

САНІТАРНА І ТЕХНІЧНА ГІДРОБІОЛОГІЯ

УДК 547.82; 667.6; 574.6

І.О. МОРОЗОВСЬКА, к. б. н., мол. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
ORCID 0000-0003-1795-7485

С.П. РОГАЛЬСЬКИЙ, к. х. н., зав. лабораторії,
Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України,
Харківське шосе, 50, Київ, 02160, Україна

О.В. ДЖУЖА, к. т. н., наук. співроб.,
Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України,
Харківське шосе, 50, Київ, 02160, Україна

О.П. ТАРАСЮК, мол. наук. співроб.,
Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України,
Харківське шосе, 50, Київ, 02160, Україна

О.О. ПРОТАСОВ, д. б. н., проф., пров. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: labtech-hb@ukr.net
ORCID 0000-0002-0204-2007

ЗООПЕРИФІТОН НА АНТИОБРОСТАЮЧИХ ПОКРИТТЯХ ТА ЗМІНИ ЙОГО ЦЕНОТИЧНОЇ СТРУКТУРИ

Досліджено особливості формування угруповань зооперифітону на експериментальних субстратах — покриттях з антиобростаючими властивостями, розробленими на основі промислової алкідної емалі ПФ-167, модифікованої катіонними біоцидами 1-додецилпіридиній олеатом та 1-додецилпіридиній біс(2-етилгексил)-фосфатом. Експериментальні субстрати було експоновано в затоці Канівського водосховища (р. Дніпро). Показано особливості сукцесійних змін угруповань з домінуванням дрейсенід та мохуваток. На відміну від попередніх років досліджень, коли температура в серпні (найвищий розвиток колоній мохуваток) була нижчою, переривання континуальної сукцесії угруповань з домінуванням дрейсенід за рахунок розвитку мохуваток не відбувалось. Встановлено досить високу антиобростаючу здатність покриттів, які містили 8 масових відсотків катіонних біоцидів. В даному дослідженні не виявлено зв'язків ценотичної структури з характером антиобростаючих покриттів.

Ключові слова: водосховище, експериментальні субстрати, антиобростаючі покриття, катіонні біоциди, перифітон, ценотична структура.

Ц и т у в а н н я: Морозовська І.О., Рогальський С.П., Джужа О.В., Тарасюк О.П., Протасов О.О. Зооперифітон на антиобростаючих покриттях та зміни його ценотичної структури. *Гідробіол. журн.* 2024. Т. 60. № 1. С. 99—116.

ISSN 0375-8990. Гідробіологічний журнал. 2024. 60(1)

Обростання гідротехнічних споруд, технологічного обладнання систем охолодження та водопостачання, яке формується різними перифітонними організмами, значною мірою знижує їхні експлуатаційні характеристики, створює додаткове навантаження на конструкцію споруд, а також спричинює корозію металу у водному середовищі і, відповідно, передчасне руйнування об'єктів [3, 5, 16, 26, 28].

Заходи щодо обмеження обростання повинні бути локальними, спрямованими саме в те місце, де виникають біологічні перешкоди, мають бути екологічними і не завдавати шкоди навколишньому середовищу.

Традиційним методом запобігання обростанню металевих поверхонь є нанесення на них захисних полімерних покриттів на основі модифікованих фарб, які містять біоцидні домішки — антифоулянти. Перспективним класом антиобростаючих домішок є катіонні біоциди на основі солей тетраалкіламонію, 1-алкілпіридинію, 1,3-діалкілімідазолію, N-алкілгуанідинію. Такі сполуки проявляють широкий спектр активності проти водних мікро- і макроорганізмів [19, 20, 30] і мають значно меншу токсичність порівняно з олово- та мідьвмісними біоцидами [29]. Фізико-хімічні властивості катіонних біоцидів, зокрема температура топлення, розчинність у воді і органічних розчинниках, можуть варіювати в широких межах підбором відповідних аніонів [24].

За допомогою методу експериментальних субстратів (ЕС) може бути вивчена динаміка суцесійних процесів в угрупованнях гідробіонтів, від ювенільних стадій, на нових субстратах, до клімакських, характерних, типових для даних умов [8, 14, 17]. Суцесійні процеси на ЕС є прийнятною моделлю континууму у часі, тому що, як показали попередні дослідження [10—12, 22], є декілька варіантів проходження суцесій.

Метою роботи було: встановити особливості динаміки угруповань зооперифітону на експериментальних субстратах з різними властивостями, дати оцінку антиобростаючих властивостей покриттів з домішками катіонних біоцидів.

Матеріал і методика досліджень

В роботі досліджено динаміку обростання експериментальних субстратів з захисним покриттям на основі промислової алкідної емалі ПФ-167 (Технобудсервіс, Україна), модифікованої гідрофобними катіонними біоцидами — солями 1-додецилпіридинію, які містять гідрофобні аніони олеат і біс(2-етилгексил)фосфат. Олеат- ($C_{12}Pyr$ -олеат) і біс(2-етилгексил)фосфат ($C_{12}Pyr$ -БЕНР) аніони проявляють властивості інгібіторів корозії металів у прісній і солоній воді [21, 27]. Таким чином, катіонні біоциди, які містять вказані аніони, можуть виконувати функції біфункціональних модифікуючих домішок для захисних полімерних покриттів.

Біоцидну домішку додавали до фарби у кількості 5 масових відсотків і гомогенізували за допомогою змішувача Dispermat® (Німеччина). Було використано експериментальні субстрати розміром $8 \times 2,5 \times 0,05$ см, що пофарбовані в два шари. Загальна товщина покриття становила $300 \pm$

10 мкм. Масу нанесеного покриття визначали за різницею мас пофарбованої і чистої металевих пластин. З урахуванням того, що вміст сухого залишку фарби становить 60 ± 10 %, після висихання покриття вміст біоциду в ньому становив 8 ± 10 %. Були використані такі антиобростаючі покриття: ПФ-167/C₁₂Pyг-ВЕНР (5 %) — далі: «ВЕНР» (16 штук), ПФ-167/C₁₂Pyг-oleate (5 %) — далі: «Олеат» (16 штук). Крім того використовували субстрати, вкриті корабельною алкідною емаллю ПФ-167 («Емаль») — 16 штук та субстрати з полімерного матеріалу — вініласту («Він») — 16 штук. Його ми розглядаємо як інертний субстрат, тому порівняння ефективності покриттів проводили відносно нього («контроль»).

