ряда фракций [6; 9]:

$$C_{N,общ} = S_{N,окс} + S_{NH_4} + S_{I,N} + X_{S,N} + X_{I,N},$$

где  $C_{N,общ}$  – общий азот;  $S_{N,окс}$  – нитритный + нитратный азот;  $S_{NH_4}$  – аммонийный + аммиачный азот;  $S_{I,N}$  – растворённый инертный органический азот;  $X_{S,N}$  – взвешенный легко биологически разлагаемый органический азот;  $X_{I,N}$  – взвешенный инертный органический азот.

Мочевина и органически связанный азот преобразовывается уже в трубопроводе в азот аммония ( $NH_4-N$ ). Соответственно, чем длиннее канализационная сеть, тем глубже протекает процесс аммонификации. Химическая реакция аммонификации органического азота происходит дольше, чем аммонификация других соединений. Поэтому в сточных водах, поступающих на очистные сооружения, содержится большое количество азота аммония и азота органического. Сумма азота органического и азота аммония носит название азота по Кьельдалю. Азот аммония, в отличие от углеродистых соединений, не разлагается, а окисляется в нитрит ( $NO_2-N$ ) и нитрат ( $NO_3-N$ ).

Концентрация азота аммонийного в поступающей сточной воде на очистные сооружения отображена на рисунке 2.

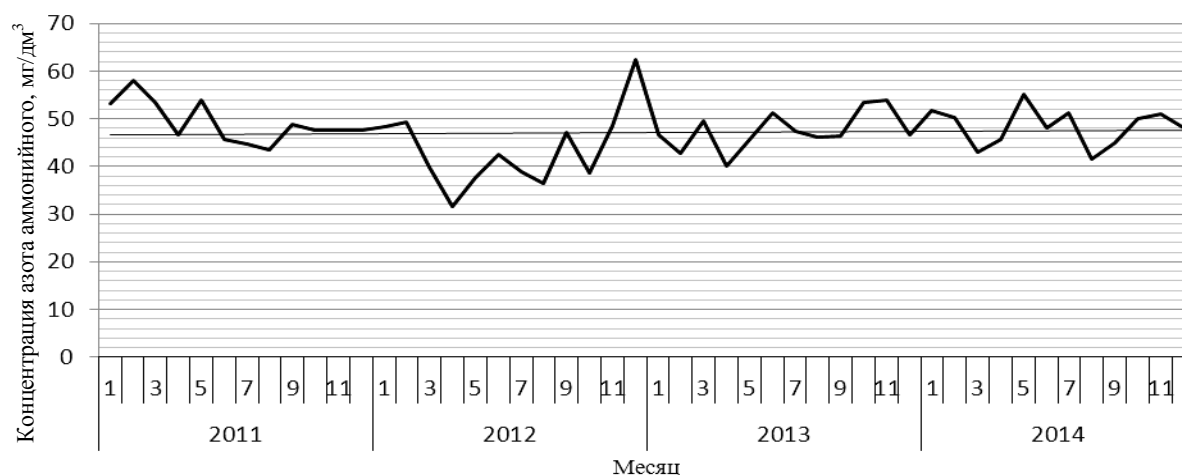


Рис. 2. Концентрации азота аммонийного в исходной сточной воде за 2011–2014 годы

Баланс азотосодержащих веществ в сточных водах, поступающих на станцию аэрации (табл. 3), показывает, что традиционная биологическая очистка сточных вод не обеспечивает достаточной глубины очистки биогенных элементов, так как сооружения, запроектированные и построенные в 80-е годы, когда загрязнения воды биогенными элементами ещё не было таким интенсивным. Например, в проекте на строительство аэротенков-вытеснителей (1976 г.) указывается следующее содержание биогенных веществ в сточной воде, поступающей на общегородские очистные сооружения: азот аммонийный – 24,5 мг/л; фосфатов – 4,9 мг/л.

