

УДК 551.46.0:551.465

ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНЦІЙ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД МІСТА ОДЕСА ЯК ДЖЕРЕЛ БІОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА В СУЧАСНИЙ ПЕРІОД

Ю. С. Тучковенко, О. Ю. Сапко, О. А. Тучковенко

Одеський державний екологічний університет,
бул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна,
tuch2001@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3275-9065>

Станції біологічного очищення (СБО) стічних вод міста Одеса («Північна» і «Південна») є найбільш потужними постійно функціонуючими джерелами біогенного забруднення прибережних вод Одеського району північно-західної частини Чорного моря (ПнЗЧМ) та Хаджибейського лиману. В роботі виконаний порівняльний аналіз змін, які відбулись з початку ХХІ століття у якісному складі зворотних вод СБО «Північна» і «Південна» та кількості надходження з ними до морського середовища біогенних речовин, а також можливого впливу цих змін на евтрофікацію прибережних вод Одеського району та Хаджибейського лиману. Встановлено, що незважаючи на значне (в 1,7-2 рази) зменшення в останнє десятиріччя обсягів скидів зворотних вод з СБО, надходження з ними до морського середовища нітратів і нітритів збільшилось в 4-6 разів. В той же час надходження органічної речовини, амонійного азоту і фосфатів зменшилось.

Очисні споруди міста Одеса були введені в експлуатацію в 70-х роках минулого століття. На них використовується типова для того часу технологія біологічної очистки стічних вод від сполук біогенних елементів в аеротенках в аеробних умовах, яка у відношенні до очищення від сполук азоту є незакінченою, оскільки кінцевим її продуктом є нітратний азот у великих концентраціях. Після надходження до морського середовища він споживається водоростями при первинному продукуванні органічної речовини, і, таким чином, знову перетворюється в органічний азот. Відзначено, що оскільки прибережні води Одеського району ПнЗЧМ і Хаджибейського лиману мають високий рівень трофності, а баланс між вмістом мінерального азоту і фосфору в їх водах, у порівнянні зі стандартним стехіометричним співвідношенням Редфілда, в теперішній час порушено у бік нестачі запасів мінерального азоту, то додаткове надходження нітритів і нітратів до морського середовища зі зворотними водами СБО може, за певних умов, сприяти цвітінню водоростей і призводити до загострення негативних наслідків евтрофікації.

Зроблений висновок про те, що для зменшення потоку надходження нітратів до морського середовища, на СБО «Північна» та «Південна» повинна бути впроваджена сучасна технологічна схема поглибленого біологічного очищення стічних вод від сполук азоту, яка забезпечує реалізацію не тільки процесу нітрифікації, але й денітрифікації.

Ключові слова: Чорне море, Одеський район, евтрофікація вод, біологічне очищення стічних вод, технології

1. ВСТУП

На морському узбережжі Одеського мегаполісу функціонують станції біологічного очищення (СБО) стічних вод міста Одеса (СБО «Північна» і «Південна»), а також міст-портів Чорноморськ і Південний, які є постійно діючими джерелами біогенного забруднення морського середовища. З них найбільш потужними джерелами є очисні споруди м. Одеси. Детальний опис цих джерел та оцінки їх впливу на якість морських вод станом на початок ХХІ ст. наведені в [1]. Згідно з ним, сукупний внесок СБО «Північна» і «Південна» у загальний річний обсяг надхо-

дження біогенних речовин до морського середовища від всіх типів берегових антропогенних джерел забруднення (включно зі зливовими, дренажними та промисловими стоками) складає близько 90 % за амонійним азотом та фосфатами, 40 % за нітритним азотом, 38 % за нітратним азотом. Виконані в [2, 3] оцінки якості вод Одеського району північно-західної частини Чорного моря (ПнЗЧМ), із використанням індексу забруднення води, свідчать, що в періоди, коли скид частково очищених стічних вод з СБО «Північна» здійснювався не в прибережну зону моря (на відстані ≈ 300 м від берега), а в Хаджибейський лиман (наприклад, в 2011–2013 рр.),

екологічний стан морської акваторії в районі розташування СБО «Північна» значно покращувався. Зокрема, якщо в 2009-2010 рр. морська вода в районі випуску СБО оцінювалася за якістю як «брудна» V класу, то в 2011 р. – вже «чиста» II класу [3]. В той же час, в період 2006-2011 рр., в районі скиду зворотних вод СБО «Південна» якість морської води за значеннями індексу забруднення в переважній більшості років відповідає категорії «забруднена» IV класу [3].

Наведені в [4] данні свідчать, що ефективність очистки стічної води на СБО «Північна» набагато поступається такій, що існує і використовується в розвинених країнах та на деяких СБО в Україні, які працюють за сучасними технологіями. Зроблений висновок, що впровадження більш ефективної технології обробки стічної води може знизити навантаження на морську акваторію Одеської затоки та Хаджибейський лиман в багато разів.

В останнє десятиріччя скид зворотних вод з СБО «Північна» здійснювався постійно або з нетривалими перервами до Хаджибейського лиману, що призвело до підвищення рівня води в ньому до небезпечних позначок, виникнення загрози техногенної катастрофи, пов'язаної з проривом дамби, яка відділяє лиман від прилеглої території м.Одеси, та затопленням значної частини території міста. Для запобігання цій загрози, знову актуальним стало питання поновлення скиду зворотних вод СБО «Північна» до моря.

