УДК 504.064.3 : 574 (477.42)

ДИНАМІКА ВМІСТУ АНІОННИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН У ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ СПОРУДАХ ГІДРОФІТНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

Л.Д. Романчук
доктор сільськогосподарських наук, професор
проректор з наукової роботи та інноваційного розвитку
Т.П. Федонюк
кандидат сільськогосподарських наук
доцент кафедри екології лісу та меліорації
В.М. Пазич
кандидат сільськогосподарських наук
старший викладач кафедри екології лісу та меліорації
Житомирський національний агроекологічний університет

Висвітлено результати досліджень щодо ефекту очищення води за допомогою гідрофітного завантаження, стійкості макрофітів видів Pistia stratiotes L. та Eichhornia crassipes (Mart.) Solms до підвищеного вмісту аніонних поверхнево-активних речовин. Установлено їхні високі фіторемедіаційні здатності та високі діапазони стійкості до аніонних поверхнево-активних речовин.

Ключові слова: *фіторемедіація, аніонні поверхнево-активні речовини, гідрофіти, очищення, стічні води.*

Викиди побутових стічних вод призводять до надходження в навколишнє природне середовище поверхнево-активних речовин (ПАР) у значних кількостях. Це спричинило значне забруднення поверхневих джерел води в Україні, якісний стан яких формувався протягом тривалого періоду та суттєво погіршився останніми десятиліттями через нехтування об'єктивними законами розвитку і відтворення природно-ресурсного комплексу України. Потрапляючи у водойми, найбільш розповсюджені ПАР перешкоджають процесам біологічного окиснення і запобігають їхньому самоочищенню [1]. В результаті погіршуються якісні показники води: підвищується її мінералізація, зростає споживання кисню. Останнім часом спостерігається тенденція до появи нових синтетичних ПАР, які повсюдно використовуються в побуті й промисловості, а також сумішей на їхній основі. Використання їх спричинює специфічні реакції гідробіонтів, які використовуються в процесах очищення води. Тому необхідно удосконалити існуючі та розробити нові методи очищення стічних вод від ПАР [2]. На особливу увагу заслуговують біологічні методи, які відзначаються простотою, економічністю, великою продуктивністю і можуть бути використані в комплексі з іншими фізико-хімічними методами очищення: або ж для вилучення основної маси ПАР з подальшим доочищенням.

У зв'язку з цим актуальним стає розроблення методів і технологій щодо зниження вмісту біогенних елементів у процесі біологічного очищення міських стічних вод. За літературними даними, ефективним методом видалення біогенних елементів є використання вищих водних рослин (ВВР) [3–5 та ін.]. Є відомості про використання окремих гідрофітів у технологічному процесі біологічного очищення міських стічних вод [3–5 та ін.]. В умовах Полісся України деякі з них вирощували з метою використання для очищення сільськогосподарських і побутових стоків [4, 5]. Однак еколого-біологічні та господарські властивості гідробіонтів вивчені недостатньо в умовах Житомирщини України. Тому дослідження умов росту, можливостей практичного застосування гідрофітів представляє значний господарський інтерес.

Окрім цього, дослідженнями ряду авторів [2–5] установлено, що при концентрації СПАР 50–70 мг/л спостерігається пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів та помітне зменшення чисельності організмів, при збільшенні концентрації до 150 мг/л протягом однієї доби повністю гине культура. Очевидно, що необхідно або максимально зменшувати викиди ПАР зі стічними водами до каналізації, або підвищувати стійкість бактерій активного мулу до впливу ПАР, замінюючи або доповнюючи їх іншими видами гідробіонтів, більш стійкими до існування в середовищі з високою концент-

рацією ПАР та здатними використовувати їх як джерело вуглецю.

З огляду на все це, ми провели дослідження впливу підвищених концентрацій ПАР у воді на стан, ріст і розвиток гідрофітного завантаження, а також на якісний склад води, яка використовується в цих процесах.

При постановці дослідів використовували лабораторні модельні системи, що містять гідрофітне завантаження. У посудини з водою, яка надходить на станцію першого підйому КП «Житомирводоканал» (об'єм води — 200 л), поміщали рослини сумарною біомасою (сира маса): 30–50 г *E. crassipes* і 10–20 г *P. stratioites*. Кожна модельна система містила рослини одного виду ВВР та один варіант зі змішаним фітоценозом двох видів. За контроль використовувалася модельна система з водою без фітозавантаження (рис. 1).