Таблица 3

Концентрация различных форм азота в городских сточных водах за 2013–2014 годы

Определяемые компоненты	Един. изм.	Периоды отбора проб								Среднее за год	
		зимний		весенний		летний		осенний		2013	2014
		2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014		
Азот по Кьельдалю	мг/дм <sup>3</sup>	62,1	69,7	63,9	62,46	62,2	59,1	68,9	44,1	64,3	58,8
Азот аммонийный	мг/дм <sup>3</sup>	45,3	50,9	45,1	47,9	48,2	47,0	51,2	44,0	47,45	47,4
Азот нитратный	мг/дм <sup>3</sup>	0,19	0,13	0,18	0,13	0,14	0,14	0,16	0,2	0,17	0,15
Азот нитритный	мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,02	0,04	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02

Первая линия блока биологической очистки состоит из аэротенков-вытеснителей и вторичных отстойников. Аэротенки-вытеснители (рис. 3) работают с 50 % регенерацией активного ила, осветлённая вода поступает в начало второго коридора. Для аэрации иловой смеси в двух коридорах аэротенка используется пневматическая система аэрации с пристенной формой монтажа трубчатых аэраторов.

Биоблоки представляют собой вторую линию блока биологической очистки и состоят из сооружения, в котором совмещены аэротенк и вторичный отстойник. Каждый биоблок (рис. 4) выполнен в виде

железобетонного резервуара, разделённого вертикальными перегородками на две основные технологические зоны различной степени аэробности (обеспеченности кислородом воздуха) и зоны вторичного отстаивания. Эти зоны располагаются от центра к периферии в следующей последовательности: аноксидная (оборудована мешалкой), интенсивная аэрация и вторичное отстаивание.

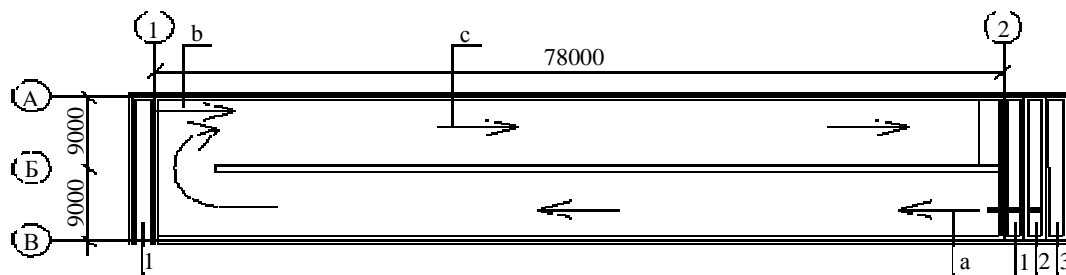


Рис. 3. Схема работы двухкоридорного аэротенка-выгеснителя:  
1 – канал осветлённой воды; 2 – канал иловой смеси; 3 – канал возвратного ила;  
a – возвратный ил; b – осветлённая вода; c – иловая смесь

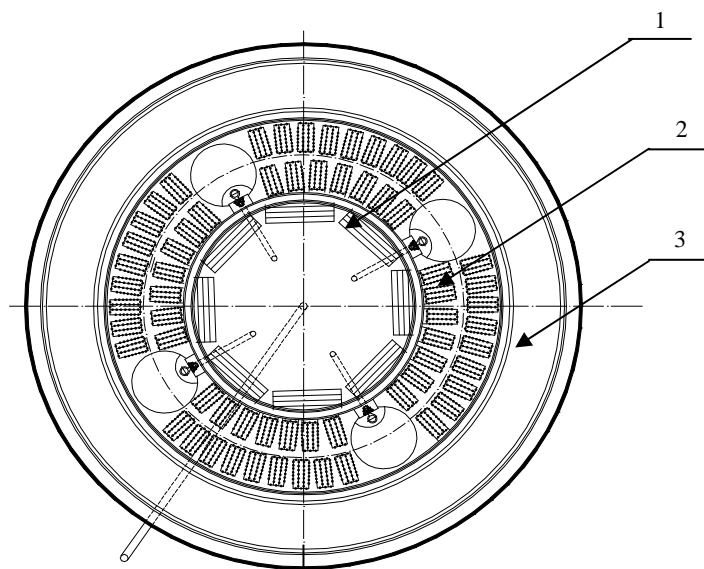


Рис. 4. Конструкция биоблока:  
1 – зона аноксидная; 2 – зона аэрации; 3 – зона вторичного отстаивания

Биологический способ нитри-денитрификации может быть реализован по различным схемам. На станции аэрации города Витебска в биоблоках реализована модифицированная схема нитри-денитрификации, при этом циркуляция активного ила производится по одному внутреннему контуру (рис. 5).