Зважаючи на значний внесок обох СБО у формування якості морських вод в прибережній рекреаційній зоні Одеського узбережжя [1], актуальною задачею є визначення тих змін, які відбулися в останнє десятиріччя, у якісному складі зворотних вод, що надходять від СБО до морського середовища, та можливих екологічних наслідків цих змін.

Метою роботи є порівняльний аналіз змін з початку XXI століття, які відбулись у якісному складі та кількості надходження до морського середовища біогенних речовин зі зворотними водами станцій біологічного очищення стічних вод м. Одеса, а також можливого впливу цих змін на евтрофікацію прибережних вод Одеського району північно-західної частини Чорного моря.

Згідно з угодою про асоціацію з ЄС, Україна взяла на себе зобов'язання імплементувати, серед інших, Рамкову Директиву ЄС про Морську стратегію. Відповідно до цієї директиви, повинні бути визначені шляхи досягнення так званого «доброго екологічного статусу» морських аква-

торій через реалізацію низки природоохоронних заходів, які усувають або зменшують негативний антропогенний вплив на морські екосистеми. Обґрунтування одного з таких заходів, є результатом проведеного дослідження.

2. МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В роботі використовувалась інформація про об'єми скидів та якісний склад зворотних вод, що надходять в прибережну рекреаційну зону моря м. Одеси від СБО «Північна» та «Південна», яка міститься в [1, 5-7].

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На рис. 1 наведено річні об'єми зворотних вод, що потрапляють в морське середовище після очисних споруд СБО «Північна» і «Південна». Видно, що з початку XXI ст. має місце добре виражена тенденція до зменшення обсягів стічних вод м. Одеса, що надходять на очисні споруди СБО «Північна» і «Південна» і, відповідно, на виході з них. Якщо для станції СБО «Північна» в 2000 р. цей обсяг становив 96,59 млн. м³/рік, то в 2016 р. – 56,43 млн. м³/рік. Також і для СБО «Південна» у 2000 р. обсяг склав 55,61 млн. м³/рік, а в 2016 р. – 27,18 млн. м³/рік. Значне зменшення в останнє десятиріччя обсягів скидання зворотних вод з СБО обумовлено підвищенням тарифів на споживання води користувачами (в 6 разів порівняно з 2009 р.), суворим контролем витрат свіжої води питної якості господарчими та житлово-комунальними об'єктами інфраструктури міста (установка лічильників на вході), реалізацією заходів щодо раціонального використання водних ресурсів на підприємствах.

Зміни показників якості зворотних вод, які впливають на евтрофікацію, на виході з очисних споруд СБО «Південна» та «Північна» у XXI ст. представлені в табл. 1, 2. Звертає на себе увагу різке зростання у другому десятиріччі концентрацій нітритного та нітратного азоту в зворотних водах обох СБО. В 2016 р. вміст нітратного азоту, порівняно з даними 2009 р., збільшився в 8 разів в зворотних водах СБО «Північна» і в 6 разів – в зворотних водах СБО «Південна». За нітритним азотом збільшення відбулося в 3 і 6 разів, відповідно. В той же час, концентрації інших показників змінювались в значно менших межах. В зворотних водах СБО «Північна» значення БСК_{повне}, перманганатної окиснюваності, вмісту амонійного азоту у другому десятиріччі були досить стабільними порівняно з 2009 р., а концентрації фосфатів збільшились на $\approx 30\%$.

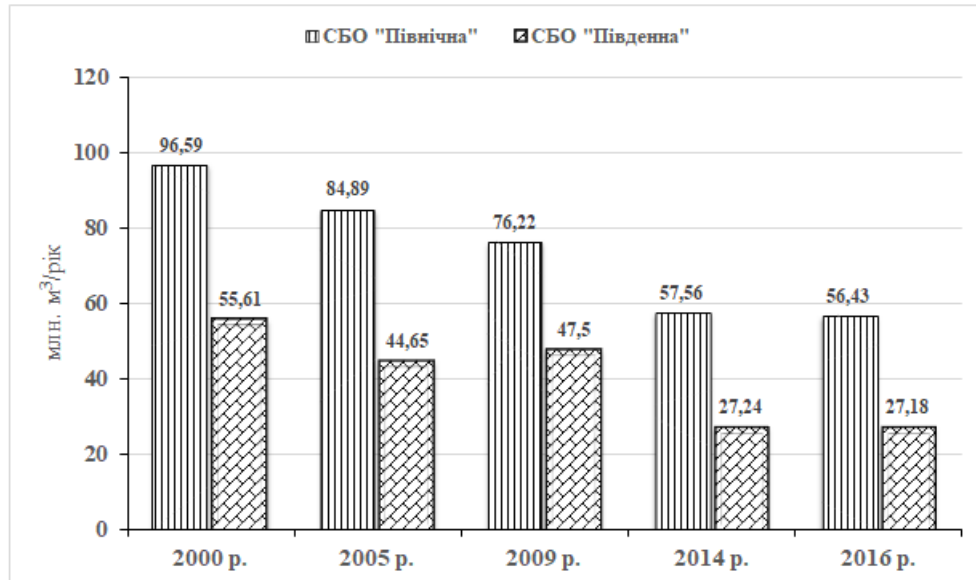


Рис. 1 – Річні об'єми зворотних вод, що потрапляли до морського середовища після очищення на очисних спорудах СБО «Північна» та СБО «Південна», млн. м³/рік

Таблиця 1 – Показники якості стічних вод на виході з очисних споруд СБО «Північна» в період 2000-2016 рр.

