

УДК 628.35

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ БІОЛОГІЧНОЇ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Блінова Н. К., Кравченко О.В.

MODERN PROBLEMS OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT AND WAYS TO SOLVE THEM

Blinova N. K., Kravchenko A.V.

Проаналізовано сучасні проблеми біологічної очистки промислових та побутових стічних вод в Україні. Запропоновано технологічний захід рециркуляції стоків, що очищуються, який дозволяє підвищити ефективність вилучення біогенних елементів, насамперед азотних компонентів, методом мікробіологічної нітриденітрифікації.

Ключові слова: стічні води, аеротенки, активний мул, біологічна очистка, біогенні елементи, нітриденітрифікація.

Причинами зниження кількості стоків з'явилися різке падіння виробництва і зниження питомого водоспоживання в побуті. Концентрація забруднюючих речовин (особливо біогенних елементів) в комунальних стічних водах значно збільшилася, з'явилася категорія нових важкоокислюваних біологічно «жорстких» компонентів.

Таблиця 1

**Характеристика стічних вод,
що потрапляють на очисні споруди**

Показник, одиниці вимірювання	Значення
ХСК, мгО ₂ /дм ³	235,4
БСК ₅ , мгО ₂ /дм ³	153
Співвідношення БСК ₅ /N _{заг}	3
Азот загальний, мг/дм ³	51,4
N-NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	45,9
N-NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	1
N-NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	5,5
Фосфати (PO ₄ ³⁻), мгP/дм ³	15
Співвідношення БСК ₅ /P	10,2
Зависла речовина, мг/дм ³	160

1. Вступ. Запобігання забрудненню поверхневих вод багатоманітне в чому залежить від надійної і якісної очистки стічних вод. Класичним, і в той же час перспективним для вилучення забруднень з побутових і промислових стічних вод залишається метод біологічної очистки [1,2,3]. Біологічна очистка стічних вод заснована на фізіологічній здатності мікроорганізмів використовувати в якості поживного і енергетичного субстрату широкий спектр органічних речовин і неокислені мінеральні сполуки - вуглеводні, ароматичні речовини, органічні кислоти, спирти, жири, вуглеводи, аміак, нітриту та ін. В процесі біологічної очистки формується складний зі змістом біоценоз активного мулу, що складається в основному з скупчень бактерій, найпростіших, грибів, водоростей та ін. Головним дійовим початком є мікроорганізми. Мікробні клітини здійснюють деструкцію органічних молекул і отримують необхідну для життєдіяльності енергію. Якісний і кількісний склад мікроорганізмів залежить від характеру стічних вод [1,2].

В даний час в Україні істотно змінилася кількість стічних вод, що відводяться в системи каналізування. У період 70-80-х років водоспоживання, а відповідно, і водовідведення населених пунктів, неухильно зростало, а в 90-х роках - почало стрімко скорочуватися [4].

Запроектовані в 70-і роки минулого століття очисні споруди і традиційні технології не справляються з повною глибокою очисткою, що відповідає нормам якості очищення стічних вод, і перш за все, по біогенних елементах, азоту і фосфору. При проектуванні очисних споруд відповідно до СНиП 2.04.03 - 85 протягом багатьох десятиліть враховувалися тільки два показника: БСК_{повн} і завислі речовини [5]. При цьому, очищення стічних вод від біогенних елементів не передбачалася. У чинному в даний час в Україні нормативному документі ДБН В.2.5-75 : 2013 для біологічної очистки стічних вод з вилученням азоту і фосфору пропонується використання ряду схем з перерахунком робочого об'єму аеротенків [6].

2. Мета дослідження. Метою цього дослідження було проведення аналізу роботи стадії біологічної очистки стічних вод в цеху Нейтралізації і очищення промислових стоків (НОПС) ПрАТ «Севєродонецьке об'єднання Азот» і розробка технологічних заходів, що підвищують ефективність вилучення азотних компонентів.