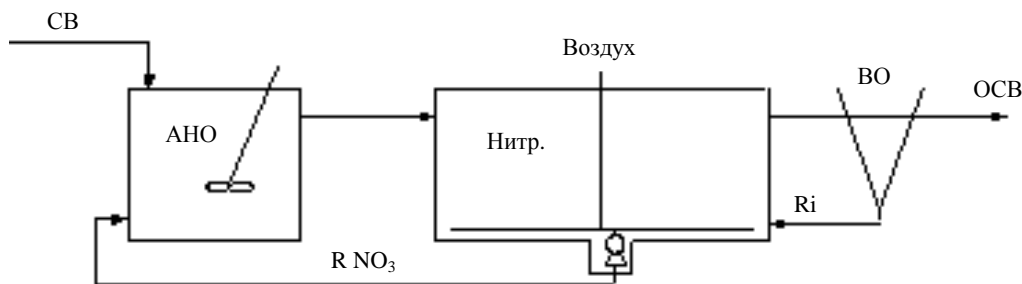


Рис. 5. Технологическая схема работы биоблока  
АНО – аноксидная зона биосорбции (денитрификатор); Нитр. – зона биостабилизации (нитрификатор);  
ВО – вторичный отстойник; Ri – рециркуляция активного ила; R NO<sub>3</sub> – внутренний циркуляционный поток;  
СВ – поступающие сточные воды; ОСВ – очищенные сточные воды

Аноксидная зона оборудована погружной мешалкой фирмы «FLYGT» 4410-011 для поддержания ила во взвешенном состоянии и активного перемешивания иловой смеси с поступающей водой.

В зоне аэрации расположены три или четыре приемка  $d = 6$  м и глубиной 5 м. В каждом приемке установлены циркуляционные погружные насосы фирмы «ABS» производительностью 490 м<sup>3</sup>/ч, обеспечивающие возврат иловой смеси в аноксидную зону, где происходит процесс денитрификации. Поочередное отключение насосов обеспечивает частичное уплотнение ила в приемках и требуемую степень рециркуляции. Также эта зона дополнительно оборудована системой мелкопузырчатой аэрации в виде дырчатых труб, которая необходима для дополнительного обогащения кислородом воздуха иловой смеси. В каждом биоблоке установлено 64 секции, по 30 дисковых аэраторов на каждой секции.

Из зоны аэрации иловая смесь, пройдя камеру дегазации, поступает в зону отстаивания, где происходит разделение иловой смеси. Наиболее плотные хлопья ила осаждаются в нижней части отстойника, попадая в циркуляционный поток иловой смеси через перепускные окна в нижней части перегородки, возвращаются в зону аэрации.

Другая часть увлекается восходящим потоком очищенных сточных вод и образует в зоне отстаивания свой слой взвешенного ила, который задерживает мелкие частицы загрязнений и ила, тем самым предотвращая вынос взвешенных веществ и повышая эффект очистки сточных вод.

Таким образом, активный ил циркулирует из одной зоны в другую, и по всей глубине отстойной зоны отмечается концентрация растворённого кислорода не менее 1 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

Усреднённые технологические характеристики биоблоков приведены в таблице 4.

Таблица 4

Технологические характеристики работы биоблоков

Определяемые компоненты, мг/дм <sup>3</sup>	Место отбора проб		
	аноксидная зона	зона нитрификации	вторичный отстойник
Азот аммонийный	6,99	0,45	0,5
Азот нитратный	0,11	9,05	9,71
Содержание кислорода	0,9	3,5	6,2
Концентрация ила	3,0	3,0	–

Сравнительная характеристика снижения концентраций загрязнений на различных линиях биологической очистки представлена в таблице 5.