Дослідження проводили протягом 2019—2020 рр. в одній із заток Канівського водосховища нижче за течією від м. Київ. Субстрати були виставлені 25 червня 2019 р. на двох стендах. Температура води при постановці була 28,5°C, прозорість води — 1,5 м. Після експозиції 143 діб (15.11.2019 р.) і останньої зйомки проб один стенд було знято, а другий стенд з чотирма пластинами з покриттями: «ВЕНР», «Олеат», «Емаль», а також з чотирма субстратами «Він» було перевезено до басейну в аквакомплекс Інституту гідробіології НАН України, де він перебував з організмами до весни 2020 р. Після цієї експозиції в басейні, 4.06.2020 р. стенд був знову занурений у воду на тій самій станції (таким чином, експозиція субстратів була 345(0), тобто 345 діб з початку першого експонування і 0 — з другого), температура води — 15,0°C, прозорість — 2,9 м.

Було проведено декілька візуальних оцінок інтенсивності обростання без відбору проб (56, 372(27), 407(62), 453(127) діб) та з відбором проб (35, 78, 120, 143, 470(161) діб по три пластини кожного типу субстрату). З кожним відбором проб кількість субстратів на стендах зменшувалась на три, через це опис субстратів проводили спочатку на 16 пластинах, потім на 13, 10, 7 та 4. Додатково було встановлено 12 чистих пластин з вініластом (далі «Він 2020»).

Слід відмітити, що смертність дрейсени в аквакомплексі виявилась достатньо високою, в перенесених субстратах залишились поодинокі особини, але залишки бісусних ниток та прикріплені мушлі залишились на субстраті.

Стенди для експонування пластин в різні періоди дослідження являли собою просту рамочну конструкцію, що занурювали на глибину 1,5 м з вертикальною орієнтацією площин ЕС. Огляд стендів, відбір ЕС проводили при короткочасному піднятті стендів з води.

Оцінку інтенсивності обростання ЕС проводили при візуальних оглядах при знятті субстратів (з обох боків стенду), а також при аналізі фотографій. Для оцінки інтенсивності розвитку обростання на ЕС застосовували 5-бальну шкалу [22]: 1 бал — окремі організми; 2 — незімкнуте, плямисте обростання, окремі колонії, покриття 10—20 %; 3 — одношарові колонії, однарусні поселення, покриття більш 50 і менше 100 %; 4 — масивні колонії, багаторусні поселення на площі до 100 % субстрату; 5 — суцільне тривимірне масивне обростання, 100 % покриття субстрату. За-

стосовували цілі і дробові величини оцінок: наприклад, при дуже слабкому обростанні — 0,5 бала. Для відбору проб проводили зйомку кожної пластини в окрему ємкість.

Оцінку динаміки інтенсивності обростання на кожному покритті порівняно з вініпластом проводили за період з 2019—2020 рр., де інтенсивність обростання, оцінена у балах, на вініпласті була взята за 100 %.

Статистичну обробку даних проводили за допомогою пакета Microsoft Excel для розрахунків середніх значень та стандартного відхилення.

Гідробіологічну розборку проб зооперифітона проводили під стереомікроскопом МБС-10. В таблицях 1 і 2 вказано середній бал, чисельність, біомасу $\pm$ стандартне відхилення (σ).

Для опису таксономічного багатства безхребетних використовували термін НІТ — нижчий ідентифікований таксон [2]. В розрахунках кількісних показників (чисельність, біомаса, деструкція) гідробіонтів застосовували оригінальний пакет програм WaCo для ПЕВМ [6, 23].

Виділення угруповань проводили за розподілом домінантів, і вони були названі за домінуючим НІТ, що займали 50 % чи більше показника деструкції (R, Дж/м²·год).

Для оцінки подібності виділених угруповань було застосовано кластерний аналіз за методом Брея-Кертиса за допомогою програми Biodiversity Pro 2.0 [18], з порогом подібності 50%. Також для оцінки подібності складу угруповань використовували індекс Серенсена.

Структуру домінування в угрупованнях було досліджено за допомогою кривих домінування-різноманіття [1, 15].

Результати досліджень

На кінець липня (експозиція 35 діб) субстрати були майже позбавлені обростання. У 2020 р., при першій зйомці ЕС домінувала мохуватка, до 25 % (табл. 1).

До початку серпня у 2019 р. на антиобростаючих покриттях спостерігалось обростання субстратів колоніями мохуватки 23—50 %, на «Він» — мохуваткою та дрейсеною до 100 %. У 2020 р. (експозиція 407(62 діб)) на антиобростаючих покриттях відмічено добре розвинені колонії мохуватки до 50—90 %, на «Він» — мохуваткою та дрейсеною від 20 до 100 % покриття.

До листопаду 2019 р. відбувався розвиток поселень дрейсени, бали інтенсивності обростання на антиобростаючих покриттях та на «Він» вказані в таблиці 1. У 2020 р. (експозиція 470(161) діб) на 75 % пластин відмічено колонії відмерлої мохуватки, площа субстрата, зайнята нею, складала до 70 % пластини. На субстратах з антиобростаючим покриттям поселення з дрейсеною займали 20—50 % субстрата. На «Він» — поселення дрейсени (невеликі друзи) досягали 80 %, була одна пластина з 100 % покриттям. Таким чином, спостерігались істотні зміни в складі домінантів в ході сукцесії, загального габітусу обростання і його масивності та рясності (див. табл. 1).

Таблиця 1
Характеристики умов середовища, габітуальна та кількісна оцінка обростання на експериментальних субстратах у 2019—2020 рр.

Експозиція, доба/Температура, °С/Прозорість води, м	Експериментальні субстрати	Характер обростання	Ступінь розвитку обростання середній бал ± σ	*Біомаса, г/м ² ± σ
35/25,1/1,6	«ВЕНР» (n = 16)	100 % відсутність макроформ	0,4±0,7	34,3±55,0
	«Олеат» (n = 16)	100 % відсутність макроформ	0,4±0,7	2,0±0,5
	«Емаль» (n = 16)	На 80 % пластин відсутність макроформ, на 19 % ЕС — окремі колонії мохуватки до 40 % покриття субстрату	0,9±1,1	7,6±4,5
	«Він» (n = 16)	44 % пластин поодинокі організми, на 31 % добре розвинені двомірні обростання мохуваткою	2,1±1,2	15±2,2
	«ВЕНР» (n = 13)	46 % субстратів без макроформ, на 23 % ЕС окремі колонії мохуватки, на 15 % — окремі колонії дрейсени — 20 %	1,4±0,7	—
	«Олеат» (n = 13)	85 % окремі організми до 20 % покриття, 15 % — групи колоній мохуватки до 50 %	1,8±1,1	—
56/23,6/1,7	«Емаль» (n = 13)	85 % ЕС окремі колонії мохуватки, поодинокі особини дрейсени, на 15 % групи колоній мохуватки і скупчень дрейсени до 50 %	2,1±0,6	—
	«Він» (n = 13)	На 7 % — добре розвинуті 3-вимірні обростання мохуваткою та дрейсеною — 100 % покриття, на 92 % ЕС — групи колоній мохуватки та дрейсени до 50 %	3,0±1,0	—
	«ВЕНР» (n = 13)	На 77 % ЕС немає макроформ, 15 % агрегації скупчення дрейсени до 50 %, на 8 % ЕС — колонія мохуватки до 50 %	1,2±0,7	55,9±51,2
	«Олеат» (n = 13)	На 69 % ЕС немає макроформ, На 31 % ЕС — окремі дрейсени до 10 %	1,1±0,4	62,6±51,2
78/22,2/1,8				