3. Матеріал і методи. Використано дані аналітичного контролю стадії біологічної очистки технологічного процесу очищення стічних вод в цеху НОПС ПрАТ «Севєродонецьке об'єднання Азот» уніфікованими методами [7]. Нами проаналізовані дані лабораторного контролю в забруднених та очищених стічних водах за показником ХСК_{біохр}, БСК₅, азот амонійний N-NH₄⁺, азот нітритний N-NO₂⁻ і азот нітратний N-NO₃⁻ за період з грудня 2015р. по жовтень 2016р. Було проведено гідробіологічний аналіз активного мулу з аеротенку. Для мікроскопіювання мулу використовували біокулярний мікроскоп МБІ-3. Для виготовлення препаратів проби відстоювали 2-3 хвилини для освітлення концентрованого осаду. Крапля мулу відбиралася піпеткою з широким отвором, містилася на предметне скло, накривалася покривним. Переглядали по дві краплі з кожної проби - з поверхні мулу і з дна. Мікроскопіювання індикаторних організмів здійснювали в основному при малому збільшенні (10 x 10) мікроскопа, іноді використовували велике збільшення (10 x 40).

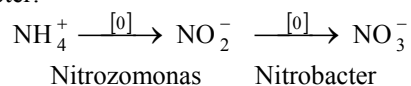
4. Результати та їх обговорення.

В даний час в цех НОПС надходять господарсько-побутові стічні води м.Севєродонецьк і підприємства ПрАТ «Азот», а також незначна кількість промислових стічних вод в кількості близько 15000 м³ / добу. За характером і концентрації забруднюючих речовин, що містяться в стічних водах їх можна повністю віднести до комунальних або господарсько-побутових (табл.1,2).

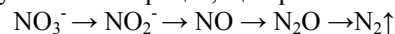
Як видно з таблиці, основними забруднюючими компонентами стічних вод є органічні речовини (їх вміст відображають показники ХСК, БСК_{повн}). Не зважаючи на те, що в потік стічних вод входять частково промислові стоки, за класифікацією типових комунальних та міських стічних вод, виходячи зі складу, досліджувані води за показниками ХСК, БСК₅ можна віднести до 4 типу - дуже розбавлених, а за вмістом азоту амонійного, фосфатів до середньо- і, навіть, висококонцентрованих [8,9]. Це характерно і для інших очисних споруд України. Так, середня концентрація азоту амонійного в міських стічних водах Лівобережної станції аерації р. Дніпро за квітень 2010р. склала 26 мг / дм³, що відповідає середньому концентрованим господарсько-побутовим стічним водам [10].

Традиційно очищення стічних вод від азотвмісних речовин проводиться методом мікробіологічної нітри-денітрифікації, біохімічна сутність якого давно і досить детально відомі [1,2,8]. Біологічну нітрифікацію здійснюють бактерії-

автотофи, яким вуглець необхідний в неорганічній формі (вуглекислота, карбонати, бікарбонати). Нітрифікатори для окислення субстрату використовують аеробний тип дихання, при якому кисень виступає в якості зовнішнього акцептора електронів. Першу фазу нітрифікації - окислення NH₄⁺ до NO₂⁻ здійснюють бактерії, що відносяться до роду Nitrosomonas, другу фазу - окислення NO₂⁻ до NO₃⁻ бактерії, що відносяться до роду Nitrobacter:



Процес мікробіологічної денітрифікації (дисіміляційної нітратредукції), який використовується в очищенні стічних вод полягає у відновленні сапрофітними мікроорганізмами азоту нітратів до молекулярного азоту за участю ферментів нітратредуктаз [1,2]. Це складний багатоступінчастий процес, що протікає за схемою:



