

УДК 628.358:574.589:582.6/.9

К. О. Домбровський¹, П. І. Гвоздяк²

**БІОЛОГІЧНЕ ДООЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ
СТІЧНИХ ВОД ВІД ГЕКСАМЕТИЛЕНДІАМІНУ ЗА
ДОПОМОГОЮ УГРУПОВАНЬ ПЕРИФІТОНУ
ВОЛОКНИСТОГО НОСІЯ «ВІЯ» ТА КОРЕНЕВОЇ
СИСТЕМИ *EICHHORNIA CRASSIPES***

Уперше досліджено зооценози перифітону волокнистого носія «ВІЯ» та кореневої системи *Eichhornia crassipes* промислових гексаметилендіамін-вмісних стічних вод ставка-накопичувача колишнього підприємства Чернігівське ВО «Хімволокно». З'ясовано якісний склад та кількісний розвиток організмів.

Ключові слова: угруповання перифітону, волокнистий носій «ВІЯ», водний гіацинт *Eichhornia crassipes*, промислові стічні води, гексаметилендіамін.

На території колишнього ВО «Хімволокно» у м. Чернігові розташований штучний ставок, у якому більше 25 років зберігається близько 1600 м³ промислових стічних вод виробництва полімеру «анід» («найлон 66»), що містять гексаметилендіамін (ГМД). Концентрація ГМД у стічних водах цього виробництва досягає дуже високих як для стоків значень — 2500—4000 мг/л, через що вони дістали назву «мертва вода». Традиційні біологічні методи очищення біоплівкою (у біофільтрах) чи активованим мулом (в аеротенках) не придатні для звільнення промстоків з таким вмістом ГМД. Намагання суттєво (у сотні раз) розбавити ці стоки побутовими міськими водами не увінчались успіхом: флокули активованого мулу розпадались, переважна більшість гідробіонтів, що складають активований мул і забезпечують його флокуляцію, гинула під впливом ГМД, мул спливав, не осідав у вторинних відстійниках, біологічні очисні споруди переставали виконувати свою функцію. Численні спроби очищати ГМД-вмісні стоки Чернігівського ВО «Хімволокно» фізичними (електророзряди), фізико-хімічними (адсорбція, зворотний осмос, іонний обмін), деякими біологічними (за допомогою водоростей) тощо методами також виявилися безрезультатними. Тому протягом тривалого часу їх знешкоджували термічно — «спалюванням» у спеціальних газових печах, причому на 1 м³ стічної води витрачалося близько 250 м³ природного газу [6].

Використання нових біотехнологій для очищення таких стічних вод стало можливим завдяки тому, що фахівці Інституту колоїдної хімії та хімії води

© К. О. Домбровський, П. І. Гвоздяк, 2018

НАНУ знайшли мікроорганізми, здатні розкладати ГМД і використовувати його як джерело вуглецю, азоту і енергії. До таких мікроорганізмів відносяться, наприклад, спорові бактерії *Bacillus subtilis* 21/3 [1], грампозитивні бактерії *Arthrobacter sp.* 125 [2] і дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* [3].

Одними з найпоширеніших у сфері очищення стічних вод є біологічні методи, що базуються на застосуванні вищих водних рослин. Прикладом використання вищих водних рослин може бути розроблена Інститутом гідробіології НАНУ і впроваджена на підприємствах України гідрофітна система «закрите біоплато гідропонного типу», яка використовується для доочистки стічних вод після їх фізико-хімічної і біологічної очистки [8—10, 15, 17, 18]. Зокрема, завдяки стійкості до підвищеного вмісту особливо агресивних забруднювачів для фіторе mediaції водних об'єктів може використовуватись водний гіацинт (ВГ) *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms [19].

Метою роботи було дослідити видовий склад та особливості формування угруповань перифітону волокнистого носія типу «ВІА» та кореневої системи водного гіацинта при біологічному очищенні ГМД-вмісних промислових стічних вод.

Матеріал і методика досліджень. Очищення ГМД-вмісних промислових стічних вод проводили за допомогою сучасної біотехнології, розробленої в Інституті колоїдної хімії та хімії води НАН України. Запропонована біоконвеєрна технологія передбачає попереднє бактеріальне очищення стоків у чотирьох послідовно скомпонованих біореакторах з подальшою обробкою на біофільтрі «ВЕЖА» і доочищенням у ставку-накопичувачі з використанням спеціальних плаваючих «плотиків» із волокнистим носієм «ВІА» та аерації стисненим повітрям для забезпечення гідробіонтів, які розвиватимуться на носії, достатнім вмістом кисню [5].