Тривалість проведення дослідів становила 40 діб залежно від термінів виявлення впливу речовин на життєздатність рослин. Вміст АПАР до та після культивування пістії тілорізовидної та ейхорнії прекрасної визначали згідно з чинними керівними нормативними документами [7–9] та методичними розробками [6] у відділі інструментально-лабораторного контролю Державної екологічної інспекції в Житомирській області. Моніторинг стану ВВР здійснювали за такими критеріями: зменшення біомаси рослин; депігментація листя; депігментація стебел; модифікація габітусу листових пластинок; загнивання листя; зниження тургорного тиску тощо.

Визначали максимальну загальну кількість забруднювальної речовини, що надійшла в систему з ВВР у режимі періодично повторюваних добавок, при якому ВВР не піддавалися негативному впливу забруднювальних речовин, згідно з [6]. Основним агентом забруднення була визначена речовина, яка в умовах стандартних гідрофітних завантажень біофільтрів очисних споруд спричинює «ефект спухання мулу», — додецилсульфат натрію.

У досліджених водах АПАР виявлено в концентрації 0,1 мг/дм^3. Завантаження води в біореактори показало позитивну тенденцію щодо поліпшення цього показника. Найкраще процес біоочищення відбувався у варіанті з рослинами виду *E. crassipes*, де вміст АПАР знизився на 40 % протягом перших 10 діб експерименту, зниження концентрації АПАР удвічі на варіанті № 1 відбулося на 30 добу проведення досліджень, а до завершення досліду їх концентрація знизилася на 60 % (рис. 2).

На варіантах № 2 та № 3 у перші 10 діб АПАР вилучалися лише на 20–22 %, на момент завершення експерименту концентрація АПАР знизилася загалом на 40–44 %. Зниження цього показника на контролі без гідробіонтів практично не відбувалося, а на момент завершення експерименту 10 % їх окиснилися внаслідок природних фізико-хімічних процесів.

Найбільш чутливими до одноразового додавання додецилсульфату натрію виявилися рослини у варіанті з *P. stratiotes*. Спостереженнями виявлено, що при підвищених концентраціях АПАР до 100–300 мг/л 50 % фітомаси пістії

1 2 3 4

ВАРІАНТИ ДОСЛІДУ
1. Eichhornia crassipes (Mart.) Solms — 100 %
2. Pistia stratiotes L. — 100 %
3. Eichhornia crassipes (Mart.) Solms — 50 % + Pistia stratiotes L. — 50 %
4. Контроль (без гідробіонтів)

Рис 1. Схема досліду та основні етапи проведення досліджень режимів експлуатації гідрофітних систем

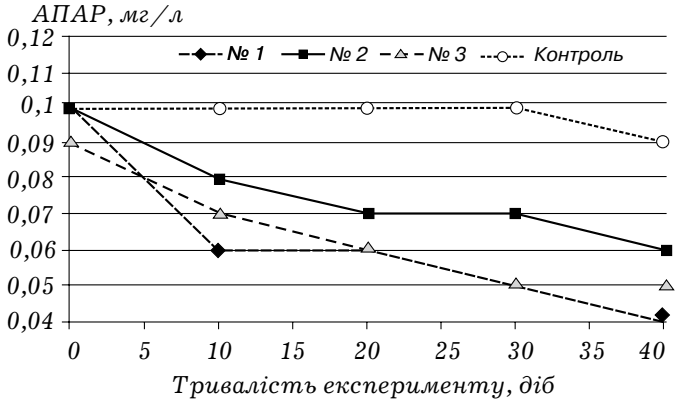

Рис. 2. Динаміка вмісту АПАР в експериментальних спорудах гідрофітного очищення в умовах насосної станції першого підйому КП «Житомирводоканал»

гинули на п'яту добу проведення досліджень. У дослідах з гідрофітним завантаженням виду *E. crassipes* загибелі рослин не відбувалося при концентраціях АПАР нижчих або рівних 300 мг/л. Часткову загибель рослин (до 20 %) відзначали лише через 22 доби. Ці види ВВР реагували на добавку АПАР відмиранням частини листових пластинок, зануренням під воду ділянок листка або всієї листової пластинки, а також депігментацією листя через 5 діб від внесення добавки АПАР від 150 мг/л.