Денітрифікуючі бактерії активного мулу представлені родами Pseudomonas sp., Acrobacterium sp., Micrococcus sp. та ін. Бактерії-денітрифікатори є гетеротрофами, тобто джерелом вуглецю для них служать готові органічні речовини. За типом біологічного окислення вони представляють собою групу факультативних анаеробів. Тобто вони можуть існувати як в аеробних, так і в анаеробних умовах. При відсутності у воді розчиненого кисню вони можуть використовувати для дихання кисень, що міститься в нітритах і нітратах. Для процесів біологічної очистки стічних вод в останні роки стали спеціально використовувати термін «аноксидні умови», під якими розуміється режим дихання мікроорганізмів не за рахунок розчиненого кисню, а за рахунок нітритів і нітратів [10,11]. У ДБН В.2.5-75: 2013 дається таке визначення: «аноксидна зона - це частина очисних споруд технологічного процесу денітрифікації, в якій неочищені стічні води, контактують з біологічно очищеними стічними водами, що містять нітрити та нітрати, або в якій забезпечується підтримання незначній концентрації кисню».

На ефективність процесів нітри-денітрифікації впливає величезна кількість чинників. До числа таких факторів можна віднести кількість субстрату, концентрацію кисню, температуру, рН, вік мулу, наявність токсичних речовин. Одним з найбільш важливих регульованих факторів, що визначають напрямок трансформації азотних компонентів, є концентрація розчиненого кисню. Створення аеробних і анаеробних, аноксидних умов, чергування зон нітри- і денітрифікації дозволяє управляти технологічним процесом і досягти глибокого вилучення забруднюючих речовин.

В даний час використовують різні технологічні підходи і схеми для реалізації процесів нітри-денітрифікації, які зводяться до наступного:

-чергування процесів нітри- і денітрифікації (організація аеробних, анаеробних і аноксидних зон);

-рециркуляція мулової рідини (організація внутрішніх та зовнішніх рециклів між зонами).

Дослідження технологічної схеми біологічного очищення комунальних стічних вод з використанням процесів нітри-денітрифікації виконані в виробничих умовах на очисних спорудах ПрАТ «Северодонецьке об'єднання Азот» м. Северодонецька.

Для біологічної очистки комунальних стічних вод використовується одна із секцій типових 4-х коридорних аеротенків з пневматичної аерацією і 25% регенерацією мулу (Рис.1). Аеротенк є прямокутним залізобетонним резервуаром з розмірами коридорів 6 x 108 x 4,5 (м, h), загальним обсягом 11000м³. При 25% регенерації зворотній мул надходить в коридор I, який є регенератором. Стічна вода подається в початок другого коридору і, далі, переміщується послідовно з другого в третій, а з третього до четвертого коридору. Біологічна очистка здійснюється активним мулом в завислому стані, який включає змішані біоценози. Концентрація мулу в аеротенку по сухій вазі – 3 г/дм³.

Освітлення мулової рідини здійснюється у вторинних радіальних відстійниках діаметром 20м, глибиною 3,8м загальним обсягом 1192м³. Біологічно очищені і освітлені стічні води направляються на стадію глибокої доочистки та знезараження.

Управління процесом зміни складу змішаних культур біоценозів згідно до чергування зон тривалих безперервних процесів є одним з перспективних заходів максимального використання фізіологічної можливості мікроорганізмів та підвищення якості очистки. Виходячи зі складу побутових стічних вод, що надходять в аеротенки, основними біохімічними процесами очистки є аеробне гетеротрофне окислення (конверсія) органічних речовин, нітрифікація азоту амонійного з подальшою денітрифікацією нітратів. Згідно цьому відбувалось управління процесом біологічної очистки, виділення функціональних зон та визначення параметрів технологічного режиму. Коридори в аеротенках представляють наступні функціональні зони: коридор I - регенератор, коридор II - зона аеробного окислення органіки і амонійного азоту, коридор III –аноксидна зона денітрифікації і коридор IV - аеробна зона доочистки залишкових забруднень.

Перший коридор аеротенків виконує роль регенератора (Рис.1), в який потрапляє зворотній мул. Регенератор служить для збільшення фізіологічної активності бактерій, обумовленою аерацією.