Продовження табл. 1

Експозиція, доба/Температура, °С/Прозорість води, м	Експериментальні субстрати	Характер обростання	Ступінь розвитку обростання середній бал ± σ	*Біомаса, г/м² ± σ
120/12,8/2,7	«Емаль» (n = 13)	На 85 % ЕС агрегації скупчення дрейсени 25—30 %, на 15 % — щітки дрейсени до 50 %	1,8±0,6	71,0±30,7
	«Він» (n = 13)	77 % ЕС щітки дрейсени до 60 % покриття, 8 % ЕС — мохуватка до 50 %, одиночно губка 10 %	2,4±1,0	895,6±500,4
	«ВЕНР» (n = 10)	На 90 % ЕС агрегації скупчення дрейсени до 25 %, губка 15 %, мохуватка до 20 %, на 10 % ЕС — 3-вимірні друзи дрейсени до 80 %	1,8±0,7	279,5±234,9
	«Олеат» (n = 10)	На всіх 10 ЕС окремі особини дрейсени, покриття 10—15 %	1,4±0,4	87,5±92,4
	«Емаль» (n = 10)	На 60 % ЕС від поодиноких до агрегації скупчення дрейсени, на 40 % ЕС щітки дрейсени до 80 %	2,3±0,8	1219,3±1025,3
	«Він» (n = 10)	На 20 % ЕС — друзи дрейсени 100 %, на 40 % ЕС щітки дрейсени 50—80 %, на 40 % ЕС — поодинокі і окремі скупчення дрейсени	2,6±1,0	6654,4±6444,1
143/9,3/3,6	«ВЕНР» (n = 7)	На 71 % ЕС — дрейсена одиночно, 14 % ЕС двомірні друзи до 90 %, 14 % ЕС — друзи дрейсени 25 %	1,8±1,0	388,9±625,2
	«Олеат» (n = 7)	На 100 % ЕС — поодинокі особини дрейсени до 10 %	1,7±0,9	430,5±343,8
	«Емаль» (n = 7)	На 43 % групи щіток дрейсени до 50 % покриття, на 43 % поодинокі скупчення дрейсени — до 20 %, на 14 % — двомірні друзи дрейсени 90 % покриття	2,6±0,8	2245,5±1817,0

Продовження табл. 1

Експозиція, доба/Температура, °С/Прозорість води, м	Експериментальні субстрати	Характер обростання	Ступінь розвитку обростання середній бал ± σ	*Біомаса, г/м² ± σ
372(27)** 27.4/2,2	«Він» (n = 7)	На 14 % ЕС — 3-вимірні друзи дрейсени — 100 % покриття; на 57 % — агрегації скупчень щіток дрейсени 50—70 %, на 29 % великі скупчення дрейсени 10—20 % і губка до 10 %+мохуватка — залишки до 10 %	2,5±0,9	5891,7±4525,8
	«ВЕНР» (n = 4)	На 75 % ЕС — без макроформ 25 %, мохуватка 25 %, окремі особини дрейсени 15 %	1,1±0,9	—
	«Олеат» (n = 4)	75 % окремі колонії мохуватки 10—25 %, на 25 % — мохуватка 50 %	1,5±1,3	—
	«Емаль» (n = 4)	На 75 % ЕС — мохуватка 50—70 %, окремі особини дрейсени — 10 %, на 25 % 3-вимірні бугрові колонії мохуватки — 100 % покриття	3,3±1,5	—
	«Він» (n = 4)	На 50 % ЕС — бугрові 3-вимірні колонії мохуватки — 100 % покриття субстрату, на 25 % ЕС — колонія мохуватки — 80 % покриття, на 25 % ЕС агрегації скупчення дрейсени — 50 % покриття	3,6±1,8	—
407(62)/25,3/1,8	«ВЕНР» (n = 4)	На 75 % — мохуватка 50—90 %, на 25 % — окремі агрегації скупчення дрейсени 15 %	3,4±0,5	—
	«Олеат» (n = 4)	На всіх 4-х ЕС — покриття мохуваткою від 50 до 80 %, окремі особини дрейсени	3,9±0,6	—
	«Емаль» (n = 4)	На 75 % ЕС мохуватка 50—90 %, маленькі агрегації щіток дрейсени, на 25 % бугристі колонії мохуватки до 50 %	4,0±0,2	—

Продовження табл. 1

Експозиція, доба/Температура, °С/Прозорість води, м	Експериментальні субстрати	Характер обростання	Ступінь розвитку обростання середній бал $\pm \sigma$	*Біомаса, г/м ² $\pm \sigma$
442(97)/22,0/1,5	«Він» (n = 4)	Габітус обростання нерівномірний, на всіх 4-х субстратах різне обростання організмами: на першій ЕС — мохуватка 20 %; на другій — дрейсена 10 %; на третій ЕС — 3-вимірне покриття 100 % мохуваткою і дрейсеною, на 4 ЕС статобласти мохуватки до 25 %	3,1 $\pm$ 1,4	—
	«ВЕНР» (n = 4)	На 25 % щіпки дрейсени 25 % + мохуватка 50 %, на 75 % — мохуватка до 90 % покриття	3,3 $\pm$ 0,6	—
	«Олеат» (n = 4)	На 25 % ЕС мохуватка 90 %, на 75 % мохуватка до 60 % + агрегації скупчення дрейсени 20 %	3,3 $\pm$ 0,7	—
	«Емаль» (n = 4)	На 75 % ЕС групи колоній мохуватки до 70 % + агрегації скупчення дрейсени 25 %, на 25 % ЕС — колонії мохуватки до 50 %	3,4 $\pm$ 0,5	—
	«Він» (n = 4)	На 75 % ЕС — мохуватка до 50 %, на 25 % ЕС — 100 % покриття 3-вимірними друзами дрейсени, зверху на дрейсені 10 % мохуватки	2,9 $\pm$ 1,1	—
	«ВЕНР» (n = 4)	На 75 % ЕС — тільки мохуватка 50—70 %, на 25 % — агрегації скупчення дрейсени 50 %, мохуватка	3,4 $\pm$ 0,5	—
	«Олеат» (n = 4)	На 75 % ЕС агрегації скупчення дрейсени 20 %, мохуватка до 50 %, на 25 % ЕС мохуватка до 80 %, окремі особини гаммарид	3,7 $\pm$ 0,3	—
	«Емаль» (n = 4)	На 75 % ЕС гаммариди, агрегації скупчення дрейсени до 50 %, мохуватка 50 %, на 25 % ЕС — мохуватка 50—90 %	3,7 $\pm$ 0,5	—
453(127)/17,3/2,1	«Він» (n = 4)	На 75 % ЕС мохуватка до 90 %, окремі дрейсени 5 %; на 25 % ЕС — 100 % друзи дрейсени 3-вимірні	3,8 $\pm$ 0,5	—

