

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВИЩИХ ВОДНИХ РОСЛИН ДЛЯ ДООЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД КОМУНАЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Романчук Л.Д.,

д.с.-г.н., професор кафедри екології лісу та безпеки життєдіяльності

Федонюк Т.П.,

к.с.-г.н., доцент кафедри екології лісу та безпеки життєдіяльності

Пазич В.М.

к.с.-г.н., ст.викладач кафедри екології лісу та безпеки життєдіяльності

Постановка проблеми. Проблема чистої води є однією з найактуальніших проблем початку століття. Для збереження місць забору питної води чистими необхідне якісне **біологічне очищення стічних вод**. Найбільший інтерес і перспективу мають природні і найдешевші біологічні методи очищення, що представляють собою інтенсифікацію природних процесів розкладання органічних сполук живими організмами - гідробіонтами [3]. Багато біологічних очисних споруд запроєктовані ще в середині минулого століття і не відповідають природоохоронним нормативам нашого часу, на даний час з технічних причин не можуть забезпечити дотримання гранично допустимих скидів забруднюючих речовин у природні водойми, у тому числі біогенних елементів [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У зв'язку з цим актуальною стає розробка 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) [1, 2, 5 та ін.]. Є відомості про використання окремих гідрофітів в технологічному процесі біологічного очищення міських стічних вод [5-7 та ін.]. Вища водна рослинність істотно впливає на хімічні властивості води і виступає біологічним фільтром в процесі природного самоочищення водойм. В умовах Полісся України деякі з них вирощували з метою використання для очищення сільськогосподарських і побутових стоків [1, 2]. Однак еколого-біологічні та господарські властивості гідробіонтів вивчені недостатньо в умовах Житомирщини. Тому дослідження питань практичного застосування гідрофітів представляє значний господарський інтерес.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи була апробація способу гідрофітного очищення води, визначення ефекту очищення води в умовах модельних лабораторних систем, а також визначення найбільш перспективних видів гідробіонтів, придатних для використання в даних цілях.

Матеріал і методика дослідження. При постановці дослідів використовували лабораторні модельні системи, що містять гідрофітне завантаження [6]. У посудини з водою, яка надходить на станцію першого підйому КП «Житомирводоканал» (об'єм води – 200 л) поміщали рослини сумарною біомасою (сиря вага): 30-50 г (*E. crassipes*) і 10-20 г (*P. stratioides*). 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.

Аналітичні роботи здійснювали у відповідності з діючими керівними нормативними документами у відділі інструментально-лабораторного контролю Державної екологічної інспекції в Житомирській області.

Результати дослідження та їх обговорення. У період проведення досліджень, враховуючи відносно спекотний період липня-серпня 2015 року, природні води, особливо поверхневі, рідко бувають прозорими. В умовах досліджень вода на момент завантаження в біореактор визначалася як «каламутна». Через 10 днів каламутність води зменшилася, і такі стічні води характеризувалися як «малокаламутні». У наступні два тижні спостерігалось

поліпшення якості стічних вод по даному показнику і в кінці досліду вода характеризувалася як «прозора».

Таблиця 1

Динаміка основних фізико-хімічних показників якості води при гідроботанічній очищенні (КП «Житомирводоканал»)