На варіанті № 3 із змішаним застосуванням гідрофітного завантаження була менш виражена реакція рослин пістії на додавання забруднювачів до водних розчинів. Очевидно, це пов'язано зі здатністю ейхорнії швидко та ефективно утилізувати забруднювачі з води, що значно знизило вплив цих речовин на рослини пістії. У змішаних фітоценозах загибель рослин пістії спостерігалася лише на 16 добу. Проведені досліди дали змогу попередньо виявити рослини, які порівняно більш чутливі до дії одноразових добавок відносно високих концентрацій АПАР (*P. stratiotes* L.), та порівняно більш стійкі серед вивчених видів рослин (*E. crassipes*).

Окрім цього, ми визначили діапазони толерантності досліджених видів. У певному діапазоні доз внесення АПАР існує пряма залежність між разовою добавкою та загальною кількістю внесеної в систему забруднювальної речовини (табл. 1). Отже, чим більша разова добавка, тим більшу сумарну дозу забруднювальної речовини витримують рослини перш

Таблиця 1

Вплив концентрації забруднювальних речовин на загибель тест-об'єктів

Варіант	Біомаса ВВР (сира маса), г/л	Приріст кількості АПАР після одноразового додавання, мг/л	Час, через який відбувалася загибель > 50 % ВВР, діб	Кількість додавання АПАР, після яких наставала загибель рослин	Сумарна кількість АПАР, мг/л
1	10,2	0,5	Не виявлено	20	10,3
2	10,0		Не виявлено	20	10,6
3	10,1		Не виявлено	20	10,4
1	10,5	0,8	Не виявлено	20	16,8
2	9,9		Не виявлено	20	16,6
3	10,0		Не виявлено	20	16,5
1	10,3	1,7	Не виявлено	20	34,3
2	9,8		98	18	30,6
3	10,6		120	20	37,3
1	10,4	8,3	118	17	141,1
2	10,0		68	8	66,4
3	11,0		83	12	99,6
1	10,9	16,7	69	10	167
2	10,7		42	6	100,2
3	10,4		55	8	133,6
1	9,8	50,0	33	5	250,0
2	10,2		22	3	150,0
3	10,5		25	4	200,0
1	10,1	100,0	16	3	300,0
2	10,3		9	2	200,0
3	10,6		12	2	200,0

ніж загинути. При цьому така залежність порушується при збільшенні разової добавки з 1,7 до 8,3 мг/л, а при подальшому збільшенні дози вона поновлюється. Однак для коментування цієї тенденції необхідно звернутися до третього параметра навантажень — тимчасового. Таким чином, з проведених дослідів видно, що систематичне внесення забруднювальної речовини з урахуванням часових параметрів навантажень АПАР свідчить про відносну безпеку їх у концентраціях від 0,5 до 1,7 мг/л.

Така тенденція проявляється на варіанті досліду з гідрофітним завантаженням виду *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. На інших варіантах безпечною була концентрація 0,5–0,8 мг/л, а з підвищенням концентрації забруднювачів до 1,7 мг/л загибель більш ніж 50 % рослин спостерігалася лише наприкінці четвертого місяця досліду (рис. 3). Підвищені концентрації забруднювачів (8,3 мг/л) спричинили загибель більше ніж 50 % рослин ейхорнії лише на 118 добу при сумарному навантаженні 141,1 мг/л. Коротший термін характерний для варіанта зі змішаним фітоценозом — 83 доби при сумарному навантаженні забруднювача 99,6 мг/л; найменша стійкість характерна на варіанті з *Pistia stratiotes* L. — 68 діб із сумарним навантаженням 66,4 %.

При подальшому підвищенні кількості систематичних внесень забруднювача термін, за який відбувалася загибель більш ніж 50 % рослин, скорочувався, однак сумарна концентрація забруднювача у воді була більшою. Так, у варіанті з гідрофітним завантаженням виду *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms щотижневе внесення АПАР у концентрації 16,7 мг/л призводило до загибелі 50 % рослин через 69 діб, на варіанті з *Pistia stratiotes* L. — через 55 діб, а в змішаному фітоценозі — че-