Продовження табл. 1

Експозиція, доба/Температура, °С/Прозорість води, м	Експериментальні субстрати	Характер обростання	Ступінь розвитку обростання середній бал ± σ	*Біомаса, г/м² ± σ
470(161)/9,4/3,3	«ВЕНР» (n = 4)	На 75 % ЕС залишки мохуватки до 50—70 %, окремі особини дрейсени 5 %, на 25 % ЕС друзи дрейсени 50 %	3,0±0,6	432,7±725,7
	«Олеат» (n = 4)	На 75 % — залишки мохуватки до 50 %, окремі особини дрейсени 5 %; на 25 % ЕС агрегації скупчення дрейсени 20 %	2,6±0,6	188,7±228,2
	«Емаль» (n = 4)	На 75 % ЕС залишки мохуватки — до 30 %, окремі особини дрейсени до 10 %; на 25 % ЕС друзи дрейсени 70 %	3,2±0,7	1195,2±1593,3
	«Він» (n = 4)	На 57 % ЕС — залишки мохуватки до 20 %, на 29 % — друзи дрейсени до 80 %, на 14 % — 3-вимірні друзи дрейсени 100 %	3,7±1,4	21345,9±3334,4

Примітка. * Значення біомаси вказано для тих експозицій, де був відбір проб. ** В описі перша цифра — це експозиція, якщо рахувати експозиції як продовження з 2019 р., в дужках вказано, якою була експозиція, якщо її рахувати як початок нової серії.

Динаміка інтенсивності обростання характеризувалася досить різким підйомом на перших етапах розвитку обростання (рис. 1). При чому, якщо в 2019 р. максимум було досягнуто при експозиції 56 діб, то при повторній експозиції у 2020 р. цей процес був більш динамічним, особливо на субстратах, які було перенесено з басейну.

Бальна оцінка дає змогу приблизно виразити саме ступінь розвитку обростання, але необхідно з'ясувати, в якому співвідношенні знаходиться бальна оцінка з оцінкою рясності (біомаса). Як видно на рисунку 2, ці показники пов'язані певною залежністю, при якій збільшення на 1 бал приблизно дорівнює збільшенню на 1 порядок величин біомаси. Цей висновок співпадає з отриманими в попередні роки досліджень [22].

Слід звернути увагу на поле точок (6 % від загальної кількості точок), яке показує невелике значення біомаси при досить високій оцінці інтенсивності обростання в балах. Дослідження рясності показали, що при великому «обрості» (оцінка 3-4 бала) у вигляді залишків колоній мохуваток, біомаса живих організмів була невеликою (порядка 10 г/м²).

Таким чином, можна зробити висновок, що динаміка показника інтенсивності обростання (в балах) адекватно відображає динаміку біомаси.

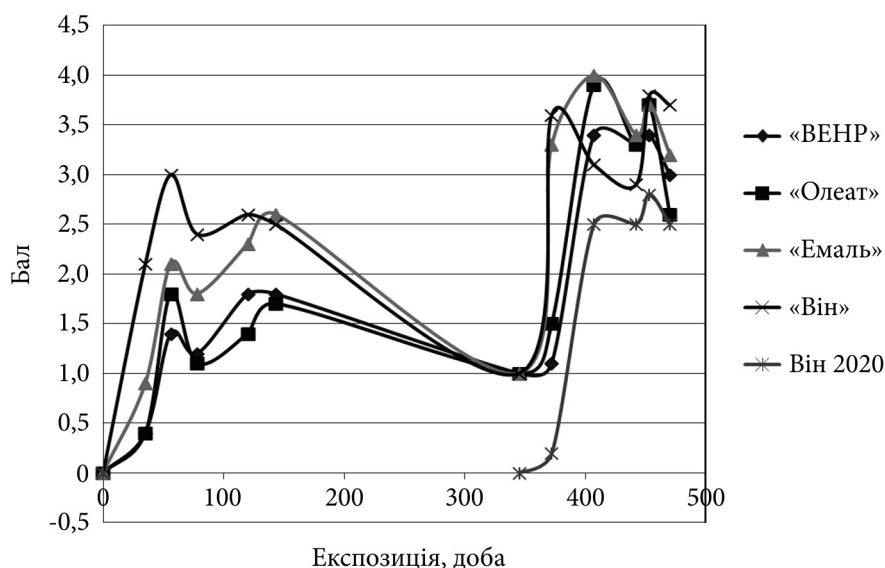


Рис. 1. Оцінка інтенсивності обростання на ЕС для обох сторін, у балах

Виділення угруповань. На підставі оцінки подібності відносних показників дихання, на всіх покриттях та на інертному субстраті було виділено шість угруповань. Їхні характеристики представлені в таблиці 2.

Угрупування *Dreissena polymorpha* (Pallas), на відміну від інших угруповань, було самим розповсюдженим. Воно зустрічалось 12 разів у різних серіях експозицій з 78 до 470 (161) діб (див. табл. 2). Різні варіанти угруповання *D. polymorpha* мали деякі особливості. Лише два види у складі цих угруповань були відмічені на всіх покриттях, до них відносились личинки волохокрильців *Ecnomus tenellus* (Rambur), *Dreissena bugensis* (Andr.) Ці угруповання зустрічались лише восени — з вересня по листопад. Отже, можна зробити висновок, що для формування угруповань *D. polymorpha* потрібно більше часу, ніж для інших.

Угрупування *Plumatella fungosa* (Pallas) було відмічено тільки на покритті «ВЕНР» і зустрічалось один раз в літній період. Лише в цьому угрупованні були відмічені Hydra та Gastropoda.

В угрупованні *D. bugensis* + *D. polymorpha*, на відміну від інших угруповань, були відмічені Nematoda та Hirudinea.

Незважаючи на те, що угруповання з домінуванням дрейсенід зустрічались на різних субстратах, на «Він» вони були з самою великою біомасою (див. табл. 2).