Найменування показника	Концентрація				
	2000 р.	2005 р.	2009 р.	2014 р.	2016 р.
БСК _{повне} , мг/дм ³	5,24	11,80	13,90	13,87	13,87
Перманганатна окиснюваність, мг/дм ³	5,34	8,50	9,20	8,70	10,20
Азот амонійний, мг/дм ³	1,50	5,87	6,50	6,60	6,71
Азот нітритний, мг/дм ³	0,12	0,37	0,84	2,78	2,65
Азот нітратний, мг/дм ³	6,08	3,71	3,80	28,69	31,50
Фосфати, мг/дм ³	3,80	4,63	3,00	3,98	4,00

Таблиця 2 – Показники якості стічних вод на виході з очисних споруд СБО «Південна» в період 2000-2016 рр.

Найменування показника	Концентрація				
	2000 р.	2005 р.	2009 р.	2014 р.	2016 р.
БСК _{повне} , мг/дм ³	10,75	14,56	12,24	12,01	14,3
Перманганатна окиснюваність, мг/дм ³	8,86	8,90	10,8	12,5	14,5
Азот амонійний, мг/дм ³	7,41	4,66	6,80	8,70	8,40
Азот нітритний, мг/дм ³	0,14	0,24	0,26	1,52	1,57
Азот нітратний, мг/дм ³	3,78	4,72	5,45	23,15	33,4
Фосфати, мг/дм ³	2,13	5,04	9,30	8,49	7,60

Для СБО «Південна» простежується тенденція збільшення значення перманганатної окиснюваності на 34 % та амонійного азоту на \approx 25 %, а концентрації фосфатів, навпаки, зменшилися на 22 %.

На рис. 2, 3 показані зміни річних потоків надходження до морського середовища біогенних речовин від СБО «Північна» і «Південна», які відбулись з початку ХХІ ст. Видно, що з урахуванням зменшення обсягів скиду зворотних вод, які відбулись у другому десятиріччі, змен-

шилось, порівняно з 2005 та 2009 рр., надходження до морського середовища фосфатів і амонійного азоту від СБО «Північна». Для СБО «Південна» також відзначається зменшення надходження зі зворотними водами амонійного азоту, порівняно з 2000 та 2009 рр., і фосфатів, порівняно з 2009 р.). Але для обох СБО притаманна чітко виражена тенденція збільшення в 4-6 разів річних потоків надходження до морського середовища азоту нітритів і нітратів.

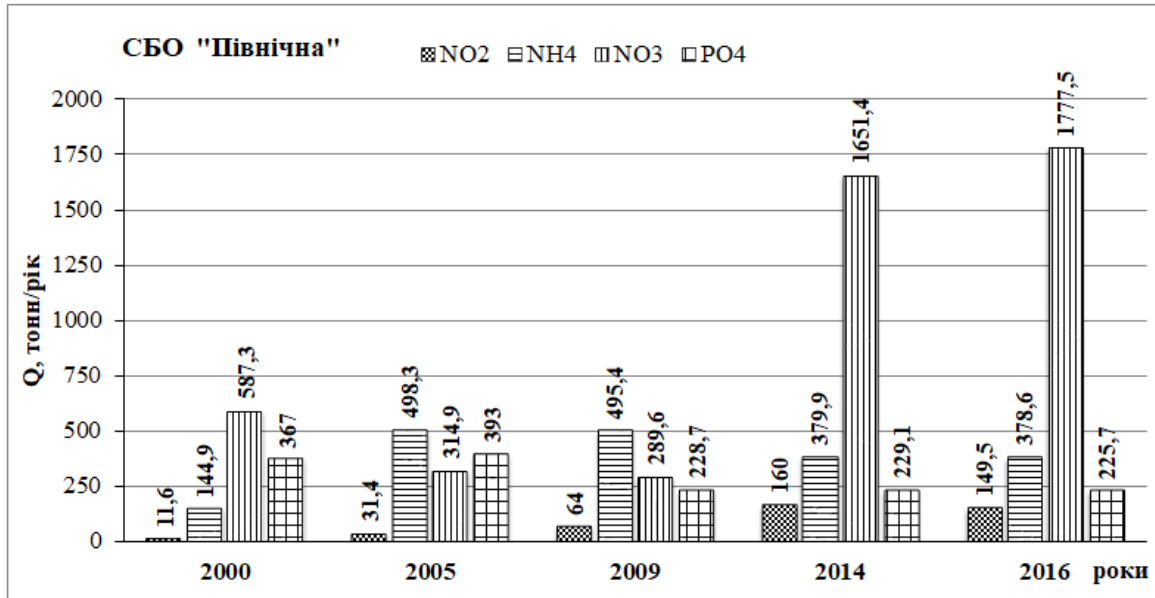


Рис. 2– Багаторічна мінливість надходження до морського середовища мінеральних сполук біогенних елементів (т/рік) з очисних споруд СБО «Північна»