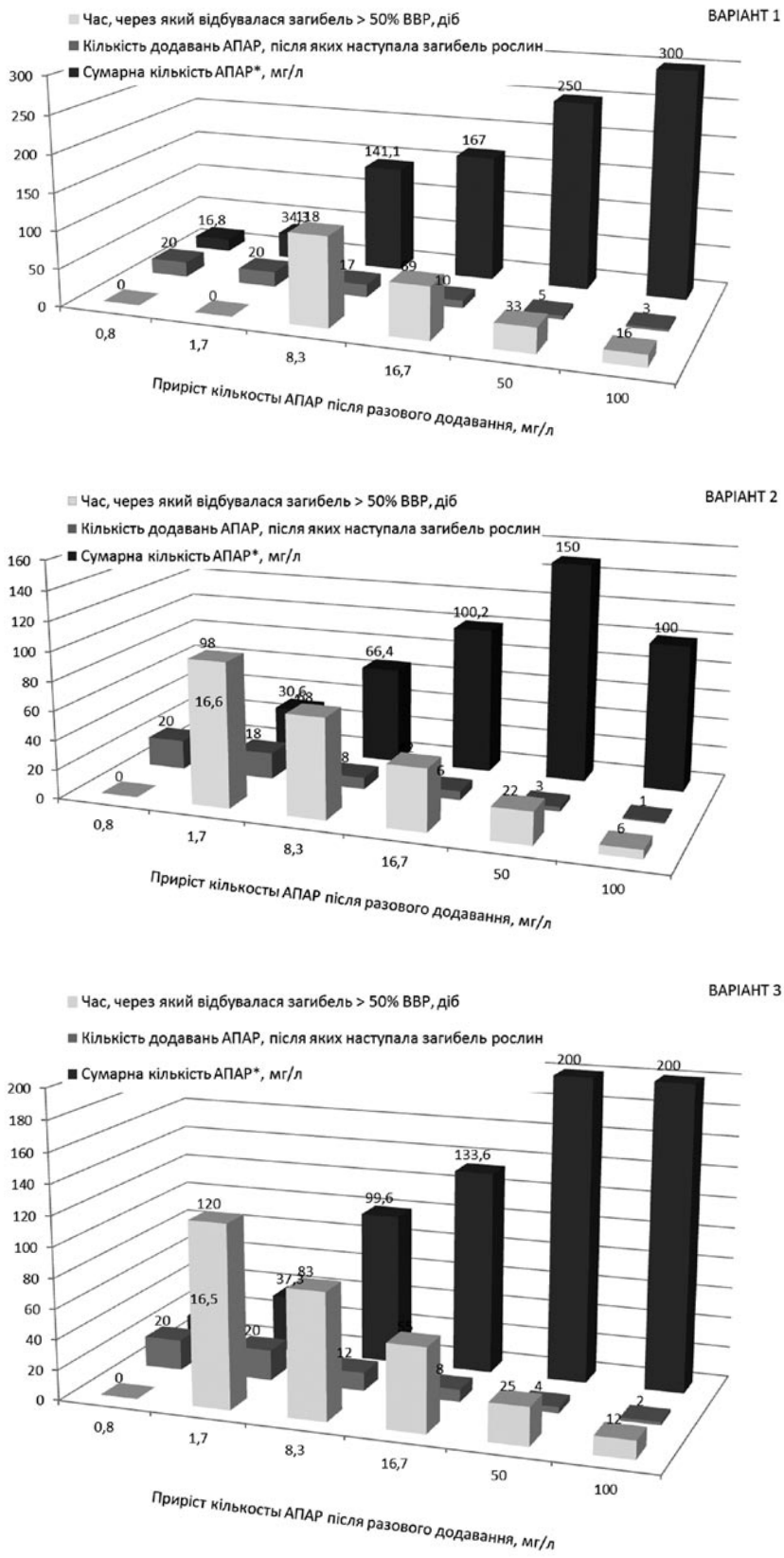

Рис. 3. Динаміка зміни значень загальної кількості АПАР, після внесення якого наставала загибель >50 % ВВР у дослідах