Порівняння складу угруповань за індексом Серенсена показало, що угруповання з домінуванням *D. polymorpha* і навіть *D. polymorpha* + *P. fungosa* мали значні показники подібності — від 0,63 до 0,88. До цієї групи долучаються угруповання *D. polymorpha*+*D. bugensis*, з коефіцієнтом подібності Серенсена 0,72—0,81, а угруповання *D. bugensis* не мали значної

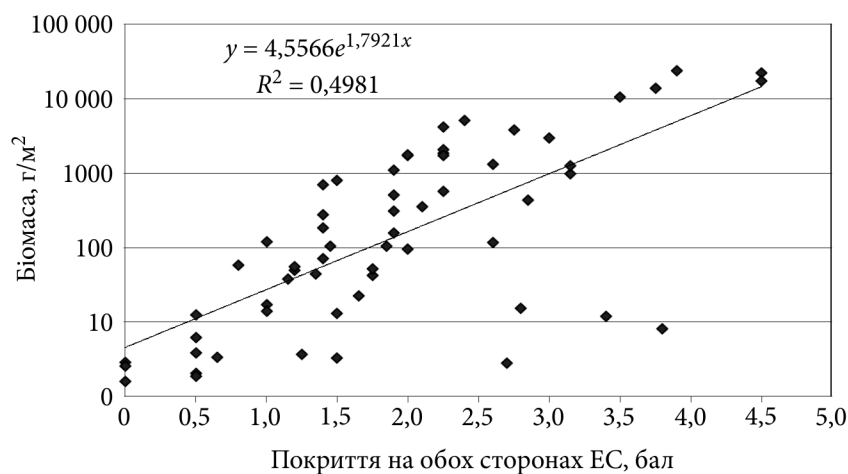


Рис. 2. Співвідношення біомаси та інтенсивності обростання на ЕС

подібності з цією групою, вони складали окрему групу і не були пов'язані з іншими угрупованнями значними зв'язками подібності.

Динаміка змін угруповань на різних субстратах (сукцесійні зміни). На покритті «ВЕНР» на 35-ту добу було угруповання з домінуванням мохуватки *P. fungosa*, яке з часом, на 78-му добу змінилось угруповання *D. polymorpha*, яке спостерігалось в подальші експозиції (табл. 3).

На покриттях «Олеат» та «Емаль» майже всю експозицію домінували угруповання дрейсенід. При першій експозиції було угруповання *D. buggensis*, яке на наступну експозицію змінилось на угруповання *D. polymorpha* + *P. fungosa*, і в подальшому змінилось на угруповання *D. polymorpha*.

На «Він» була характерна повна відсутність угруповань з домінуванням мохуватки.

Оцінка біоцидних властивостей покриттів. Різниця загального габітусу обростання на покритті «Олеат» та «Він» була суттєвою: на «Олеаті» покриття субстрату було, згідно таблиці 1 та рисунку 3 а, б, 30—40 % (2,6 бала), на «Він» — 80—100 % (3,7 бала).

Дослідження показали, що на перший рік експонування субстратів на покриттях та на «Емалі» інтенсивність обростання була нижчою, ніж на інертному субстраті («Він»), що може свідчити про те, що покриття мали певну біоцидну дію, яка не давала розвиватись обростанню. На наступний рік, починаючи з 407—442 доби експонування субстратів, обростання було більшим, ніж на «Він», але потім цей показник знижувався (рис. 4).

Динаміка чисельності та біомаси на покриттях. В усі зйомки експозиції на покриттях та на емалі чисельність відносно «Він» була нижчою. По біомасі відмічено практично аналогічну картину (за виключенням однієї пластини, на якій сформувалась велика колонія мохуватки). Але вже починаючи з 78-ї доби показники біомаси були нижчими: в середньо-

Таблиця 2
Характеристика угруповань перифігона на вініпласті і необростаючих покриттях (середнє ± стандартне відхилення)

№	Угрупування	Експозиція, доба	Субстрат	НІТ	N, екз/м²±σ	H _N , біт/екз	H _B , біт/г	H _R , біт/Дж·год
1	<i>D. bugensis</i>	35	«Олеат» «Емаль» «Він»	8 7 9	3082±1089 6596±1915 18 862±2491	2,685 2,035 1,494	1,693 1,169 0,621	2,305 1,899 1,397
2	<i>D. polymorpha</i> + <i>P. fungosa</i>	78	«Олеат» «Емаль» «ВЕНР»	6 8 7	3019±1109 5106±1843 4575±3012	2,104 2,195 2,406	0,810 0,589 0,730	1,524 1,513 1,657
3	<i>D. polymorpha</i>	78 78 120	«Він» «ВЕНР» «Олеат» «Емаль» «Він» «ВЕНР»	11 10 9 9 12 9	24 681±10359 7184±2356 3258±2025 16 389±13309 69 706±59 180 3891±4151	1,809 2,175 2,448 1,623 1,624 2,267	0,456 0,417 0,314 0,155 0,288 0,569	1,113 1,237 1,241 0,538 0,634 1,075
		143	«Олеат» «Емаль» «Він» «ВЕНР»	10 9 12 9	2559±1730 18 841±13 161 52 667±24 846 2183±1214	2,339 2,050 1,710 2,442	0,053 0,425 0,361 0,473	0,418 0,782 0,560 1,091
4	<i>P. fungosa</i>	470 (161)	«ВЕНР» «Емаль»	11 12	8182±5685 6855±851	2,976 2,966	0,656 0,890	1,262 0,835
5	<i>D. polymorpha</i> + <i>D. bugensis</i>	35 470 (161)	«ВЕНР» «Олеат»	15 16	2654±1767	3,563	1,148	2,259
6	<i>D. bugensis</i> + <i>D. polymorpha</i>	470 (161)	«Він»	12	92 347±15 317	2,092	1,012	1,177

Таблиця 3

Динаміка угруповань за період досліджень 2019—2020 рр.

Субстрати	Експозиція				
	35	78	120	143	470(161)
«ВЕНР»	<i>P. fungosa</i>	<i>D. polymorpha</i>	<i>D. polymorpha</i>	<i>D. polymorpha</i>	<i>D. polymorpha</i>
«Олеат»	<i>D. bugensis</i>	<i>D. polymorpha</i> + <i>P. fungosa</i>	<i>D. polymorpha</i>	<i>D. polymorpha</i>	<i>D. polymorpha</i> + <i>D. bugensis</i>
«Емаль»	<i>D. bugensis</i>	<i>D. polymorpha</i> + <i>P. fungosa</i>	<i>D. polymorpha</i>	<i>D. polymorpha</i>	<i>D. polymorpha</i>
«Він»	<i>D. bugensis</i>	<i>D. polymorpha</i>	<i>D. polymorpha</i>	<i>D. polymorpha</i>	<i>D. bugensis</i> + <i>D. polymorpha</i>

му біомаса на «ВЕНР», «Олеаті», «Емалі» складала відповідно 4,8, 6,0 та 24,2 % від біомаси на «Він».