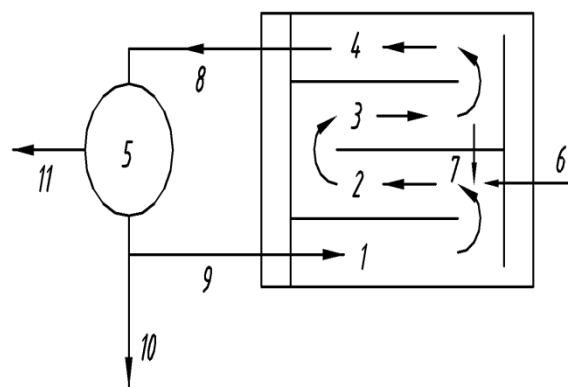


Рис.1 Схема біологічної очистки стічних вод з рециркуляцією нітратного стоку:

1,2,3,4 – коридори аеротенка; 5 – відстійник;
6 – забруднені стічні води, 7 – рециркуляція нітратного стоку; 8 – очищені стічні води;
- зворотній активний мул; 9 – надлишковий активний мул; 11 – очищені і освітлені стічні води

У другому коридорі спочатку відбувається так звана аеробна конверсія (окислення) здебільшою кількості органічних речовин і, тільки після цього, починається процес нітрифікації. Як було зазначено вище, нітрифікуючі бактерії автотрофні, тобто в якості джерела вуглецю вони використовують вуглецю діоксид, а органічні речовини стічних вод, що вміщують вуглець пригнічують їх ріст і розвиток. Поява в аеротенках нітритів і нітратів свідчить про те, що основна частина органіки піддалася деструкції. Наявність біогенних елементів азоту та фосфору, необхідних для життєдіяльності мікроорганізмів, не тільки є достатнім, а й перевищує необхідне вагове співвідношення 100БСК_{повн} : 5N : 1P [5,6]. Перший та другий коридори є зонами аеробіозу, в яких підтримується концентрація розчинного кисню 2 – 2,5 мг/ дм³ (табл.3).

В третьому коридорі відбувається денітрифікація нітратів. Мікроорганізми денітрифікатори є гетеротрофами по типу вуглецевого живлення, та факультативними анаеробами по типу біологічного окислення. Вони використовують для окислення органічних сполук в якості кінцевого акцептора електронів нітрати. При цьому кількість органічного субстрату для денітрифікації визначається згідно до співвідношення 4- 6БСК_{повн} : N-NO₃⁻. Відповідно до характеристики стічних вод, що потрапляють на очистку, наявність речовин за показником БСК достатня для денітрифікації і складає - 4,3БСК_{повн} : N_{заг} (з урахуванням використаного біогенного азоту та за умови повної денітрифікації, табл.3). Але, як ми визначили вище, значна частина (до 70%) органічних речовин окислюється в першому коридорі, що виключає їх використання для денітрифікації окислених форм азоту. В такому випадку в очищених стічних водах відбувалося

перевищення нормованої величини з нітратів за ГДК для водойм рибогосподарського призначення ($9,1 \text{ мг/дм}^3$). Це значення могло досягати 25 мг/дм^3 , а ефективність вилучення азотних забруднень по азоту загальному ($N_{\text{заг}}$) складала лише 47% (табл. 2). Для можливості використання забруднень, що потрапляють зі стічними водами за показником БСК в якості органічного субстрату для денітрифікації організовано рециркуляцію стоку з нітратами з кінця третього в початок другого коридору аеротенку (рис.1). Так, в другому коридорі відбувається змішаний процес нітри-денітрифікації. Це призвело до того, що вилучення загального азоту зросло з 47% до 76,8% і суттєво знизився вміст азоту нітратів на виході – з 24,4 до $9,1 \text{ мг/дм}^3$.

В четвертому коридорі відбувається доочищення залишкової кількості забруднень в аеробних умовах. Технологічні параметри процесу біологічного очищення комунальних стічних вод з використанням нітри-денітрифікації вказані в таблиці 3.