Таблица 5

Снижение концентраций загрязнений по БПК, ХПК азота аммонийного на станции аэрации города Витебска

Определяемые компоненты	Единица измерения	Приёмная камера (вход на ОС)	Первичные отстойники	Эффект удаления загрязнений, (Э) %	Выпуски очистных сооружений				Допустимые концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах	
					№ 1		№ 2		ТКП 17.06-08-2012	Рекомендация ХЕЛКОМ 28/5
					аэротенк-вторичный отстойник	Э, %	биоблок	Э, %		
Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	391,4	188,6	51	22,0	87	25,4	86	20,0	н/н
ХПК	мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	826,0	532,1	33	54,1	90	39,2	93	70	н/н
БПК <sub>5</sub>	мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	332,6	268,9	18	22,2	92	8,2	97	15	15 или 80 %
Фосфор общий	мг/дм <sup>3</sup>	6,01	6,32	0 (-5)	2,7	56	2,2	65	2,0	0,5 или 90 %
Азот аммонийный	мг/дм <sup>3</sup>	48,6	46,45	7	8,4	82	0,59	99	Азот общий 15	Азот общий 10 или 70...80 %

Таким образом, результаты проведенного исследования позволили сделать соответствующие выводы, на основании которых можно констатировать о следующем:

1) сравнение эффективности очистки двух линий биологической очистки показало, что и аэротенки, и биоблоки с различными зонами аэрации практически с одинаковой эффективностью удаляют загрязнения по ХПК (90...93 %) и БПК<sub>5</sub> (92...97%);

2) по азоту аммонийному и фосфору более высокие результаты эффективности очистки наблюдаются в работе комплексных сооружений – биоблоках. По азоту аммонийному – 99 % (после аэротенков этот показатель составляет 82 %), по фосфору общему – от 65 до 96 % в зависимости от режима работы сооружения (после аэротенков – от 33 до 85 %);

3) анализ работы сооружений по удалению соединений азота из сточных вод станции аэрации УП «Витебскводоканал» свидетельствует о том, что схема аэротенка-вытеснителя на данный момент требует реконструкции и модернизации с применением технологической схемы, основанной на процессах нитри-денитрификации, так как показатели по азоту в очищенных сточных водах не соответствуют современным нормативам, указанным в ТКП 17.06-08-2012, и рекомендациям ХЕЛКОМ 28/5.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев, С.В. Биохимические процессы в очистке сточных вод / С.В. Яковлев, Т.А. Карюхина. – М.: Стройиздат, 1980.
2. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. – М.: Акварос, 2003.
3. Порядок установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод: ТКП 17.06-08-2012(02120). – М.: РУП ЦНИИКИВР, 2012.
4. Зейфман, Е.А. Интенсификация очистки сточных вод от биогенных элементов / Е.А. Зейфман, Е.А. Лебедева, Г.А. Тихановская. – Вологда: ВоГТУ, 2003.
5. Долина, Л.Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов: моногр. / Л.Ф. Долина. – Днепропетровск: Континент, 2011.
6. Смир, Э. Пособие специалиста по очистке стоков / Э. Смир, М. Фишер. – 14-е изд. – Варшава: Зейдель Пживецки, 2002.
7. Технический справочник по обработке воды: в 2 т.; пер. с фр. – СПб.: Новый журнал, 2007.
8. Техническое и технологическое обследование работы аэротенков станции аэрации города Витебска: отчет о НИР / Полоц. гос. ун-т: Новополоцк: ПГУ, 2012.
9. Очистка сточных вод, биологические и химические процессы / М. Хенце [и др.]; пер. с англ. – М.: Мир, 2009.
10. Кричевская, Ф.И. Простейшие активного ила / Ф.И. Кричевская. – Л.: Наука, 1983.

Поступила 10.06.2015

#### ANALYSIS OF WORK OF BIOLOGICAL TREATMENT TO REMOVAL THE CONNECTION NITROGEN FROM WASTEWATER

V. YUSHCHANKA, A. HALUZA, T. KUPRYIANCHYK

*The article presents the analysis of the treatment facilities to remove nitrogen compounds from wastewater. The object of research is the treatment facilities of the unitary enterprise "Vitebsk water supply". Technological scheme of biological wastewater treatment are considered. The results of the efficiency of the aeration tanks and bio-blocks are compared.*