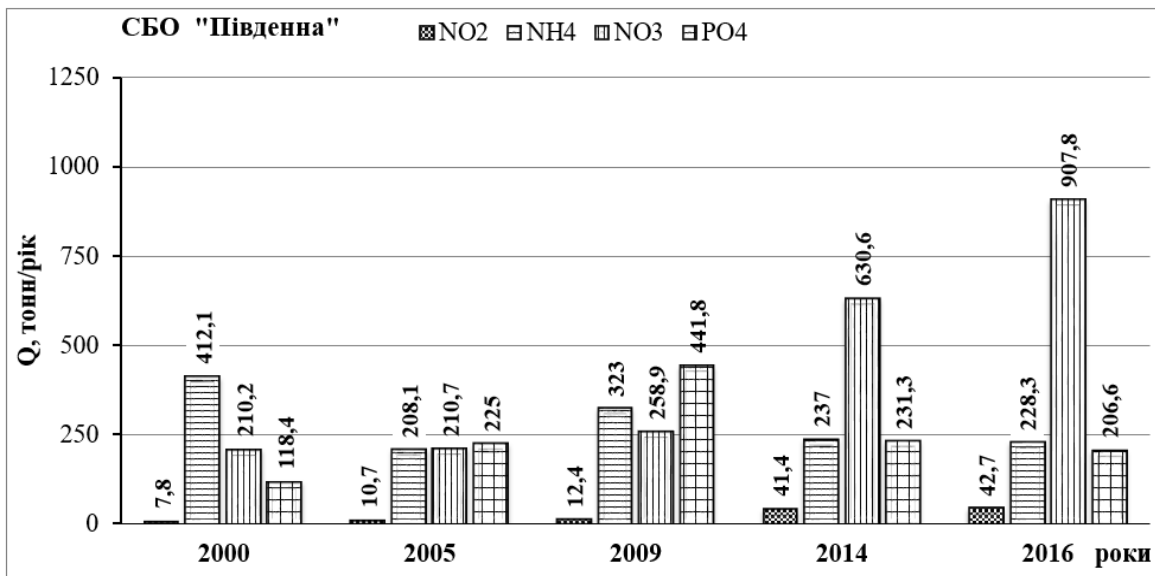


Рис. 3– Багаторічна мінливість надходження до морського середовища мінеральних сполук біогенних елементів (т/рік) з очисних споруд СБО «Південна»

4. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Очисні споруди м. Одеси були введені в експлуатацію в 70-х роках минулого століття. На них використовується типова для того часу технологія біологічної очистки стічних вод від сполук біогенних елементів в аеротенках [8]. В них в аеробних умовах відбувається процес біохімічного окиснення органічних речовин, які містяться в стічних водах, за участю бактерій. Викорис-

тання аеротенків дозволяє досягти високого ступеня очищення стічних вод від органічних речовин, із доведенням їх вмісту в очищених стічних водах до $\leq 15 \text{ мг/дм}^3$ за БСК_{повне}. Відносно до трансформації сполук азоту, в аеротенках з аеробними умовами відбуваються процеси мінералізації (амоніфікації) органічного азоту та нітрифікації – мікробіологічного окислення амонію до нітритів, а потім – до нітратів. Тобто, за фактом, така технологія очищення забезпечує

трансформацію органічних і мінеральних сполук азоту в азот нітратів, які вважаються фахівцями у галузі очищення стічних вод відносно екологічно безпечними.

Згідно [6], в результаті застосування вищевказаної технології біохімічного очищення стічних вод на СБО «Північна», в період 2008-2010 рр. ефективність очищення господарсько-побутових стоків становила 82-95 % щодо органічних речовин, 72-86 % за амонійним азотом і 53-67 % щодо фосфатів. Однак на виході з очисних споруд концентрації азоту нітратів в середньому в 6-7 разів перевищували концентрації на вході, а азоту нітритів – в 5-10 разів.

На наш погляд теза про відносну екологічну безпеку скиду нітратів у морське середовище є хибною. Нітрати, навіть за відсутності амонію, здатні самостійно забезпечувати мінеральним азотом процес первинного продукування органічної речовини водоростями, тобто, у разі значних їх концентрацій у воді, призводити до інтенсифікації процесу евтрофування водних об'єктів і виникнення негативних наслідків евтрофікації, таких як бурхливе розмноження («цвітіння») планктонних водоростей, зниження прозорості води і пригнічення розвитку придонної рослинності, погіршення якості водного середовища для функціонування інших гідробіонтів, зменшення вмісту розчиненого кисню у глибинних шарах внаслідок розкладання органічної речовини мертвих рослин і тварин, а також до масової загибелі донних організмів. Під впливом евтрофікації не спрацьовують механізми, що забезпечують стійкість і стабільність екосистем і, як наслідок, різко зростають сезонні флуктуації хімічних і біологічних показників.