Нами було також проведено дослідження стану активного мулу з аеротенків за допомогою мікроскопіювання методом «живої» краплі. В результаті візуальних досліджень визначено, що активний мул має чітко сформовані щільні флокули світло-коричневого кольору із середнім розміром 1-2 мм. Запах слабо виражений, характерний для очищення комунальних стоків. Швидкість осідання пластівців мулу досить велика, надосадова рідина

прозора. За стандартною методикою ми визначили концентрацію мулу по сухої вазі, динаміку осадження та муловий індекс. Величина мулового індексу дорівнювала близько 110 мл/г, що характерно для щільного, добре осаджуваного мулу. При мікроскопіюванні в складі активного мулу виявлено багате видове різноманіття індикаторних найпростіших (Рис.2). За п'ятибальною шкалою частота зустрічальності організмів складає 4 бали. Переважаючими групами організмів були рухомі форми війкових інфузорій Colpoda, прикріплені види родів Epistylis, Opercularia, Vorticella, раковини амеби роду Arcella, а так само коловертки роду Rotifer (Rotatoria). Велика частина перерахованих найпростіших (амеб та інфузорій) є індикаторами хорошого стану мулу, середнього і низького навантаження по органічним речовинам, ефективної нітрифікації. Коловертки – це постійний компонент екосистеми, який частіше зустрічається у зрілому мулі з повною очисткою. Фізіологічний стан організмів хороший - форма тіла чітка, розміри середні. Рухливі види війкових інфузорій активно рухалися в полі зору, у прикріплених видів частіше спостерігали відкритий війковий диск.

Біоіндикація складу мікроорганізмів активного мулу дозволила зробити висновок про задовільний стан біоценозів та успішний хід процесу очищення стічних вод.

Таблиця 2

Характеристика забруднених та очищених стічних вод за основними забруднюючими компонентами

Вхід, мг/дм ³			Вихід, мг/дм ³			Ступінь очистки, %		
ХСК	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	ХСК	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	ХСК	N-NH ₄ ⁺	N _{заг}
235,4	45,9	5,5	До впровадження заходу					
			28,7	2,9	24,4	87,8	93,4	47
			Після впровадження заходу					
			24,5	2,8	9,1	90,1	94,4	76,8

Таблиця 3

Технологічні параметри процесу біологічної очистки стічних вод

№п/п	Параметр	Значення
1	Температура, °С	15-30
2	pH	6,5-8,5
3	Період аерації, год	17
4	Концентрація активного мулу за сухою вагою, г/дм ³	3
5	Рециркуляція активного мулу, % від стоку	30-50
6	Муловий індекс, мл/г	110
7	Концентрація розчинного кисню, мг/дм ³	В аеробних зонах – 2-2,5 В анаеробній зоні – 1-1,5
8	Навантаження на мул за ХСК, мг/г год	5,9
9	Окислювальна потужність за ХСК, г/м ³ доб	288
10	Співвідношення для денітрифікації БСК _{повн} : N-NO ₃ ⁻	4,3БСК _{повн} : N
11	Питома витрата повітря q _{air} , м ³ /м ³	16
12	Рециркуляція нітратного стоку, % від стоку	50