Обговорення результатів досліджень

Таким чином, дослідження перифітону на експериментальних субстратах в Канівському водосховищі, які проводяться вже багато років [10, 14, 22, 25] показали, що відбуваються деякі зміни в домінуючих комплексах перифітону та показниках рясності. Було описано шість типів угруповань, що мали однакових домінантів, які на різних субстратах та при різних експозиціях були представлені 20 варіантами. На відміну від минулих років, в цьому дослідженні було виділено лише один раз угруповання з домінуванням мохуватки *P. fungosa*, в той час як у 2014—2015 рр. монодомінантне угруповання *P. fungosa* відрізнялось великою зустрічальністю в серіях різних експозицій і на різних покриттях було відмічено сім разів. Також угруповання *P. fungosa* з содомінантом зустрічалися в період досліджень 2014—2015 рр. 11 разів.

Одним з найбільш розповсюджених у часі та на різних субстратах у цьому дослідженні було угруповання *D. polymorpha* (див. табл. 2). Тільки для угруповань дрейсени та мохуватки було достатньо виражене домінування.

Структура угруповань проаналізована у вигляді так званих кривих домінування-різноманіття [1, 15]. Виявлено три типи кривих домінування-різноманіття з різним ступенем домінантів: 1 тип — угруповання *P. fungosa*, в меншому ступені *D. polymorpha*; 2 тип — содомінантний *D. bugensis* + *D. polymorpha*; 3 тип — інші угруповання, в яких домінування було практично не вираженим.

Аналіз НІТ-різноманіття (див. табл. 2) показав, що існує виражена тенденція зниження різноманіття з ростом часу експозиції, яка пов'язана з розвитком однієї домінантної форми (*D. polymorpha* чи *P. fungosa*). Показники значень НІТ різноманіття за чисельністю для всіх угруповань були в діапазоні 1,5—3,5 біт/екз (в середньому — 2,3 біт), в той час як

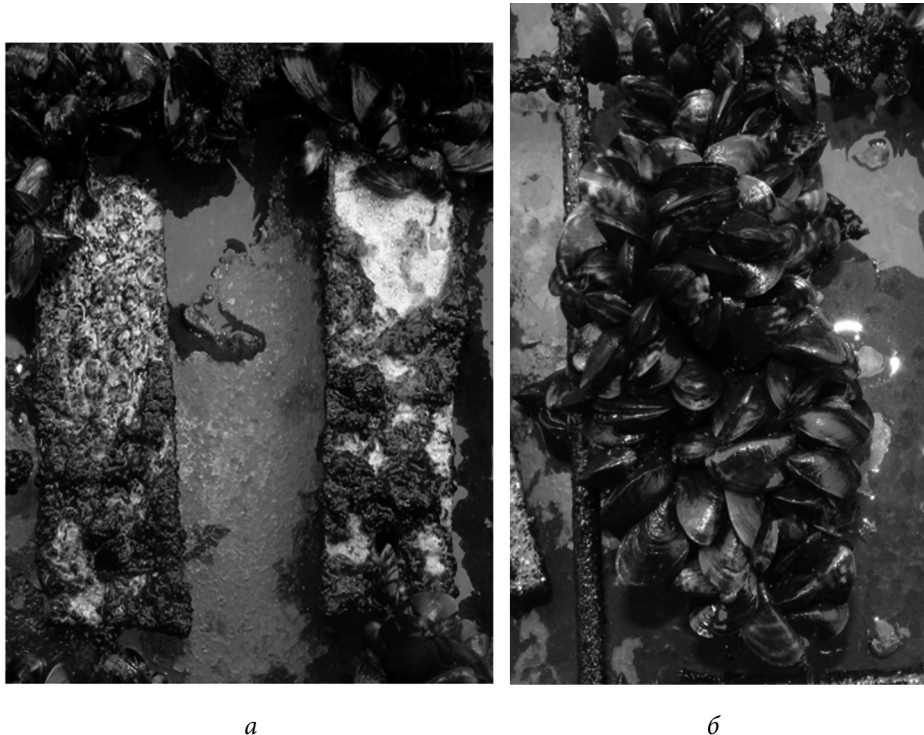


Рис. 3. Загальний вигляд субстратів: *а* — покриття «Олеат»; *б* — «Він» на 470(161) добу (12.11.2020)

різноманіття за біомасою було відповідно 0,1—1,7 (0,6) біт/г, тобто домінування за біомасою було більш значним, тобто вирівненість меншою. Взаємозв'язок між показниками різноманіття (за чисельністю та біомасою) був досить слабким для $H_N - H_B$ ($R^2 = 0,199$; $r = 0,45$) та $H_N - H_R$ ($R^2 = 0,187$; $r = 0,43$). В той же час, взаємозв'язок між H_B та H_R був значно тіснішим: $R^2 = 0,579$; $r = 0,76$).

Як відомо [4, 7, 8, 13], дрейсеніди утворюють складні угруповання різного типу, з яких найбільш рясними були угруповання з розвинутою просторовою структурою, угруповання консортивного типу. Угруповання типу первинно-агрегованого домінанта [8, 9], тобто поселення дрейсени, особливо на «Він», були у вигляді щільних щіток. По літературним даним [8], діапазон біомаси в угрупованнях такого типу є від 100 до 1000 г/м², а в нашому дослідженні діапазон біомаси був від 895,6 до 21 345,9 г/м². Діапазон видового різноманіття, за літературними даними, був від 0,1 до 1 біт/г, а в нашому дослідженні — від 0,4 до 1 біт/г (див. табл. 2). Окрім того в попередніх дослідженнях перифітону було виділено декілька угруповань з домінуванням мохуваток [8]. У Рибінському водосховищі також зустрічались колонії мохуваток, в яких поселялися молюски: в цих колоніях, масою порядку 10 г, «було відмічено до 200 екземплярів дрейсени розміром від 0,2 до 10 мм» (цит. по [4], с. 187).