Імобілізацію гідробіонтів на волокнистий носій «плотиків» додатково проводили у діючому аеротенку каналізаційно-очисної станції м. Чернігова упродовж 14 діб у серпні. Ця біотехнологія була апробована раніше [4]. В інші «плотики», оснащені лише волокнистим носієм, висаджували ВГ. Ці плаваючі «плотики» не розміщували в аеротенку очисних споруд, тобто попередню імобілізацію гідробіонтів не проводили, та додатково штучно не аерували.

Проби перифітону волокнистого носія та кореневої системи ВГ відбирали упродовж липня — вересня 2015 р. Температура води у дослідженому ставку-накопичувачі у липні становила 24°, у вересні — 21°С. Відбір гідробіологічного матеріалу проводили наступним чином. Під водою зрізали окремі ворсини волокнистого носія або корені рослини та, не вилучаючи їх із води, переносили до поліетиленового пакету. Потім зрізаний субстрат з водою виливали з пакета до лотка, де змивали з нього організми, після чого пробу переливали до скляної ємності. Зібраний матеріал доставляли до лабораторії у відкритій посудині при постійній аерації за допомогою компресора. Гідробіонтів із трьох таксономічних груп (твердокрилі, напівтвердокрилі, двокрилі) фіксували 70%-ним спиртом, інших вивчали у живому стані під

мікроскопом «Біолам Р-14» при збільшенні $\times 150$ — 600 . Видову ідентифікацію проводили за визначниками [11—14, 21].

Підрахунок чисельності організмів перифітону волокнистого носія проводили із урахуванням площі поверхні субстрату і виражали в екз/10 см². Для цього визначали площу поверхні одного волокна і робили перерахунок із урахуванням кількості зрізаних волокон. Потім визначали кількість організмів обростання у певному об'ємі (0,1—0,2 мл) та перераховували на загальний об'єм проби (120 мл). Чисельність організмів перифітону кореневої системи ВГ визначали на одиницю сирої маси і виражали в екз/г [7]. Подібність видового складу досліджених угруповань перифітону оцінювали за допомогою індексу Чекановського — Серенсена [16], індекс сапробності визначали за Пантле і Букк у модифікації Сладечека [22].

Результати досліджень та їх обговорення

У липні у ставку-накопичувачі промислових стічних вод було досліджено три угруповання перифітонних організмів. Найбільшу кількість видів було виявлено в угрупованні перифітону волокнистого носія «плотиків» із штучною аерацією води — шість, з яких два види коловерток та по одному інфузорій, черепашкових амеб, личинок хірономід і напівтвердокрилих. За чисельністю переважали коловертки, які склали 73% загальної (табл. 1).

Угруповання перифітону волокнистого носія «плотиків» без штучної аерації води у липні було представлено трьома видами, а саме двома коловертками і одним — личинок хірономід. Чисельність становила 157 екз/10 см².

Угруповання перифітонних організмів волокнистого носія «плотиків», розміщених в іншому штучному ставку (фоновому), який містив природну воду, що накопичилась за рахунок атмосферних опадів, суттєво відрізнялось від попередніх. У ньому було виявлено десять видів, дев'ять з яких не зустрічались у ставку-накопичувачі. У всіх трьох зооценозах зустрічався лише один вид коловерток — *Cephalodella catellina*. Відомо, що ця вільноживуча евригалінна коловертка може мешкати у прибережному псамоні, на водних рослинах та у сфагнумі боліт. Чисельність організмів перифітону волокнистого носія «плотиків» у відносно чистій водоймі становила 241 екз/10 см².

Серед гідробіонтів обростання волокнистого носія у фоновому ставку виявлено чотири індикаторних види, що відносяться до β -мезосапробів, та один вид — до олігосапробів, що вказує на β -мезосапробну зону (індекс сапробності 1,51). Ступінь подібності видового складу угруповання перифітону волокнистого носія стічних вод і фоновій водоймі становив 13—15%.

У серпні частину «плотиків» із носієм «ВІА» було на 14 діб розміщено у аеротенку каналізаційно-очисної станції м. Чернігова для іммобілізації (закріплення) мікроорганізмів та інших гідробіонтів на волокнистому носії. Після нарощування біомаси на волокнистий носій «плотиків» їх було знову розміщено у ставку-накопичувачі із токсичними водами.

1. Видовий склад та чисельність (екз/10 см²) організмів перифітону волокнистого носія «ВІЯ» (липень 2015 р.)