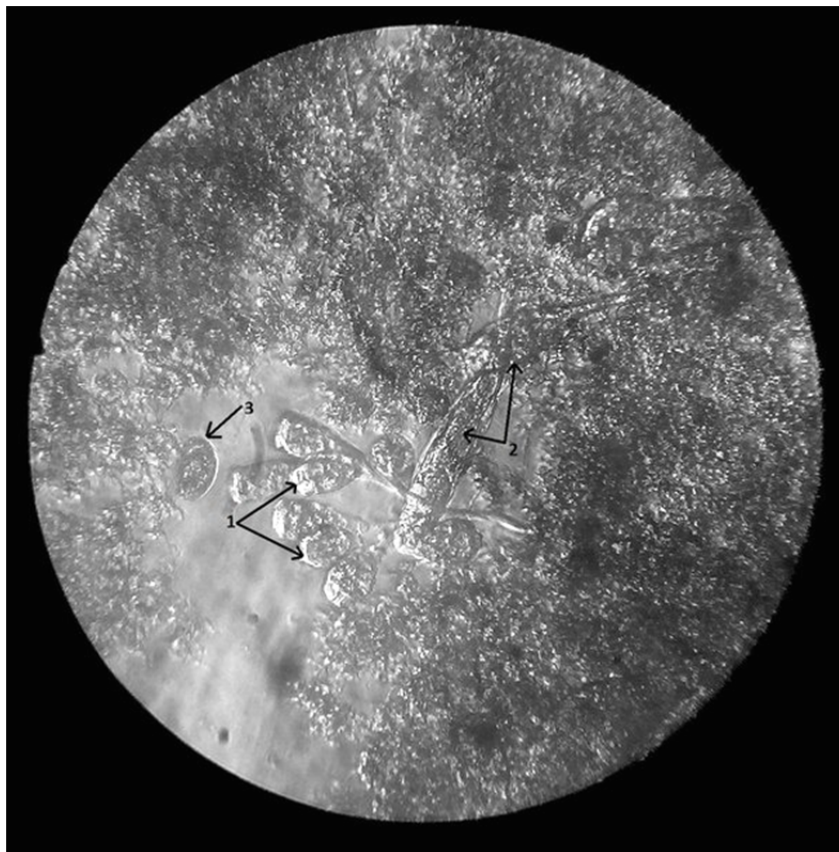


Рис. 2. Препарат активного мулу. Збільшення 10x10:

1 – прикріплені інфузорії роду *Epistylis*; 2 – коловертки роду *Rotifer*; 3 – війкові інфузорії роду *Colpoda*

Слід зазначити, що застосований захід рециркуляції нітратного стоку між коридорами аеротенку практично не впливав на процеси, пов'язані з вилученням сполук фосфору. Тому, необхідні подальші дослідження для вдосконалення процесів біологічної очистки по вилученню фосфатів. В даний час в Україні вже накопичено достатній досвід розрахунку і проектування споруд біологічного видалення азоту, і в меншій мірі фосфору.

5. Висновки.

Таким чином, в ході проведення досліджень ми прийшли до наступних висновків:

1. При зниженні загальної потужності виробництва досліджувані стічні води за показниками ХСК, БСК можна віднести до категорії дуже розбавлених комунальних стоків, а за вмістом азоту амонійного, фосфатів до середньо- і, навіть, висококонцентрованих.

2. Для вдосконалення процесу нітриденітрифікації і підвищення ефективності вилучення нітратів організовано внутрішню рециркуляцію нітратного стоку з кінця 3 коридору в початок другого, що призвело до збільшення ефекту очищення по $N_{\text{заг}}$ з 47% до 76,8%.

3. Рециркуляція стічних вод, що очищуються дозволила використовувати в якості органічного субстрату для мікроорганізмів речовини, які

містяться в забруднених стічних водах, а не водно-метанольну суміш, як відбувалося раніше.

4. Біоіндикація складу мікроорганізмів активного мулу дозволила зробити висновок про задовільний стан біоценозів та успішний хід процесу очищення стічних вод.

Література

1. Орловский З.А. Очистка сточных вод за рубежом. – М. Стройиздат, 1974. -192с.
2. Яковлев С.В., Карюхина Т.А. Биохимические процессы в очистке сточных вод. – М.: Стройиздат, 1990. -107с.
3. Роговская Ц.И. Биохимический метод очистки производственных сточных вод. – М: Стройиздат, 1967. – 140с.
4. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям / Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов. - М: Бюро НТД. – 2016. – 377С.
5. Строительные нормы и правила СНиП 2.04.03 – 85 «Канализация. Наружные сети и сооружения.» - М.: Стройиздат, 1985. –89с.
6. ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування». – Київ, 2012. – 206с.
7. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. – М.: Химия, 1984.- 448с.