Згідно з оцінками індексу трофності і якості вод E-TRIX, наведеними в [9, 10], трофність прибережних вод Одеського району ПнЗЧМ в 2016, 2017 рр. на різних ділянках узбережжя відповідала категоріям «середнього», «високого» і «дуже високого» рівня. Індекс розраховується за даними відносного вмісту кисню, вмісту загального фосфору, суми мінеральних форм азоту та вмісту хлорофілу «а».

Про можливі негативні наслідки додаткового надходження нітратів до морського середовища Одеського району ПнЗЧМ і Хаджибейського лиману (до якого в останнє десятиріччя з нетривалими перервами надходили зворотні води СБО «Північна»), свідчать наступні факти. Якщо на початку ХХІ ст. співвідношення між мінеральним азотом і фосфором ($N_{min}:P_{min}$) в прибережних водах Одеського району ПнЗЧМ складало близько 10:1 [11], то за даними [9] в 2016 р. воно

зменшилось до 6:1, а в 2017 – 3,2:1 [10]. В певній мірі це є наслідком того, що протягом ХХІ ст. вміст N_{min} в прибережних водах Одеського району ПнЗЧМ зменшувався значно швидшими темпами ніж P_{min} [9]. На підставі порівняння $N_{min}:P_{min}$ зі стандартним стехіометричним співвідношенням Редфілда, визначеним для органічної речовини планктону як 41С:7,2N:1P (в масових одиницях або 106С:16N:1P в молярній формі), можна констатувати таке. Якщо на початку століття біогенним елементом, який міг обмежувати спалах біомаси (цвітіння) водоростей, був мінеральний фосфор, то в теперішній час цю роль виконує мінеральний азот. Отже додаткове надходження нітратів до морського середовища Одеського району з СБО може спричиняти цвітіння водоростей і призводити, за певних умов, до загострення негативних наслідків евтрофікації.

За даними гідрохімічного моніторингу в південній частині Хаджибейського лиману [12], куди здійснюється скид зворотних вод СБО «Північна», в серпні 2016 р. співвідношення між $N_{min}:P_{min}$ також становило 3:1. В поверхневому шарі зони скиду з СБО спостерігались максимальні для лиману концентрації нітратів 1,629 мгN·дм⁻³. За сукупністю гідрохімічних показників води Хаджибейського лиману класифіковані як забрудненні, евтрофні.

З вище наведеного можна зробити висновок, що, у відношенні до очищення стічних вод від сполук азоту, технологія біологічної очистки, яка застосовується на СБО м. Одеси є незакінченою, оскільки нітратний азот після надходження до морського середовища споживається водоростями при первинному продукуванні органічної речовини, і, таким чином, знову трансформується в органічний азот. За свідченням [9, 10], в складі загального азоту в водах Одеського району значно переважає складова його органічної форми. В середньому органічні форми азоту перевищують суму мінеральних форм в 10-20 разів.

В теперішній час в країнах Європейського Економічного Співтовариства для забезпечення екологічної ефективності біологічної очистки стічних вод застосовується технологія глибокого їх очищення, яка передбачає видалення сполук азоту в процесі не тільки нітрифікації, але й денітрифікації [13, 14]. В процесі денітрифікації нітрати і нітрити відновлюються до газоподібного азоту мікробіологічним шляхом в анаеробних умовах.

Проблему денітрифікації можна вирішити, якщо відвести частину об'єму аеротенка під зону

денітрифікації, в якій створюються аноксидні умови. У світовій практиці розроблено велику кількість різних комбінацій зон денітрифікації і нітрифікації в біореакторах для очищення стічних вод від сполук азоту. Базовим варіантом є облаштування зон денітрифікації на початку аеротенка та в кінці [15].

В 2014 р. в Україні набрав чинності ДНБ В.2.5-75:2013 «Каналізація: зовнішні мережі та споруди» [16], який замінив застарілий «СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения». В ньому визначені технологічні схеми біологічної нітрифікації-денітрифікації, які повинні застосовуватись при проектуванні аеротенків.

5. ВИСНОВКИ

В результаті аналізу змін, які відбулись з початку ХХІ ст., встановлено, що незважаючи на значне (в 1,7-2 рази) зменшення в останнє десятиріччя обсягів зворотних вод СБО «Північна» і «Південна», річні потоки надходження з ними до морського середовища нітратів і нітритів, на відміну від амонійного азоту і фосфатів, збільшились в 4-6 разів. Це свідчить про значні технологічні проблеми з кінцевим очищенням стічних вод від сполук азоту на обох СБО, які загострились в останнє десятиліття.

Прибережні води Одеського району ПнЗЧМ і Хаджибейського лиману мають високий рівень трофності. Вперше звертається увага на те, що на відміну від початку ХХІ ст., за даними досліджень останніх років, роль біогенного елемента, який може (за інших оптимальних умов) обмежувати спалах біомаси водоростей, перейшла від мінерального фосфору до азоту, що у поєднанні зі встановленим фактом значного збільшення надходження до морського середовища мінеральних сполук азоту у формі нітритів і нітратів може, за певних умов, сприяти цвітінню водоростей і призводити до загострення негативних наслідків евтрофікації. Тому проблема впровадження сучасних технологій глибокого очищення стічних вод від сполук азоту в сучасних умовах набуває особливої актуальності.