№ з/п	Показник якості води	Варіант	Період інкубації, діб				
			0	10	20	30	40
1	рН	№1	7,50±0,262	7,10±0,248	7,29±0,255	7,85±0,275	7,88±0,258
		№2	7,53±0,163	7,43±0,260	7,67±0,268	7,86±0,271	7,90±0,275
		№3	7,55±0,284	7,00±0,245	7,30±0,255	7,74±0,279	7,74±0,279
		Контроль	7,52±0,273	7,50±0,262	7,51±0,285	7,54±0,269	7,56±0,266
2	Зважені часточки	№1	6,20±0,217	5,60±0,196	5,50±0,193	4,50±0,158	4,50±0,158
		№2	6,40±0,224	5,60±0,196	5,40±0,189	4,60±0,161	4,50±0,149
		№3	6,00±0,210	5,80±0,203	5,20±0,182	4,80±0,168	4,70±0,165
		Контроль	6,10±0,214	6,00±0,210	6,00±0,210	6,00±0,210	6,00±0,210
3	Аміак (за азотом)	№1	0,79±0,025	0,50±0,015	0,50±0,016	0,51±0,018	0,49±0,017
		№2	0,67±0,023	0,50±0,017	0,50±0,015	0,50±0,015	0,48±0,016
		№3	0,66±0,023	0,57±0,019	0,56±0,019	0,55±0,019	0,52±0,018
		Контроль	0,61±0,035	0,60±0,021	0,60±0,026	0,59±0,026	0,60±0,021
4	Нітрити	№1	0,11±0,004	0,10±0,004	0,66±0,023	0,82±0,029	0,56±0,020
		№2	0,11±0,004	0,08±0,003	0,66±0,024	0,80±0,026	0,56±0,019
		№3	0,12±0,004	0,08±0,003	0,70±0,025	0,84±0,023	0,60±0,022
		Контроль	0,11±0,003	0,10±0,002	0,30±0,011	0,35±0,016	0,45±0,014
5	Нітрати	№1	1,5±0,052	1,40±0,049	1,30±0,046	н.ч.м.*	н.ч.м.*
		№2	1,80±0,063	1,70±0,053	1,30±0,048	н.ч.м.*	н.ч.м.*
		№3	1,80±0,061	1,80±0,061	1,45±0,049	н.ч.м.*	н.ч.м.*
		Контроль	1,75±0,059	1,75±0,050	1,66±0,054	1,50±0,045	1,30±0,046
6	Фосфати	№1	2,76±0,097	2,58±0,090	1,78±0,062	1,30±0,045	0,48±0,017
		№2	2,76±0,097	1,58±0,055	1,40±0,049	1,33±0,047	0,39±0,014
		№3	2,66±0,093	1,60±0,056	1,41±0,049	0,83±0,029	0,49±0,017
		Контроль	2,63±0,092	2,52±0,088	2,53±0,089	2,47±0,086	2,45±0,086
7	ХСК	№1	38,20±1,337	36,60±1,281	22,00±0,770	18,08±0,633	17,06±0,597
		№2	36,80±1,288	36,20±1,267	20,20±0,707	18,40±0,644	18,00±0,630
		№3	34,40±1,204	35,60±1,246	20,20±0,712	18,24±0,638	18,10±0,634
		Контроль	35,80±1,253	35,60±1,251	33,40±1,169	32,90±1,152	32,20±1,127
8	БСК ₅	№1	4,80±0,168	4,60±0,161	2,26±0,079	2,26±0,079	2,25±0,079
		№2	4,60±0,161	4,50±0,158	2,50±0,088	2,50±0,088	2,30±0,081
		№3	4,20±0,147	4,40±0,154	2,30±0,081	2,30±0,081	2,28±0,080
		Контроль	4,80±0,168	4,90±0,172	4,70±0,165	4,60±0,161	4,70±0,165
9	Залізо загальне	№1	0,62±0,022	0,52±0,016	0,38±0,013	0,38±0,013	0,30±0,011
		№2	0,60±0,021	0,50±0,021	0,34±0,012	0,38±0,013	0,28±0,010
		№3	0,58±0,020	0,51±0,018	0,45±0,016	0,46±0,016	0,36±0,013
		Контроль	0,59±0,021	0,58±0,020	0,58±0,020	0,57±0,020	0,54±0,019
11	Сухий залишок	№1	389,0±13,615	373,0±13,055	364,0±12,740	352,0±12,320	342,0±11,970
		№2	375,0±13,125	363,0±12,705	350,0±12,250	336,0±11,760	333,0±11,655
		№3	387,0±13,545	364,0±12,740	360,0±12,600	360,0±12,600	340,0±11,900
		Контроль	386,0±13,510	383,0±13,405	380,0±13,300	379,0±13,265	374,0±13,090
12	Хлориди	№1	56,44±1,975	52,48±1,837	51,12±1,789	52,48±1,837	50,00±1,750
		№2	58,28±2,040	56,80±1,988	55,32±1,936	55,32±1,936	53,12±1,859
		№3	58,64±2,052	58,16±2,036	53,96±1,889	52,48±1,837	52,50±1,838
		Контроль	50,16±1,756	52,50±1,838	51,90±1,817	52,50±1,838	58,50±2,048
13	Сульфати	№1	98,0±3,430	80,0±2,800	80,0±2,814	79,0±2,765	80,0±2,800
		№2	84,0±2,940	76,0±2,660	70,0±2,450	68,0±2,380	70,0±2,450
		№3	82,0±2,870	78,0±2,730	78,0±2,730	74,0±2,590	74,0±2,590
		Контроль	83,0±2,905	82,0±2,870	79,0±2,765	79,0±2,765	83,0±2,905
14	АПАВ	№1	0,10±0,004	0,06±0,002	0,06±0,002	0,05±0,002	0,04±0,001
		№2	0,10±0,004	0,08±0,003	0,07±0,002	0,07±0,002	0,06±0,002
		№3	0,09±0,003	0,07±0,002	0,06±0,002	0,05±0,002	0,05±0,002
		Контроль	0,10±0,004	0,10±0,004	0,10±0,004	0,10±0,004	0,09±0,003