Таксони	Ставок-накопичувач стічних вод		Фоновий ставок
	I	II	
Sarcodina			
<i>Arcella vulgaris</i> Ehrenberg	35	—	—
Ciliophora			
<i>Paramecium caudatum</i> Ehrenberg	26	—	—
Nematoda			
Nematoda gen. sp.	—	—	52
Rotifera			
<i>Brachionus plicatilis</i> (Müller)	61	17	—
<i>Cephalodella catellina</i> (Müller)	148	70	35
<i>Colurella colurus colurus</i> (Ehrenberg)	—	—	17
<i>Lecane luna</i> (Müller)	—	—	17
<i>Habrotrocha</i> sp.	—	—	35
Daphniiformes			
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller)	—	—	17
Ostracoda			
Ostracoda gen. sp 1.	—	—	17
Ostracoda gen. sp 2.	—	—	17
Gastrotricha			
Gastrotricha gen. sp.	—	—	17
Oligochaeta			
<i>Aelosoma</i> sp.	—	—	17
Diptera			
Chironomidae gen. sp.	17	70	—
Hemiptera			
<i>Hesperocorixa</i> sp.	1	—	—
Всього	288	157	241

П р и м і т к а. Тут і в табл. 2: I — із штучною аерацією води; II — без штучної аерації води.

У вересні угруповання перифітону волокнистого носія із штучною аерацією складалось із восьми видів, з яких п'ять інфузорій, два — коловертки і один — черепашкових амеб. За чисельністю домінували інфузорії (пе-

2. Видовий склад та чисельність (екз/10 см²) організмів перифітону волокнистого носія «ВІЯ» (вересень 2015 р.)

Таксони	Ставок-накопичувач стічних вод	
	I*	II
Sarcodina		
<i>A. vulgaris</i>	17	35
<i>Euglypha laevis</i> (Ehrenberg) Perty	–	105
Ciliophora		
<i>P. caudatum</i>	52	–
<i>Chilodonella cucullulus</i> (Müller)	157	–
<i>Stylonichia putrina</i> Stockes	261	–
<i>Tachysoma pellionela</i> (Müller et Stein)	52	–
<i>Epistylis</i> sp.	70	–
Rotifera		
<i>B. plicatilis</i>	17	–
<i>Filinia terminalis</i> (Plate)	–	87
<i>Habrotrocha</i> sp.	35	–
Diptera		
Chironomidae gen. sp.	–	70
<i>Stratiomys singularior</i> (Harris)	–	1
Всього	661	298

* Угрупування перифітону волокнистого носія після іммобілізації гідробіонтів.

реважно *Stylonichia putrina* і *Chilodonella cucullulus*). Вони формували 63% загальної, що досягала 661 екз/10 см², тобто у 2,3 разу більше, ніж у липні (табл. 2). Це можна пояснити тим, що після іммобілізації склад перифітонних організмів розширився за рахунок вільноживучих організмів, які трофічно пов'язані із волокнистим носієм при наявності поживних речовин і здатні швидко збільшити чисельність. Ступінь подібності видового складу зооценозів обростань волокнистої насадки типу «ВІЯ» стічних вод до (липень) та після (вересень) іммобілізації становив 43%.

У вересні зооценоз волокнистого носія без штучної аерації та іммобілізації гідробіонтів був представлений п'ятьма видами (див. табл. 2). Чисельність збільшилася майже удвічі (до 298 екз/10 см²). За чисельністю переважали черепашкові амеби, які складали 47% загальної. Було виявлено чотири види — індикатори β-мезосапробної зони.

Угрупування перифітону кореневої системи ВГ ставка-накопичувача у липні складалось із п'яти видів гідробіонтів, серед яких три види коловертоток

3. Видовий склад та чисельність (екз/г) перифітону кореневої системи водного гіацинту при доочищенні стічних вод від ГМД у 2015 р.

Таксони	Ставок-накопичувач стічних вод	
	липень	вересень
Sarcodina		
<i>Arcella vulgaris</i>	–	250
Ciliophora		
<i>Paramecium caudatum</i>	94	–
Rotifera		
<i>Brachionus plicatilis</i>	438	–
<i>Cephalodella catellina</i>	438	–
<i>Encentrum putorius</i> Wulfert	31	–
Diptera		
Chironomidae gen. sp.	250	188
Coleoptera (imago)		
<i>Hydrobius fuscipes</i> (L.)	–	1
Coleoptera sp.	–	1
Всього	1251	450

та по одному інфузорій і личинок хірономід. Висока чисельність (1251 екз/г) досягалась завдяки значному розвитку коловороток (головним чином *B. plicatilis* та *C. catellina*), які формували 70% загальної.