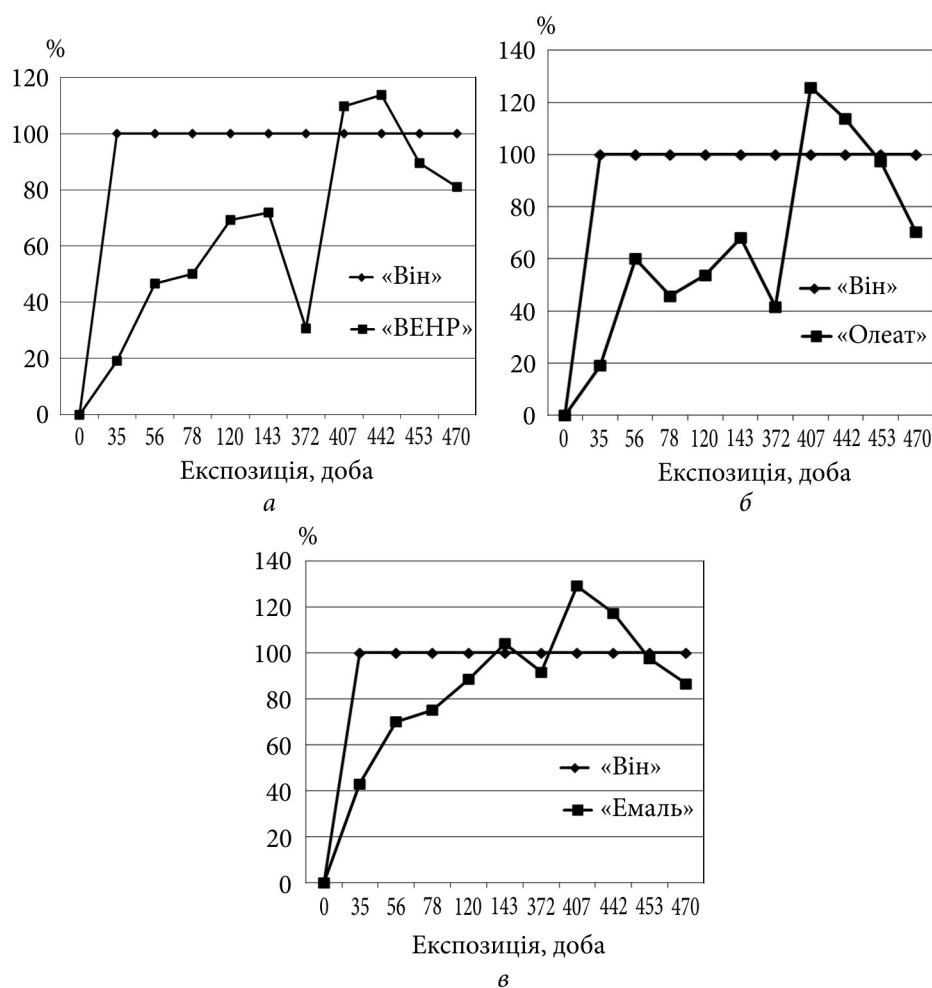


Рис. 4. Порівняння інтенсивності обростання субстратів з антиобростаючим покриттям та «Він»: а — покриття «ВЕНР»; б — покриття «Олеат»; в — «Емаль» з інтенсивністю обростання на «Він» у 2019—2020 рр.

В 2020 р., як по бальним оцінкам, так і по оцінці біомаси, при останній експозиції на всіх субстратах біомаса була вищою, ніж у 2019 р. (див. табл. 1, рис.1). Можна припустити дві гіпотези. В 2020 р. були більш сприятливі умови для розвитку всіх видів перифітону, тому його розвиток йшов більш інтенсивно. Однак при порівнянні динаміки розвитку обростання на «Він» серії 2019—2020 рр. та нової серії, де «Він» був виставлений з нуля у 2020 р. (див. рис. 2), було відмічено, що на «Він» у 2019 і 2020 рр. динаміка розвитку зооперифітону була достатньо схожою. Окрім того, на більш сильну інтенсивність обростання після другої постановки субстратів могло вплинути те, що на них залишилася невелика кількість живої дрейсени та багато залишків бісуса, мушель, тобто поверхня субстрату була сильно модифікована попереднім обростанням. Ці фактори створи-

ли сприятливі умови для розвитку зооперифітону. Можливо, після дворічної експозиції субстратів покриття на субстратах «ВЕНР» та «Олеат» суттєво знизили свою біоцидність.

Щодо характеру континуальності сукцесійного процесу треба зазначити, що переривання сукцесії угруповання з домінуванням дрейсени не відбулося в даному дослідженні, як це було в минулі роки [10, 14]. Мохуватка була виявлена в малій кількості, не створювала масивні колонії і не перешкождала поступовому розвитку дрейсенових угруповань. Можна припустити, що це відбулося тому, що влітку 2019—2020 рр. температура води була дещо нижчою, ніж у попередні роки: так, температура у серпні 2014 р. була 27,0°C, а у 2019 р. — 23,0°C та у 2020 р. — 25,3°C.

Бальна оцінка враховує інтенсивність «обросту» і корелює з показниками біомаси (див. рис. 2). Можна зробити висновок, що ці два методи оцінки рясноти обростання для подальшої оцінки біоцидності доповнюють один одного.

Висновки

Дослідження ценотичної структури та характеру угруповань показали, що відсутня приуроченість до певних субстратів якогось окремого угруповання чи групи однойменних угруповань, за винятком угруповання *P. fungosa*, що сформувалось тільки на покритті «ВЕНР».

Попередні дослідження також показали відсутність зв'язку розвитку окремих угруповань з тим чи іншим субстратом. Ценотична структура перифітону, саме при таких домінуючих формах та такому складі угруповань, не може бути в повній мірі використана як показник біоцидності.

Можна зробити висновок, що покриття «ВЕНР» та «Олеат» заслуговують уваги для подальшого дослідження та розробок в якості ефективного необростаючого покриття.

Список використаної літератури

1. Афанасьев С.А., Летицкая Е.Н. Структура доминирования-разнообразия сообществ донных макробеспозвоночных в реках Карпат. *Гидробиол. журн.* 2019. Т. 55, № 2. С. 3—17.
2. Баканов А.И. Использование характеристик разнообразия зообентоса для мониторинга состояния пресноводных экосистем. *Мониторинг биоразнообразия.* Москва, 1997. С. 278—282.
3. Биологические обрастания в системе питьевого и технического водоснабжения и меры борьбы с ними / Под ред. Г.И. Долгова. Москва : Наука, 1969. 110 с.
4. Дрейссена (*Dreissena polymorpha* (Pall.) (Bivalvia, Dreissenidae): Систематика, экология, практическое значение / Под ред. Я.И. Старобогатова. Москва : Наука, 1994. 240 с.
5. Лебедева Г.Д. Экология обрастаний в пресных водах. *Экологические основы защиты от биоповреждений.* Москва : Наука, 1985. С. 78—85.
6. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В.Д. Романенка. Київ : Логос, 2006. 408 с.
7. Морозовская И.А. Формирование сообществ дрейссены и мшанки на экспериментальных субстратах в перифитоне Каневского водохранилища: тез. докл. наук.-практ. конф. молодых ученых «Сучасна гідроекологія: місце наукових дос-

ліджень у вирішенні актуальних проблем» (6—7 жовт. 2016 р., Київ). Київ, 2016. С. 39—41.