* н.ч.м. - нижче чутливості методу

На момент завершення експерименту загальне зниження вмісту завислих часток Вміст завислих частинок протягом всього періоду досліджень мав тенденцію до зменшення, зокрема у перші 10 днів проведення експерименту їх вміст у варіанті №1 знизився на 10 %, у варіанті №2 – на 13 %, у змішаному фітоценозі (варіант №3) – лише на 3 % (табл. 1., № п / п 2).

найвищим було на варіанті №2 – 30 % та №1 – 27 %, дещо нижчим показник виявився на варіанті №3 – 22 %. На контролі зниження завислих часток практично не фіксувалося (в межах 3 %).

Під час проведення досліджень ми звертали увагу і на групу хіміко-органолептичних показників. рН води – один з найважливіших показників її якості (табл. 1., № п/п 1) і під час вирощування гідробіонтів в умовах досліду цей показник становив 7,0 – 7,9. Однак у варіантах з гідробіонтами у перші 10 днів проходження експерименту спостерігався рух рН вліво у бік нейтралізації води. На варіанті №2, на відміну від інших варіантів, спаду у бік нейтралізації не відбувалось, однак на момент завершення експерименту значення рН було практично ідентичними значенням, отриманим на варіанті №1. На контролі такого інтенсивного варіювання виявлено не було, очевидно це пов'язано з менш інтенсивними біохімічними процесами.

Вміст азоту й фосфору має особливе значення для біологічного очищення стічних вод. До очищення в міських стічних водах азот зустрічається тільки в двох формах – загальній та аммонійній. Окислені форми азоту з'являються після біологічної очистки води, засвідчуючи про повне завершення процесу. Тому, аналіз показників азотного обміну ми здійснювали комплексно з урахуванням можливих процесів перетворення форм вмісту азоту, зокрема протягом усього періоду досліджень вони мали тенденцію до значних коливань, що цілком характерно для споруд біологічної очистки. Очевидно, це пов'язано із високим вмістом аміачного азоту (0,79-0,83 мг/л) на початку експерименту та його перетворенням з аміачної форми у нітритну, а згодом і нітратну (табл. 1., № п/п 4). Особливо помітно знижувався вміст аміаку при культивуванні *E. crassipes* у перші 10 днів експерименту, коли руйнувалося близько третини від його загального вмісту – 38 % у варіанті 1, 28 % – у варіанті №2 і 21 % – у варіанті №3, на контролі вміст аміаку практично не змінювався.

Про інтенсивне окислення аміачної форми азоту при гідрофітному очищенні свідчать і дані динаміки нітрит-іонів (табл.1., № п/п 5), різке їх підвищення після 10-денного періоду ми тісно пов'язуємо із зниженням концентрації аміак-іонів. Поява окислених форм на усіх варіантах з гідробіонтами відбувається практично однаково. Підвищення кількості нітритів на усіх варіантах тривало близько місяця, а далі їх вміст починав спадати, що говорить про засвоєння окислених форм гідробіонтами.