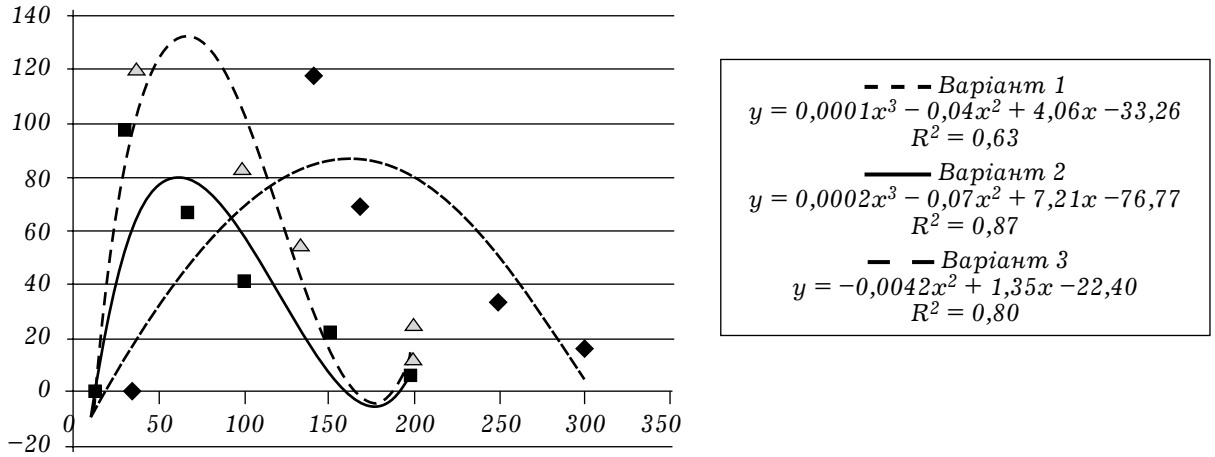

Рис. 4. Допустимі у використаному режимі культивування сумарні навантаження АПАР на 1 г сирої маси гідрофітів

рез 42 доби. Подальше збільшення систематичного внесення забруднювачів до 50–100 мг/л призводило до скорочення терміну, за який відбувалася загибель 50 % гідробіонтів, однак сумарна концентрація забруднювача, при якій відбувалася загибель, збільшувалася (рис. 4).

Такі широко розповсюджені види гідробіонтів як ейхорнія та пістія, рекомендовані для цілей фіторемедіації. Встановлені високі діапазони стійкості до АПАР ейхорнії та пістії дають змогу обґрунтовано організувати більш ефективний режим експлуатації фітоочисних систем з цими видами макрофітів, щоб не допустити вторинного забруднення вод з вивільненням раніше акумульованих рослинами забруднювальних речовин.

ВИСНОВКИ

Використання гідрофітного завантаження за всіма варіантами досліду показало позитивну тенденцію щодо поліпшення всіх досліджених показників якості води, а ефект очищення від полютантів за деякими показниками становив більше ніж 60 %. Досліджені види гідробіонтів ейхорнія та пістія рекомендовані для цілей фіторемедіації. Встановлені їх високі фіторемедіаційні здатності та високі діапазони стійкості до АПАР, які дають змогу обґрунтовано організувати більш ефективний режим експлуатації фітоочисних систем з цими видами макрофітів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Винберг Г.Г.* Биологические пруды в практике очистки сточных вод / Г.Г. Винберг, П.В. Остапеня, Т.Н. Сивко, Р.И. Левина // Под ред. П.В. Остапеня. — Минск: Беларусь, 1966. — 231с.
2. *Seidel K.* Macrophytcs and water purification, in: Biological Control of Water Pollution., T. Tourbier, R.W. Pierson, eds., Pennsylvania University Press. Philadelphia. — 1976. — P. 109–122.
3. *Zimmles Y.* Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel. Journal of Environmental Management 81, 2006. — P. 420–428.
4. Використання гідробіонтів виду *Eichornia crassipes* для очистки стічних вод / Т.П. Василюк // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. — 2008. — № 4. — С. 63–68.
5. *Василюк Т.П.* Ефект очищення стічних вод біологічним методом з використанням рослин виду *Eichornia crassipes* Martius за різного гідравлічного навантаження / Т.П. Василюк // Biotechnologia Acta. — 2009. — Т. 2. — № 1. — С. 99–106.
6. *Горский В.Г.* Планирование промышленных экспериментов (модели статики) / В.Г. Горский, Ю.П. Адлер. — М.: Металлургия, 1974. — 264 с.
7. ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб». — М.: Изд-во стандартов, 2000.
8. ISO 7875-1:1996/Cor 1:2003. Water quality — Determination of surfactants — Part 1: Determination of anionic surfactants by measurement of the methylene blue index (MBAS), IDT.
9. ГОСТ Р 51211-98. Вода питьевая. Методы определения содержания поверхностно-активных веществ. Введ. 1999-07-01.