Угрупування обростання кореневої системи ВГ у вересні складалось із чотирьох видів, з яких два — водних жуків і по одному — черепашкових амеб та личинок хірономід. Чисельність становила 450 екз/г (табл. 3).

Зменшення видового багатства обростання кореневої системи ВГ з липня по вересень пов'язано, напевно, з тим, що за цей період розвиток та вегетація рослини не відбувались, навпаки особини частково почали розкладатись та гинути, що можна пояснити особливим складом токсичних стічних вод і відсутністю достатньої кількості біогенних елементів.

Використання ВГ разом із волокнистим носієм типу «ВІЯ» для біологічного очищення промислових зливових стічних вод заводу ПАТ «Мотор Січ» досліджено нами раніше [20]. Упродовж чотирьох місяців (з липня по листопад 2014 р.) в умовах очисних споруд заводу п'ять особин вегетативно розмножились і зайняли майже половину водної поверхні каналу (70 м²).

Подібність перифітону волокнистого носія «ВІЯ» та обростання кореневої системи ВГ стічних вод була високою (52%), а кореневої системи і оброс-

тання волокнистого носія фоновій водойми — дуже низькою (13%). Найчастіше в угрупованнях перифітону волокнистого носія та кореневої системи ВГ впродовж липня — вересня зустрічались чотири види гідробіонтів, це черепашкові амеби (*A. vulgaris*), личинки хірономід (*Chironomidae gen. sp.*) і два солонуватоводні види коловерток — *C. catellina* та *B. plicatilis*.

Таким чином, за досліджений період на волокнистому носії та кореневій системі ВГ в умовах ставка-накопичувача ГМД-вмісних стічних вод виявлено 17 видів перифітонних організмів. Інфузорії та коловертки були представлені найбільш широко — по п'ять таксонів, черепашкові амеби та твердокрилі — двома, інші групи (личинки мух-львинок, хірономід та напівтвердокрилі) — одним видом кожен. З них дев'ять таксонів є індикаторами сапробності, з яких 5 — β -мезосапроби і чотири — α -мезосапроби. Розрахунок індексу сапробності показав, що стічні води у липні (1,60—1,90) та вересні (1,60—2,84) відносяться до β -мезосапробної та α -мезосапробної зони.

В результаті трьох місяців (червень — серпень 2015 р.) роботи запропонованої біоконвеєрної технології концентрація ГМД у ставку-накопичувачі знизилася у понад вісім раз (з 860 мг/л до 100 мг/л), ХСК — у сім (з 1580 до 215 мг О/л). Таким чином, ця біотехнологія, яка повністю відтворює природні процеси та не створює жодних небезпечних відходів, може бути широко застосована для очищення стічних вод не лише від ГМД, а й інших токсичних забруднень.

Висновки

В результаті біологічного доочищення промислових стічних вод ставка-накопичувача за допомогою перифітонних організмів волокнистого носія «ВІЯ» і кореневої системи ВГ концентрація ГМД у ставку-накопичувачі впродовж трьох місяців знизилася у понад вісім раз, а ХСК — у сім.

Угруповання перифітону волокнистого носія та кореневої системи ВГ складалось із 17 таксонів гідробіонтів. Інфузорії та коловертки були представлені п'ятьма, черепашкові амеби та твердокрилі — двома, личинки мух-львинок, хірономід і напівтвердокрилі — одним видом кожна.

Після іммобілізації гідробіонтів перифітону на волокнистий носій «ВІЯ» їх загальна чисельність в умовах інтенсивної аерації води у вересні була максимальною — 661 екз/10 см², тобто зросла у 2,3 разу порівняно з показниками липня. Домінували інфузорії *S. putrina* і *Ch. cucullulus*, які формували 63% загальної чисельності.

**

Впервые исследованы сообщества перифитона волокнистой насадки «ВИЯ» и корневой системы Eichhornia crassipes промышленных гексаметилендиамин-содержащих сточных вод пруда-накопителя предприятия Черниговское ПО «Химволокно». Установлен качественный состав и количественное развитие зооценозов обрастания в июле — сентябре 2015 г.

**

Periphyton communities of the fibrous carrier «VYA» and the root system of Eichhornia crassipes in the waste water storage pond of the former enterprise Chernigov «Khimvolkno» was investigated for the first time. The species composition and quantitative parameters of periphyton zoocenosis in July — September 2015 were determined.