У перші 10 днів проходження експерименту кількість нітрат-йонів змінювалася незначно, починаючи з 10 доби нітрат-йони фіксувалися гідробіонтами, про це говорить спадання концентрації нітрат-йонів на варіантах №№ 1-3. На контролі ж їх вміст змінювався незначно (в межах 5 %). Починаючи з 20 доби концентрація нітратів зменшується. На контролі ж вміст нітратів на кінець експерименту становив 73 % від їх початкового вмісту. Поява окислених форм нітрогену свідчить про глибоке проходження процесу, адже їх підвищення на фоні загального зниження БПК говорить про те, що вуглецьвмістні сполуки інтенсивно окислюються.

Споживання гідрофітами фосфатів відбувалося досить швидкими темпами (табл.1., № п/п 7). На момент завершення експерименту вилучення фосфатів на усіх варіантах було приблизно на одному рівні, 86 % - на варіанті №2, дещо нижчим цей показник виявився на варіантах №1 та №3 – 83 та 82 % відповідно. На контролі ж вміст фосфатів коливався незначно і знизився на момент завершення експерименту на 7 %, що на 75-79 % менше, ніж у варіантах гідрофітного очищення.

Показник ХСК за умови гідрофітного очищення на усіх варіантах мав також тенденцію до зниження. Найінтенсивніше дихромантна окиснюваність знижувалася у період з 10 по 20 добу – 42 %, далі інтенсивність процесу знижувалася і до закінчення експерименту ХСК знизилася на 55 % на варіанті № 1 (табл. 1., № п / п 8). Дещо швидше знижувався даний показник на варіанті № 2 у період з 10 по 20 добу – 45 %, однак кінцевий показник виявився нижчим у порівнянні з варіантом № 1, змішаний фітоценоз (варіант № 3) впливав на зниження ХСК найменше – 41 % – у період з 10 по 20 добу і 47 % наприкінці експерименту. На контролі також спостерігалася тенденція до зниження ХСК, однак даний процес відбувався дуже низькими темпами – лише 7 % – у період з 10 по 20 добу, і лише 10 % наприкінці експерименту.

Біохімічне споживання кисню протягом періоду проведення експерименту мало подібну тенденцію з коливаннями показника ХСК (табл. 1., № п/п 9), зокрема у перші 10 діб проведення експерименту значного варіювання даного показника не спостерігалось, однак з 10 по 20 добу на усіх варіантах гідрофітного очищення спостерігалось різке його спадання: з 4,6 мгО₂/л до 2,26 мгО₂/л, що становить 53 % від його початкового значення на варіанті з ейхорнією (№ 1), з 4,5 мгО₂/л до 2,5 мгО₂/л, що становить 46 % від його початкового значення на варіанті з пістією (№ 2) і з 4,4 мгО₂/л до 2,3 мгО₂/л, що становить 45 % від його початкового значення на варіанті зі змішаним фітоценозом обох культур (№ 3). На контролі зниження БСК₅ практично не фіксувалося і становило лише 4 % від його початкового значення.

Концентрація заліза на усіх варіантах гідрофітного очищення, окрім контролю зменшувалась (табл. 1., № п/п 10). Найінтенсивніше цей процес відбувався на варіанті № 2 – на 17 % протягом 10 діб, а з 10 по 20 добу інтенсивність процесу вилучення заліза зростала і становила 43 %, наприкінці досліджень загальна концентрація заліза знизилася на 53 %. Дещо нижча інтенсивність вилучення заліза спостерігалася на варіанті № 1, зокрема у перші 10 днів вміст заліза знизився на 16 %, з 10 по 30 добу було вилучено близько 39 %, наприкінці досліджень вміст заліза знизився більше ніж на половину (52 %). Ще нижчі показники вилучення заліза спостерігались на варіанті № 3 – лише 12 % у перші 10 діб, наступні 20 діб вміст заліза знизився лише на 22 %, що становить п'яту частину, наприкінці проведення досліджень змішаним фітоценозом вилучено трохи більше третини від загального вмісту заліза (38 %). На контролі по закінченні досліджень вміст заліза знизився на 8 %, що на 30-46% нижче ніж на варіантах з гідрофітного очищення.