На СБО «Північна» і «Південна» використовується застаріла і недосконала технологія біологічного очищення стічних вод, яка, у відношенні до сполук азоту, закінчується на стадії нітрифікації з утворенням нітратного азоту у великій концентрації. Для зменшення потоку надходження нітратів до морського середовища, на СБО повинна бути реалізована сучасна тех-

нологічна схема біологічної нітрифікації-денітрифікації.

Наведені результати є складовою більш комплексного дослідження, мета якого полягає у визначенні і науковому обґрунтуванні найбільш ефективних в сучасних умовах регіональних природоохоронних заходів, спрямованих на зменшення антропогенного впливу на екологічний стан вод Одеського району північно-західної частини Чорного моря.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тучковенко Ю. С., Иванов В. А., Сапко О. Ю. Оценка влияния береговых антропогенных источников на качество вод Одесского района северо-западной части Черного моря: моногр. / Морской гидрофиз. ин-т НАНУ; Од. гос. эколог. ун-т. Севастополь: НПЦ ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 169 с.
2. Волков А. И. Анализ качества морских вод побережья Одесской агломерации. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2012. № 1-2. С. 46–50.
3. Внукова Н. В. Якість морських вод прибережної зони північно-західної частини Чорного моря. *Вестник ХНАДУ*. 2015. Вып. 70. С. 55–60.
4. Гончаров О. Ю. Антропогенний вплив станції біологічної очистки «Північна» на Одеську затоку і Хаджибейський лиман в сучасний період. *Євроінтеграція екологічної політики України*: матеріали всеукр. наук. конф., 29-31 травня, Одеса: ОДЕКУ, 2019. С. 98-102. URL: <http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/Zbirnik-materialiv-Ekopolitika.pdf> (дата звернення 03.05.2020)
5. Тучковенко Ю. С., Сапко О. Ю. Характеристика сбросов антропогенных источников загрязнения морских вод у побережья Одессы в современный период. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2017. Вип. 22. С. 5-13.
6. Проект предельно допустимых сбросов загрязняющих веществ, отводимых с возвратными водами предприятий филиала «Инфоксводоканал» во внутренние морские воды Черного моря и реку Днестр / ГП «Научно-исследовательский проектно-конструкторский Институт морского флота Украины». Одесса, 2010. 209 с.
7. Проект нормативів гранично допустимих скидів забруднюючих речовин, що відводяться зі зворотними водами підприємств філії "Інфоксводоканал" в Чорне море і Хаджибейський лиман / ТОВ Науково-виробниче підприємство ДОВКІЛЛЯ. Одеса, 2017.
8. Інфоксводоканал. Технологія очищення стічних вод. URL: <https://infoxvod.com.ua/uk/info/vodovidvedennia/tekhnologiiia-ochishchennia-stichnikh-vod> (дата звернення 26.04.2020).
9. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2016 році / Департамент екології та природних ресурсів Одеської ОДА. Одеса, 2017. С. 47-54. URL: http://ecology.odessa.gov.ua/files/ecology_portal/reg_onal_na_dopov_d_2016.pdf (дата звернення 26.04.2020).
10. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2017 році / Департамент екології та природних ресурсів Одеської ОДА. Одеса, 2018. С. 74-82. URL: <https://menr.gov.ua/news/31778.html> (дата звернення

26.04.2020).

11. Гидрохимический режим. Одесский регион. *Северо-западная часть Черного моря: биология и экология* / Тучковенко Ю. С., Дятлов С. Е., Рясинцева Н. И. и др.; под ред. Ю. П. Зайцева, Б. Г. Александрова. Киев : Наукова думка, 2006. С. 451-457.
12. Богатова Ю. И., Секундяк Л. Ю., Кирсанова Е. В. Качество водной среды Хаджибейского лимана летом 2016 года. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2017. Вип. 21. С. 78 - 85.
13. Юрченко В. А., Бригада Е. В., Котенко Л. Н. Экологическая опасность азотсодержащих соединений в транспортируемых и очищенных сточных водах. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2010. № 48. С. 99 - 102.
14. Рибалова О. В. Водопостачання та водовідведення : курс лекцій / Нац. ун-т цивіл. захисту України. Харків, 2017. 195 с.
15. Маркин В. В. Возможности повышения эффективности биологической очистки сточных вод. *Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури*. 2013. № 5(103). С. 79-84.
16. ДНБ В.2.5-75:2013. Каналізація: зовнішні мережі та споруди / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. Київ, 2013. 128 с.