**

1. А. с. 529210 СССР, МКИ² ОС 12 К 1/04. Штамм *Bacillus subtilis* 21/3 для очистки сточных вод от гексаметилендиамина / М.Н. Ротмистров, А.А. Рой, П.И. Гвоздяк. — № 2131231/13; заявл. 04.05.75; опубл. 25.09.76, Бюл. № 35.
2. А. с. 722853 СССР, МКИ² С 02 С 5/10. Способ очистки сточных вод от гексаметилендиамина / П.И. Гвоздяк, А.А. Рой, И.Н. Даценко, О.И. Никитенко. — № 2590739/29–26; заявл. 15.03.78; опубл. 25.03.80, Бюл. № 11.
3. А. с. 725477 СССР, МКИ² ОС 12 В 3/00. Питательная среда для выращивания дрожжей / П.И. Гвоздяк, А.Д. Денис, И.Н. Даценко, А.А. Рой. — 1980.
4. Гвоздяк П.И., Михайловський В.Л., Михайловська М.В. Використання АНАММОХ-процесу в оздоровленні ставка-накопичувача токсичних відходів коксохімічного заводу // Водопостачання та водовідведення. — 2013. — № 4. — С. 40—45.
5. Гвоздяк П.И. Біоконвеєр в оживленні «мертвої води» в ставку-накопичувачі токсичних промислових стоків // Матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти», 28—30 жовт. 2015 р. — Київ, 2015. — С. 72—73.
6. Гвоздяк П. И., Сапура О.В., Чехівська Т.П. Біотехнологічне знешкодження гексаметилендіамінвмісних промислових токсичних відходів у ставку-накопичувачі // Вісн. Нац. ун-ту водн. госп. та природокорист. Сер. Техн. науки. — 2015. — Вип. 1. — С. 102—110.
7. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В. Д. Романенка. — К.: ЛОГОС, 2006. — 408 с.
8. Оксюк О.П., Давыгов О.А. Санитарная гидробиология в современный период. Основные положения, методология, задачи // Гидробиол. журн. — 2012. — Т. 48, № 6. — С. 50—65.
9. Оксюк О.П., Олейник Г.Н. Биоплато и его применение на каналах / Гидротехника и мелиорация. — 1990. — № 8. — С. 66—70.
10. Оксюк О.П., Стольберг Ф.В. Управление качеством воды в каналах. — Киев: Наук. думка, 1988. — 230 с.
11. *Определитель* зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. — М.: КМК, 2010. — Т. 1. — 495 с.
12. *Определитель* пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. — СПб: Наука, 1997. — Т. 3. — 439 с.
13. *Определитель* пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. — СПб: Наука, 1999. — Т. 4. — 998 с.
14. *Определитель* пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. — СПб: Наука, 2001. — Т. 5. — 825 с.

15. Пат. 95279 Україна, МПК⁶ С 02 F 3/32, 11/02, 101/10, 101/20. Спосіб очищення стічних вод за допомогою вищих водяних рослин / Ю.Г. Крот, В.Д. Романенко, С.М. Малина, Т.М. Дьяченко. — № а201114500; заявл. 07.12.11; опубл. 25.12.14, Бюл. № 24.
16. *Песенко Ю.А.* Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях — М.: Наука, 1982. — 287 с.
17. *Романенко В.Д., Крот Ю.Г., Киризія Т.Я. та ін.* Природні і штучні біоплато: фундаментальні і прикладні аспекти. — К.: Наук. думка, 2012. — 112 с.
18. *Романенко В.Д., Крот Ю.Г.* Биотехнологическое направление исследований в Институте гидробиологии НАН Украины // Гидробиол. журн. — 2015. — Т. 51, № 2. — С. 23—33.
19. *Романчук Л.Д., Федонюк Т.П., Пазич В.М.* Фитомелиоративные и фиторемедиационные особенности гидрофитов в очистке сточных вод г. Житомир (Украина) // Экол. вестн. — 2016. — № 2. — С. 76—83.
20. *Рыльский О.Ф., Домбровский К.О., Крупей К.С. и др.* Биологическая очистка ливневых сточных вод промышленного предприятия иммобилизованными микроорганизмами и гидробионтами // Химия и технология воды. — 2016. — Т. 38, № 4. — С. 420—430.
21. *Фауна аэротенков: атлас / Отв. ред. Л.А. Кутикова.* — Л.: Наука, 1984. — 264 с.
22. *Sladecek V.* System of water quality from biological point of view // Arch. Hydrobiol. Ergeb. Limnol. — 1973. — N 7. — 218 p.

¹ Запорізький національний університет

² Інститут колоїдної хімії та хімії води НАН України, Київ

Надійшла 09.01.18