В процесі гідрофітного очищення загальна мінералізація води знижувалася досить повільно. На момент завершення експерименту зниження вмісту сухого залишку на усіх варіантах гідрофітного очищення було приблизно на одному рівні і становило 11-12 %, на контролі цей показник змінився лише на 3 %, що на 7-8 % менше ніж на варіантах гідрофітного очищення (табл.1., № п/п 12).

Враховуючи це, крім характеристики показника загальної мінералізації ми провели аналіз вмісту хлоридів і сульфатів. В умовах досліду варіювання вмісту хлоридів було незначним і застосування гідрофітного очищення суттєво не вплинуло на цей показник (9-11 %) (табл. 1., № п/п 13).

Протягом періоду проведення досліджень концентрація сульфатів в воді мала також тенденцію до незначного зменшення. На варіанті №1 у перші 10 діб експерименту вона знизилася на 18 %, на варіанті № 2 – на 17 %. Використання змішаного фітоценозу у варіанті № 3 спричинило зниження концентрації сульфатів лише на 10 % від початкового їх вмісту (табл. 1., № п/п 14). На контролі зниження сульфатів на 5 % відбулося на 20 добу проведення експерименту, однак на момент завершення експерименту їх концентрація повернулася на вихідний рівень.

У досліджених водах АПАР виявлені у концентрації 0,1 мг/дм³. Найкраще процес

біоочистки відбувався у варіанті № 1, де вміст АПАР знизився на 40% протягом перших 10 діб експерименту, а до завершення дослідів їх концентрація знизилася на 60 % (табл. 1., № п/п 15). На варіантах № 2 та № 3 у перші 10 діб АПАР вилучалися лише на 20-22 %, на момент завершення експерименту вміст АПАР знизився загалом на 40-44 %. Зниження даного показника на контролі практично не відбувалося, однак на момент завершення експерименту 10 % їх окислилися в результаті природних фізико-хімічних процесів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Використання гідрофітного завантаження за усіма дослідженими варіантами показало позитивну тенденцію щодо покращення показників якості води, а ефект очистки від поллютантів за деякими показниками становив більше 80 %. Досліджені види гідробіонтів: ейхорнія та пістія рекомендовані для цілей фітореMediaції. Однак серед перспектив дослідження слід відмітити незначну вивченість питань стійкості макрофітів видів *Pistia stratiotes* L. і *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms до підвищеного вмісту особливо агресивних забруднювачів, які могли б зробити вклад у більш обґрунтоване застосування водних рослин з метою відновлення водних об'єктів і фітореMediaції води.

Список літератури

1. Василюк Т. П. Ефект очищення стічних вод біологічним методом з використанням рослин виду *Eichhornia crassipes* Martius за різного гідравлічного навантаження. / Т. П. Василюк // *Biotechnologia Acta*. - 2009. - Т. 2, № 1. - С. 99-106.
2. Використання гідробіонтів виду *Eichhornia crassipes* для очистки стічних вод / Т.П. Василюк // *Екологія довкілля та безпека життєдіяльн.* — 2008. — № 4. — С. 63-68.
3. Винберг Г.Г. Биологические пруды в практике очистки сточных вод / Г.Г. Винберг, П.В Остапеня., Т.Н. Сивко, Р.И. Левина // под ред. Остапеня П.В. – Минск: «Беларусь», 1966. – 231с.
4. Горский В.Г. Планирование промышленных экспериментов (модели статистики) [Текст] / В.Г. Горский, Ю.П. Адлер. – М.: Металлургия, 1974. – 264 с.
5. Carbiner R., Tremolieres M., Mercier S. Aquatic macrophyte communities as bioindicators of eutrophication in calcareous oligosaprobe stream waters // *Vegetatio*. – 1990. – №86. – P. 71-88.
6. Seidel, K. Macrophytes and water purification, in: *Biological Control of Water Pollution*. ,Т. Tourbier, and R W. Pierson, eds., Pennsylvania University Press. Philadelphia. – 1976. – pp. 109-122
7. Zimmles Y, Kirzhner F, Malkovskaja A (2006) Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel. *Journal of Environmental Management* 81: 420-428.