REFERENCES

1. Tuchkovenko, Yu.S., Ivanov, V.A. & Sapko, O.Yu. (2011). *Otsenka vliyaniya beregovykh antropogennykh istochnikov na kachestvo vod Odesskogo regiona severo-zapadnoy chasti Chernogo morya [Assessment of the coastal anthropogenic sources impact on water quality in north-western part of Black Sea near Odessa]*. Marine Hydrophysical Institute of NASU, Od. State Environmental Un-ty. Sevastopol: SPC "EKOSI-Gidrofizika" (in Russ.)
2. Volkov, A.I. (2012). Water quality assessment of Odessa agglomeration coastline. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, 1-2, pp. 46-50. (In Russ.)
3. Vnukova, N.V. (2015). Quality of marine coastal waters of the North-Western part of the Black Sea. *Bull. of the Kharkiv National Automobile and Highway University*, 70, pp. 55-60. (in Ukr.)
4. Honcharov, O.Yu. (2019). [Anthropogenic impact of the biological treatment plant "Northern" on the Odessa Bay and Hadzhibeysky estuary in the modern period]. *Materialy dopovidei Vseukrainskoi naukovoї konferentsii "Yevrointehratsiia ekolohichnoi polityky Ukrainy" [Proceedings of the All-Ukrainian Scientific Conference "European integration of Ukraine's environmental policy"]*, 29-31 May. Odessa: OSENU, pp. 98-10298-102. URL: <http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/Zbirmik-materialiv-Ekopolitika.pdf> (Accessed: 03.05.2020). (in Ukr.)
5. Tuchkovenko, Yu.S. & Sapko, O.Yu. Assessment of the coastal anthropogenic pollution sources impact on water quality in North-Western part of Black Sea near Odessa. *Vіsник Odes'kogo derzhavnogo ekolohichnogo universitetu [Bulletin of Odessa state environmental university]*, 2017, 22, pp. 5-13 (in Russ.)
6. State Research and Development Institute of the Merchant Marine of Ukraine (2010). *Proekt predel'no dopustimykh sbrosiv zagryaznyayushchikh veshchestv, otvodimykh s vozvratnymi vodami predpriyatii filiala «Infoksvodokanal» vo vnutrennie morskіe vody Chernogo morya i reku Dnestr [Project of maximum permissible discharges of pollutants discharged with the return waters of the enterprises of "Infoksvodokanal" branch into the inner waters of the Black Sea and the Dniester River]*. SE "UkrSRNI". Odessa. (In Russ.)
7. Research and Production Enterprise Ltd. "DOVKILLIA". (2017). *Proekt normatyviv hranychno dopustymykh skydiv zabrudniuyuchykh rehovyn, shcho vidvodiatsia zi zvorotnymy vodamy pidpriemstv filii "Infoksvodokanal" v Chorне more i Khadzhibeyskiy lyman [Project of the standards for maximum permissible discharges of pollutants discharged with return waters of enterprises of the "Infoksvodokanal" branch to the Black Sea and the Khadzhibey Liman]*. Odessa. (in Ukr.)
8. INFOKSVODOKANAL. *Tekhnolohiia ochyshchennia stichnykh vod [Technology of sewage treatment]*. Available at: <https://infovod.com.ua/uk/info/vodovidvedennia/teknolohiia-ochyshchennia-stichnykh-vod> (Accessed: 26.04.2020). (in Ukr.)
9. Department of Ecology and Natural Resources of Odessa Regional State Administration (2017). *Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Odeskii oblasti u 2016 rotsi [Regional Report on the State of the Environment in the Odessa Region in 2016]*. Odessa. Pp. 47-54. URL: http://ecology.odessa.gov.ua/files/ecology_portal/reg_onal_na_dopov_d_2016.pdf (Accessed: 26.04.2020). (in Ukr.)
10. Department of Ecology and Natural Resources of Odessa Regional State Administration (2018). *Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Odeskii oblasti u 2017 rotsi [Regional Report on the State of the Environment in the Odessa Region in 2017]*. Odessa. Pp. 74-82. URL: <https://menr.gov.ua/news/31778.html> (Accessed: 26.04.2020). (in Ukr.)
11. Tuchkovenko, Yu.S., Diatlov, S.E., Riasyntseva, N.Y. et al. (2006). *Gidrokhimicheskiy rezhim. Odesskiy region [Hydrochemical regimen. Odessa region]*. In: Zaytsev, Yu.P. and Aleksandrov, B.G. (Eds). *Severo-zapadnaya chast' Chernogo morya: biologiya i ekologiya [North-western part of the Black Sea: biology and ecology]*. Kiev: Naukova dumka, pp. 32-51. (in Russ.)
12. Bogatova, Yu.I., Sekundak, L.Yu. & Kirsanova, E.V. (2017). [Quality of aquatic environment of Khadzhibeyskiy Liman in summer, 2016]. *Vіsник Odes'kogo derzhavnogo ekolohichnogo universitetu [Bulletin of Odessa state environmental university]*, 21, pp. 78-85.
13. Yurchenko, V., Brygada, H. & Kotenko, L. (2010). [Ecological danger of nitrogen-bearing compounds in transported and purified sewages]. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*, 48, pp. 99-102. (In Russ.)
14. Rybalova, O.V. (2017). *Vodopostachannia ta vodovidvedennia: kurs lektsii [Water Supply and Drainage: A Lecture Course]*. National University of Civil Defence of Ukraine. Kharkiv. (in Ukr.)
15. Markin, V. (2013). Possibilities of increasing of efficiency of the biological wastewater treatment. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 5(103), pp.79-84.
16. Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine (2013). *DBNV. 2.5-75:2013 : Kanalizatsiia: zovnishni merezhi ta sporudy [DBNV. 2.5-75:2013 : Sewage. External networks and structures]*. Kyiv. (in Ukr.)