8. Протасов А.А. Пресноводный перифитон. Киев : Наук. думка, 1994. 307 с.
9. Протасов А.А., Афанасьев С.А. О пространственных типах поселений дрейссены в водоеме-охладителе Чернобыльской АЭС. *Журн. общ. биологии*. 1984. 45, № 2. С. 272—277.
10. Протасов А.А., Морозовская И.А., Гурьянова Г.А., Ласковенко Н.Н. Исследования полимерных необрастающих покрытий в условиях Каневского водохранилища. *Наук. зап. Терноп. пед. ун-ту. Сер. Біологія. Спец. Вип. Гідроекологія*. 2015. № 3—4 (64). С. 561—564.
11. Протасов А.А., Морозовская И.А., Ласковенко Н.Н. Использование метода экспериментальных субстратов в мониторинге биологических помех в работе систем водоснабжения и тестировании необрастающих покрытий. *Ядерна енергетика та довкілля* 2018. № 1 (11). С. 54—58.
12. Протасов А.А., Морозовская И.А., Ласковенко Н.Н., Рогальский С.П. Состав и структура зооперифитона на экспериментальных субстратах в Каневском водохранилище. Многолетний аспект. *Гидробиол. журн.* 2019. Т. 55, № 3. С. 3—19.
13. Протасов А.А., Юришинец В.И., Морозовская И.А. Консорция и консортивные отношения в гидробиоценозах. *Гидробиол. журн.* 2010. Т. 46, № 3. С. 3—18.
14. Скальская И.А. Зооперифитон водоемов бассейна Верхней Волги. Рыбинск : Б.и., 2002. 256 с.
15. Уиттекерт Р. Сообщества и экосистемы. Москва : Прогресс, 1980. 324 с.
16. Шиманский Б.А. Биологические помехи в эксплуатации систем технического водоснабжения тепловых электростанций и методы борьбы с ними. *Гидробиол. журн.* 1968. Т. 4, № 3. С. 93—94.
17. Artificial substrates / Ed. by Cairns J. Collingwood Ann Arbor Scie. Publ. 1982. P. 279.
18. Bray J.R., Curtis J.T. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.* 1957. Vol. 27. P. 325—349.
19. Cornellas A., Perez L., Comelles F. et al. Self-aggregation and antimicrobial activity of imidazolium and pyridinium based ionic liquids in water solutions. *J. Colloid. Interface Sci.* 2011. Vol. 355. P. 164—171.
20. Costello D.M., Brown L.M., Lamberti G.A. Acute toxic effects of ionic liquids on zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) survival and feeding. *Green. Chem.* 2009. Vol. 11. P. 548—553.
21. Kuznetsov Yu.I., Andreeva N.P., Kazanskaya G.Yu. On the inhibition effect of dialkyl phosphates in the depassivation of metals. *Prot. Met.* 2000. Vol. 36. P. 351—355.
22. Protasov A.A., Morozovska I.O., Rogalskyi S.P. Dynamics of zooperiphyton communities' development on inert substrate and antifouling coatings in the reservoir. *Hydrobiol. J.* 2021. Vol. 57, N 2. P. 36—53.
23. Protasov A.A., Sinitsina O.O., Kolomiets A.V. Use of the WaCo (Water Communities) package to process the hydrobiological samples and create the databases on zoology and algology (FoxPro). Тр. Зоол. ин-та РАН. СПб., 1999. Т. 278. С. 132.
24. Rakhman M., Brazel C. Ionic liquids: new generation stable plasticizers for poly(vinyl chloride). *Polym. Degrad. Stab.* 2006. Vol. 91. P. 3371—3382.
25. Rogalskiy S.P., Morozovskaya I.A., Boretskaya M.A. et al. Periphyton development on the protective coating, modified by the cation biocide. *Hydrobiol. J.* 2020. Vol. 56, N 1. P. 57—69.
26. Schmude K.L., Jennings M.J., Otis K.J., Piette R.R. Effects of habitat complexity on macroinvertebrate colonization of artificial substrates in north temperate lakes. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 1998. Vol. 17, N 1. P. 73—80.
27. Shubha H.N., Venkatesha T.V., Vathsala K. et al. Preparation of self assembled sodium oleate monolayer on mild steel and its corrosion inhibition behavior in saline water. *ACS Appl. Mater. Interfaces.* 2013. Vol. 5. P. 10738—10744.

28. Smith A.L., Muya R.A. Identify and control microbiological organisms in cooling Water systems. *Power*. 1973. Vol. 117, N 7. P. 17—19, 91—93.
29. Trush M., Metelytsia L., Semenyuta I. et al. Reduced ecotoxicity and improved biodegradability of cationic biocides based on ester-functionalized pyridinium ionic liquids. *Environ. Sci. Poll. Res.* 2019. Vol. 26, P. 4878—4889.
30. Venkata Nanchaiah Y., Kiran Kumar Reddy G., Lalithamanasa P., Venugopalan V.P. The ionic liquid 1-alkyl-3-methylimidazolium demonstrates comparable antimicrobial and antibiofilm behavior to a cationic surfactant. *Biofouling*. 2012. Vol. 28. P. 1141—1149.

Надійшла 30.05.2023

I.O. Morozovska, PhD (Biol.), Junior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine,
ORCID 0000-0003-1795-7485

S.P. Rogalsky, PhD (Chem.), Head of Laboratory,
V.P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry
of the NAS of Ukraine,
Kharkiv Highway, 50, Kyiv, 02160, Ukraine

O.V. Dzhuzha, PhD (Techn.), Researcher,
V. P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry
of the NAS of Ukraine,
Kharkiv Highway, Kyiv, 50, 02160, Ukraine

O.P. Tarasyuk, Junior Researcher
V.P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry
of the NAS of Ukraine,
Kharkiv Highway, 50, Kyiv, 02160, Ukraine

O.O. Protasov, Dr. Sci. (Biol.), Prof., Leading Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine,
ORCID 0000-0002-0204-2007

ZOOPERIPHYTON ON ANTI-FOULING COATINGS AND CHANGES IN ITS COENOTIC STRUCTURE

The features of the formation of zooperiphyton communities on experimental substrates — protective coatings with antifouling properties, based on industrial alkyd enamel PF-167 modified by cationic biocides 1-dodecylpyridine oleate and 1-dodecylpyridinium bis(2-ethylhexyl) phosphate in the bay of the Kanevsky reservoir (Dnieper river) have been researched. Some features of successional changes in the Zebra mussel and Bryozoans communities are discussed. In contrast to previous years, when the temperature in August (high development of bryozoan colonies) was lower, there was no interruption of the continual succession of communities with Dreissenid dominance due to the development of bryozoans. A high antifouling activity of protective coatings, which contained 8 mass percent of cationic biocides, was established. In this study, no connections between the coenotic structure and the nature of antifouling coatings were found.

Keywords: reservoir, experimental substrates, antifouling coatings, cationic biocides, periphyton, coenotic structure.