8. Ротмистров М.Н., Гвоздяк П.И., Ставская С.С. Микробиология очистки воды. – К: «Наукова думка», 1978. – 268с.
9. Хенце М. и др. Очистка сточных вод.- М: Мир, 2006. – 480с.
10. Гогина Е.С. Удаление биогенных элементов из сточных вод. – М : МГСУ, 2010. – 120с.
11. Долина Л.Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов. – Днепропетровск: Континент, 2011. – 198с.

References

1. Orlovskiy Z.A. Ochistka stochnyih vod za rubezhom. – M. Stroyizdat, 1974. -192s.
2. Yakovlev S.V., Karyuhina T.A. Biohimicheskie protsessy v ochistke stochnyih vod. – M.: Stroyizdat, 1990. -107s.
3. Rogovskaya Ts.I. Biohimicheskiy metod ochistki proizvodstvennyih stochnyih vod. – M: Stroyizdat, 1967. – 140s.
4. Informatsionno-tehnicheskiy spravochnik po nailuchshim dostupnyim tehnologiyam / Ochistka stochnyih vod s ispolzovaniem tsentralizovannyih sistem vodootvedeniya poseleniy, gorodskih okrugov. - M: Byuro NTD. – 2016. – 377S.
5. Stroitelnyie normyi i pravila SNiP 2.04.03 – 85 «Kanalizatsiya. Naruzhnyie seti i sooruzheniya.» - M.: Stroyizdat, 1985. -89s.
6. DBN V.2.5-75:2013 «Kanalizatsiya. Zovnishni merezhi ta sporudi. Osnovni polozhennya proektuvannya». – Kiyiv, 2012. - 206 s.
7. Lure Yu.Yu. Analiticheskaya himiya promyshlennyih stochnyih vod. – M.: Himiya, 1984.- 448s.
8. Rotmistrov M.N., Gvozdyak P.I., Stavskaya S.S. Mikrobiologiya ochistki vodyi. – K: «Naukova dumka», 1978. – 268
9. Hentse M. i dr. Ochistka stochnyih vod.- M: Mir, 2006. – 480s.
10. Gogina E.S. Udalenie biogennyih elementov iz stochnyih vod. – M : MGSU, 2010. – 120s.
11. Dolina L.F. Ochistka stochnyih vod ot biogennyih elementov. – Dnepropetrovsk: Kontinent, 2011. – 198s.

Блинова Н. К., Кравченко А. В. Современные проблемы биологической очистки сточных вод и пути их решения

Проанализированы современные проблемы биологической очистки промышленных и бытовых сточных вод в Украине. Предложено технологическое мероприятие по рециркуляции очищаемых стоков, которое позволяет повысить эффективность извлечения биогенных элементов, прежде всего азотных компонентов, методом микробиологической нитриденитрификации.

Ключевые слова: сточные воды, аэротенки, активный ил, биологическая очистка, биогенные элементы, нитри- денитрификация.

Blinova N. K., Kravchenko A. V. Modern problems of biological wastewater treatment and ways to solve them

The modern problems of biological treatment of industrial and domestic wastewater in Ukraine are analyzed. A technological measure for the recirculation of purified effluents is proposed, which makes it possible to increase the efficiency of extraction of nutrients, especially nitrogen components, by the method of microbiological nitrification.

Key words: sewage, aerotanks, activated sludge, biological purification, biogenic elements, nitrification.

Блінова Наталія Костянтинівна – к.б.н., доцент кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля blinovan.k@ukr.net

Кравченко Олексій Вікторович – начальник цеху НОПС ПрАТ «Северодонецьке об'єднання Азот». chuev@azot.lg.ua

Рецензент: д.т.н., проф. **Суворін О.В.**

Стаття подана 10.05.2018