DESCRIPTION OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS OF CITY OF ODESA AS SOURCES OF MARINE ENVIRONMENT NUTRIENT POLLUTION IN CURRENT PERIOD

Yu. S. Tuchkovenko, O. Yu. Sapko, O. A. Tuchkovenko

*Odessa State Environmental University, 15 Lvivska Str., Odesa, 65016, Ukraine,
tuch2001@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3275-9065>*

Biological wastewater treatment plants (the BTPs) of city of Odesa (Northern and Southern Plants) are the most powerful permanent sources of nutrient pollution of coastal waters of Odesa Region of the north-western part of the Black Sea (the NWPBS) and the Khadzhybei Liman. The article includes a comparative analysis of changes, taking place since the beginning of the 21st century, related to the qualitative composition of return water of the Northern and Southern BTPs and the amount of nutrients reaching the marine environment together with such water, as well as the analysis of possible influence of such changes on eutrophication of coastal waters of Odesa Region of the NWPBS and the Khadzhybei Liman. It was established that despite significant decrease (by 1.7 - 2 times) of return water discharged from the BTPs the amount of nitrates and nitrites reaching the marine environment together with such water increased by 4-6 times. At the same time the reduced inflow of organic matter, ammonium nitrogen and phosphates can be observed.

Treatment facilities of Odesa were put into operation back in the 1970s. They use a then typical technology of biological cleaning of wastewater from nutrient compounds in aeration tanks providing aerobic conditions. The technology is considered as incomplete in terms of nitrogen compounds treatment since its final product includes nitrate nitrogen in large quantities. When reaching the marine environment it is absorbed by algae at the stage of primary production of organic matter and thus is transformed in organic nitrogen again. It was noted that since the coastal waters of Odesa Region of the NWPBS and the Khadzhybei Lyman have a high level of trophicity and currently there is a disbalance between mineral nitrogen and phosphorus concentrations in the water towards insufficiency of mineral nitrogen reserves (as compared with the standard Redfield stoichiometric ratio), additional inflow of nitrates and nitrites in the marine environment together with return water from the BTPs would, in certain circumstances, lead to algal bloom and aggravation of negative eutrophication-related consequences.

The research allowed making a conclusion that a modern flow sheet of advanced biological cleaning (treatment) of wastewater from nitrogen compounds should be implemented at the Northern and Southern BTPs in order to reduce the inflow of nitrates in the marine environment. Such flow sheet should ensure both nitrification and denitrification processes.

Keywords: the Black Sea, Odesa Region, water eutrophication, wastewater biological treatment, technologies

ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНЦИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГОРОДА ОДЕССА КАК ИСТОЧНИКОВ БИОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

Ю. С. Тучковенко, О. Ю. Сапко, О. А. Тучковенко

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина,
tuch2001@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3275-9065>*

Станции биологической очистки (СБО) сточных вод города Одесса («Северная» и «Южная») являются самыми мощными постоянно действующими источниками биогенного загрязнения прибрежных вод Одесского района северо-западной части Черного моря (СЗЧМ) и Хаджибейского лимана. В работе выполнен сравнительный анализ изменений, которые произошли с начала XXI века в качественном составе возвратных вод СБО «Северная» и «Южная» и количестве поступающих с ними в морскую среду биогенных веществ, а также возможного влияния этих изменений на эвтрофикацию прибрежных вод Одесского района и Хаджибейского лимана. Установлено, что несмотря на значительное

(в 1,7 - 2 раза) уменьшение в последнее десятилетие объемов сбросов возвратных вод с СБО, поступление с ними в морскую среду нитратов и нитритов увеличилось в 4-6 раз. В то же время поступление органического вещества, аммонийного азота и фосфатов уменьшилось.

Очистные сооружения города Одесса были введены в эксплуатацию в 70-х годах прошлого века. На них используется типичная для того времени технология биологической очистки сточных вод от соединений биогенных элементов в аэротенках в аэробных условиях, которая в отношении очистки от соединений азота является незаконченной, поскольку конечным ее продуктом является нитратный азот в больших концентрациях. После поступления в морскую среду он потребляется водорослями при первичном продуцировании органического вещества, и, таким образом, снова трансформируется в органический азот. Отмечено, что поскольку прибрежные воды Одесского района СЗЧМ и Хаджибейского лимана имеют высокий уровень трофности, а баланс между содержанием минерального азота и фосфора в их водах, по сравнению со стандартным стехиометрическим соотношением Рэдфилда, в настоящее время нарушен в сторону недостатка запасов минерального азота, то дополнительное поступление нитритов и нитратов в морскую среду с возвратными водами СБО может, при определенных условиях, способствовать цветению водорослей и приводить к обострению негативных последствий эвтрофикации.

Сделан вывод о том, что для уменьшения потока поступления нитратов в морскую среду, на СБО «Северная» и «Южная» должна быть внедрена современная технологическая схема углубленной биологической очистки сточных вод от соединений азота, которая обеспечивает реализацию не только процесса нитрификации, но и денитрификации.

Ключевые слова: Черное море, Одесский район, эвтрофикация вод, биологическая очистка сточных вод, технологии

Подання до редакції: 07. 05. 2020
Надходження остаточної версії: 15. 06. 2020
Публікація статті: 03. 07. 2020